UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTAN MARÍA
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA
VALPARAÍSO, CHILE

Prototipo de módulo de fachada Arquitectónica de respuesta dinámico-térmica utilizando actuadores pasivos

KOPIWE

CATALINA SOLEDAD SOTO ROBLES

Modalidad I+D

Memoria de titulación para optar al título de Arquitecto

Profesor Referente: Pablo Sills Garrido

Octubre 2022

"Material de referencia su uso no involucra responsabilidad del autor o institución"

Eppur si muove

1 RESUMEN

En este trabajo, se analizó la posibilidad de utilizar un elemento actuador para generar movimientos mecánicos en una fachada cinética, en función a los cambios de temperatura exterior, modulando la iluminación interior.

Se estudiaron pistones diseñados para abrir ventanas en invernaderos. Se tomó al pistón como elemento actuador y se hicieron pruebas para conocer sus restricciones físicas, sus rendimientos y poder obtener parámetros de diseño para el sistema de fachada dinámica.

Luego de determinar la factibilidad de utilizar el pistón como elemento actuador, se estudiaron sistemas mecánicos capaces de recibir el pistón como elemento actuador, para luego, reinterpretar el sistema y crear un módulo dinámico con los requerimientos mínimos para generar una fachada.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, pero con un rendimiento insuficiente (pistón x m² de módulo dinámico). En este punto se desarrollaron iteraciones, llegando a un diseño que incorpora un sistema mecánico adicional, capaz de transformar el movimiento lineal del pistón en 2 movimientos de sentido contrario, llegando a superar 5 veces el rendimiento por pistón. Por lo tanto, se concluye que el pistón de cera es capaz de formar parte de un complejo sistema mecánico, transformándolo en el actuador de una fachada cinética.

Keywords: Sistemas pasivos; materiales inteligentes; arquitectura dinámica; pistones de cera

2 INTRODUCCIÓN

Actualmente en las zonas habitadas de la tierra, los edificios son la principal demostración de la ocupación humana. Estos experimentan variaciones de temperatura, de la misma manera que los habitantes dentro de estos. Sobre todo, en áreas cálidas donde la oscilación térmica es muy alta a lo largo del día y del tiempo estacional.

Estos cambios pueden ser aminorados mediante estrategias bioclimáticas, que seleccionan y disponen elementos físicos dentro y fuera de las fachadas, generalmente de manera estática, cumpliendo funciones como suscitar ventilación natural y minimizar la ganancia solar térmica, mejorando así el confort interno del edificio y el desempeño energético de este. Estas estrategias han sido estudiadas a lo largo de la historia, los primeros acercamientos datan del Siglo I a.C. gracias a Vitruvio, señalando que la arquitectura debe estar siempre vinculada con su entorno.

Es en este punto donde la arquitectura comercial ignora el legado bioclimático y prioriza la imagen futurista de limpieza constructiva con el excesivo uso de fachadas completamente vidriadas, por sobre el aspecto humano y el confort de estos. Una de las principales consecuencias bioclimáticas dentro de los edificios es el efecto invernadero y el pobre manejo de la luz natural, es por esto por lo que como medida de solución paliativa se hace uso de sistemas de climatización e iluminación activos que no aportan a ralentizar el proceso de calentamiento global que cada vez cobra más importancia.

Es así como surge la problemática de esta investigación, la cual se dispone a explorar la posibilidad de adoptar enfoques pasivos en el diseño de elementos físicos móviles que se vuelven dinámicos para servir como estrategia bioclimática capaz de modelar el confort interno de un edificio. A través de este proyecto, el documento aborda los desafíos de diseño que son inherentes a la aplicación del movimiento dinámico pasivo en un contexto arquitectónico.

3 GLOSARIO

Shape memory alloy (SMA) aleaciones con memoria de forma: Son metales que "recuerdan" sus formas originales y tienen la capacidad de cambiar la forma, la rigidez, la posición, la frecuencia natural y otras características mecánicas en respuesta a la temperatura o los campos electromagnéticos.

Phase change materials (PCM), materiales con cambio de fase: Se refiere a materiales tales como sales hidratadas y ceras, incluyendo cera a base de vegetales y parafina. Que son es capaces de almacenar y liberar grandes cantidades de energía. El calor se absorbe o libera cuando el material cambia de sólido a líquido y viceversa, los PCM son considerados como unidades de almacenamiento de calor latente (LHS)

Pasivo: Libre intercambio de energía entre el material actuador y el ambiente que lo rodea sin resistencia o intervención de fuerza. Este intercambio de energía sigue el principio termodinámico que dicta que los sistemas tienden al equilibrio termal.

Motor térmico: Dispositivo que convierte la transformación de fase de un material fusible en una fuerza mecánicamente utilizable.

Oscilación térmica: Diferencia entre la temperatura registrada más cálida y la más fría a lo largo de un día

Ley de elasticidad de Hooke: Esta ley aplica para todos los cuerpos sólidos deformables capaces de volver a su forma inicial luego de cesada la fuerza que lo deforma. Junto con esto, establece una relación directamente proporcional entre el alargamiento y la fuerza aplicada al cuerpo. Establece una

diferenciación entre materiales elásticos e inelásticos, siendo los materiales inelásticos los que no regresan a su forma natural. Esta ley fue planteada por Robert Hooke en el S. XVII.

Espiras: Cada una de las vueltas de un resorte.

Alucobond: Es un panel compuesto de dos láminas de aluminio y un núcleo de plástico. Posee una alta rigidez a la flexión, bajo peso y alta resistencia a la intemperie

Refinar: Es el proceso de purificación de una sustancia química obtenida a partir de un recurso natural, en el caso de las parafinas, estas son sometidas a procesos de refinación (eliminación de aceite) para dar como resultado una variedad de grados, clasificados por su punto de fusión.

Coeficiente de expansión: Es el incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura. Si es un sólido, la expansión varia la longitud, altura o grosor. Si es un líquido, cambia su volumen. Este fenómeno se ve mayoritariamente en aleaciones y elementos compuestos.

Fatiga por estrés / Stress fatigue: Es el debilitamiento de un material causado por cargas y descargas aplicadas repetidamente. Es el daño estructural progresivo y localizado que ocurre cuando un material está sujeto a cargas. Si estas cargas están por encima de un cierto umbral, comenzarán a formarse grietas microscópicas en los concentradores de tensión como la superficie. Finalmente, una grieta alcanzará un tamaño crítico y se propagará repentinamente fracturando la estructura.

Tiempo medio entre fallos /Mean time between failures (MTBF): Tiempo de actividad o cantidad de ciclos esperados entre dos estados de fallas, para un sistema reparable.

Convección Pasiva: Forma de transmitir calor mediante un medio fluido (liquido, gas o plasma) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

Polarizadores: Los filtros polarizadores bloquean la luz. La luz que bloquean depende de la orientación de los polarizadores. Cuando dos polarizadores giran en la misma dirección, la mayoría de la luz pasa. Cuando se giran 90 grados hacia la dirección del otro polarizador, los filtros bloquean todas las ondas de luz, y se conocen entonces como "polarizadores cruzados."

Nemático: Se refiere a un tipo de cristales líquidos que se ordenan en la orientación de las moléculas, pero no en la posición de las moléculas mismas. Un cristal líquido nemático fluye como un líquido, pero tiene propiedades ópticas similares a las de un cristal. Un nematodo se alinea fácilmente con el efecto de un campo eléctrico o magnético externo y, en capas de algunas micras, incluso para efectos superficiales. Esta es la base de su uso en pantallas LCD.

4 ÍNDICE

1 RESUMEN 1
2 INTRODUCCIÓN 2
3 GLOSARIO 4
4 ÍNDICE 7
5 INTRODUCCIÓN 13
5.1 ¿Qué es? 14
5.2 ¿Para qué? 14
5.3 ¿Por qué? 14
5.4 LA INNOVACIÓN 14
6 METODOLOGÍA 15
6.1 Marco Teórico (investigación) 15
6.2 Marco Práctico (Desarrollo) 15
6.3 HIPÓTESIS 16
6.4 OBJETIVO GENERAL 16
6.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS 16
7 ESTADO DEL ARTE/MARCO TEÓRICO 18
7.1 RESPUESTAS REACTIVAS 18
7.1.1 Paneles del edificio Square Mozart 18
7.2 RESPUESTAS RESPONSIVAS 19
7.2.1 Arab World Institute 20

7.3 RESPUESTAS RESPONSIVAS DEL MATERIAL 21
7.3.1 Hygroskin Meteosensible Pavilion 22
7.4 ¿QUÉ ES UNA FACHADA ADAPTATIVA? 23
7.4.1 FACHADA ACTIVA 25
7.4.2 FACHADA PASIVA 26
7.4.3 FACHADA AVANZADA 27
7.4.4 FACHADA BIOMIMETICA/ BIOINSPIRADA 28
7.4.5 FACHADA CINÉTICA 29
7.4.6 FACHADA INTELIGENTE 31
7.4.7 FACHADA INTERACTIVA 32
7.4.8 FACHADA MOVIBLE 33
7.4.9 FACHADA RESPONSIVA Sistema altamente tecnológico y de funcionamiento autónomo, en donde sin necesidad de intervención de los usuarios, es capaz de interactuar y adaptar los elementos móviles 35
7.4.10 FACHADA INTELIGENTE (MATERIAL) 36
7.4.11 FACHADA “SWITCHABLE” 38
8 PATENTES ASOCIADAS 42
9 CONTEXTO PROYECTO 45
9.1 CONCLUSIONES PRIMER PROTOTIPO 46
10 LAS CERAS 48
10.1 PISTONES HIDRÁULICOS RELLENOS DE CERA. 50
10.2 FUNCIONAMIENTO PISTÓN 52
10.3 FUNCIONAMIENTO PISTON + SISTEMA 54
10.4 PROVEEDORES 57

10.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS PISTONES: 58

10.5.1 LO QUE PLANTEA LA EETT:.....60

10.5.2 EL BRAZO ACTUADOR 60

11 OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Identificar restricciones físicas y de rendimiento del elemento actuador, para así obtener los límites de diseño del sistema de fachada dinámica. 67

11.1 PRIMERA ETAPA DE PRUEBAS: PRUEBAS EN EXTERIOR 67

11.2 CONTEXTO DE PRUEBAS 68

11.3 DISEÑO DE PRUEBA 71

11.4 DESEMPEÑO DE ELEMENTO ACTUADOR 73

11.4.1 TIEMPO DE RETRASO 74

11.4.1 DESPLAZAMIENTO EFECTIVO VS. DESPLAZAMIENTO INFORMADO POR FABRICANTE (EETT) 76

11.5 CONCLUSIÓN PRUEBAS 78

11.5.1 ACCIONAMIENTO DEL ELEMENTO ACTUADOR NO DEPENDE ÚNICAMENTE DE LA PRESENCIA DE SOL DIRECTO.....78

11.5.2 LOS TIEMPOS DE RESPUESTA SON VARIABLES DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....79

11.5.3 VUELTA AL ESTADO CERO 80

11.5.4 EL PESO PROPIO DE SUS COMPONENTES MÓVILES AFECTA EN EL DESEMPEÑO ANTE CONDICIONES CLIMÁTICAS LOCALES.....80

11.5.5 FALLAS Y ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN 81

11.5.6 LA CAJA AMPLIFICADORA DE CALOR 81

11.6 SEGUNDA ETAPA DE PRUEBAS: PRUEBAS EN TEST CELL.....82

11.7 CONTEXTO DE PRUEBAS 83

11.8 RESULTADOS 87
11.8.1 PRUEBA DE CARGA 87
11.8.2 PRUEBA DE POSICIÓN 89
11.8.3 DESPLAZAMIENTO EFECTIVO VS DESPLAZAMIENTO INFORMADO POR EL FABRICANTE 91
11.9 CONCLUSIONES 94
11.9.1 VELOCIDAD Y TIEMPOS DE RESPUESTA DE ELEMENTO ACTUADOR 94
11.9.2 CARGAS QUE PUEDE PORTAR 94
11.9.3 DESPLAZAMIENTOS EFECTIVOS DE ELEMENTO ACTUADOR 95
11.9.4 INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CUERPO DE PISTÓN 95
11.9.5 AFIRMACIONES DE LA PRIMERA ETAPA DE PRUEBAS 95
12 OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Proyectar sistema mecánico de acople a elemento actuador, capaz de transmitir y maximizar las fuerzas / desplazamientos para el accionamiento de fachada cinética 98
12.1 TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ELEMENTO ACTUADOR 98
12.2 TABLA EN FUNCIÓN A VARIABLES FÍSICAS 1
12.3 REQUERIMIENTOS DE FACHADA / SISTEMA 2
12.3.1 CLIMA: 2
12.3.2 DE SISTEMA 5
12.3.3 TIPO DE RESPUESTA DEL MÓDULO DINÁMICO 8
12.4 MECANISMO DE ACCIONAMIENTO 10
12.4.1 MECANISMOS 10
12.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS 13
12.5 SISTEMA MECÁNICO 14
12.5.2 TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO 20

12.5.3 CREMONÉ BOLT 22
12.5.4 FUNCIONAMIENTO DOBLE 24
12.5.5 PROTOTIPADO Y EXPERIMENTACIÓN 25
13 OBJETIVO ESPECIFICO 3: Proponer modulo dinámico que una vez activado alcance el máximo % de sombra, capaz de ser panelizado y acoplado a elemento actuador para el desarrollo de fachada dinámica. 34
14 EXPLORACIÓN DE MÓDULO DINÁMICO 34
14.1 [1P/1MD] 1 PISTÓN / 1 MÓDULO MECÁNICO 34
14.2 [1P/2MD] V1 1 PISTÓN / 2 MÓDULOS MECÁNICOS V1 36
14.3 [1P/2MD] V2 1 PISTÓN / 2 MÓDULOS DINÁMICOS V2 40
14.4 SECUENCIA DE DESPLIEGUE DE MÓDULO DINÁMICO 45
14.5 PROPUESTAS DE APLICACIÓN CON OPCIONES DE MÓDULO DINÁMICO IMPLEMENTADO 47
14.6 ESTRUCTURA SECUNDARIA 48
14.6.1 DETALLE CONSTRUCTIVO 51
14.7 VISUALIZACIONES 57
14.7.1 [1P/1MD] Contexto de aplicación solución fachada EXTERIOR OFF -ON 57
14.7.2 [1P/2MD] V1 Contexto de aplicación solución fachada - INTERIOR/ OFF - ON 58
14.7.3 [1P/2MD]V1 Contexto de aplicación solución fachada EXTERIOR/ OFF - ON 59
14.7.4 [1P/2MD] V2 Contexto de aplicación solución fachada - INTERIOR/ OFF - ON 60
14.7.5 [1P/2MD]V2 Contexto de aplicación solución fachada - EXTERIOR/ OFF - ON 61
14.7.6 VISUALIZACIÓN OPCIÓN FACHADA – VERSIÓN FINAL 62
15 CONCLUSIONES 64
16 REFERENCIAS 67
16.1 LIBROS Y PAPERS 67

16.2 SITIOS WEB 69
16.3 PATENTES 70
16.4 FIGURAS DE OTRAS FUENTES 70

5 INTRODUCCIÓN

Actualmente en las zonas habitadas de la tierra, los edificios son la principal demostración de la ocupación humana. Estos experimentan variaciones de temperatura, de la misma manera que los habitantes dentro de estos. Sobre todo, en áreas cálidas donde la oscilación térmica a lo largo del día es muy alta a lo largo del tiempo estacional.

Estos cambios pueden ser aminorados mediante estrategias bioclimáticas, que seleccionan y disponen elementos físicos dentro y fuera de las fachadas, generalmente de manera estática, cumpliendo funciones como suscitar ventilación natural y minimizar la ganancia solar térmica, mejorando así el confort interno del edificio y el desempeño energético de este. Estas estrategias han sido estudiadas a lo largo de la historia, los primeros acercamientos datan del Siglo I a.C. gracias a Vitruvio, señalando que la arquitectura debe estar siempre vinculada con su entorno.

Es en este punto donde la arquitectura comercial ignora el legado bioclimático y prioriza la imagen futurista de limpieza constructiva con el excesivo uso de fachadas completamente vidriadas, por sobre el aspecto humano y el confort de estos. Una de las principales consecuencias bioclimáticas dentro de los edificios es el efecto invernadero y el pobre manejo de la luz natural, es por esto por lo que como medida de solución paliativa se hace uso de sistemas de climatización e iluminación que no aportan a ralentizar el proceso de calentamiento global que cada vez cobra más importancia.

Es así como surge la problemática de esta investigación, la cual se dispone a explorar la posibilidad de adoptar enfoques pasivos en el diseño de elementos físicos móviles que se vuelven dinámicos para servir como estrategia bioclimática capaz de modelar el confort interno de un edificio. A través de este proyecto, el documento aborda los desafíos de diseño que son inherentes a la aplicación del movimiento dinámico pasivo en un contexto arquitectónico.

5.1 ¿Qué es?

Sistema de acople mecánico entre elemento actuador y modulo dinámico, para el desarrollo de un sistema de fachada cinética.

5.2 ¿Para qué?

Para contribuir de manera eficiente al equilibrio energético del edificio, limitando la necesidad de utilizar dispositivos de climatización, reduciendo así el consumo de energía eléctrica de este.

5.3 ¿Por qué?

Porque mediante la manipulación de la envolvente se pueden modificar variables del confort interno de un edificio.

5.4 LA INNOVACIÓN

Explorar el potencial del elemento actuador perteneciente al mundo de la agricultura, como accionador de una fachada cinética.

6 METODOLOGÍA

Es necesario destacar que este trabajo se enmarca en dos protocolos de investigación: La tesis I+D para optar al título de Arquitecto y el proyecto I+D+i financiado por el Programa de Iniciativas Estudiantiles Académicas (PIE>A) de la UTFSM.

6.1 Marco Teórico (investigación)

-Estudiar las fallas del sistema anterior/1° prototipo (Taller paracrafting 2016-01).

-Estudio del estado de la temática actualmente y sus avances.

-Estudio sobre patentes afines de dominio público.

-Estudio de posibilidades de elementos actuadores.

-Estudio y categorización de movimientos realizables por elemento actuador (Según estado del arte).

6.2 Marco Práctico (Desarrollo)

-Probar empíricamente rendimiento/características de elemento actuador.

-Desarrollar prototipos de sistema que adapten el funcionamiento de elemento actuador para los movimientos realizables (además posibilidades de diseño).

-Generar una colección de prototipos y sus limitantes.

-Desarrollo de prototipo operativo.

6.3 HIPÓTESIS

El accionador es capaz de llevar a cabo movimiento en mecanismo de fachada cinética, en función a los cambios de temperatura ambiental.

6.4 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema mecánico de fachada cinética, integrando mediante sistema de acople el elemento actuador proveniente del mundo de la agricultura.

6.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

> **Identificar** restricciones físicas y de rendimiento del elemento actuador, para así obtener los límites de diseño del sistema de fachada dinámica.

> **Proyectar** sistema mecánico de **acople** a elemento actuador, capaz de transmitir y maximizar las fuerzas/desplazamientos para el accionamiento de fachada cinética.

> **Proponer** modulo dinámico que una vez activado alcance el máximo % de sombra, capaz de ser panelizado y acoplado a elemento actuador para el desarrollo de fachada dinámica.

CONTEXTO

7 ESTADO DEL ARTE/MARCO TEÓRICO

Existen múltiples formas de controlar la incidencia solar o la variación de temperatura diaria, una de estas es mediante variaciones en elementos de la fachada, un enfoque para compensar estas diferencias de temperatura o la incidencia solar es adaptar la envolvente de manera dinámica en respuesta a los cambios climáticos, ya sea mediante el uso de sistemas con sensores y configuraciones de respuestas dinámicas, sistemas manuales o donde el propio actuador es el elemento configurador.

7.1 RESPUESTAS REACTIVAS

Son aquellas en donde el usuario posee el control completo y directo del sistema. Generalmente las celosías de activación manual son un gran ejemplo de esta respuesta cinética. El principal problema que radica con este tipo de respuesta es que toda la responsabilidad de activación y configuración del sistema recae directamente sobre el usuario, quien no necesariamente conoce la posición óptima que debe adoptar el sistema para la situación climática que está experimentando. No existe una retroalimentación entre el entorno y el sistema.

7.1.1 Paneles del edificio Square Mozart

Bloque de viviendas construido por la Sociedad Civil Inmobiliaria entre 1953 y 1954, proyectado por el arquitecto Lionel Mirabeau. El desarrollo y la construcción de los paneles prefabricados de la fachada se encargaron a Jean Prouvé.

FIG 1. Sistema de protección solar reactiva (manual)

Square Mozart Housing Facade

Jean Prouvé

Francia, 1953

Los cerramientos verticales son paneles ligeros prefabricados, que cuentan con una ventana fija, una ventana de guillotina, una contraventana con dos posibles movimientos y una serie de aireadores en la parte superior.

El panel de la square Mozart es un objeto complejo por las múltiples funciones realizadas por cada uno de los elementos. El vidrio de la parte superior es fijo, por lo que permite la iluminación. La ventana de guillotina permite a su vez la iluminación y la ventilación al desplazarse verticalmente. La contraventana puede deslizarse hacia arriba y oscurecer, o abatirse hacia el exterior para proteger el interior del sol. Este sistema de cerramiento cambiante se modifica desde el interior del edificio. Debe ser activado de manera manual por los usuarios, utilizando manillas. (Armesto Pineda, L. 2015)

7.2 RESPUESTAS RESPONSIVAS

Son aquellas en donde el usuario no controla directamente la tecnología del sistema, sino que es el propio entorno el que gatilla la respuesta, Un ejemplo común que existe, es generar una respuesta dinámica mediante el uso de sensores que tienen configurada la respuesta dinámica que efectúa la fachada.

Estos sistemas al ser computarizados requieren el uso de energía activa para su funcionamiento, por lo cual, en algunos casos se opta por el uso de paneles fotovoltaicos para satisfacer la demanda

instantánea del sistema. Esto es ineficiente ya que todos los artículos del sistema fotovoltaico le agregan un coste, complicación y cada componente tiene su propia longevidad y tasa de falla, aumentando el coste el propio sistema de fachada dinámica.

7.2.1 Arab World Institute

El instituto del Mundo Árabe, construido en Paris en el año 1987, diseñado por el arquitecto francés Jean Nouvel, corresponde a un centro cívico para difundir la cultura árabe y establecer relación con la francesa ya que en este país hay una gran cantidad de población árabe.

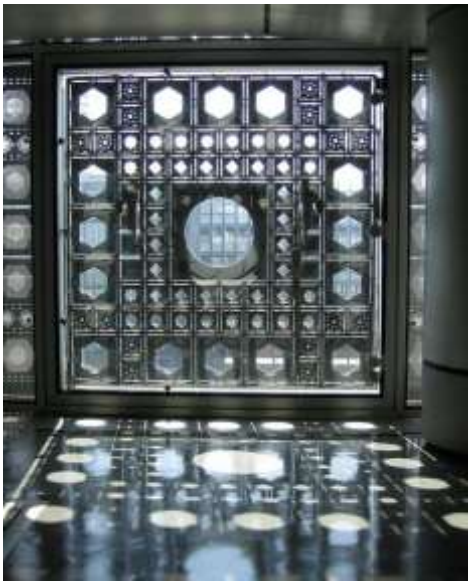


FIG 2. Sistema de protección solar responsiva (sensores)
Arab World Institute
Jean Nouvel
Paris (FRA) 1987

Este edificio es un símbolo dentro de la arquitectura moderna. No sólo por los simbolismos del mundo musulmán, sino también por el uso de tecnología en su fachada para el control de la entrada de la luz natural Las ventanas más interesantes del IMA son las de la fachada sur. El tamaño y forma de los cristales es exactamente igual que los de la fachada norte solo que, en este caso, cada cristal cuadrado tiene una serie de células fotoeléctricas, “moucharabiehs”, semejantes al diafragma de una cámara de fotos, que se abren cuando reciben menos luz exterior y viceversa. En cada ventana hay una célula fotoeléctrica central más grande que el resto, y otras más pequeñas, de dos tamaños distintos, dispuestas geométricamente en el vidrio. La apertura y cierre de estos elementos da lugar a figuras

geométricas muy parecidas a las presentes en la decoración de edificios árabes, símil muy bien acogido por los árabes propietarios del instituto.

En algunas partes de la fachada solo hay dibujos hexagonales y ortogonales parecidos a las células, las cuales se mueven con energía eólica. De esta forma, el edificio controla automáticamente su propia luminosidad y crea un juego de luces y reflejos en su interior. (Duque, 2012)

que tamiza la luz y reduce el deslumbramiento. El sistema es impulsado por la energía renovable derivada de los paneles fotovoltaicos. El enrejado gigante envuelve casi por completo las dos torres a excepción de la zona de las fachadas orientadas al norte.

7.3 RESPUESTAS RESPONSIVAS DEL MATERIAL

Otro tipo de respuesta responsiva, en donde el propio material actuador es el que configura el sistema, en estos casos no requiere el uso de energía activa ya que explota la respuesta dinámica inherente del material.

Una de las problemáticas con estos sistemas es que dichas respuestas no pueden ser selectivamente desactivadas independiente de las condiciones térmicas prevalecientes, implicando restricciones para el desarrollo de sistemas de fachada, estas restricciones en la mayoría de los casos tienen relación con la escala de la intervención, además de la pérdida paulatina de esta respuesta dinámica.

FIG 3 . Sistema de protección solar meteosensible responsiva (material actuador)

Hygroskin Meteosensible Pavilion

Achim Menges Architect + Oliver David Krieg + Steffen Reichert

Sttutgart (DEU), 2013

Fuente: (Menges & Reichert, 2015)

7.3.1 Hygroskin Meteosensible Pavilion

El pabellón Hygroskin Meteosensible es un experimento arquitectónico que es capaz de realizar una respuesta fototrópica, es decir cambio de comportamiento ante cambios de la luz. Diseñado con herramientas digitales fabricadas con un brazo robótico, ejecutado por un equipo de arquitectos de la Universidad ICD en Stuttgart.

Este proyecto posee una estructura que sin ningún tipo de control mecánico o electrónico externo reacciona a los cambios climáticos gracias al empleo de materiales programados para responder ante la humedad. La forma cúbica tradicional evoluciona a una configuración más orgánica y afín al paisaje, conformada por delgados paneles-escama de contrachapado salteado por aberturas que florecen al abrirse. Una arquitectura cambiante que se adapta al entorno como una imitación imposible de la naturaleza más avanzada. (Menges, Krieg and Reichert, 2013)

7.4 ¿QUÉ ES UNA FACHADA ADAPTATIVA?

Dentro del proceso de definir lo que es proyecto y el potencial que este es capaz de desarrollar, no se debe perder la perspectiva general de donde se sitúa el proyecto en este campo naciente y en rápida evolución. Tal es la importancia de la innovación en el mundo de las envolventes dentro de un futuro cercano, que entidades geopolíticas como la Unión Europea, plantea para el 2020 una serie de metas sobre regulaciones en eficiencia energética de edificios nuevos y existentes, planteando nuevamente la interrogante sobre que define a una envolvente dinámica, cuantos tipos existen y que significa que sea adaptativa, ya que este término se ha utilizado de manera flexible e intercambiable, creando confusión en cuanto a su significado específico y su relación conceptual con el rendimiento y el diseño del edificio.

A lo largo de esta investigación estas definiciones comenzaron con un enfoque sobre el nivel de interacción de los usuarios ante la respuesta y los factores a los que finalmente responde el sistema, reduciéndolas a fachadas a reactivas y responsivas. Actualmente estas definiciones toman en consideración como la fuente de la energía que alimenta su funcionamiento, diseño de caracterización, parámetros, enfoques de clasificación, incluso incorporar inteligencia artificial para que la propia envolvente pueda recopilar datos, aprender y auto ajustarse en pos del confort.

Es importante tener definiciones que nos ayudan a plantear una base desde donde cualquier investigador sea capaz de darle una categorización más específica al sistema de envolvente dinámica ya que el hecho de nombrar y categorizar algo ya lo hace perceptible y por lo tanto plantea un posible

campo de estudio, concluyendo que el concepto “adaptativo”, hace referencia a sistemas de envolventes que interactúan con el entorno y el usuario al reaccionar a las influencias externas y adaptar su comportamiento y funcionalidad. Entonces el edificio se convierte en un sistema dinámico comparable con un organismo vivo, en el que cada parte él reacciona a estímulos externos e internos, adaptándose al contexto circundante para regular y optimizar el balance energético general necesario para su funcionamiento.

Por lo tanto, para que sea considerada una fachada como adaptativa, el sistema debe proporcionar una respuesta a los cambios que presente el entorno (interno y externo) para así garantizar o mejorar los requisitos de accionamiento de las envolventes en cuanto a calor, flujo de vapor de aire y agua, penetración de lluvia, radiación solar, ruido, fuego, fuerza y estabilidad, y estética.

Es así las fachadas adaptativas deben poder responder repetida y reversible con el tiempo a los cambios de requerimiento y rendimiento. Es decir, las fachadas adaptativas deberían poder proporcionar aislamiento controlable y masa térmica, intercambio de calor radiante, ventilación, recolección de energía, luz natural, protección solar o control de humedad.

El concepto de edificio inteligente está, muy relacionado con el de fachada adaptativa, ya que la fachada en sí misma es el elemento principal capaz de cambiar su estructura para garantizar los rendimientos requeridos, enfatizando su parecido con la piel humana. La envoltura se convierte así en un verdadero sistema orgánico conectado al sistema de control central del edificio y al sistema de aire acondicionado, que se puede comparar con el sistema de la arteria humana.

Por esta razón, las fachadas adaptativas construidas en los últimos años en muchas áreas geográficas se caracterizan por la naturaleza complementaria del sistema y las tecnologías de construcción, y por

la presencia de sistemas de regulación y control que los convierten en un elemento clave en el complejo sistema de planta de construcción.

7.4.1 FACHADA ACTIVA

Este tipo de fachada integra sistemas tecnológicos activos sin electrónica sofisticada, en donde las envolturas se autoajustan a los cambios en los entornos (internos y externos) del edificio, para mejorar el ahorro energético sin interacciones del usuario.

Aunque no siempre el propósito de la fachada sea controlar el ambiente interior, como por ejemplo la envolvente del museo infantil de Pittsburg, se compone de miles de cuadrados de aluminio perforados que son oscilados rápidamente por el viento para cambiar la calidad visual de los espacios interiores. (Kahn, 2004)

FIG 4. Sistema de fachada activa

Articulated Cloud

Ned Khan Studios

Pittsburgh (USA), 2004

Fuente: (Khan, 2004)

7.4.2 FACHADA PASIVA

Las fachadas pasivas son aquellas que emplean soluciones de diseño arquitectónico pasivo para responder a variaciones climáticas, al mismo tiempo actúan como una capa protectora del exterior, promoviendo la condición de confort en el interior. El objetivo es mantener temperaturas confortables y la calidad del aire, más aún reducir la cantidad de energía que se requiere para aclimatar el edificio. Se caracterizan además respetar directrices de diseño arquitectónico, proporciones y teniendo en cuenta propiedades termo físicas de los materiales, tipologías constructivas, hermeticidad del edificio y aislamiento del entorno exterior. Estas soluciones generalmente se aplican dentro de un plan de estrategias bioclimáticas.

FIG 5. Sistema de fachada pasiva

Aurora Place

Renzo Piano

Sídney (AUS), 2000

Fuente: (Piano,2000)

De este modo se encuentra dentro de esta tipología Las fachadas de doble piel (DSF) y sus variaciones (por ejemplo, de varios pisos), las fachadas ventiladas, muros trombe, chimenea y muro solares.Un caso ejemplo es el de la Aurora Place, en donde su fachada se compone de una segunda piel de vidrio serigrafiado que incorporado propiedades de la cerámica, con el fin de regular los rayos del sol y la temperatura superficial de esta segunda piel. Cuenta además con un sistema lamas de activación manual, en

donde le da al ocupante mayor posibilidades de modificar el ambiente interno, delegando la responsabilidad de regular su propio confort al habitante.

7.4.3 FACHADA AVANZADA

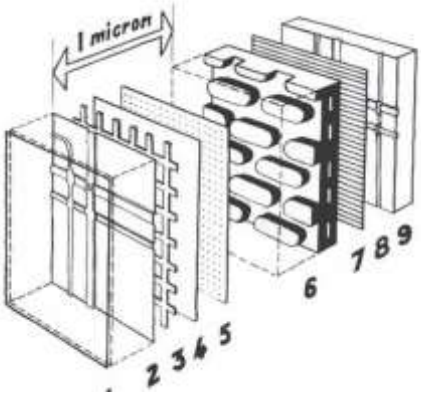


FIG 6. Sistema de fachada avanzada

Muro Polivalente

Mike Davies

(UK), 1981

Fuente: (Rubio-Hernandez,2017)

Una fachada avanzada es la capa exterior de un edificio que protege del clima a un edificio de manera íntegra, puede aportar en la calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación y promoviendo el confort interior a través de medidas de ahorro de energía. La principal diferencia entre los conceptos de envoltura avanzada y otros conceptos de envoltura energéticamente eficientes, es que en una fachada avanzada la aplicación de la respuesta de los elementos del edificio y su integración con los sistemas de servicios y energía en combinación con control avanzado, siendo capaz de responder a cualquier necesidad, alto uso de tecnología.

Un ejemplo es el muro polivalente, propuesto por Mike Davies en 1981, este reconoce el mal desempeño climático del vidrio como elemento de fachada a pesar de su alta

Sección de la “piel” de vidrio del “Wall for all Seasons”.

1- “Piel de sílice [vidrio] exterior como barrera climática y sustrato de deposición de capas”.
2- “Capa externa de sensores y control lógico”.
3- “Rejilla de puntos de luz [pantalla]”.
4- “Capa de radiación térmica y de absorción selectiva”.
5- “Deposición electro-reflectante”.
6- “Capas micro-porosas para flujo de gases”.
7- “Deposición electro-reflectante”.
8- “Capa interna de sensores y control lógico”.
9- “Piel de sílice [vidrio] interior y sustrato de deposición de capas”

popularidad por aspectos estéticos, al estar asociado con modernidad, pero que en la mayoría de los casos empeoran las condiciones de confort en el interior del edificio.

Mike propone un sistema delgado con carácter universal, capaz de adaptarse, por sí misma, a todos los cambios de las condiciones externas, independientemente de su localización geográfica o de la estación del año. Nunca se lleva a construir, pero es una de las primeras aproximaciones a una envolvente adaptativa.

7.4.4 FACHADA BIOMIMETICA/ BIOINSPIRADA

Tiene como aspiración imitar las cualidades de las pieles de plantas y humanos, ya que son el modelo de emulación más directo de sistemas de cerramiento multifuncionales además de ser verdaderamente sostenibles. La bioinspiración funcional puede ser directa o indirecta. El primer enfoque copia directamente el principio funcional, aplicando en contexto fachada se observa el fototropismo es decir cambio en respuesta ante la luz.

Paralelamente el enfoque indirecto se basa libremente en un principio biológico seleccionado, pero requiere un paso de abstracción entre la traducción de un principio biológico y la construcción de tecnología envolvente (The BIQ House: first algae-powered building in the world, 2015)

FIG 7 . Sistema de fachada biomimética

BIQ house

Arup, SSC Strategic Science Consultants y Splitterwerk Architects

Hamburg (DEU), 2013

Fuente: (The BIQ House: first algae-powered building in the world, 2015)

7.4.5 FACHADA CINÉTICA

Este tipo de fachada, utiliza sistemas mecánicos y electromecánicos complejos para llevar a cabo los movimientos dentro del sistema de fachada, sin requerir participación de los usuarios para iniciar la activación el sistema, ya que el movimiento se encuentra predefinido respondiendo a las condiciones

Esta complejidad en el dispositivo actuador asegura disponer de la energía suficiente para que cualquier tipo de geometría planteada en la fachada tenga la posibilidad de llevar a cabo libremente movimientos y disposiciones de diferentes complejidades. ambientales exteriores precisando ajuste a medida que estas cambian y no responden a cambios en el entorno interior.

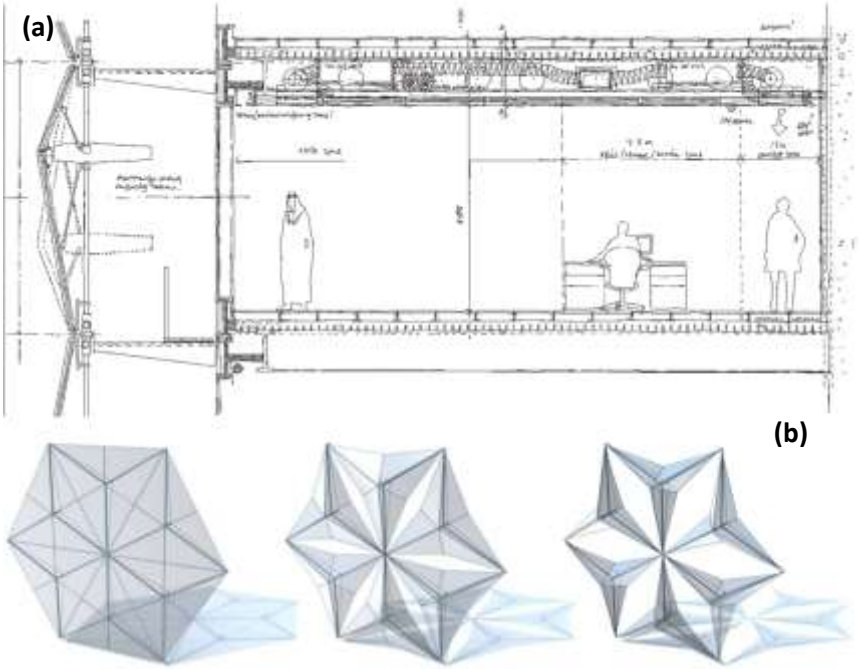


FIG 8. Sistema de fachada cinética

(a) corte fachada cinética y relación con torre

(b) proceso de apertura módulo de fachada

Al Bahar Tower Facade

Abdulmajid Karanouh + AEDAS

EAU, 2012

Fuente: ("Torres Al Bahar - Ficha, Fotos y Planos", n.d.)

Un ejemplo de este tipo de envolvente es la fachada de las torres Al-Bahar que actúa modo de muro cortina, dispuesta en un marco independiente a 2 metros de la fachada del edificio, aportando a la reducción de ganancia solar térmica y deslumbramiento. “Por la noche todas las pantallas se pliegan, permitiendo ver más de la fachada”. “A medida que el sol

se levanta en la mañana por el este, el mashrabiya a lo largo de este lado del edificio comenzará a cerrarse y cuando el sol se mueve alrededor del edificio, toda la franja vertical de la mashrabiya se moverá con el sol", dice Eter Oborn, vicepresidente de Aedas, y uno de arquitectos del proyecto. ("Torres Al Bahar - Ficha, Fotos y Planos", 2012)

7.4.6 FACHADA INTELIGENTE

Los edificios inteligentes son aquellos que combinan estrategias activas y pasivas (características activas o implementación de sistemas y estrategias de diseño pasivo) para proporcionar la máxima comodidad a los ocupantes utilizando la energía mínima.

FIG 9 . Sistema de fachada inteligente

Sede GSW

Sauerbruch + Hutton Architects

Berlín (DE), 2006

Mediante el uso de sensores, procesadores de control y actuadores es capaz de responder a los cambios climáticos reconfigurando elementos físicamente adaptables, como persianas, sombrillas, respiraderos operables o conjuntos de materiales inteligentes con el objetivo de producir un ambiente interior agradable, basando estas respuestas físicas en modelos predictivos, al mismo tiempo que el

propio edificio aprende los patrones de funcionamiento, optimizando su respuesta en función a los patrones de uso requiriendo la una mínima intervención de los usuarios. Esto se logra a través de la automatización completa del edificio

En el caso del edificio GSW el sistema de fachada inteligente complementa las estrategias de bioclimatización pasiva que dispone el edificio, en donde una gran membrana de PVC sobre el techo del edificio y que, por su forma, redirige las corrientes de viento favoreciendo la convección hacia la doble fachada ventila el edificio, consolidando el efecto Venturi.

Adicionalmente el sistema de persianas permite desactivación local por medio de controladores instalados en las paredes contiguas. ("Sede GSW - Ficha, Fotos y Planos", 2021)

7.4.7 FACHADA INTERACTIVA

Se relaciona más a una instalación de arte que utiliza como medio la fachada, mediante el uso de elementos tecnológicos como sensores, pantallas, microprocesadores para desarrollar alguna respuesta en tiempo real en función a la intervención de los usuarios, fomentando la participación pública activa. A pesar de tener un alto nivel de adaptabilidad, este tipo de fachada no influye en el confort del edificio, por lo tanto, requiere de un sistema automatizado de gestión del edificio, programado para garantizar confort del entorno interno

.

FIG 10. Sistema de fachada activa

Sol Pix

Simone Giostra & Partners Architects (SGPA)

New York (USA), 2010

Fuente: (SolPix at the Cooper Hewitt Design Triennial 2010, 2010))

7.4.8 FACHADA MOVIBLE

Son sistemas tecnológicos de respuesta rápida, capaces de adaptarse a las condiciones ambientales y ubicación, además de ser definida su respuesta por sus propios elementos de apertura. Se encuentra equipado con elementos fotovoltaicos que siguen la posición del sol estando siempre en la posición optima, del mismo modo es capaz de proveer de energía al edificio.

Un ejemplo es la ASF- Adaptative solar façade, que consta de módulos fotovoltaicos de película delgada que por medio de actuadores neumáticos realizan seguimiento solar y control de la luz del día, al mismo tiempo que controlar el ambiente interior o la comodidad del usuario.

Esta fachada se concibe como segundo prototipo en donde a diferencia de su primer prototipo (Svetozarevic et al., 2016) es que la estructura es más liviana dado que es situada en la fachada en base

a tensores a su estructura base, además de responder a los deseos de los ocupantes del edificio. El actuador para aplicaciones de seguimiento solar se solicitó una patente a fines de 2017.

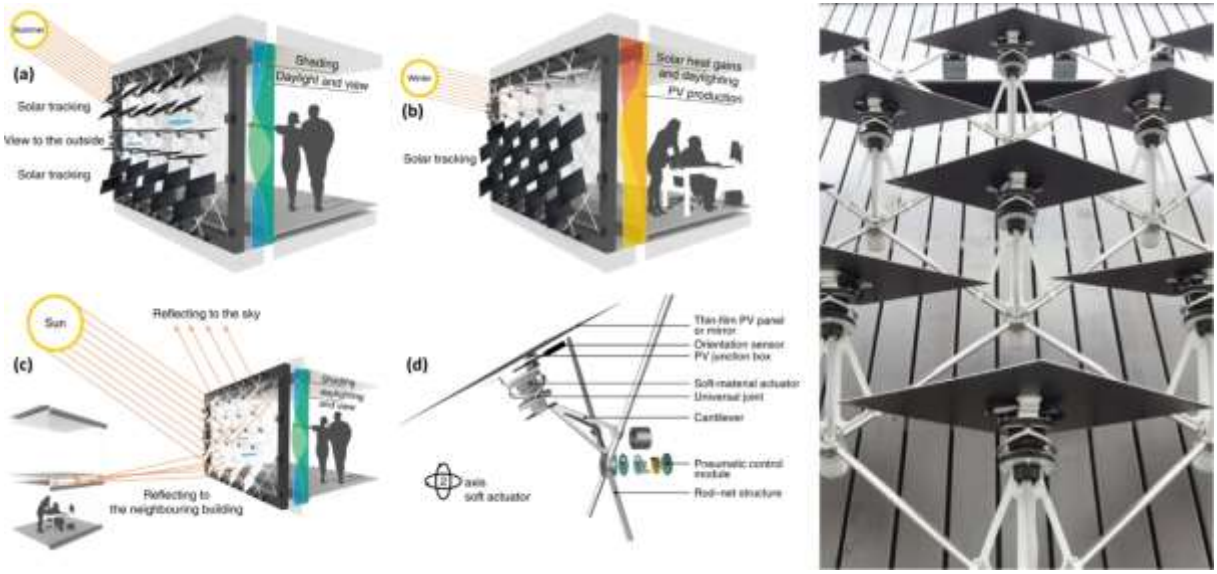


FIG 11. Sistema de fachada movible

ASF disposición en: (a) verano (b) invierno (c) en relación al contexto urbano (d) detalle del módulo.

(e) vista inferior de sistema de fachada, detalle modulo actuador y disposición.

Zoltan Nagy, Bratislav Svetozarevic, Prageeth Jayathissa, Moritz Begle, Johannes Hofer, Gearoid Lydon, Anja Willmann, Arno Schlueter

Zürich (CH), 2016

Fuente: (Nagy et al., 2016)

7.4.9 FACHADA RESPONSIVA

FIG 12. Sistema de fachada responsiva
Kiefer technic showroom
Ernst Giselbrecht +Partner ZT GmbH
Graz (AUT), 2007
Fuente: (Giselbrecht, 2007)

Sistema altamente tecnológico y de funcionamiento autónomo, en donde sin necesidad de intervención de los usuarios, es capaz de interactuar y adaptar los elementos móviles

Se asemeja al funcionamiento de las fachadas cinéticas e inteligentes, ya que hace uso de sensores, elementos cinéticos, sistemas de automatización y actuadores para monitorear y automatizar el control de los elementos móviles de la fachada en tiempo real.

Adicionalmente tiene características propias de las fachadas inteligentes, ya que es mediante el uso de inteligencia artificial, es capaz de aprender a auto ajustarse mediante el aprendizaje de los patrones de uso de los ocupantes a lo largo del tiempo, priorizando en todo momento el confort del entorno interno.

Sin embargo, una característica propia de este tipo de fachada es que requieren de un acto para poner en marcha el movimiento de los elementos de la fachada además de permitir que los propios usuarios modifiquen el comportamiento de esta.

Un ejemplo es la envolvente de Kiefer Technic Showroom en Austria, que, recurriendo al movimiento de paneles de aluminio perforados y motorizados, es capaz de modelar el confort interno, así mismo contemplando la posibilidad de desactivar o modificar la disposición de estos elementos en función a los deseos de los ocupantes.

7.4.10 FACHADA INTELIGENTE (MATERIAL)

Este tipo de fachadas aprovechan las cualidades tecnológicas propias de los materiales, las cuales son capaces de responder ante la variación de ciertas condiciones ambientales, mediante el cambio de propiedades físicas internas o intercambios externos.

En el contexto de las fachadas, esta respuesta es aprovechada para modificar el confort interno del edificio mientras perduren las condiciones físicas que iniciaron la respuesta en la fachada

Este tipo de fachadas generalmente se encuentra como dentro de un sistema de una de las estrategias bioclimáticas adoptadas por un edificio ya que no se requiere energía externa para su activación

Dentro de las respuestas que este tipo de fachadas pueden presentar, se encuentran; inmediatez (respuestas a corto plazo), transitoriedad (que responde a varios estados ambientales), auto activación (control intrínseco), selectividad (respuesta predecible) y franqueza (respuesta local),
sin requerir energía externa como materiales de cambio de fase (PCM), energía fotovoltaica integrada en edificios (BIPV), aerogel o polímeros termocrómicos. (Tabadkani et al., 2021)

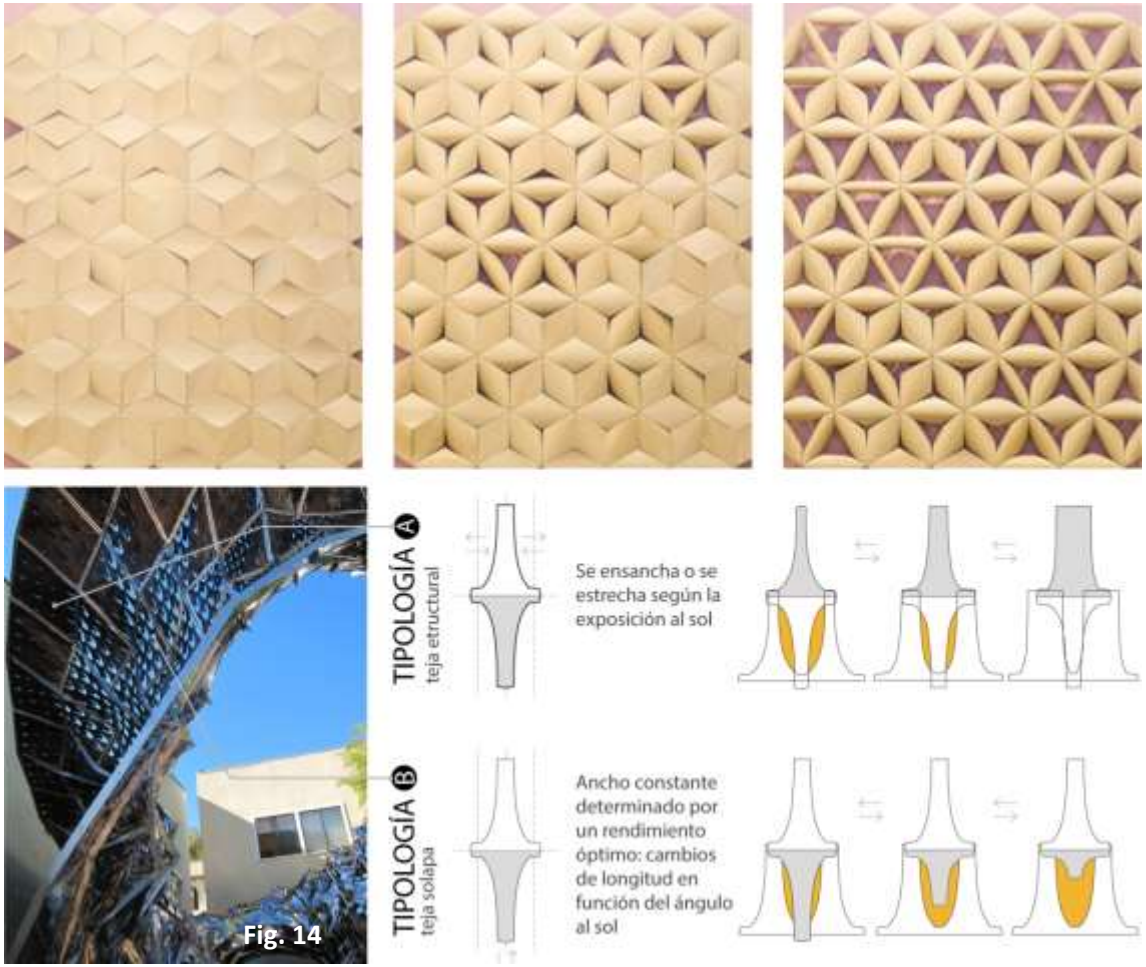


FIG 13. Sistema de fachada inteligente (material)

Water-Reacting Architectural Surface

Chao Chen

Londres (UK), 2015

Fuente: (Chen, 2015)

FIG 14. Sistema de fachada inteligente (material)

BLOOM Project

Doris Kim Sung

California (USA), 2012

Fuente: (Kim Sung, 2012)

Dentro de los ejemplos se encuentra el desarrollado por Chao Chen, el cual reacciona Utilizando propiedades inherentes de la materialidad, pudo crear un laminado que reacciona con el agua capaz de detectar niveles de humedad y cambiar su forma automáticamente sin estructuras mecánicas o elementos electrónicos (Fig. 13).

Otro proyecto es Bloom Project, sistema de ventilación de aire y protección solar, hace uso de termo-bimetal un tipo de aleación con memoria de forma que se expanden y encogen en diferentes niveles de temperatura para controlar la luz del día. Contando con dos tipologías de “teja” diferenciándose en la dirección en la que realizan movimiento, esta variedad permite que la estructura responde inteligentemente a la temperatura creando áreas sombreadas o ventiladas, dependiendo de la dirección de la fuente de calor (Fig. 14).

7.4.11 FACHADA “SWITCHABLE”

Estas tipologías se construyen como fachadas transparentes en las que se integran "filtros inteligentes" concretamente materiales adaptativos inteligentes, para regular la luz y los flujos de energía a través de las fachadas de vidrio. Es capaz de activarse pasivamente en función a parámetros límites del entorno local configurados por adelantado o activamente ante la voluntad de los ocupantes o como respuesta a la automatización del edificio.

Dentro de esta tipología son los sistemas de acristalamiento electrocrómicos o termocrómicos que se pueden alternar entre estados transparentes y opacos utilizando materiales inteligentes como PCM.

FIG 15. Sistema de fachada switchable

Subdivided switchable sun protection glazing

Marzena Husser

Stuttgart (DEU), 2019

Fuente: (Husser et al., 2019)

Las pantallas LCD (Liquid crystal display) están conformada de cientos de miles de pixeles que actúan como válvulas de luz modelando la transmitancia de la luz y a la intensidad de color de cada subpixel (rojo, verde, azul) logrando reproducir imágenes.

En el caso de este sistema, se emplea un método similar solo que, en escala de grises, haciendo uso de polarizadores que modelan la transmitancia de la luz y energía, junto a la posición que adopta el cristal nemático o cristal líquido (twisted nematic cell) contenido entre capas de sustratos encargadas

de conducir y orientar las moléculas del cristal líquido, re-ordenándolas cuando un pequeño voltaje es aplicado, modelando así la intensidad de la luz transmitida hacia el interior del edificio.

Actualmente no ha sido posible fabricar una unidad de celda-TN den un contexto real, ya que factores ambientales como temperatura, rayos UV y humedad afectan en la estabilidad de esta. Además de que su escala se encuentra determinada por las restricciones de las capacidades de producción disponibles (310 mm × 286 mm).

Luego de evaluar los tipos de fachadas, se realiza una tabla comparativa

CARACTERÍSTICAS DE LAS TIPOLOGIAS DE FACHADAS ADAPTARIVAS					
TIPO DE FACHADA	REQUERIMIENTOS	LIMITACIONES	POTENCIAL	INTERACCIÓN DEL USUARIO	REQUIERE ELECTRICIDAD
ACTIVA	Tecnologías activas sin electrónica sofisticada	Controlar el ambiente interior no es el objetivo	Autoajuste de la fachada que puede ser controlado por el entorno interno y externo	No	Si
PASIVA	Diseño pasivo	Un diseño pasivo lo convierte en una fachada adaptativa	Capa protectora contra la intemperie que puede mejorar las condiciones de confort en interiores	No	No
BIOINSPIRADA	Inspiración e imitación de la naturaleza	Solo responde a las condiciones ambientales del exterior y solo ciertos umbrales	Utiliza los principios biomiméticos de la naturaleza con la menor participación energética	No	Si
CINÉTICA	Mecanismos mecánicos o electromecánicos complejos	Responde solo al ambiente exterior	Permite una amplia gama de posibles movimientos	No	Si
INTELIGENTE	Integrando control automatizado y manual a través de componentes inteligentes	Requiere sensores, actuadores y controladores para controlar el ambiente interior y tecnología computacional para predecir	Tiene la capacidad de aprender y responder a lo largo del tiempo, ya sea mediante instalaciones de aprendizaje o controladores en tiempo real	Si	Si
INTERACTIVA	Sensores, actuadores y controladores en combinación con intervenciones humanas directas	No influye en la comodidad interior	Responde en tiempo real mediante señales de origen humano	Si	Si
MOVIBLE	Sistemas móviles a escala de fachada para responder rápidamente a los cambios climáticos	La comodidad del usuario no es el objetivo	Tiene la capacidad de producir energía	No	Si
RESPONSIVA	Sensores, actuadores y controladores para controlar el ambiente interior	Necesito un actuador para responder	Permite la percepción ambiental en tiempo real y las operaciones orientadas al usuario	Si	Depende
MATERIAL INTELIGENTE	Materiales inteligentes para control intrínseco	Limitado a materiales con propiedades físicas específicas que dependen del tiempo	Sin necesidad de energía externa para generar movimientos	No	No
SINTONIABLE	Materiales adaptables para control intrínseco	Limitado a componentes transparentes con propiedades físicas específicas	Puede ser controlable ya sea activamente por los usuarios o pasivamente por las condiciones ambientales al aire libre	Si	Si

Definiciones extraídas de: Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D. and Mazzucchelli, E., 2018. What is an Adaptive Façade? Analysis of Recent Terms and Definitions from an International Perspective. Journal of Facade Design and Engineering, vol. 6 (no.3), pp.77-79

Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021b). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. Automation in Construction, 121, 103450. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450

---

8 PATENTES ASOCIADAS

"Una de las principales funciones del sistema de patentes consiste en difundir información de carácter técnico. La información de patentes representa una valiosa y completa fuente de información técnica, comercial y jurídica que puede ser usada directamente con fines científicos y experimentales y estimular la adaptación y mejora de la tecnología descrita en los documentos de patente una vez que se han publicado. Conscientes de la importancia de la difusión de la información de carácter técnico, son cada vez más numerosas las oficinas y organizaciones de P.I. que recurren a Internet para ofrecer acceso a sus bases de datos de documentos de patente."

("La I+D, la innovación y las patentes", 2017)

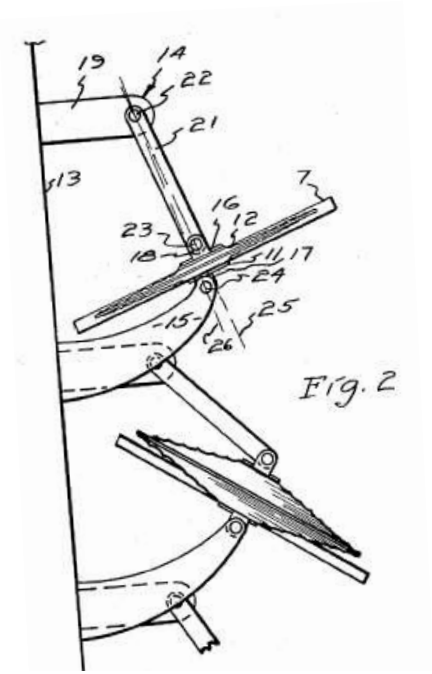


FIG 16. Diagrama funcionamiento "Thermal responsive venetian blind"
John J. Grebe
(USA), 1949
Fuente: (J Grebe, 1949)

Luego de comprender el estado de avance de la arquitectura cinética, el próximo paso fue investigar áreas de aplicación fuera de la arquitectura donde se utilicen elementos que cumplan alguna función útil en el diseño de una celosía reactiva. Es por ello, que se buscaron patentes y se reconoció lo que ya estaba inventado, lo que se puede seguir desarrollando y lo que derechamente aún no existe. Trazar esta línea ayudo a determinar los parámetros iniciales y como continuar ante el actuador seleccionado.

Uno de los primeros registros de patentes asociadas a celosías reactivas data del año 1949, por parte de John J. Grebe,

(“Thermal responsive venetian blind”, 1949) que diseño el primer prototipo de persiana termosensible. Aclamaba que el sistema tenía funcionamiento independiente que evitaba la entrada de los rayos solares a un bajo costo y con una alta precisión de funcionamiento. El sistema consta de un elemento sensible al calor que implementaba el uso de sustancias químicas con bajo punto de ebullición (cloroformo, alcohol metílico o etílico o éter etílico), el usuario podía probar con diferentes sustancias dependiendo a la temperatura que desea el cierre de la persiana veneciana.

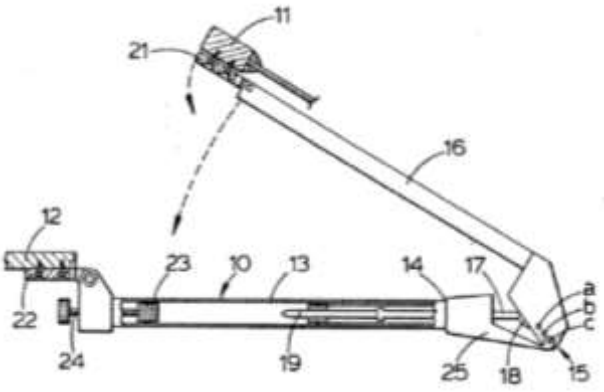


FIG 17. Diagrama de partes de "Window control mechanism"

Albert Cole

(UK), 1985

Fuente: (Cole, 1985)

Otra patente que marco un punto de inicio en el uso de ceras como elemento actuador, es el prototipo de Albert Cole que en el año 1985 ("Window control mechanism", 1985) quien propuso un mecanismo de control de ventanas, proponiendo por primera vez el uso de cilindros/pistones rellenos de cera como actuadores. Este aclamaba que era el primer prototipo para abrir ventanas, capaz de reaccionar de manera automática a los cambios de temperatura ambiental.

Consta de dos brazos, uno que contiene el pistón con la cera y otro que finalmente empuja la ventana. La principal característica, que implica un gran avance, es que posee la capacidad de que el usuario

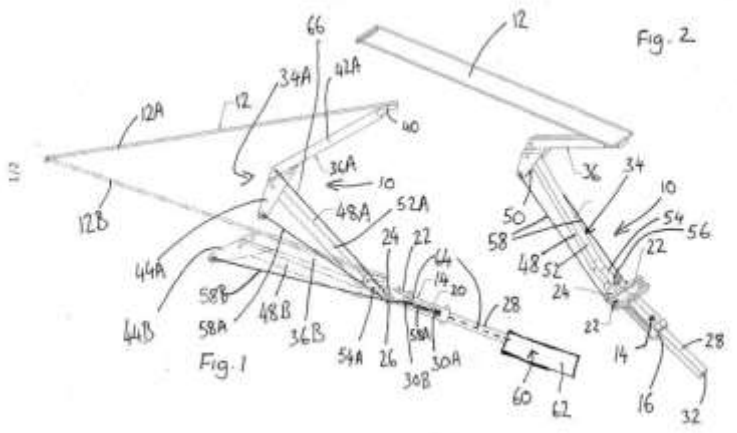


FIG 18. Diagrama partes y funcionamiento "A temperature actuable opening arrangement with a wax filled cylinder"

Kenneth Lawrence Bayliss

UK, 2010

Fuente: (L Baylis, 2010)

puede configurar la temperatura de accionamiento del sistema mediante el ajuste manual de un tornillo (ver punto 24 en Figura 18).

Un ejemplo contemporáneo, es el del sistema de apertura en base a actuador cilíndrico relleno de cera del año 2010 por Kenneth Lawrence Bayliss ("A temperature actuable opening arrangement with a wax filled cylinder", 2010), quien perfeccionó el diseño original de Albert Cole, sobre todo en la disposición de el pistón en el sistema, que en este prototipo se encuentra independiente del marco y unido por un único punto de pivote lo cual restringe movimientos laterales no deseados y asegura que cuando baje la temperatura, el sistema se desactive volviendo a su posición inicial.

9 CONTEXTO PROYECTO

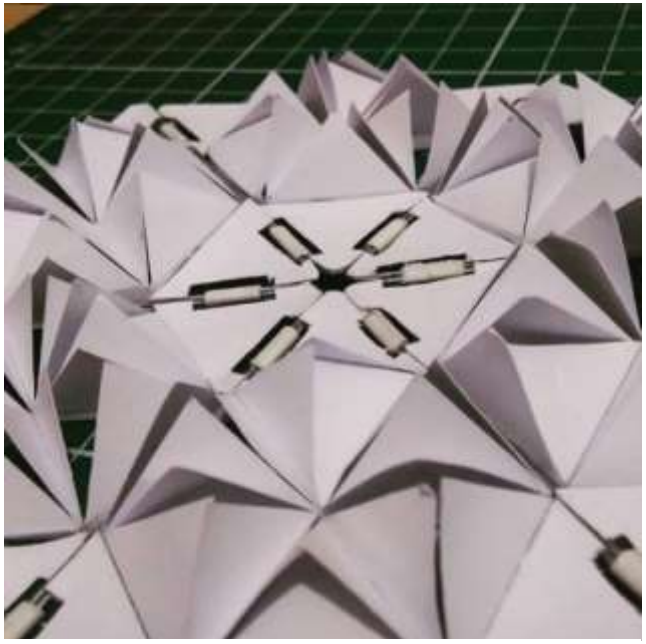


FIG 19. Modelo previo sistema Kopiwe

Elaboración propia

Durante el taller avanzado del primer semestre del año 2016, se realizó un taller perteneciente al área Bioclimática / Computacional que contó con la participación de un arquitecto invitado Guillermo Parada. La temática desarrollada en el Taller "Paracrafting" planteaba como objetivo principal diseñar estrategias paramétricas análogas para la producción de piezas arquitectónicas, mediante estrategias de diseño digital y la expresión en el mundo físico de este, basado en diseño, modos de producción y funcionamiento de sistemas de fachadas análogas.

El tema que nos tocó investigar y desarrollar, consiste en sistemas reactivos a condiciones medioambientales mediante la combinación de materiales, particularmente se estudió la dilatación y contracción de metales para luego estos ser traducidos a movimientos de la fachada que mejoran el rendimiento energético del edificio.

Es así como en ese contexto de investigación se llegó al Nitinol, elemento actuador que el primer prototipo utilizaba.

9.1 CONCLUSIONES PRIMER PROTOTIPO

La primera propuesta de sistema fue exitosa, ya que se logra accionar ante la presencia de calor, pero a medida que se realizaron más pruebas, comenzó a ser notoria la posibilidad de presentar fallos, por lo tanto, se concluye que:

Todo el accionar de este sistema radica en qué tan eficiente es el elemento actuador, en esta etapa de la investigación el material disponible no es lo suficientemente fuerte y su formato comercial implica desafíos mecánicos y de diseño que limitan aún más la eficiencia de este. Por lo cual se requiere encontrar un elemento actuador capaz de responder a los cambios de temperatura de un ambiente teniendo la fuerza suficiente para desplazar mayores cargas y de manera efectiva.

Otra situación que impide su implementación en un entorno real es que la temperatura de accionamiento del sistema, esta bordea los 40[°C] por lo cual se emplearon pistolas de calor para el desarrollo de las pruebas. Esta temperatura se obtuvo en base a las características de temperatura que propias del resorte de Nitinol y que fueron informadas por parte del proveedor que hasta ese momento era la único, Estos parámetros térmicos son posibles, pero no en el contexto local en que fue puesto a prueba.

Luego de realizar las pruebas de carga al resorte de Nitinol, se concluye que el desempeño de este elemento actuador es poco predecible, por lo cualquier estimación matemática en base a las características propias de los resortes no aplica en este caso. Paralelamente el resorte utilizado para las pruebas tuvo que ser descartado ya que había perdido sus capacidades dinámicas. Esto fue reafirmado durante la investigación del estado actual (Lagoudas, Miller, Rong & Kumar, 2009). Quienes plantean que las propiedades termo hidráulicas, sufren fatiga asociada con las transiciones de fase que se producen en las *"aleaciones con memoria de forma"* lo cual limita su longevidad.

Otro factor es la disponibilidad de materiales, el marco y el carril del eje fueron desarrollados en Alucobond (aluminio compuesto), en vez de piezas Aluminio sólido como había sido proyectado inicialmente, esto provoca fricción entre carril y el eje, limitando el desplazamiento libre del carril a lo largo del eje, por lo cual se utilizaron lubricantes para mejorar el desplazamiento del carril. Es por esto Así mismo las uniones entre módulos no

y porque el material no fue desarrolladas lo suficiente, dejando un margen de libertad e inestabilidad, causando que el sistema no conforme una estructura capaz de mantener una forma definida o soportar su propio peso**.**

Todos estos puntos antes tratados, deben ser considerados en el desarrollo del próximo prototipo.

10 LAS CERAS

Las ceras han sido usadas en múltiples aplicaciones a lo largo de la historia, ya que estas son fáciles de obtener y refinar. Una de las principales propiedades de las ceras es que su volumen se altera en respuesta a la temperatura, poseen un coeficiente de expansión positivo, es decir, se expande tanto en fases sólidas como líquidas cuando aumenta la temperatura, este aumento de volumen es aproximadamente del orden del 10 al 20% (Lagoudas, Miller, Rong & Kumar, 2009).

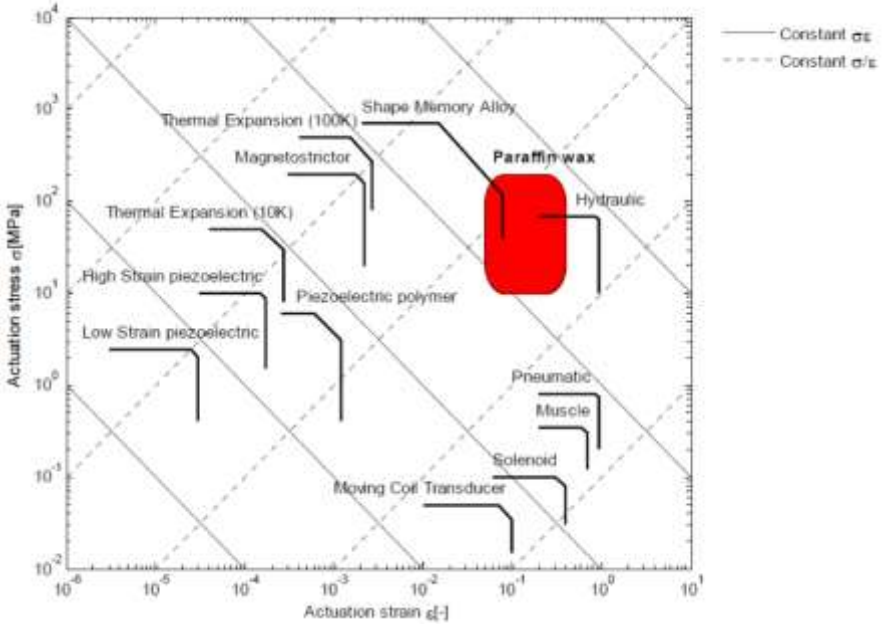


FIG 20. El perfil de tensión-estrés de actuadores de cera en comparación con alternativas

Fuente: del gráfico en (p. 101 en Loveday Y Long, 2007)

Los actuadores considerados en su estudio incluyeron: Actuadores piezoeléctricos de baja tensión, tal como el Cuarzo, tantalato de litio; Actuadores piezoeléctricos de alta tensión, p. PZT (titanato zirconato de plomo); Polímeros piezoeléctricos, PVDF (fluoruro de polivinilideno) ; Aleaciones con memoria de forma, como el Nitinol (níquel-titanio); Actuadores magnetoestrictivos, como el "Terfenol"; Actuadores de expansión térmica , como las tiras bimetálicas; Actuadores hidráulicos y neumáticos, Actuadores electromagnéticos, p. solenoides, transductores de bobina móvil y motores (excluyendo motores de carrera infinita), y Actuadores naturales, como por ejemplo músculo. El área en rojo en sector superior derecho delimita el rango efectivo de las parafinas

En grafico las líneas con pendiente +1 (Constante σ/ε) relaciona actuadores que poseen rigidez similar. Mientras tanto, las líneas con pendiente -1 (Constante σε) relaciona actuadores con densidad de energía comparable.

Paralelamente bajo pruebas termo-hidráulicas, poseen un comportamiento estable, ya que no sufren *"stress fatigue"* asociada a los cambios de fase, como si ocurre son su contraparte las aleaciones con memoria de forma, *lo* cual limita el su longevidad y desempeño. Actualmente es considerado uno de los materiales de mejor rendimiento dinámico en comparación a otros elementos actuadores actualmente disponibles (Loveday & Long, 2007)

A partir de esto, se determina que los actuadores ubicados en la parte superior derecha del gráfico (Ceras a base de parafinas, aleaciones con memoria de forma y actuadores hidráulicos), son idóneos para levantar pesas o desviar estructuras

A pesar de esto, las aleaciones con memoria de forma disponen de movimiento limitado, lo cual los vuelve menos atractivos en comparación a las anteriores mencionadas. Junto con esto, las aleaciones con memoria de forma y las ceras a pesar de tener una alta densidad de energía, tienen una lenta respuesta motora, ya que necesitan conducir el calor en la totalidad del sistema para activar los

mecanismos motores. Por lo tanto, se concluye que presentan un mejor comportamiento en aplicaciones de baja frecuencia o casi estáticas. Esto es graficado en el rectángulo rojo delimitando el área en donde de efectividad de los actuadores de cera en base de parafina.

Otra de las propiedades mecánicas que las ceras han demostrado que son capaces de soportar presiones de 1GPa (Nelson, Webb and Dixon 1960) y capacidad de lograr fuerzas de bloqueo de presiones del orden de 50 MPa (Loveday & Long, 2007).

La evidencia de la estabilidad termo física de las ceras vuelve a ser corroborada bajo pruebas de resistencia, las cuales determinan que la durabilidad de las ceras es de aproximadamente 50.000 ciclos de trabajo (Tibbitts, 1988). Esto junto a los 30.000 ciclos de MTBF, que corresponden al tiempo medio esperado entre dos fallas para un sistema reparable (Schiano et al., 2000).

En consecuencia, dadas las propiedades físicas de las ceras, estas son un elemento con cualidades termofusibles, capaz de ser una alternativa ante los actuadores electromecánicos o hidráulicos aplicados a sistemas de fachadas dinámicas.

10.1 PISTONES HIDRÁULICOS RELLENOS DE CERA.

A mediados de los años 80 se comenzó a desarrollar un sistema de apertura de ventanas para invernaderos, estos sistemas utilizan pistones hidráulicos rellenos de cera termosensible. Esta combinación aprovecha las principales propiedades termodinámicas de las ceras y la estabilidad física de los actuadores hidráulicos (Loveday & Long, 2007).

Estos pistones son un elemento constructivo autocontenido, sin necesidad de utilizar energía eléctrica, tuberías y cableado. Además, son considerados motores de calor, ya que convierten el calor en movimiento mecánico. La mayoría de estos motores se componen de dos elementos:

-Un cuerpo hueco y rígido donde es encapsulada la cera, es capaz de contener las fuerzas hidrostáticas que se producen cuando la cera se expande, generalmente es de color negro ya que aporta a la absorción de calor.

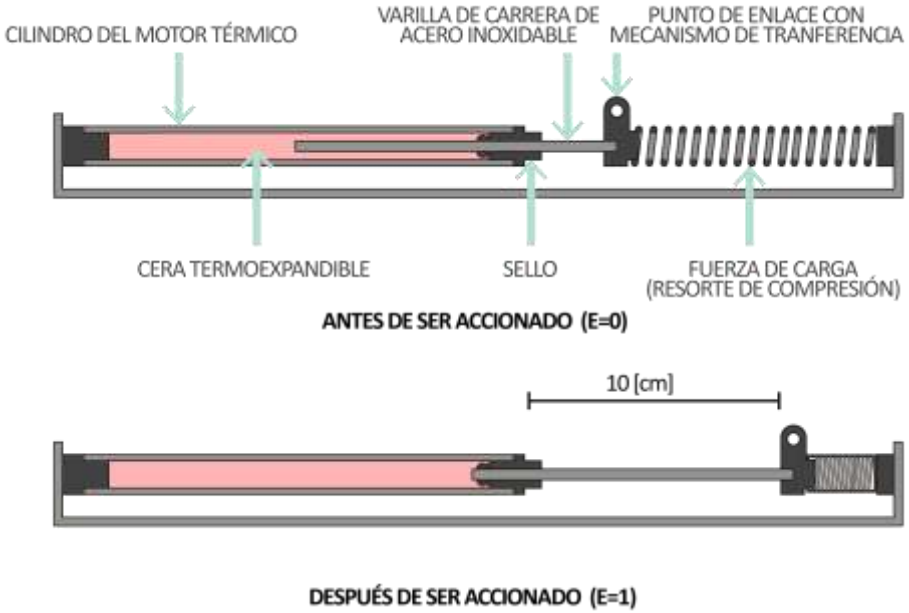


FIG 21. Diagrama de corte de un pistón hidráulico con varilla de carrera

Fuente: del gráfico en (p. 16 en Leung, 2014)

-Una “varilla de carrera”, que es la que finalmente suscita el movimiento. Esta se encuentra parcialmente dentro del pistón, esta termina siendo desplazada proporcionalmente por el cambio de volumen de la cera cuando ésta se calienta.

10.2 FUNCIONAMIENTO PISTÓN

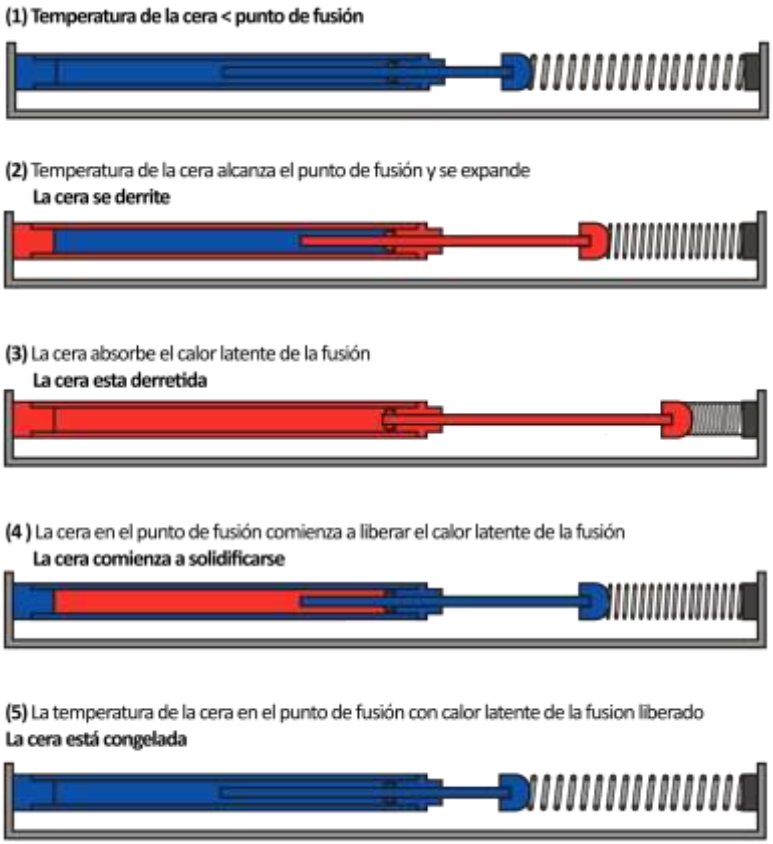
De estos pistones al calentarse y al aumentar el volumen de la cera en su interior desplaza la varilla de carrera de donde se obtiene un movimiento lineal. Cuando la cera se enfría el pistón requiere una pequeña fuerza para volver a introducir la varilla de carrera dentro del cuerpo. Esta fuerza es de aproximadamente 20 a 30% de la fuerza que produce el pistón en sí, esta fuerza se define como “Fuerza de Polarización” (Duerig, Melton, Stöckel & Wayman, 1990) esta fuerza generalmente es realizada por un resorte de torsión integrado al sistema.

(1) En una primera etapa la temperatura del pistón se encuentra en equilibrio con la de su entorno, esta temperatura es menor al punto de fusión de la cera. La cera se encuentra en estado sólida y la varilla de carrera retraída.

(2) A medida que la temperatura del entorno aumenta, la energía calórica comienza a calentar el cuerpo del pistón, esto hace que por convección pasiva la cera comience a calentarse igualmente, pero sin alcanzar aun su punto de fusión completa. La varilla de carrera comienza a avanzar. La cera comienza a expandirse, pero al mismo tiempo baja su densidad

FIG 22. Diagrama de Secuencia de procesos durante el ciclo de trabajo de un motor de calor

Fuente: (Leung, 2014)



(3) La temperatura del entorno es superior a la temperatura de la cera, esto causa que toda la cera se termine de derretir causando que la varilla de carrera este completamente extendida y el cuerpo del pistón alcanzara su máxima temperatura causando que baje la densidad de la cera, pero al mismo tiempo alcanza su máxima expansión.

(4) Cuando la temperatura del entorno comienza a bajar, la cera libera el calor y comienza a cristalizarse y la densidad aumenta. Es en este punto donde se requiere alguna fuerza mecánica vuelva

a insertar la varilla de carrera dentro del pistón, esta fuerza puede ser aplicada por un resorte o alguna carga asociada al sistema

Uno de los factores que determina los rangos de temperatura del pistón es la pureza de la cera, es decir, mientras más refinada es la cera, menor es el rango de temperaturas en donde se acciona y se desactiva, en cambio, si la mezcla de ceras es de baja pureza, este rango entre el punto de fusión y la temperatura máxima se amplía (Leung, 2014).

10.3 FUNCIONAMIENTO PISTON + SISTEMA

FIG 23. Diagrama de piezas sistema de apertura de ventanas

Fuente: Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981", 2016

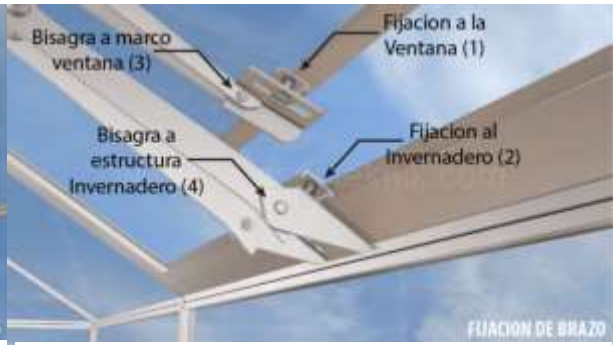


FIG 24 . Diagrama de fijación de brazo a estructura

Fuente: Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981", 2016

El sistema completo se compone de un brazo actuador compuesto de aluminio, por lo cual es altamente resistente a la corrosión, este se engancha a presión a los marcos de la ventana (1) y al invernadero (2) en donde se instalará. Cada una de estas conecta con una bisagra (3 y 4), las cuales permiten el movimiento de rotación respecto al brazo.

Este movimiento se desarrolla en el mismo eje lineal 1 grado de libertad cada una). Posteriormente el pistón es ensamblado en uno de los puntos principales de articulación del brazo, en este punto existen dos bisagras, una donde el pistón se une al brazo (5), y la segunda es parte del diseño para optimizar el funcionamiento del pistón (6), maximizando así su apertura con la carrera mínima de la varilla del pistón.

Cuando la temperatura del entorno comienza a bajar y la cera se cristaliza, el resorte integrado en brazo (7) junto con el peso propio de la ventana son los encargados de volver a insertar la varilla de carrera dentro del pistón.

Cada bisagra representa un grado de libertad que actúan de manera lineal en el sistema de apertura de ventanas.

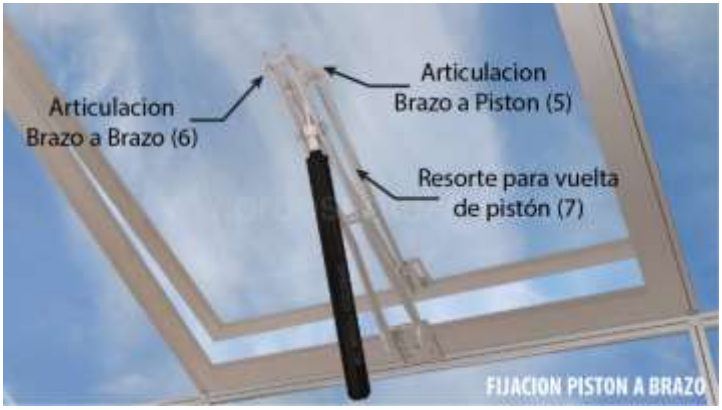


FIG 25. Diagrama de fijación de pistón a brazo

Fuente: Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981", 2016

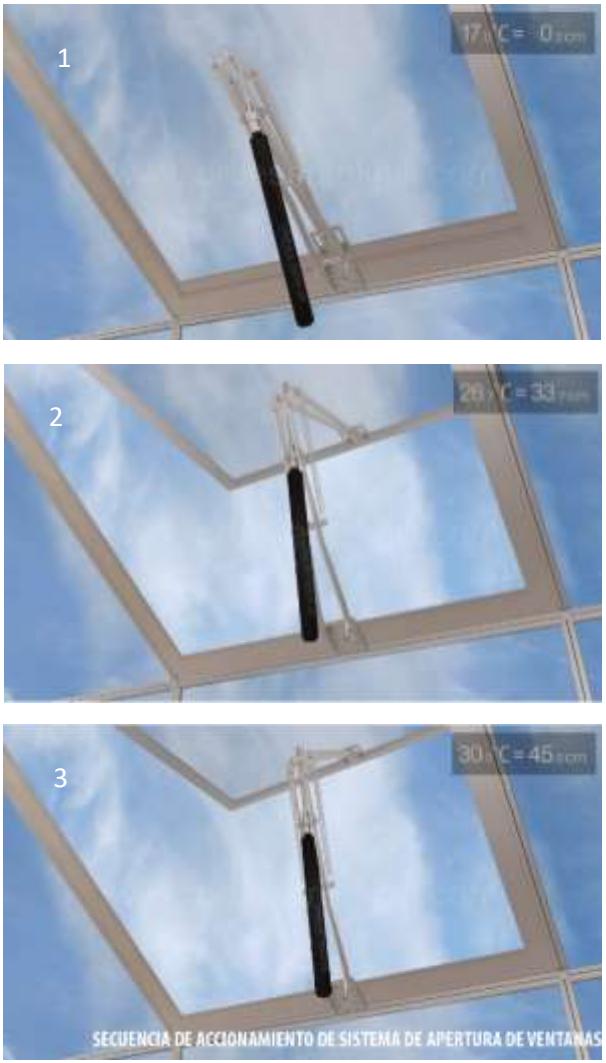


FIG 26 . Diagrama de secuencia de accionamiento de sistema de apertura de ventanas

Fuente: Windows/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981", 2016

10.4 PROVEEDORES

Dentro de la investigación, se encontraron a nivel internacional dos proveedores de pistones rellenos de cera termosensible, uno de ellos es Bayliss y el otro es J. Orbesen Teknik ApS.

FIG 27. J Orbessen Teknik

Fuente: (J. Orbesen teknik ApS, 2016)

Se eligió trabajar con los pistones del proveedor J. Orbesen Teknik ApS., ya que poseen una mayor cantidad de opciones de pistones disponibles. Además, cuentan con información detallada sobre el tipo de cera que tiene el pistón, extensión del pistón, temperaturas y cuando esta alcanza el punto de falla.

10.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS PISTONES:

Los archivos originales de EETT de los pistones de cera termo-sensible se adjuntaran en el anexo, lo siguiente es una vectorización de la información

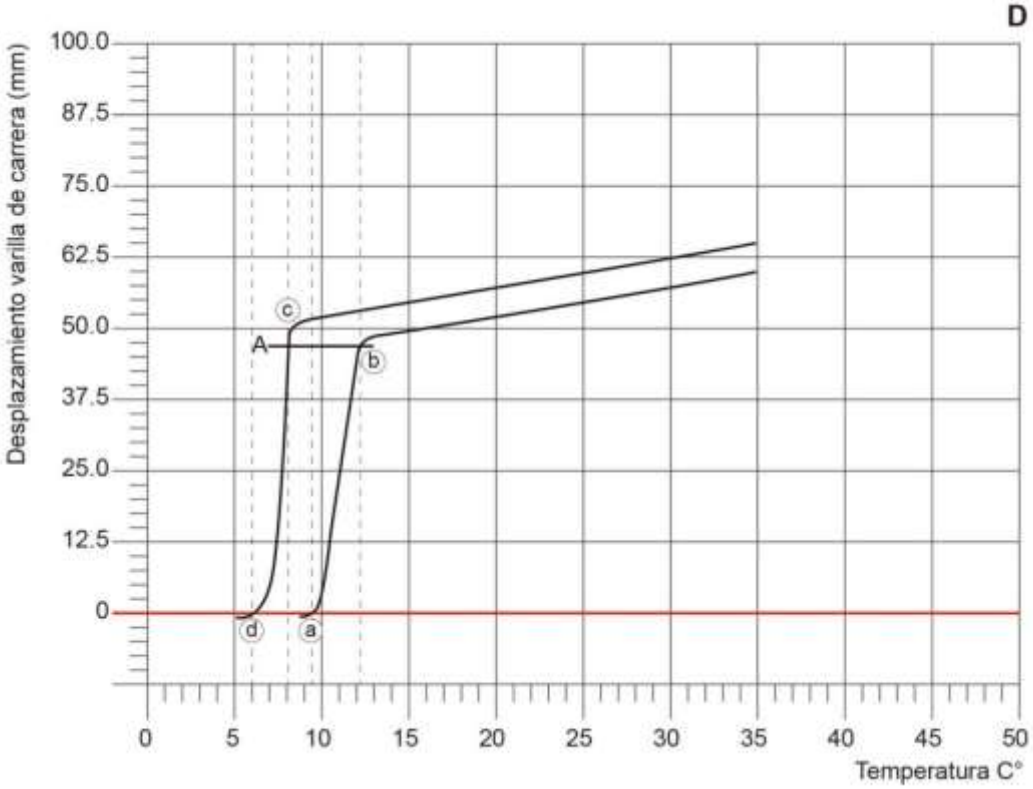


FIG 28. Especificaciones técnicas correspondientes a cera tipo D.

Fuente: (J. Orbesen teknik ApS, 2016)

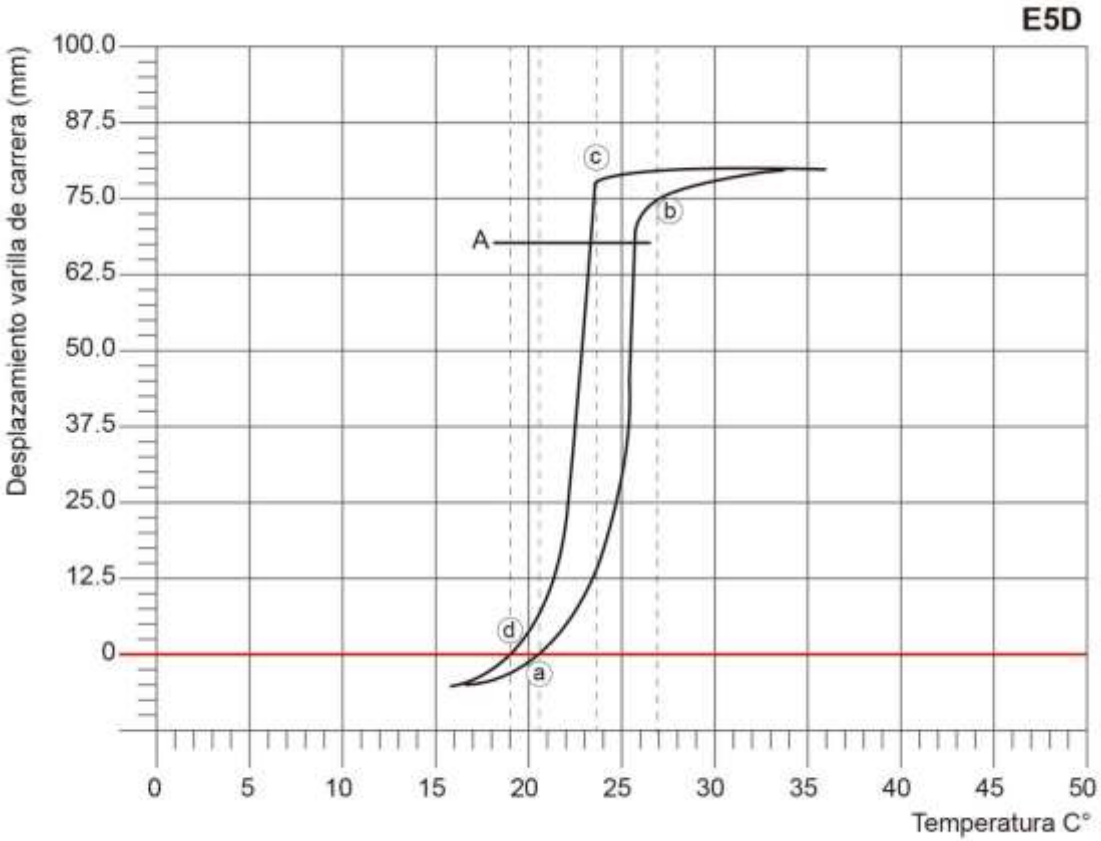


FIG 29. Especificaciones técnicas correspondientes a cera tipo E5D.

Fuente: (J. Orbesen teknik ApS, 2016)

10.5.1 LO QUE PLANTEA LA EETT:

1.- El movimiento del pistón bajo la línea 0 se define como la longitud de carrera en 0, la barra del pistón se extiende 15 +/- 5 [mm].
2.- Por encima de la línea A, el pistón puede impedirse (ser detenido) sin dañar el cilindro.
3.- La curva de se ha determinado utilizando una carga de 33 [kg] para cargas mayores o menores, la carrera del pistón cambiará aproximadamente en 2,5% de la longitud de carrera por cada 10 [kg].
4.- El cilindro ha estado en condiciones de temperatura estable durante 6 horas en cada una de las mediciones.

10.5.2 EL BRAZO ACTUADOR

Para que el pistón llegue a realizar la apertura de la ventana, necesita de un elemento mecánico que finalmente realice este movimiento, actualmente el fabricante posee variadas opciones disponibles en función a la carga que deben realizar, espacio disponible, material, color, temperatura de accionamiento variable. Estos brazos incluyen un manual en donde se indican datos que de desempeño que no tienen relación con lo indicado en la EETT individual de cada cera de pistón, el manual indica:

-Máxima apertura de ventanas 45 [cm] app. dependiendo del ajuste y carga.

-Máxima apertura a los 30 [°C]

-Temperatura de inicio de apertura 17°-25 [°C]

-Puede levantar hasta 7 [Kg]

Además de que existen divisiones (12, ver figura 30) que limitan la apertura de 45 [cm] a 32 [cm], se instalan en el pivote (D, ver figura 30) del brazo K (4, ver figura 30) limitando así su apertura. Además, informa que es posible modular la temperatura de accionamiento de los elementos actuadores mediante el ajuste del cilindro en el hilo (E, ver figura 30) que lo mantiene sujeto al brazo actuador (2, ver figura 30), se estima que unas vueltas del hilo equivalen a 0.5[°C] de cambio de temperatura de accionamiento.

Recomiendan ajustar la temperatura de accionamiento del sistema de apertura cuando la temperatura sea constante, ya sea soleado o nublado además que no recomiendan la instalación de este sistema en lugares donde la temperatura supera los 50[°C].

Desde que se adquirieron los elementos actuadores, el fabricante ha implementado nuevos productos, accesorios y mejoras a los ya existentes. Una de estas mejoras es la implementación de diferentes tipos de cuerpos con mayor capacidad y desempeño, diseñados para brazos de accionamiento para cargas mayores o climas adversos. Así mismo posee dentro de sus productos resortes 'pull back spring' (resorte de retracción) diseñado para cada brazo y con diferentes firmezas disponibles para cada uno. Entonces se diseñan los brazos en base a la carga a portar, dirección de pistón y materialidad, luego se diseñan los cuerpos de pistón en función a estos brazos, en algunos casos la cantidad de cera que contiene este cuerpo de pistón varía, esta cera es lo que finalmente determina la temperatura de accionamiento del sistema. De igual manera los resortes para que realicen la vuelta al estado cero, están diseñados en función al brazo.

Se observan inconsistencias entre la información dada por el fabricante respecto al desempeño de los pistones rellenos de cera y el brazo actuador, es por esto que son necesarias las pruebas de desempeño de actuador.

PARTES DEL BRAZO ACTUADOR

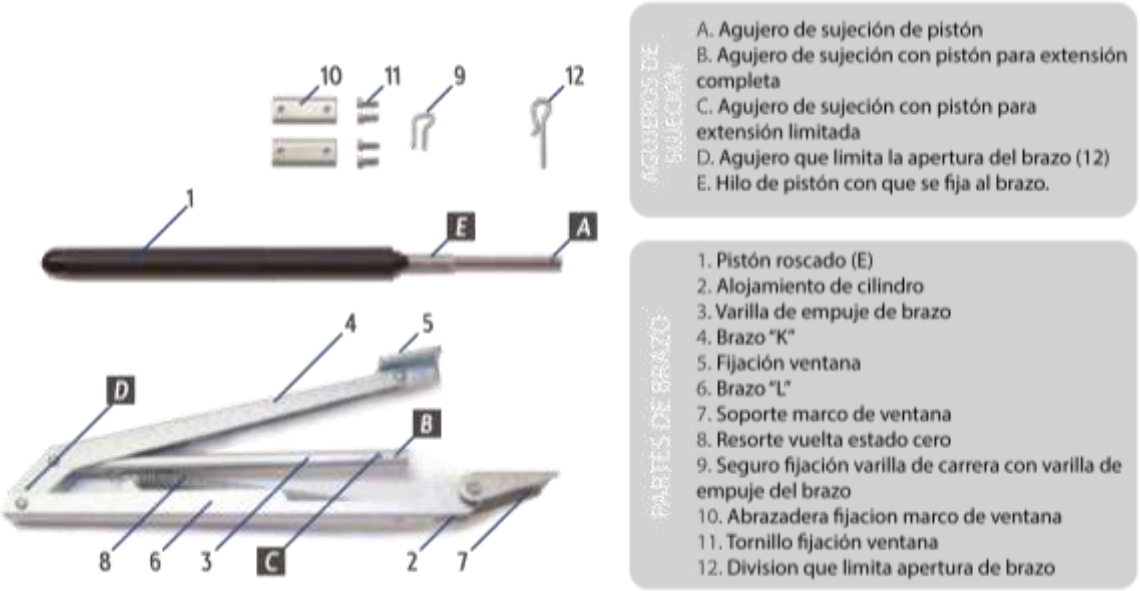


FIG 30. Partes del brazo actuador.

Fuente: (J. Orbesen teknik ApS, 2016)

BRAZOS DISPONIBLES EN PÁGINA DE PROVEEDOR

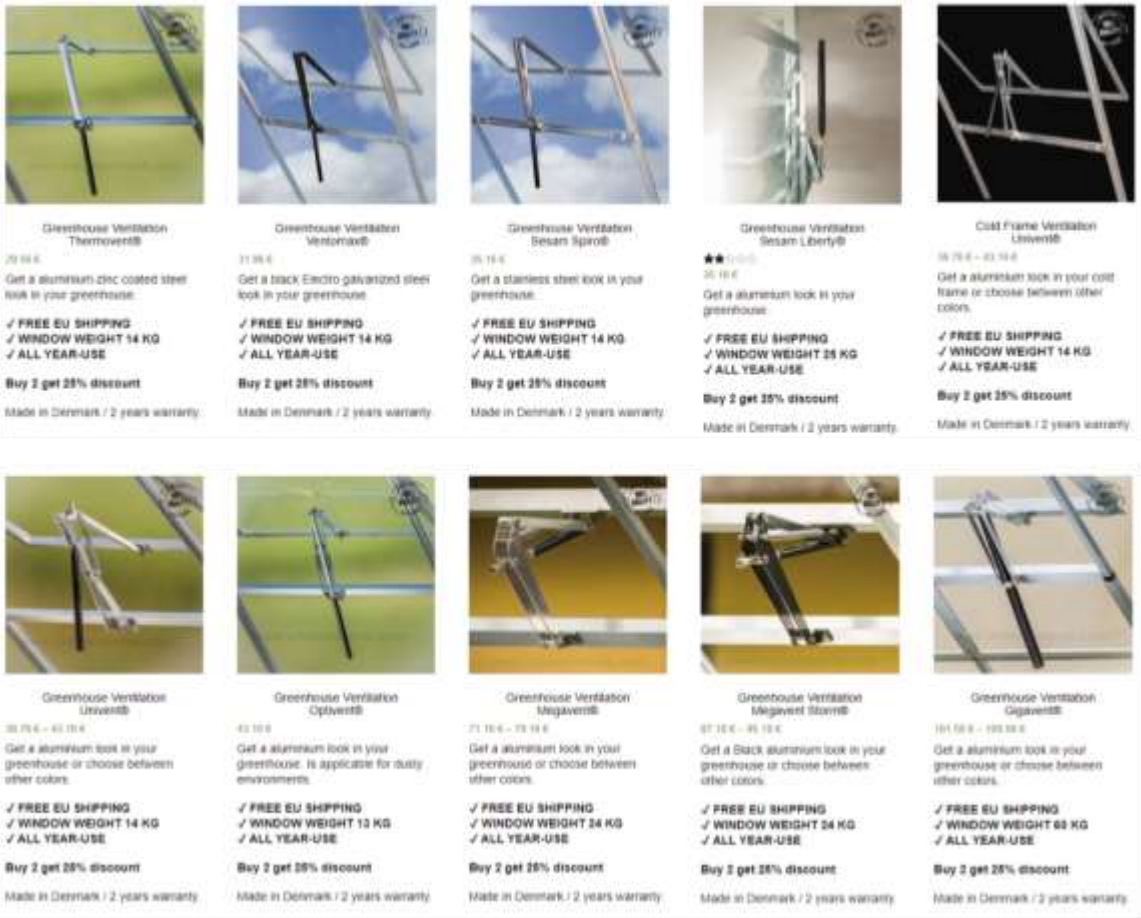


FIG 31. Brazos disponibles en página de proveedor.

Fuente: (J. Orbesen teknik ApS, 2019)

OBJETIVO

ESPECÍFICO 1

11 OBJETIVO ESPECÍFICO 1:

Identificar restricciones físicas y de rendimiento del elemento actuador, para así obtener los límites de diseño del sistema de fachada dinámica.

11.1 PRIMERA ETAPA DE PRUEBAS: PRUEBAS EN EXTERIOR

Las primeras aproximaciones para estudiar el comportamiento del elemento actuador. Se realizaron para probarlos en un contexto exterior real. Es necesario aclarar que en esta primera instancia de pruebas, no fueron pensadas para obtener datos exactos respecto al desempeño de los pistones, ya que no se realizaron la cantidad de ensayos requeridos para obtener un muestreo amplio que permita contar con promedios confiables, lo que se buscó en esta etapa es un acercamiento inicial al comportamiento de los pistones para observar rasgos generales, como las temperaturas efectivas de accionamiento, temperaturas superficiales del pistón, reconocer diferencias de desempeño en cuanto al acceso de radiación solar, estimar tiempos de accionamiento y corroborar o refutar lo que plantea las EETT de cada cera de pistón y al mismo tiempo las oportunidades y desventajas del uso de este elemento.

11.2 CONTEXTO DE PRUEBAS

Las pruebas iniciales se realizan en la ciudad de Valparaíso, en la terraza norte dentro del departamento de arquitectura de la UTFSM (33°02'06.5"S 71°35'45.7"W). el lugar de pruebas fue elegido por la ubicación norte que posee acceso a radiación solar constante, además de no contar con ninguna interrupción importante que proyecte sombra a la estructura de prueba

Se construyó una estructura donde pistones se posicionan (Figura 33), siendo estos capaces de informar posición y el desplazamiento realizado por la varilla de carrera de cada pistón, la estructura tiene capacidad para probar 6 pistones al mismo tiempo, 3 de ellos en situación sur-sombra y los otros 3 en situación norte (Figura 34) con caja de microclima (Figura 32).

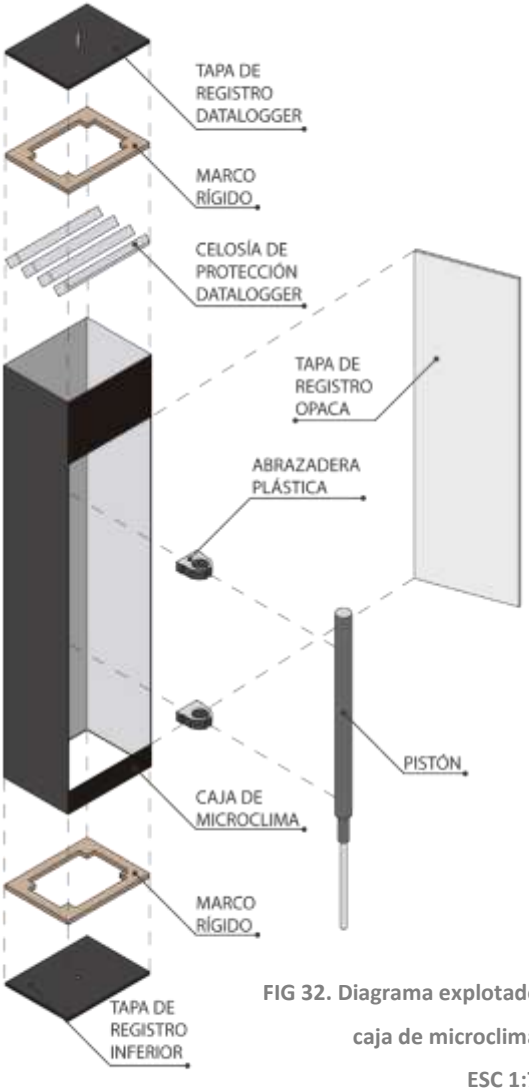


FIG 32. Diagrama explotado caja de microclima ESC 1:7

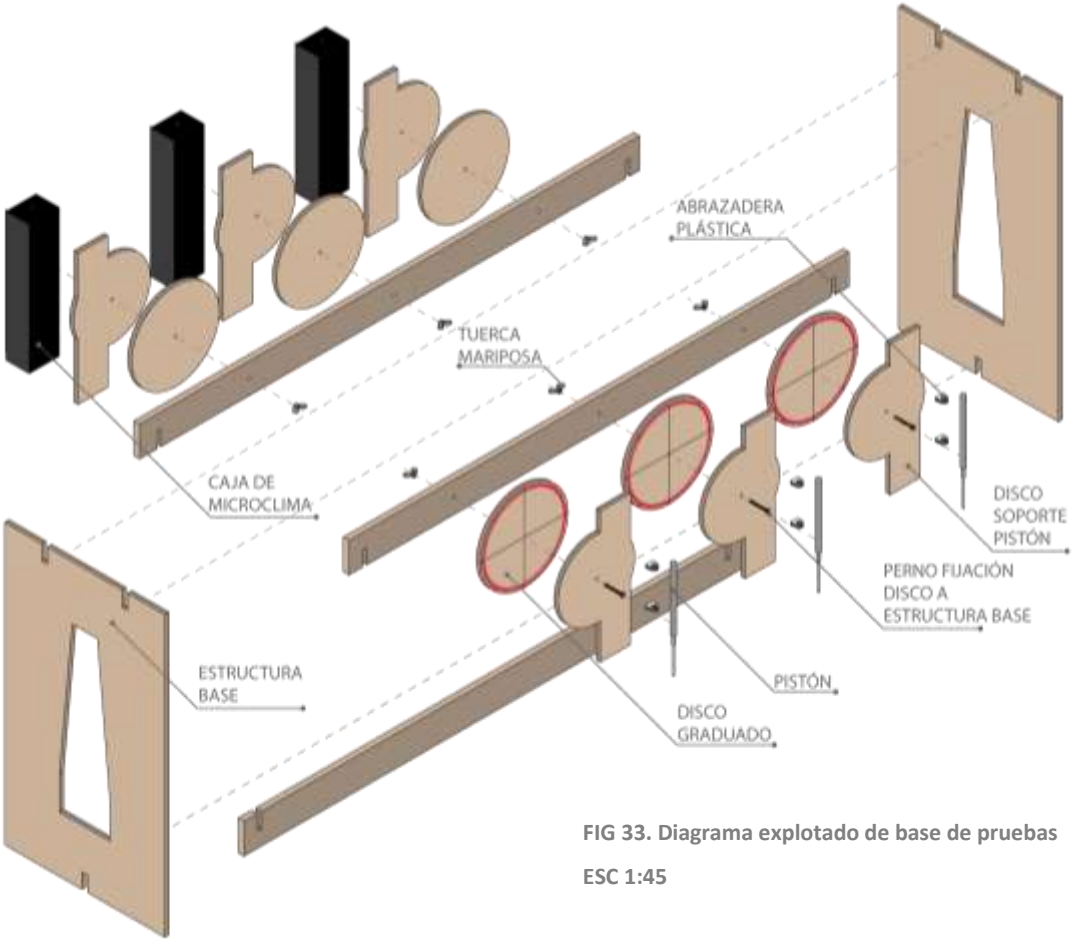


FIG 33. Diagrama explotado de base de pruebas

ESC 1:45

FIG 34. Diagrama de posición base de pruebas + fotos proceso realización

ESC 1:50

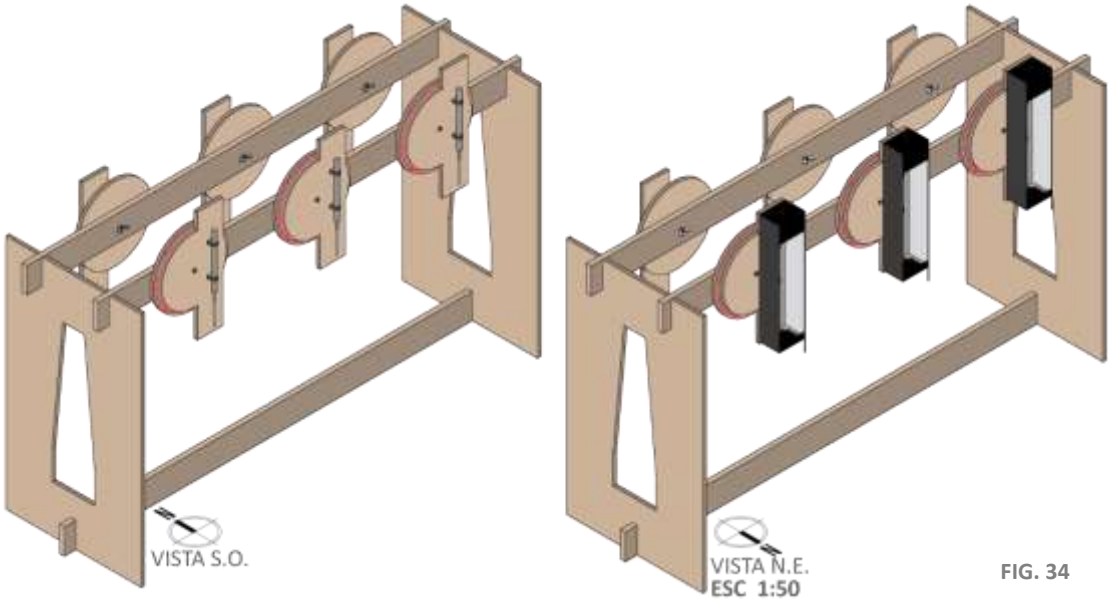


FIG. 34

11.3 DISEÑO DE PRUEBA

Se monitorean tres variables físicas cuantificables mediante el uso de instrumentos de medición térmica, con el objetivo de estudiar la manera en que se gatilla el accionamiento de este elemento actuador, así mismo identificar variables no consideradas previamente que juegan un rol dentro de este proceso de activación. Como la disposición ante la luz solar o la posición final que adoptará en el sistema fachada a diseñar.

Temperatura superficial de cuerpo de pistón
Temperatura dentro de entorno microclima
Temperatura ambiente de pruebas _ comparativa situación norte / sur

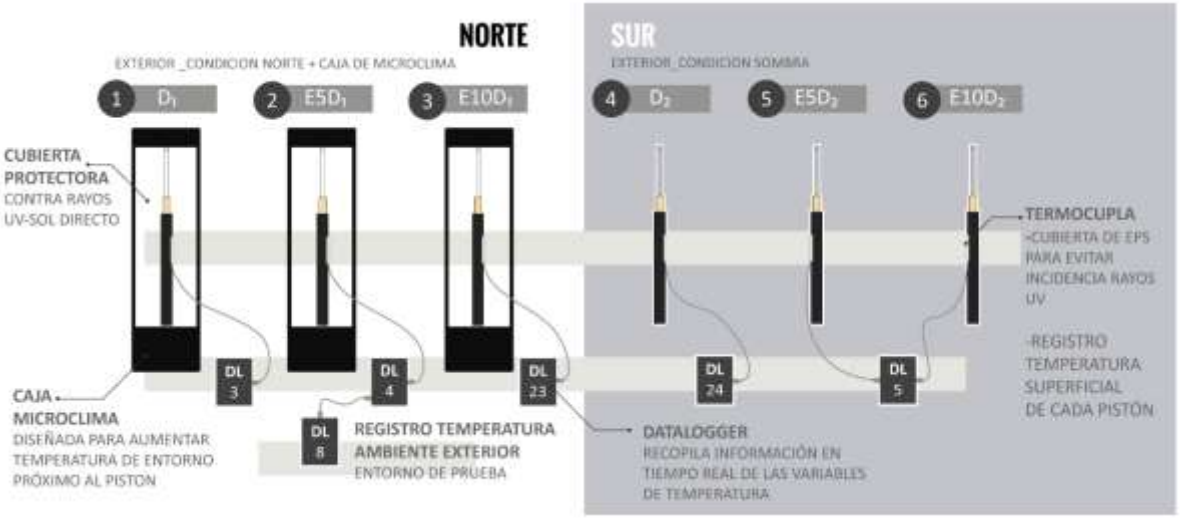


FIG 35. Diagrama diseño de prueba

Obtenidas las mediciones, se definen 3 ejes de información que de manera comparativa se analiza el desempeño del elemento actuador, siento estas:

-Temperaturas [°C]

-Superficial de cuerpo de pistón _ Termocupla

-Dentro de entorno microclima _ Datalogger

-Ambiente de pruebas _ Datalogger [situación Norte y Sur]

-Tiempo de prueba[min] _ cronómetro

-Desplazamiento varilla de carrera [mm] _medición manual

-Posición del elemento actuador [0° / 90° / 180°] _ disco graduado en base de pruebas

Es necesario destacar que, durante el proceso de pruebas algunas de las lecturas tomadas por las termocuplas, registraron mediciones que rodean los 100°C por ello son consideradas lecturas no válidas. Esto orienta el análisis de desempeño en las mediciones de pistón con cera E10D cuyas mediciones recopiladas permiten realizar estos primeros análisis.

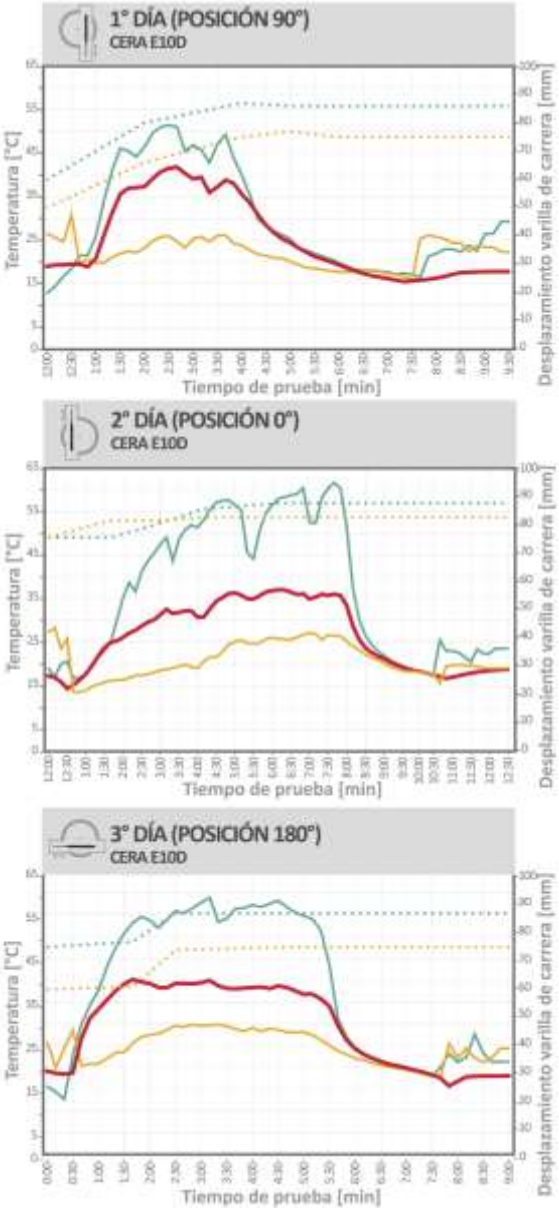
11.4 DESEMPEÑO DE ELEMENTO ACTUADOR

Durante la primera ronda de pruebas, se observa la coherencia entre la temperatura de la superficie del cuerpo de los pistones y la del ambiente, en donde ambas siguen el mismo patrón, aun así, los ubicados al sur permanecen en un rango de temperatura menor.

Esta diferencia en las temperaturas superficiales no afecta el rendimiento final del pistón, ya que, en ambas disposiciones, tanto norte como sur exhiben comportamiento similar alcanzando su máxima extensión simultáneamente. Sin embargo, logran

FIG 36. Comparativa grafica desempeño pistón tipo E10D en diferentes posiciones.

El gráfico muestra la comparación entre temperaturas de cuerpo de pistón en disposición norte y sur, en contraste a la temperatura del ambiente de pruebas exterior. Aún así, a pesar de mostrar diferencias en la transmisión de energía térmica al cuerpo del pistón, en ambas situaciones es capaz de desarrollar desplazamiento de la varilla de carrera.



diferenciarse en la extensión final lograda, donde los pistones dispuestos al norte se extienden en promedio 10 [mm] más que los hacia el sur.

11.4.1 TIEMPO DE RETRASO

Dentro del análisis de la información recopilada se determina aislar tanto el estímulo inicial, como la resultante final y así de manera gráfica llegar a establecer relaciones e identificar patrones de comportamiento, tanto de activación como de funcionamiento en un ambiente exterior local, resaltando las siguientes:

APORTE TÉRMICO_ entrada de calor al sistema_ ambiente exterior

RENDIMIENTO DE MOVIMIENTO_ expresión física del aumento de temperatura _extensión varilla de carrera.

Una de las primeras relaciones a establecer es el vínculo entre el cambio de fase y el tiempo que le toma al pistón situado en un contexto exterior, llegar a experimentar desplazamiento de varilla de carrera. Con el objetivo de poder idear una pauta de comportamiento, teniendo en cuenta el prototipo de fachada inicial.

ÁREA ROJA _ APORTE TÉRMICO (TEMPERATURA [°C] / TIEMPO [MIN])

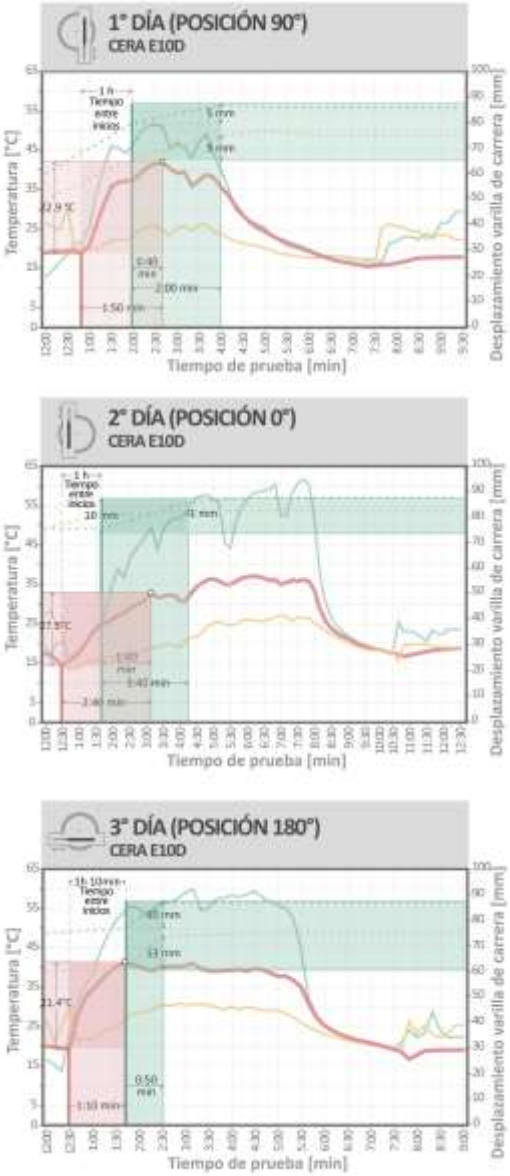
Se destaca las variables asociadas a la temperatura del ambiente de pruebas que pone en marcha la activación del pistón, sobre todo la primera alza de temperatura del día, la cual deja en evidencia

elcambio de fase de la cera dentro del pistón, así mismo el tiempo requerido para comenzar un ciclo de movimiento hasta alcanzar la máxima extensión posible.

Esto nos permite inferir que el peso propio de las piezas del pistón no altera el desempeño de este, ya que, tanto el primer y segundo día de pruebas en donde el pistón se encuentra en posiciones contrarias, 90° y 0°, estando la primera posición a favor de la gravedad, implicando que el tiempo que toma empezar la extensión es menor. Aun así, en ambas posiciones les toma el mismo tiempo en comenzar el desplazamiento de varilla de carrera.

FIG 37. Comparativa grafica desempeño pistón tipo E10D en diferentes posiciones.

El grafico muestra la comparativa de desempeño a lo largo de los días de prueba en donde se destacan las áreas asociadas al estimulo inicial y la respuesta final destacando las relaciones que ocurren ente ambas, como el tiempo entre inicios, las extensiones significativas y tiempos estimados de acción.



ÁREA VERDE_RENDIMIENTO MOVIMIENTO (DESPLAZAMIENTO [°C] / TIEMPO [MIN])

Se resalta el área de tiempo y desplazamiento de varilla de carrera cuando el elemento actuador comienza a expresar el primer aumento de temperatura del ambiente de pruebas.

Esto queda en evidencia en la curva de desplazamiento, en donde existe un punto que refleja un aumento en el ritmo de la extensión, evidenciando la subida de temperatura tras la primera alza del día. Es en este punto que inicia el área resaltada en el gráfico.

Se destaca que desde la primera alza de temperatura del día hasta que el pistón es capaz de expresar esta alza, le toma 1 hora realizar el cambio de fase de la cera interna.

11.4.1 DESPLAZAMIENTO EFECTIVO VS. DESPLAZAMIENTO INFORMADO POR FABRICANTE (EETT)

FIG 38. Comparativa entre desempeño informado vs desempeño en pruebas en diferentes posiciones

La comparativa de gráficos muestra la diferencia entre el desempeño registrado en las pruebas y lo que informa el fabricante ante estas mismas condiciones, resultando en áreas sin datos a pesar que durante las pruebas el elemento no alcanza a llegar a su límite real.

Considerando que es un elemento de uso agrícola para ser empleado en contextos altamente controlados como los invernaderos. La información brindada por el fabricante al momento de adquirir los pistones no representa el comportamiento del elemento actuador ante contextos exteriores, sobre todo cuando se compara el desplazamiento real de los pistones en las distintas disposiciones probadas.

La curva construida al interpolar las mediciones de temperatura en el entorno de pruebas y el desempeño de desplazamiento informado por el fabricante no registra el rango de que el pistón estuvo expuesto resultando en áreas grises sin datos que representar.

El área amarilla muestra la diferencia entre el comportamiento en pruebas de los pistones y lo que indica el fabricante, pese a esto el elemento actuador tiene un desempeño mayor que el informado, por lo cual se requerirán más pruebas para determinar el funcionamiento y límites reales de este elemento.

11.5 CONCLUSIÓN PRUEBAS

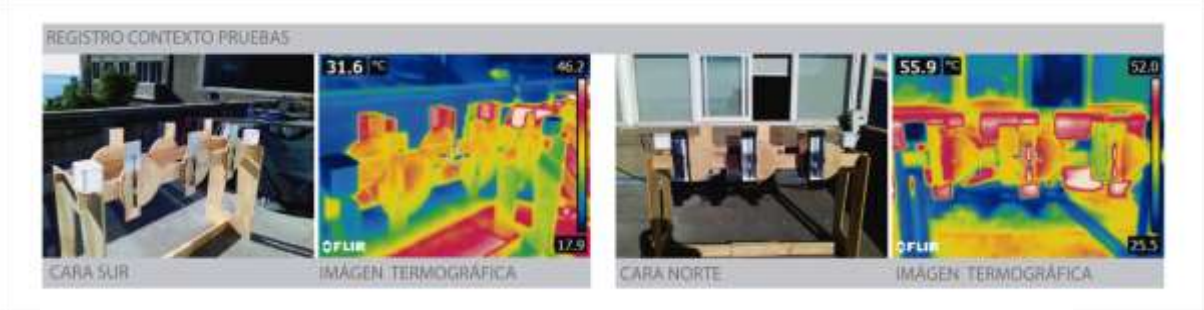


FIG 39. Fotos registro contexto de pruebas exterior disposición Norte/Sur + imagen termográfica

11.5.1 ACCIONAMIENTO DEL ELEMENTO ACTUADOR NO DEPENDE ÚNICAMENTE DE LA PRESENCIA DE SOL DIRECTO

Se observó a lo largo de la prueba y comparando el desempeño entre los pistones de disposición Norte y Sur, que son capaces de desplazar la varilla de carrera independiente de la presencia de sol directo, en el caso de los pistones en disposición Sur, este si se realiza desplazamiento, pero son susceptibles a los cambios de temperatura ambiental, ya que el único factor que suscita su cambio de fase es la temperatura del aire que lo rodea.

Los pistones en disposición Sur-sombra tienen un tiempo de respuesta mayor

11.5.2 LOS TIEMPOS DE RESPUESTA SON VARIABLES DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

En el proceso se prueba el desempeño de los pistones en un ambiente exterior, considerando dos disposiciones simúltaneas de prueba, una disposición norte-soleado y otra disposición sur-sombra. En ambas disposiciones se prueban los tres tipos de cera.

Se observa que las diferencias entre la disposición norte y sur del mismo tipo de cera es la gran diferencia de temperatura superficial de pistón. Esta diferencia va desde los 25[°C] a los 30[°C] y se traduce directamente en el desplazamiento de la varilla de carrera, es decir, los pistones en disposición Norte alcanzan desplazamientos mayores comparados a los de disposición Sur. Esta diferencia va desde los 13 [mm] a los 41 [mm] dependiendo de las condiciones ambientales.

Esto se explica ya que los pistones en disposición norte al estar constantemente expuestos a la radiación solar su comportamiento es constante a lo largo de las pruebas, llegando a lograr desplazamientos mayores comparados con los de disposición Sur.

Paralelamente los pistones a pesar de estar en disposición sur, estos igualmente realizan desplazamiento de la varilla de carrera, se percibe que los pistones reaccionan ante la temperatura del aire que lo rodea, esto solo favorece al diseño, ya que permite decidir la temperatura de accionamiento.

11.5.3 VUELTA AL ESTADO CERO

En cuanto a los desplazamientos se observa en la comparativa de desempeño a lo largo de los 3 días de pruebas que los desplazamientos de los pistones realizado durante el primer día de pruebas, es la base para los desplazamientos del segundo día de pruebas. Esto demuestra que sin importar la posición (0°/90°/180°) o disposición (Norte/Sur) el pistón requiere de un elemento mecánico que asista y asegure la vuelta al estado del pistón.

11.5.4 EL PESO PROPIO DE SUS COMPONENTES MÓVILES AFECTA EN EL DESEMPEÑO ANTE CONDICIONES CLIMÁTICAS LOCALES

Mediante la comparación entre los tiempos de accionamiento del 1° día de pruebas en posición 90° y el 2° día de pruebas en posición 0°, se concluye que el peso propio de la varilla de carrera no afecta en el accionamiento del elemento actuador, ya que se esperaría que si este elemento realmente afecta en el desempeño del pistón, el tiempo de accionamiento durante el 1° día serían menores en comparación al 2° día de pruebas, ya que la gravedad aportaría favorablemente en su desplazamiento, esto no ocurre en las pruebas.

11.5.5 FALLAS Y ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN

Durante el primer día de pruebas, algunas de las lecturas registradas por la termocupla de los Datalogger, las cuales registran la temperatura superficial del cuerpo de los actuadores, estos registraron temperaturas que rodean los 100[°C], por lo tanto, se consideran lecturas no válidas.

Por lo que las mediciones del primer día de pruebas de los pistones 1 y 5, y las mediciones del tercer día de pruebas del pistón 5, no son representativas del comportamiento de estos.

11.5.6 LA CAJA AMPLIFICADORA DE CALOR

La caja de microclima funciona aumentando la temperatura alrededor del aire del pistón, logrando mayores desplazamientos y temperaturas superficiales comparado a los mismos pistones, pero en situación sur. Es posible integrarlo dentro del sistema, pero se opta por seguir desarrollando el sistema sin la caja de microclima, pero seguir explorando su uso en una posible siguiente etapa.

11.6 SEGUNDA ETAPA DE PRUEBAS: PRUEBAS EN TEST CELL

Luego de probar el elemento actuador en un contexto exterior se plantea probar el comportamiento de este elemento en un contexto interior controlado, minimizando las variables que afectan en el proceso de pruebas, con el objetivo de imitar lo mejor posible las condiciones en las cuales se obtuvieron los datos de la EETT.

Teniendo en cuenta las conclusiones de la etapa anterior y con el objetivo de integrar la variable tiempo dentro de las mediciones de desempeño del elemento actuador. Las pruebas se realizan para obtener rangos referenciales de funcionamiento y desempeño respecto a la carga que pueden portar, no con carácter de obtener datos exactos ya que no se realizaron la cantidad de ensayos requeridos para obtener un muestreo amplio que permita contar con promedios confiables, Lo que se buscó en esta etapa es un acercamiento inicial al comportamiento de los pistones para observar rasgos generales, de desempeño dentro de un contexto controlado como las temperaturas efectivas de accionamiento, y su relación con las temperaturas superficiales del pistón , estimar tiempos de accionamiento y corroborar o refutar lo que plantean las EETT y oportunidades y desventajas del uso del pistón.

11.7 CONTEXTO DE PRUEBAS

Luego de las pruebas realizadas en exteriores y con el estado cero controlado, se plantea la necesidad de corroborar las mediciones, pero en un ambiente controlado, por lo que se construye un tipo de "caja" que busca aislar al material actuador y su base de medición, intentando replicar el efecto que logran las cajas de prueba.

Se construye una base de medición donde los pistones se posicionan manteniendo la estructura del disco graduado en la prueba de exterior, la estructura tiene capacidad para probar 1 pistón a la vez. Así mismo se plantea una caja de dimensiones 100 x 90 x 50 [cm] en base a marcos de listones de 2x2". para la aislación se utilizó lana de vidrio tipo colchoneta, y finalmente recubierto con papel aislante "Tyvek" una membrana respirable que ayuda a mantener el aislamiento seco, previene la acumulación de humedades, impermeable, resistente a los rayos UV. Todo esto se sella en los bordes con cinta adhesiva y sellos de silicona.

Se agrega un doble fondo para que la fuente de calor llegue de manera difusa y no altere el desempeño de las pruebas. Se considera la instalación de una ventana de acrílico para poder realizar las mediciones y registro de las pruebas sin alterar el ambiente interior, se instalan sellos de silicona y membranas de hypalon para evitar filtraciones de aire tanto en uniones y bisagra.

Dentro de la caja de pruebas se contemplan dos perforaciones con el propósito de manejar el flujo de aire dentro del ambiente de pruebas, tanto para realizar el cambio de temperatura como para enfriar el ambiente para la siguiente prueba.

La primera se ubica en la zona inferior, conectando con el segundo fondo para el ingreso de aire caliente sellado con una membrana de hypalon, las posibles pérdidas de energía o interacciones con el medio exterior. La segunda actúa como rendija de ventilación en la zona superior contraria al punto de ingreso de calor evitando la excesiva acumulación de aire cálido.

FIG 40. Vista isométrica caja de pruebas + fotos registro contexto de pruebas

ESC 1:8

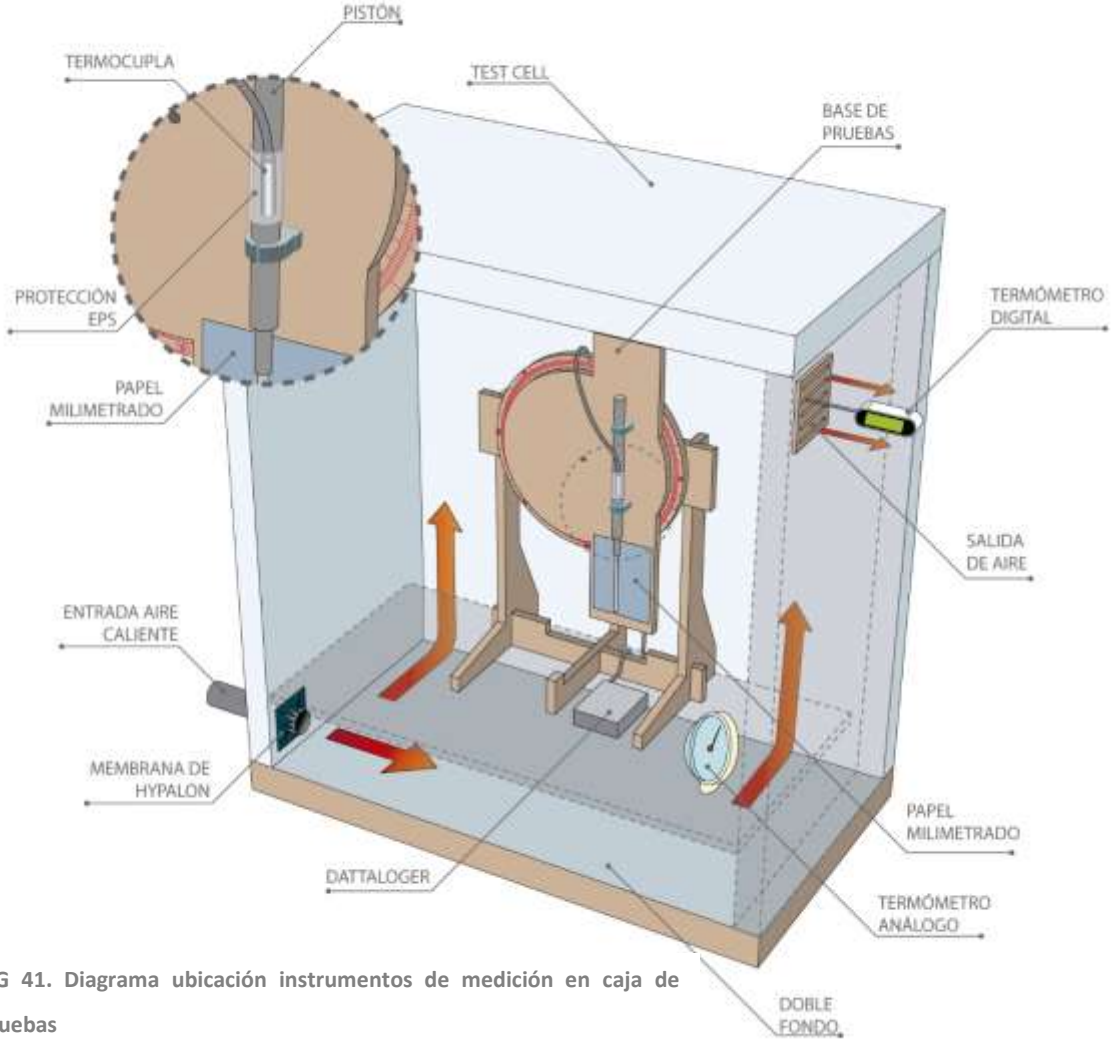


FIG 41. Diagrama ubicación instrumentos de medición en caja de pruebas

ESC 1:9

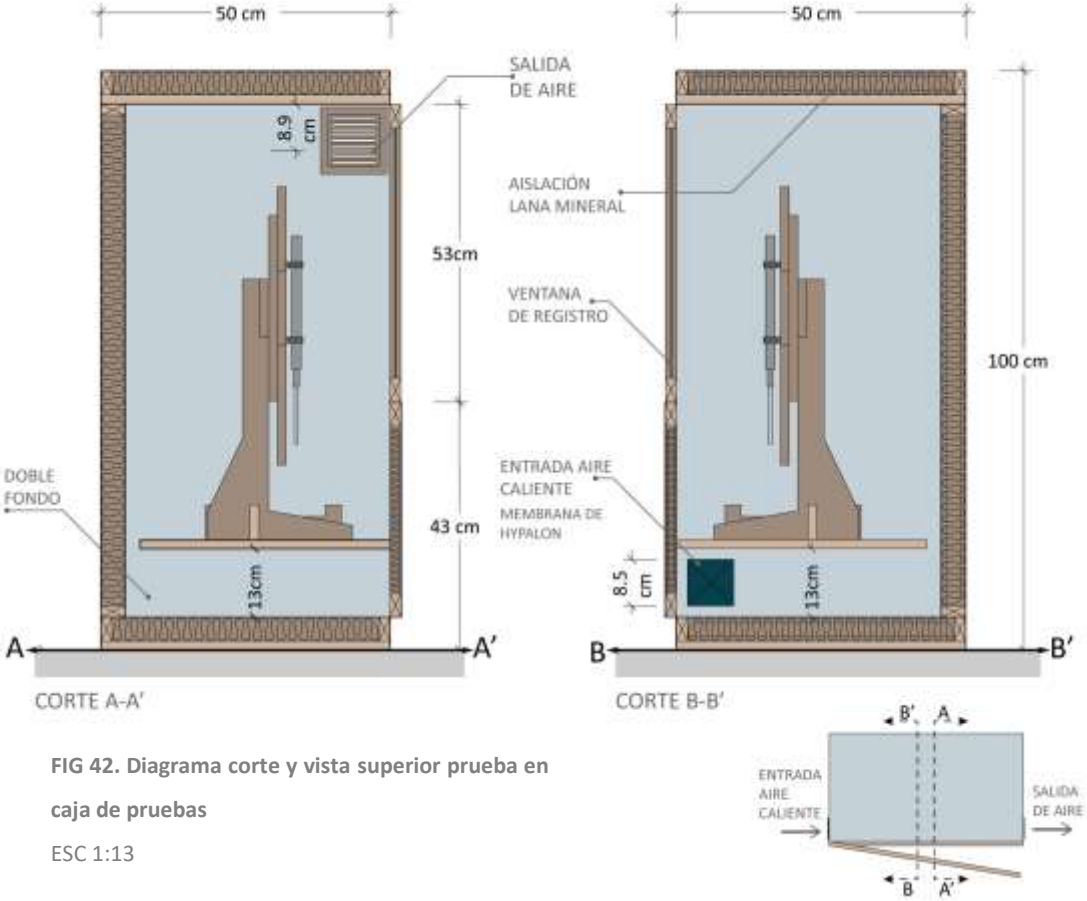


FIG 42. Diagrama corte y vista superior prueba en caja de pruebas

ESC 1:13

11.8 RESULTADOS

11.8.1 PRUEBA DE CARGA

De la misma manera en que las pruebas de desempeño en el contexto exterior, las curvas de superficie de cuerpo de pistón siguen la misma estructura de trazo dictado por la temperatura del entorno de pruebas del día, existiendo una diferencia de 4[°C] entre la temperatura del entorno exterior y la que transmite el cuerpo del pistón a la cera.

El desplazamiento se desarrolla de manera constante alcanzando su punto máximo a los 55 [min] en promedio, luego de eso alcanzan su extensión máxima 20 [min] más tarde para llegar a su extensión máxima, que en promedio es de 71 [mm].

Se identifica que, a lo largo de las pruebas, el aumento de carga no afecta el desempeño del actuador, demostrando en todas las pruebas un desempeño de extensión que superan al 50% del desplazamiento total

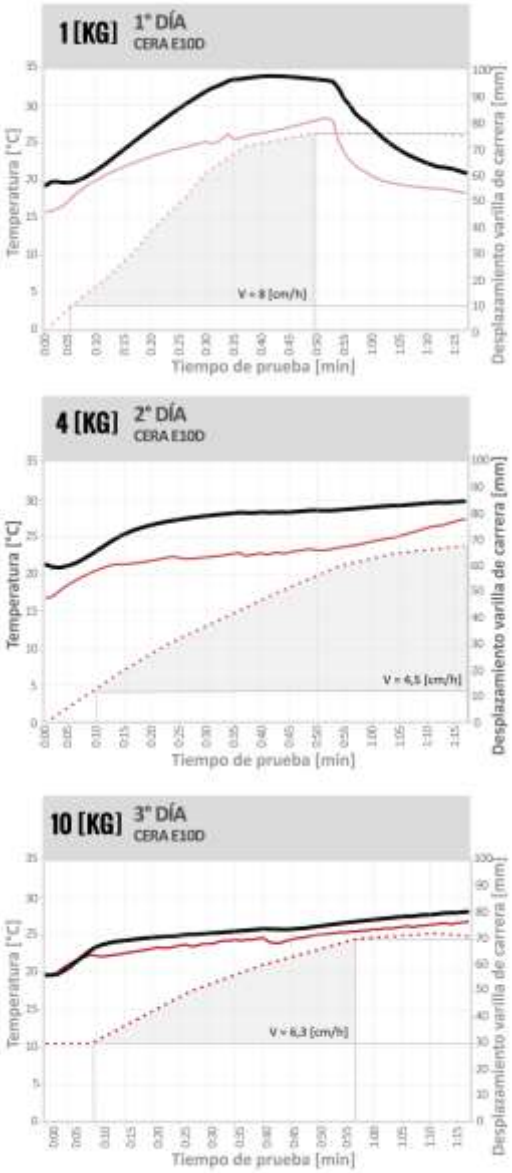


FIG 43. Comparativa desempeño prueba de carga

Contrastando la información recopilada en los gráficos de desempeño, tanto curvas de temperatura superficial como del entorno de pruebas se mantienen paralelas. En cuanto al desplazamiento de la varilla de carrera, durante la prueba las curvas no coinciden, al momento de alcanzar su extensión máxima llegan a distancias cercanas, comprobando que, al variar la carga, el desempeño no se altera.

disponible por el pistón. Esta distancia se considera inicialmente aceptable para comenzar a diseñar el sistema de fachada.

Por cuanto a la velocidad que exhibe el pistón en cada una de las pruebas

En cuanto a la velocidad mostrada por los pistones a lo largo de las pruebas, se distingue que la rapidez de su accionamiento aumenta a medida que la carga también lo hace. Parece ser que el peso asegura el correcto funcionamiento del elemento actuador, sin embargo, deja la duda si es que forma parte de las características de las ceras.

Resolver este planteamiento forma parte de una siguiente etapa de perfeccionamiento de idea y prototipo de fachada, de la misma manera entender los límites reales de este elemento.

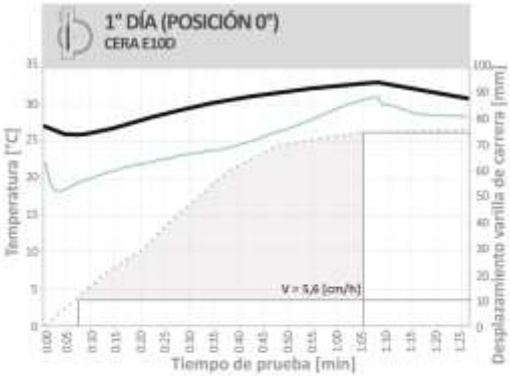
11.8.2 PRUEBA DE POSICIÓN

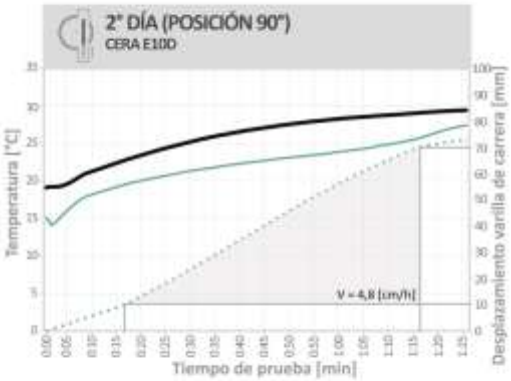
La comparativa entre gráficos muestra que el comportamiento del elemento actuador en cuanto a la temperatura de la es muy similar al expuesto en la anterior prueba de carga, en donde, la temperatura del entorno marca la norma, estando 4 [°C] sobre la temperatura superficial del pistón.

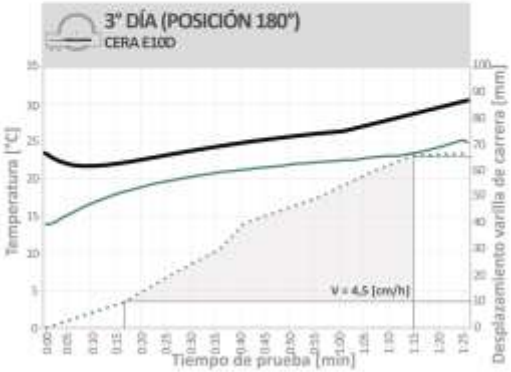
En cuanto al desplazamiento, este se desarrolla de manera creciente, alcanzando su punto más alto en promedio a los

FIG 44. Comparativa desempeño prueba de posición

Se identifica que, a lo largo de las pruebas y cambios de posiciones, tanto de curvas de temperatura superficial de cuerpo de pistón, como las de desplazamiento de varilla de carrera son similares entre sí, tanto en comportamiento a lo largo de la prueba, como en el desplazamiento máximo. Demostrando así que no importa la posición en que se encuentre el elemento actuador, su desempeño no se ve afectado.







73 [min] llegando a su extensión máxima a los 15 [min] posteriores a este punto

En cuanto al desplazamiento, este se desarrolla de manera creciente, alcanzando su punto más alto en promedio a los 73 [min] llegando a su extensión máxima a los 15 [min] posteriores a este punto.

El cambio de posición del elemento actuador no indica ninguna diferencia en el desempeño del elemento actuador demostrando en todas las pruebas un desplazamiento significativo de la varilla de carrera con un promedio de 72 [mm]

POSICIÓN				
VELOCIDAD [cm/h]				
0°	90°	180°		
5,6	4,8	4,5	MEDIA VELOCIDAD [POSICIÓN]	4,9 [cm/h]
1 H 33 MIN	1 H 33 MIN	18 H 31 MIN	TIEMPO ESTIMADO PARA LLEGAR A EXTENSIÓN COMPLETA	

CARGA				
VELOCIDAD [cm/h]				
1 KG	4 KG	10 KG		
8	4,5	6,3	MEDIA VELOCIDAD [CARGA]	6,2 [cm/h]
1 H 7 MIN	1 H 52 MIN	2 H 8 MIN	TIEMPO ESTIMADO PARA LLEGAR A EXTENSIÓN COMPLETA	

FIG 45. Cuadro comparativo resultados velocidad entre pruebas de posición y carga. Elaboración propia

Por cuanto es necesario recalcar que, al estar los tiempos de respuesta en función a la velocidad del cambio de la temperatura en el ambiente de pruebas, las velocidades obtenidas solo demuestran un comportamiento referencial, de todas maneras, estas pruebas permiten obtener conclusiones respecto al desempeño del elemento actuador.

Luego de contrastar tanto los resultados de las pruebas de carga como las de posición, se observa que para que el elemento actuador llegue a su desplazamiento máximo se requiere que la temperatura del

aire que lo rodea alcance los 30[°C] en donde le tomará aproximadamente 1 hora llegar a equilibrio con la temperatura del ambiente exterior alcanzando su máximo desplazamiento.

11.8.3 DESPLAZAMIENTO EFECTIVO VS DESPLAZAMIENTO INFORMADO POR EL FABRICANTE

11.8.3.1 PRUEBA DE CARGA

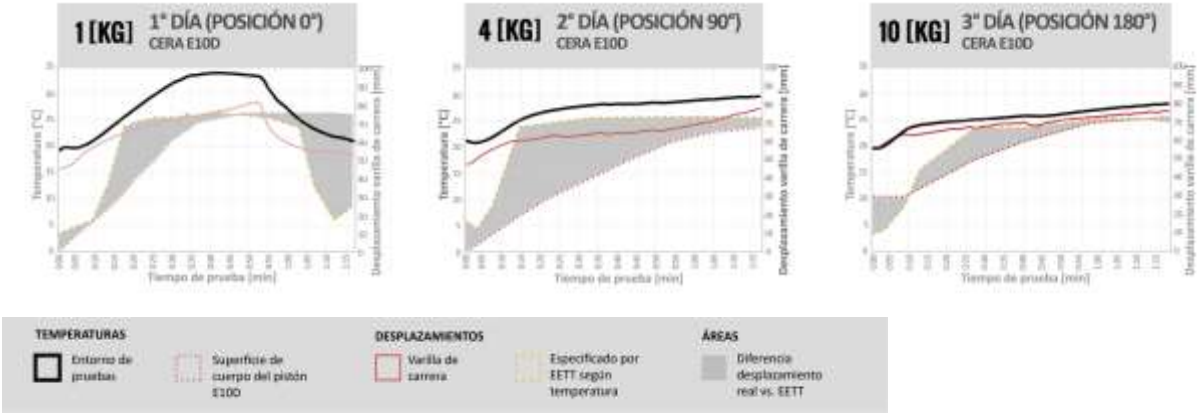


FIG 46. Comparativa entre desplazamiento efectivo vs. Desplazamiento informado por EETT_ Prueba carga

Al realizar el contraste entre las curvas de rendimiento obtenidas en pruebas y las creadas al comprobar la información que brinda el fabricante ante estas mismas condiciones. Indica que a pesar de que el cambio de temperatura ocurra rápidamente, el pistón requiere de al menos 1 hora para lograr un desplazamiento con potencial de ser aplicado en un sistema de fachada.

Se distingue que la curva obtenida al cotejar la temperatura del entorno y los desplazamientos propuestos en las EETT, así mismo, el área destacada plantea la diferencia entre el comportamiento exhibido en pruebas y el que el fabricante indica.

Al compararla con la curva del comportamiento en pruebas se exhibe que esta alcanza su punto máximo en el primer tercio de la duración de la prueba, esto no ocurre en la curva de desempeño en pruebas hasta posterior a la mitad de la prueba. Además, alcanzado el desplazamiento final, entre ambas curvas existe una diferencia de 7[mm] de diferencia en promedio,

Comprobando que a pesar de que el entorno se encuentre dentro de los rangos de accionamiento, de todas maneras, la activación requiere de un periodo previo, en el cual el pistón logre encontrarse en equilibrio con la temperatura del entorno de pruebas.

Se debe mencionar que para el desarrollo de esta prueba se hace uso del brazo de accionamiento incluido en el kit de apertura de ventana de invernadero provisto por el fabricante, esto ya que el peso obtenido y su forma, no permiten que sea unido al fin de la varilla de carrera sin que toque el fondo de la caja de pruebas.

Se considera que el uso del brazo de accionamiento no debe afectar en el desempeño del pistón en la prueba de carga, ya que el objetivo de la prueba es conocer la velocidad que le toma al pistón portar esta carga y si existen diferencias entre el desempeño del pistón ante las diferentes cargas.

11.8.3.2 PRUEBA DE POSICIÓN

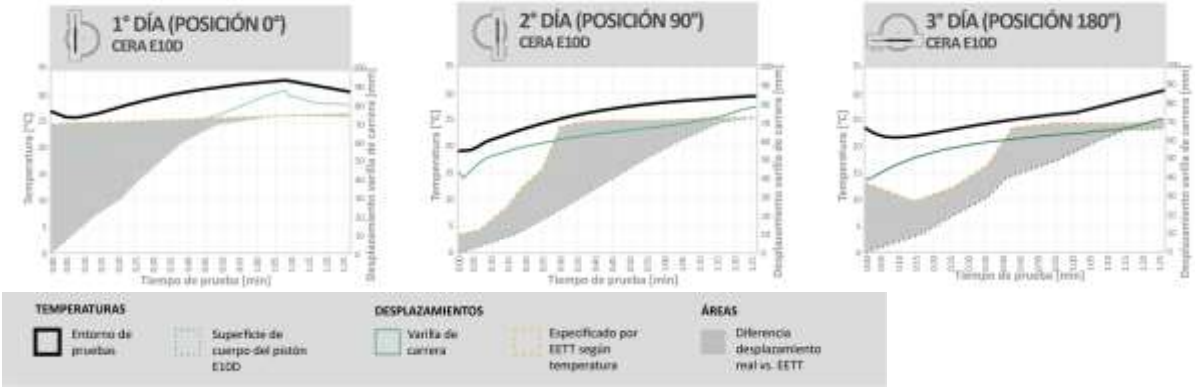


FIG 47. Comparativo desplazamiento efectivo vs. Desplazamiento informado por EETT_ Prueba posición

Al realizar el contraste entre las curvas de rendimiento obtenidas en pruebas y las creadas al comprobar la información que brinda el fabricante ante estas mismas condiciones, muestra que la diferencia entre posiciones no afecta en el rendimiento del elemento actuador, ya que en las 3 curvas se aprecia un funcionamiento similar entre sí y al demostrado en las pruebas de cargas.

Al analizar la curva que representa el funcionamiento que plantea la EETT, en contraste con las tomadas en el contexto de pruebas. Estas alcanzan su máximo desplazamiento antes y con una diferencia a favor de un promedio de 6[mm] por sobre el desempeño real, en ambos casos.

Excepto en la prueba de posición 0°, que la curva creada proyectada con los datos del fabricante es prácticamente el mismo desde inicio a fin, sin embargo, el desempeño real del actuador dista mucho de lo que se propone, mostrando una curva coherente a las demás pruebas realizadas.

11.9 CONCLUSIONES

11.9.1 VELOCIDAD Y TIEMPOS DE RESPUESTA DE ELEMENTO ACTUADOR

La velocidad de respuesta por parte del elemento actuador durante el proceso de pruebas no varía significativamente incluso las cargas que porta aumentan o la posición el pistón cambia, esto indica que el funcionamiento del pistón es constante y responde 100% a la temperatura del aire que lo rodea

En cuanto a los tiempos de respuesta para alcanzar el máximo desplazamiento, les toma alrededor de 49 a 60 minutos, esto hace viable su aplicación en un sistema de fachada cinética.

11.9.2 CARGAS QUE PUEDE PORTAR

Durante el proceso de pruebas se pone a prueba el elemento actuador a tres cargas, 1, 4 y 10 kilos, y en los 3 casos el desempeño del desplazamiento de varilla de carrera en cuanto a velocidad y efectividad no varía significativamente en las tres pruebas. Esto demuestra que el comportamiento del elemento actuador es cíclico, estable e inalterable.

11.9.3 DESPLAZAMIENTOS EFECTIVOS DE ELEMENTO ACTUADOR

El desplazamiento disponible por el elemento actuador es de 100 [mm], según la EETT el máximo desplazamiento es de 70 [mm], esto se ve confirmado durante el proceso de pruebas en donde las extensiones máximas de la varilla de carrera fueron registradas entre 60 y 75 [mm]

11.9.4 INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CUERPO DE PISTÓN

La temperatura superficial de los cuerpos de pistón se mantiene similar en las 3 condiciones de posición, con una variación de +/- 2 [°C] de medición en cuanto a la temperatura superficial del cuerpo de pistón entre las diferentes pruebas, por lo que se concluye que no es un factor diferenciador influyente dentro del desempeño.

Así mismo la temperatura superficial del cuerpo de pistón se encuentra 5°C menos de lo que se encuentra la temperatura ambiental. Esto no implica ninguna variación en el desempeño del pistón ya que el cambio de temperatura durante el desarrollo de la prueba se realiza de manera progresiva, es por esto que, no se pueden determinar formas ni grandes cambios en la curva de desempeño ni si existe un retraso entre que ocurre el cambio de temperatura y se percibe una respuesta en el desplazamiento de la varilla de carrera

11.9.5 AFIRMACIONES DE LA PRIMERA ETAPA DE PRUEBAS

En cuanto a las temperaturas de accionamiento, el elemento actuador no responde únicamente a condiciones ambientales en contextos exteriores, sino que también demuestra desplazamiento de la varilla de carrera en un contexto con temperatura controlada (Test Cell) demostrando que su

funcionamiento responde directamente de la temperatura del aire que lo rodea, llegando alcanzar su desplazamiento máximo cuando esta alcanza los 30[°C].

También se comprueba que es necesario que el sistema final cuente con un mecanismo, elemento o sistema que asegura la vuelta al estado cero para asegurar un futuro ciclo de trabajo.

OBJETIVO

ESPECÍFICO 2

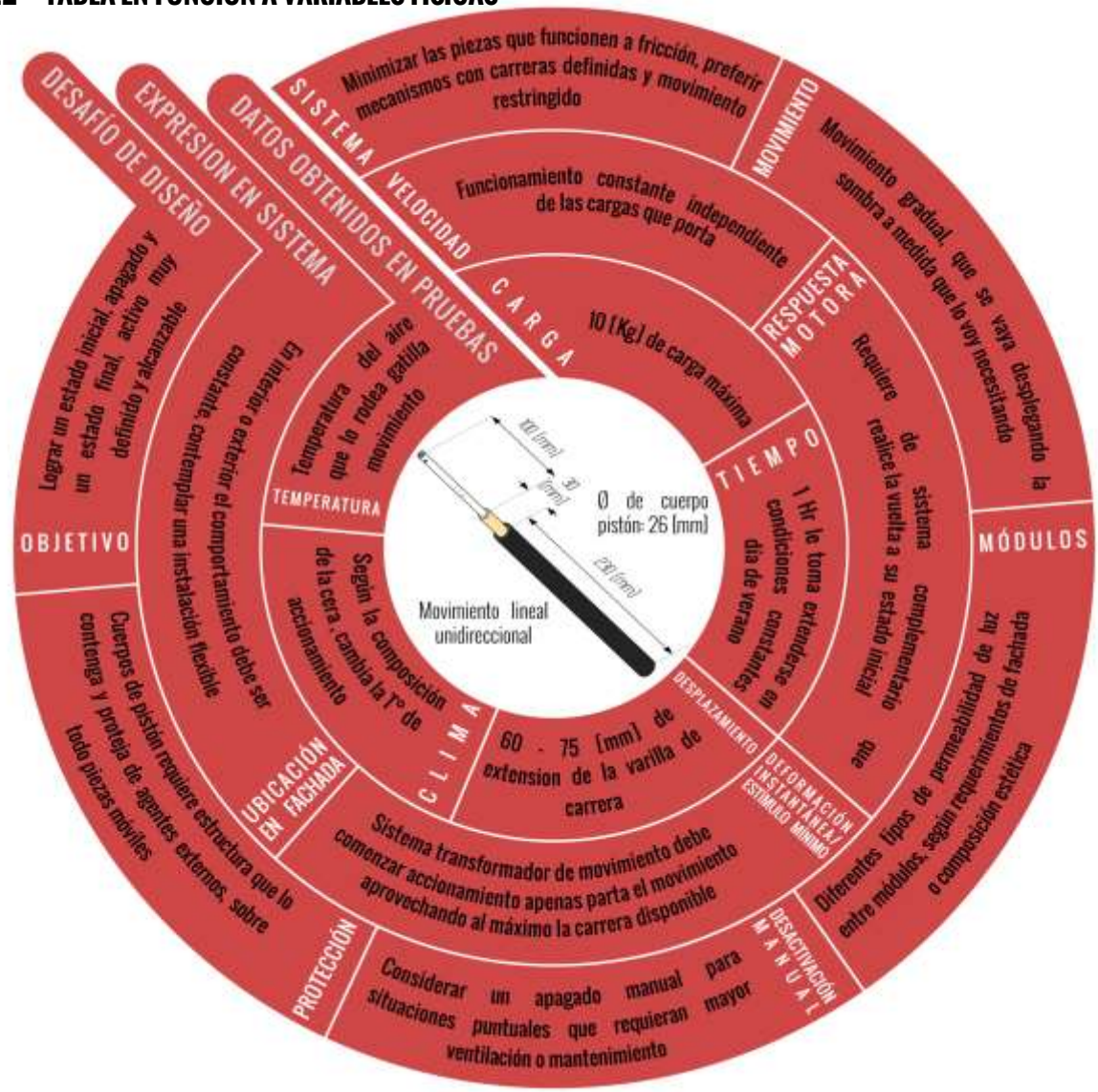
12 OBJETIVO ESPECÍFICO 2:

Proyectar sistema mecánico de acople a elemento actuador, capaz de transmitir y maximizar las fuerzas / desplazamientos para el accionamiento de fachada cinética

12.1 TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ELEMENTO ACTUADOR

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El accionador es un elemento autocontenido y autónomo del sistema de la fachada, su reemplazo es sencillo y permite hacer mantención y revisión a cada pieza individual, sin interferir en el funcionamiento del sistema completo.	Poco desplazamiento disponible, por lo tanto se requiere de un sistema o mecanismo que: 1 **Amplificar** el corto movimiento lineal disponible, extender la carrera de 10 cm en una mas larga. 2 **Transformar** el movimiento lineal inicial en otro movimiento que tenga un desempeño superior y con capacidad de accionar un mecanismo de manera eficiente.
Su accionamiento no depende únicamente de la presencia de sol directo, sino de la temperatura del aire que lo rodea. Es por esto que incluso situándolo en una disposición sur, el elemento es capáz de realizar desplazamiento .	
El tipo de cera de pistón probada, alcanza su desplazamiento máximo cuando su entorno llega a los 30°C, además tiene un tiempo de respuesta apropiado para un sistema de protección solar.	Requiere el uso de un mecanismo o sistema que realice la vuelta al estado desactivado.
El hecho de que pueda portar grandes cargas implica de que es su alta capacidad de mover más de un modulo dinámico, las pruebas de sistema determinarán la cantidad de módulos capaz de accionar por piston dentro del sistema.	El elemento actuador requiere protección a factores externos en la salida de varilla de carrera para evitar la contaminación con polvo, humedad y agentes extrernos. Solo se si funciona cuando pruebe empíricamente el sistema final de fachada. Antes de eso solo me es posible realizar aproximaciones previas.

12.2 TABLA EN FUNCIÓN A VARIABLES FÍSICAS



12.3 REQUERIMIENTOS DE FACHADA / SISTEMA

Durante el desarrollo de la investigación y pruebas del elemento actuador, se advierten diversos aspectos e intenciones que guíen la toma de decisiones durante el proceso de diseño del sistema.

Una de las principales intenciones que se proyecta que el sistema cumpla, es que requiera el menor esfuerzo por parte del elemento actuador con una respuesta dinámica asegurada. Este esfuerzo mínimo apunta a la efectividad del movimiento y simplicidad de mecanismo accionado, al mismo tiempo minimizar los elementos a los cuales requieren mantención. Esto siguiendo la lógica de diseño que caracteriza al elemento actuador.

Tener en cuenta estos aspectos nos permite optimizar los esfuerzos disponibles ya que se minimizan los puntos de pérdida de energía, o indica posibles situaciones en donde se prevé un desafío que requiere de mayor atención.

Inicialmente se proyectan 5 puntos a considerar:

12.3.1 CLIMA:

El principal uso de los sistemas de segunda piel como estrategia bioclimática, es en edificaciones que cuenten con problemas de excesivo soleamiento. Santiago, ciudad en que, con su amplia variación térmica diaria y estaciones marcadas, presenta múltiples edificaciones que vieron en fachadas de alta

transparencia una gran opción, ignorando que este sistema es propio de climas más fríos, esto se traduce en alto consumo energético por parte de estas edificaciones para mantener las condiciones de confort.

Se proyectan 8 meses de uso continuo del sistema de fachada, teniendo que ser desactivado durante los meses más fríos, ya que eliminar la poca luz solar disponible en con esas condiciones climáticas esa fecha puede provocar mayores gastos energéticos en iluminación y calefacción (Pacheco, 2012).

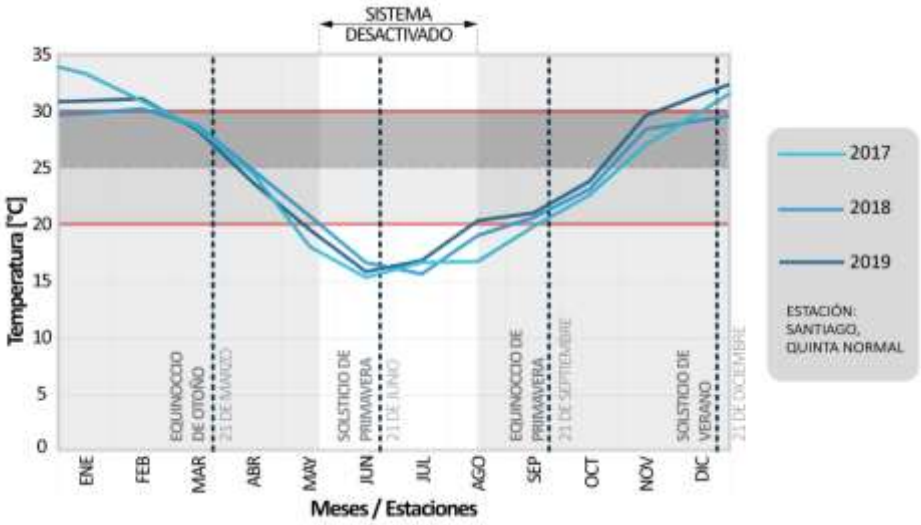


FIG 48. Comparativa histórica temperatura media máxima anual.

Fuente: (Villarroel, 2020) Reporte anual de la evolución del clima en chile 2019.

Esto junto con las consecuencias climáticas que el calentamiento global, que cada día comenzamos a experimentar, según el reporte anual de la evolución del clima en Chile (Villarroel, 2020) La temperatura media en Chile continental, durante el 2019 alcanzó los 13.5°C, observándose 0.74°C más cálida que el promedio climatológico 1961-1990 y 0.4°C más cálida respecto al promedio 1981-2010.

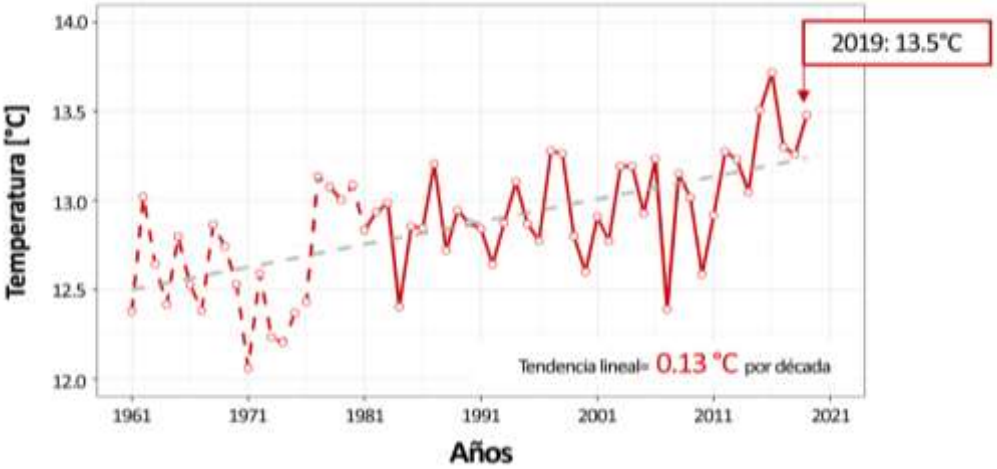


FIG 49. Evolución temperatura media de Chile a través de los años.

Promedio anual de la temperatura media en Chile continental (temperatura máxima – temperatura mínima /2) utilizando estaciones. La línea segmentada es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. Fuente: (Villarroel, 2020) Reporte anual de la evolución del clima en chile 2019.

El aumento sobre la tendencia de la temperatura media ha sido constante principalmente en los últimos años, la tasa de cambio lineal es de +0.13 °C por década en 59 años (1961-2019) y se mantiene con el mismo valor en el periodo 1981-2019 (39 últimos años).

Al ser un objeto cuya instalación se considera como una parte de una estrategia a modo correctivo/paliativo, se considera que esta segunda piel debe ir paralela a la fachada con una separación, formando una cavidad intermedia que funcione como aislante ante agentes externos

como viento, ruido, temperaturas extremas (frías o cálidas) aportando la eficiencia térmica del edificio. La efectividad de estos sistemas está sujeta a un estudio bioclimático previo en el cual se analice el desempeño de confort del edificio.

12.3.2 DE SISTEMA

Dentro de las consideraciones que el sistema debe tener una solución o estrategia previa, es respecto al uso de los elementos actuadores, ya que el hecho que soporte grandes cargas implica que es muy probable que sea capaz de mover simultáneamente más de un módulo dinámico. Únicamente la prueba de sistema determinará la cantidad de módulos dinámicos capaces de accionar.

Es por esto que previo a su diseño, se determina que, al maximizar la cantidad de módulos dinámicos accionados por un mismo elemento actuador, minimiza a futuro el trabajo de mantención que involucre a esto. Paralelamente esta condición me plantea la posibilidad de disponer de sectorización de múltiples módulos dinámicos dentro del sistema de fachada, moldeando la luz que incide ya sea por sus diversas necesidades o factores estéticos. Esto propone que, en función a los distintos programas y sus requerimientos lumínicos, la fachada es capaz de modelar la luz y la sombra para solucionar el exceso de luz solar.

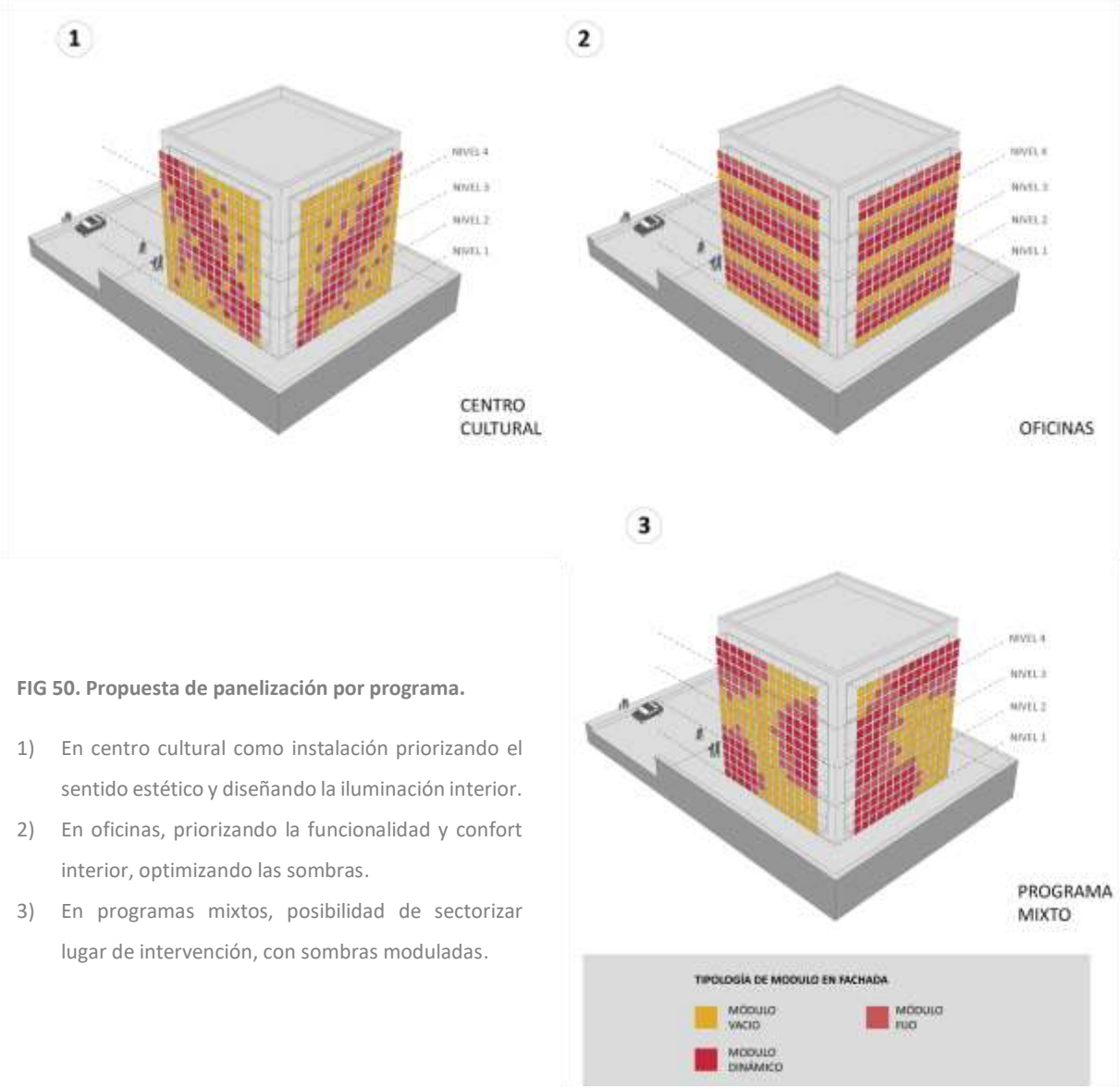


FIG 50. Propuesta de panelización por programa.

1) En centro cultural como instalación priorizando el sentido estético y diseñando la iluminación interior.
2) En oficinas, priorizando la funcionalidad y confort interior, optimizando las sombras.
3) En programas mixtos, posibilidad de sectorizar lugar de intervención, con sombras moduladas.

Esto propone diferentes escenarios en que es posible aplicar el sistema de fachada, cada uno de ellos con una exploración en cuanto a ventajas, desventajas, necesidades que constituyen otra memoria en sí, se plantea como una posible nueva rama de investigación o trabajo a futuro.

El foco es minimizar los factores que aceleren los tiempos entre mantenciones por lo mismo parte de esto es contemplar estrategias que se adelanten a posibles escenarios reales. Se establece como prioridad la simpleza y funcionalidad del mecanismo que accione los módulos dinámicos, buscando evitar fallas no contempladas en el proceso de desarrollo de idea, como lo ocurrido con Kopiwe1, en donde, el mecanismo accionador del sistema no considera la acción de la fricción entre su elemento accionador y la estructura que lo contiene, requiriendo mayor lubricación que junto con sedimentación natural que se acumule alterar el funcionamiento y vida útil del sistema.

Reconociendo que esta problemática también puede afectar al pistón ya en el sistema, por esto se prefieren mecanismos simples, con carreras definidas y movimiento acotado, haciendo uso de guías, engranajes, etc. Esto asegura la efectividad y menores factores que mantener

Otra consideración es diseñar una funda para el set de mecanismos que accionan el sistema de fachada, manteniendo su entorno libre de agentes externos que interfieran en su funcionamiento. Esta funda debe tener en cuenta puntos de drenado para evitar acumulaciones de polvo y humedad,

Asi mismo su diseño debe contemplar la estacionalidad de su uso, teniendo en cuenta que el sistema se encuentre desactivado cuando las necesidades del edificio no requieran de modulación lumínica.

Complementario a las estrategias anteriores medidas preventivas como revestimientos de las piezas que cubran las partes más sensibles del sistema o la aplicación de aerosol impermeabilizante para

prevenir la acumulación de polvo, así mismo explorar la posibilidad de integrar superficies con revestimiento de nanotecnología, inorgánica resistente a rayos UV, como los empleados en paneles y espejos solares. (Multifunctional nanotechnology glass coating for dust reduction, s. f.)

Dentro de las aristas de diseño, es importante tener en cuenta el proceso requerido para la mantención del sistema, esto dependerá del acceso desde dentro del edificio al sistema o si es el caso de un muro cortina, es por lo que 70[cm] se estiman desde la cara última de la fachada del edificio, hasta la estructura del sistema de fachada,

Se contempla la construcción de una estructura secundaria que a base de bandejas sea capaz de anclarse al sistema de fijación del sistema de fachada que permita facilitar el trabajo del equipo de mantenimiento.

12.3.3 TIPO DE RESPUESTA DEL MÓDULO DINÁMICO

Otro de los factores a decidir es el tipo de respuesta que efectúa el sistema mecánico que accionará los módulos dinámicos, ya que su accionamiento viene en consecuencia de la extensión de la varilla de carrera disponible por parte del elemento actuador. Esta decisión define el tipo de mecanismo a emplear.

12.3.3.1 ¿CUÁL ES LA RESPUESTA MÁS APROPIADA?

Se plantean dos posibles situaciones, la respuesta instantánea con mínimo esfuerzo acumulado, o una respuesta gradual con un mayor esfuerzo acumulado, ambas respuestas son viables tanto por posibilidad de desarrollo de sistema, como por respuesta disponible por el elemento actuador

Para tener un accionamiento inmediato, se requiere mayor cantidad de tensión acumulada para partir, además de que el recinto se volverá 100% oscuro ya que se activarán de golpe los módulos dinámicos, esto podría afectar a los ocupantes ya que el cambio lumínico sería de esta misma forma.

Si la respuesta es gradual, permite desarrollar dicho accionamiento con menor tensión acumulada, y desplegarse a medida que se necesita, ya que, requiero controlar/moldear la luz natural que incide, no eliminarla por completo, por lo tanto, se aprovecha la manera como se acciona el elemento actuador desplegando una sombra gradualmente e ir recogiéndola a lo largo del día

En ambos casos modular esta respuesta es posible, ya sea mediante la modificación del tiempo de accionamiento de algunos módulos dinámicos, de igual manera la materialidad de la membrana final juega un rol fundamental en la modulación de esta luz, abriendo otra posibilidad investigativa en cuanto al diseño y nivel de personalización de esta.}

12.4 MECANISMO DE ACCIONAMIENTO

En base a todas las restricciones y oportunidades antes comentadas, se investigan posibilidades de mecanismos o sistemas que logren accionar el módulo dinámico requiriendo el mínimo esfuerzo de parte del elemento actuador

Uno de los objetivos que debe tener en cuenta el mecanismo a emplear es optimizar el avance del pistón, buscando como meta, maximizar la cantidad de módulos dinámicos que un único pistón es capaz de accionar

Es por esto que se investigan tipos de mecanismos y los requerimientos que tiene cada uno para realizar una respuesta motora que utilicen una fuerza lineal continua como actuador punto base de accionamiento.

12.4.1 MECANISMOS

Los mecanismos son elementos destinados a transmitir y/o transformar fuerzas o movimientos desde un elemento motriz (motor) a un elemento conducido (receptor), con la misión de permitir al ser humano realizar determinados trabajos con mayor comodidad y menor esfuerzo.

Un mecanismo sería entonces un conjunto de elementos que forman parte de una máquina conectados entre sí y cuyo objetivo es:

-Transformar una velocidad en otra velocidad.

-Transformar una fuerza en otra fuerza.

-Transformar una trayectoria en otra diferente.

-Transformar un tipo de energía en otro tipo distinto.

En consecuencia, un sistema mecánico es la combinación de mecanismos que transforma velocidades, trayectorias, fuerzas o energías mediante una serie de pasos intermedios, para obtener el resultado mecánico por el cual fue construido

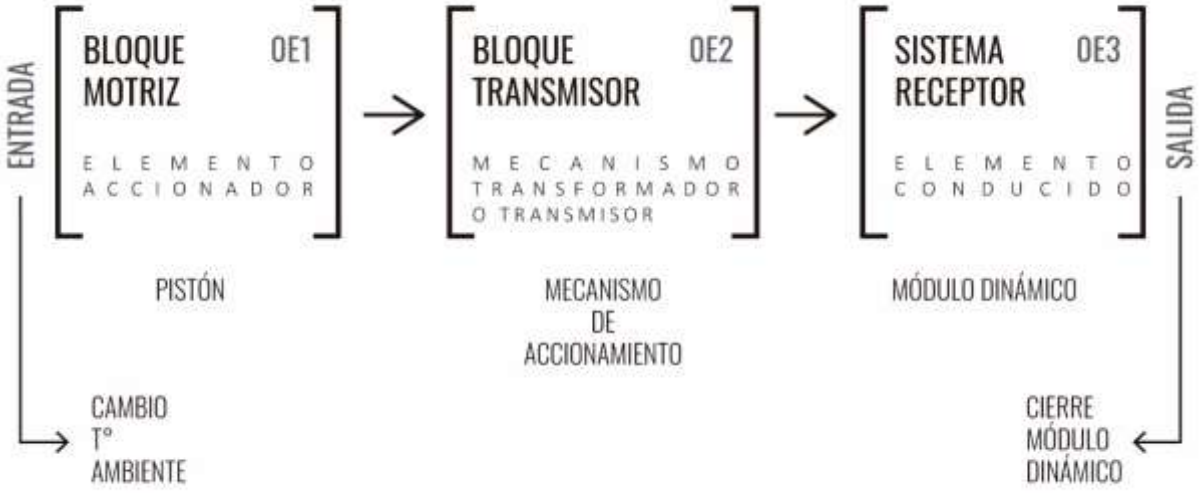


FIG 51. Diagrama elementos conducidos.

Propuesta de estructura de funcionamiento sistema fachada termosensible.

Así mismo se definen los tipos de movimientos que los mecanismos son capaces de ejecutar:

-Movimiento circular o rotatorio, como el que tiene una rueda.

- Movimiento lineal o rectilíneo, es decir, en línea recta y de forma continua.

- Movimiento alternativo: Es un movimiento de ida y vuelta, de vaivén. Como el de un péndulo.

Teniendo en cuenta los tres tipos de movimiento, los mecanismos se pueden dividir, básicamente, en dos grandes grupos los cuales determinan finalmente la función para la cual se emplean estos mecanismos

Los mecanismos de transmisión son aquellos en los que el elemento motriz (o de entrada) y el elemento conducido (o de salida) tienen el mismo tipo de movimiento. Por ejemplo, en el caso de las bicicletas, tanto el elemento motriz de entrada que es el pedal, y el elemento conducido de salida que es la rueda trasera, comparten el mismo tipo de movimiento circular.

En cambio, los mecanismos de transformación son aquellos en los que el elemento motriz y el conducido tienen distinto tipo de movimiento. Por ejemplo, en el caso de las persianas accionadas por una manivela, el elemento motriz de entrada es la manivela que efectúa movimiento circular, pero el elemento conducido que es la persiana realiza movimiento lineal

12.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS

TIPOS	FUNCIÓN	MECANISMOS	
		OBJETIVO	EJEMPLOS
Mecanismos de transmisión del movimiento	Transmiten el movimiento, la fuerza, y la potencia producidos por un elemento motriz a otro punto	Mecanismos de transmisión lineal	Polea Polipasto Palanca
		Mecanismos de transmisión circular	Rueda de fricción Sistema de polea + correa Engranajes Cadenas
Mecanismos de transfromación del movimiento	Transforma el movimiento circular en rectilíneo, o vice versa	Mecanismos de transformación del movimiento circular en rectilíneo o vice versa	Manivela + torno Piñón + cremallera Tornillo + tuerca Tornillo sin fin
		Mecanismo de transformación del movimiento circular en rectilíneo alternativo o vice versa	Biela + manivela leva + excéntrica Cigüeñal
Mecanismos auxiliares	Son toda una serie de elementos mecánicos que sirven para modificar o controlar algunos parámetros del movimiento		Trinquetes Frenos Resortes Embrague Acoplamientos

FIG 52. Tabla comparativa mecanismos

Fuente: Torre Búa, 2014

12.5 SISTEMA MECÁNICO

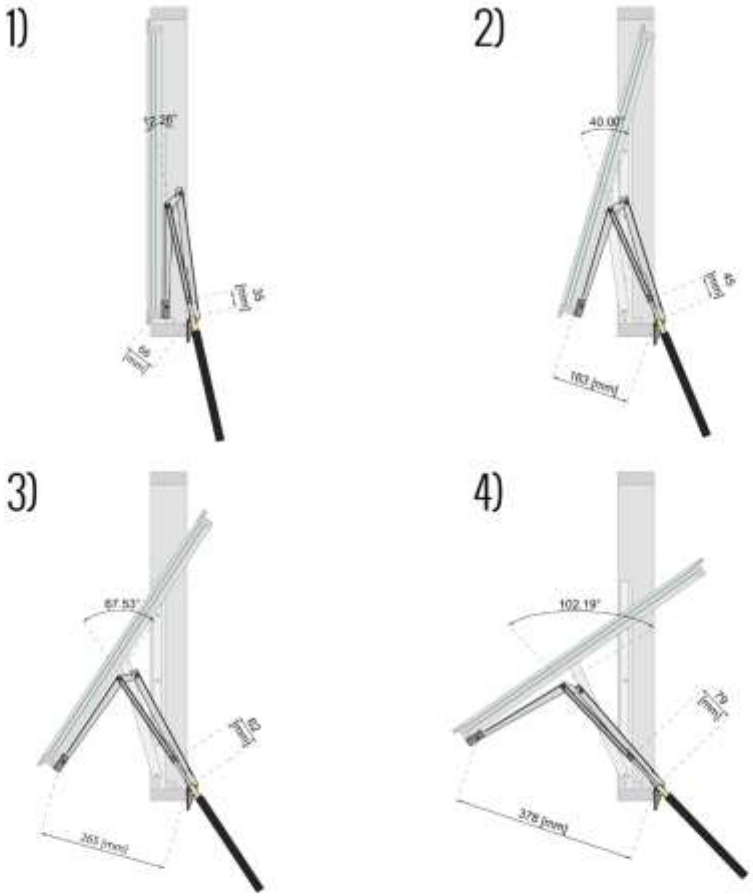


FIG 53. Despliegue sistema mecánico y pistón en ventana.

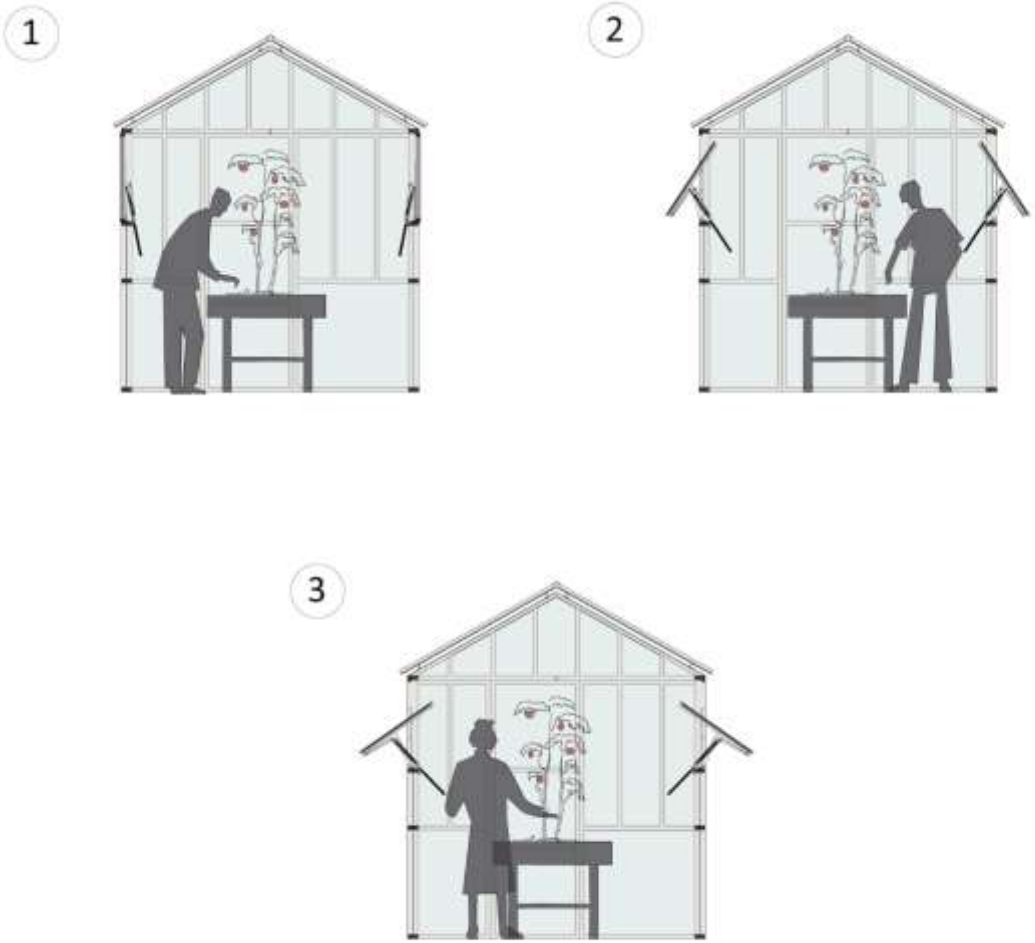
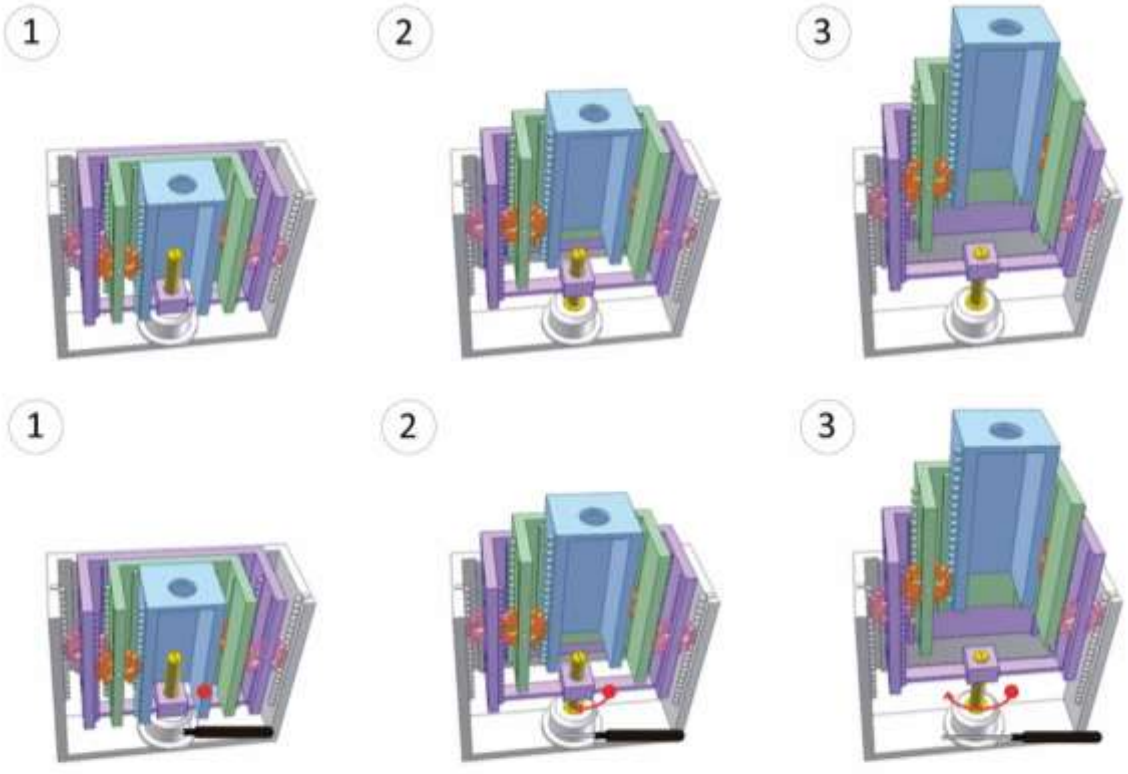


FIG 53. Despliegue sistema mecánico y pistón en invernadero.

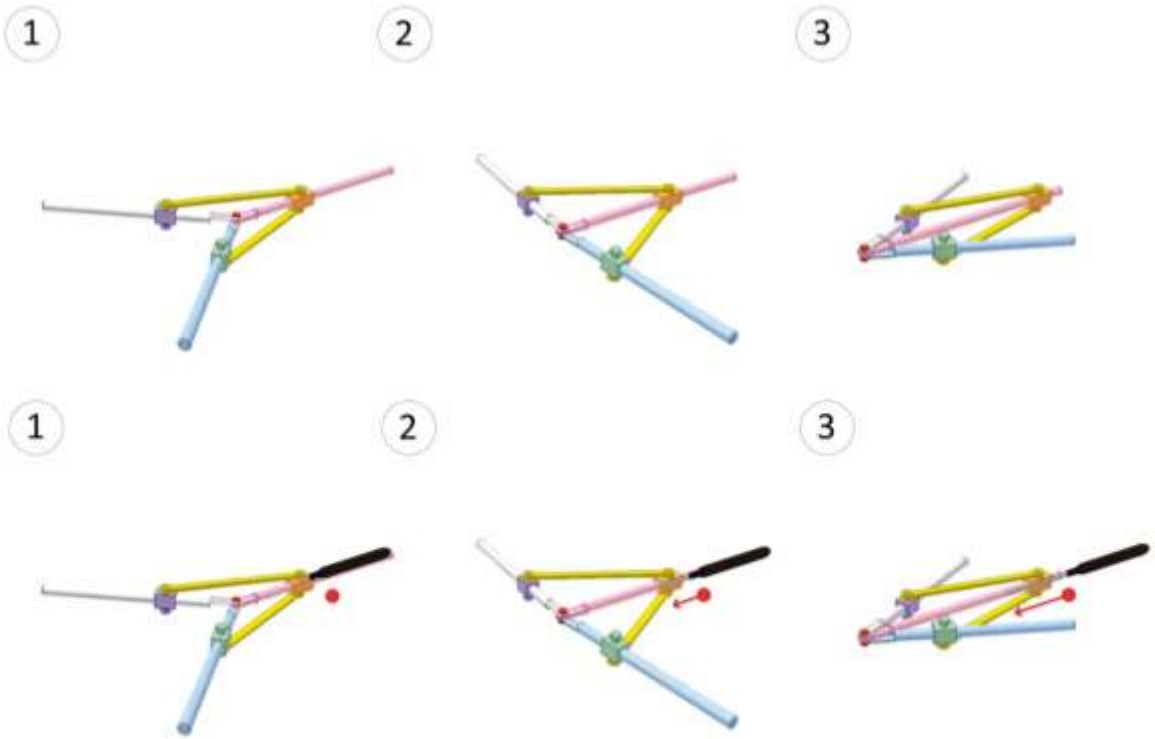
12.5.1.1 PROPUESTAS DE MECANISMOS



Descripción: Serie de embolos dentados que se anidan en un conjunto telescópico. Al girar el eje motriz central, se extiende, aumentando la longitud del conjunto.
Conclusión: Requiere de un sistema mecánico auxiliar para transformar el movimiento lineal del pistón, en rotativo. Además, necesita de una carrera larga para llegar a máxima extensión. Tiene piezas de alto grado técnico mecánico.

FIG 54. Propuesta de mecanismos _ Cilindro telescópico mecánico

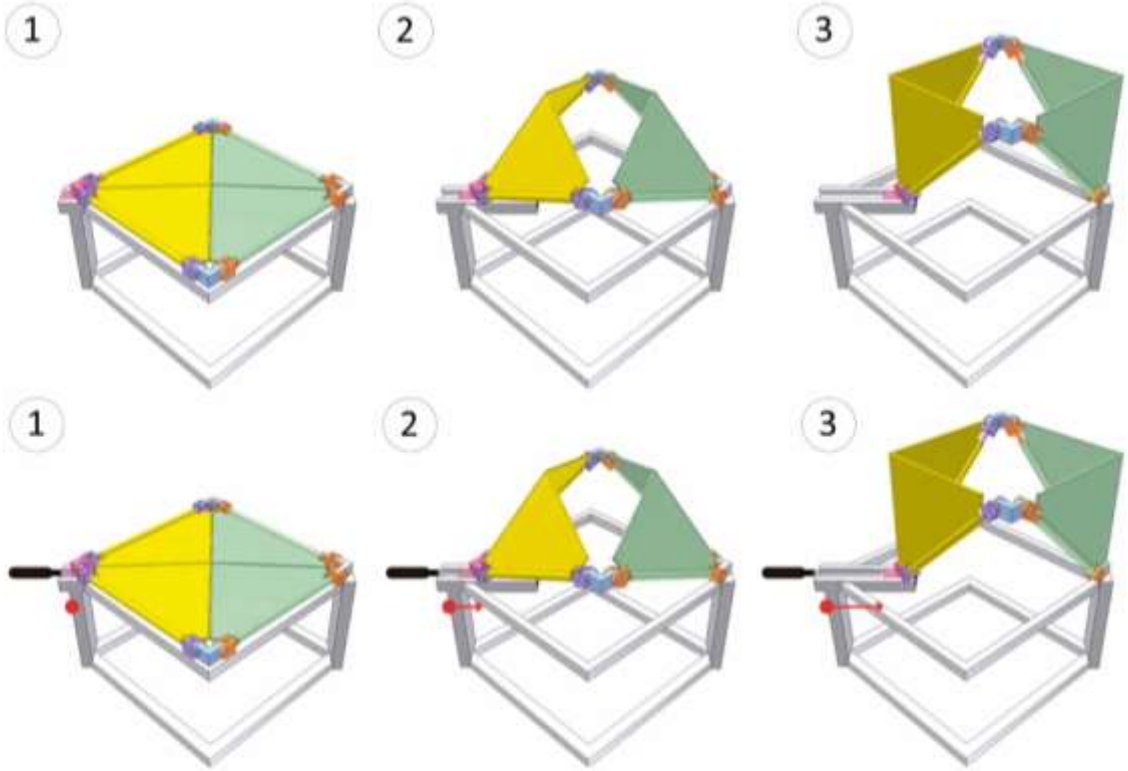
Fuente: (Mechanical telescopic cylinder 2, 2016)



Descripción: Estructura tubular, que utiliza el movimiento lineal para mover un punto de pivote y extender 2 brazos laterales en sentido horizontal.
Conclusión: Posibilidad de utilizar para extender membranas tipo paragua.

FIG 55. Propuesta de mecanismos _ Movimiento de aleteo

Fuente: (Flapping motion, 2015)



Descripción: Módulo de forma ortogonal que desplaza un punto desde un vértice de este, en direccion contraria a traves de la diagonal del cuadrado, levantando los brazos y abriendo la membrana.
Conclusión: Posibilidad de modular debido a su forma e incorporar de manera directa el pistón.

FIG 56. Propuesta de mecanismos_ Doblando un cuadrado

Fuente: (Folding square 2, 2017)

12.5.1.2 SNAPPING FACADE

La propuesta de sistema de fachada Snapping Facade, desarrollada en el año 2018 por Jin Young Song, Seoyoung Heo, Jongmin Shim de la Universidad Estatal de Nueva York en Buffalo. Explora una estrategia sostenible de diseño en envolvente de edificio que utiliza inestabilidad elástica para crear movimiento en el desarrollo de una envolvente dinámica, explorando el uso de bandas elásticas que por un estímulo mínimo impulsa la activación, además la propuesta explora el uso de técnicas de plegado de papel en la confección de abanicos, para el desarrollo de la membrana de sombreado, aprovechando que un único movimiento acciona el sistema.

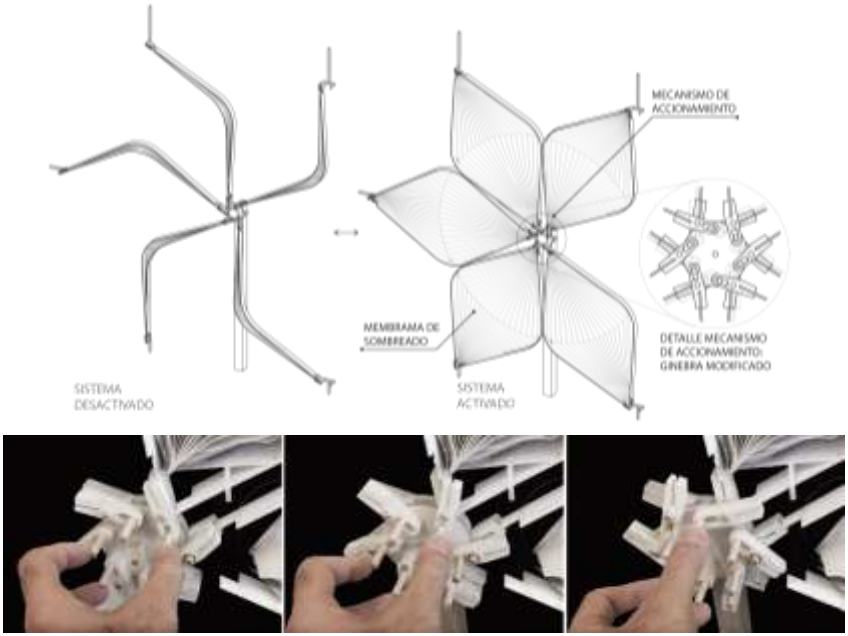


FIG 57. Snapping facade

Funcionamiento de mecanismo, Rueda de ginebra modificada.

Movimiento reversible y repentino

Fuente: (Snapping Facade — Dioinno Architecture PLLC, s. f.)

Modelo de prueba de operación manual utilizando el mecanismo de parada de Ginebra modificado. Rotación en sentido antihorario de izquierda a derecha.

Una de las cualidades que destaca por sobre los demás referentes es que cuando el sistema está activado, la sombra que proyecta hacia la fachada es casi total y cuando se encuentra desactivado, la estructura que lo mantiene sujeto a la fachada, permitiendo que la luz solar ingrese.

Comúnmente el hecho de que el comportamiento de los materiales sea inestabilidad se considera indeseable en el desarrollo de cualquier sistema, ya que hace impredecible estimar su comportamiento más aún poder controlarlo, pero esta propuesta el sistema de fachada tiene como objetivo aprovechar esa inestabilidad elástica explorando su capacidad para el desarrollo de un mecanismo de apertura y cierre. Mediante el uso de materiales cotidianos, sin mantenimientos complejos.

12.5.2 TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO

Siguiendo el ejemplo anterior, se investigan mecanismos que transformen el movimiento rectilíneo del pistón en un movimiento circular, ya que se requiere que el sistema sea capaz de realizar giros de manera reversible, para la activación y desactivación del mecanismo, se llega al mecanismo piñón/cremallera en donde la cremallera se

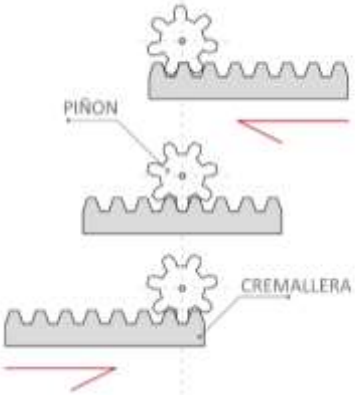


FIG 58. Funcionamiento mecanismo transformador de movimiento inicial, piñón y cremallera.

acopla a modo de extensión, directamente al extremo de la varilla de carrera del elemento actuador y así poner en marcha el movimiento circular del piñón que activa el resto del sistema mecánico.

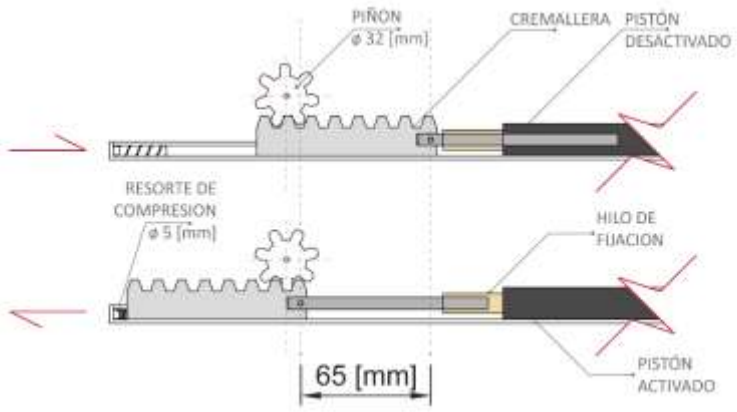


FIG 59. Funcionamiento mecanismo piñón – cremallera.
Como se acopla al pisón y su vuelta al estado inicial.

Desde ya se toma en consideración integrar un resorte que ayude a volver al pistón a su estado inicial asegurando un próximo ciclo de desplazamiento. La fuerza del resorte debe ser medida posterior a la fabricación del módulo dinámico final, ya que el propio peso de este aporta a la vuelta al estado cero y el resorte de compresión, iniciará la vuelta.

Una vez transformado el movimiento lineal en uno circular, se investigan los mecanismos que sean capaces de transformar este movimiento y acoplarlo tanto al sistema de módulo dinámico.

Durante esta etapa de investigación el lugar donde trabajaba estaba ubicado en una casona antigua en Viña del Mar centro, en su la sala de reuniones cuentan con grandes puertas con ventanales, que su mecanismo de cierre es mediante dos barras de metal, una alojada en el marco dintel y la segunda directo al piso, siendo activada esta cerradura mediante el giro de una manilla. Fue en ese momento en que conocí el mecanismo cremoné bolt.

12.5.3 CREMONÉ BOLT

Al momento investigar más sobre este mecanismo destaca la simpleza de sus piezas y accionamiento, ya que mediante un giro de 180° a la manilla, es capaz de desplazar dos elementos en sentidos contrarios de manera gradual y reversible. Esto nos permitirá activar dos módulos dinámicos a la vez, aprovechando al máximo el desplazamiento disponible por el pistón.

Dentro de los requerimientos buscados al momento de diseñar este mecanismo, es lograr que tanto el estado activado como el desactivado sean bastante clara su diferenciación en el resultado en la modulación de la luz.

FIG 60. Cerradura Cremoné Bolt.

Demostración estado activado y desactivado, la misma cerradura del momento eureka.

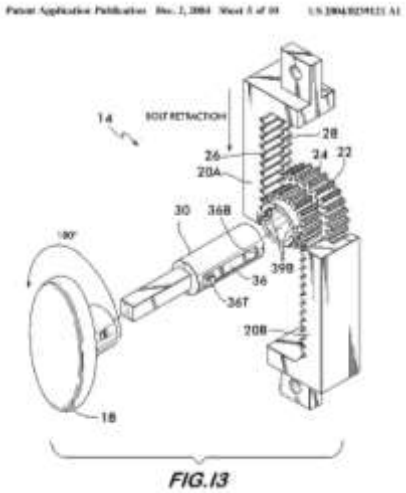


FIG 61. Diagrama funcionamiento "Cremoné bolt operator".

Eric D. Morris (USA), 2003
Fuente: (E D. Morris, 2003)

Debido a que el movimiento del pistón es una respuesta al cambio de temperatura de su entorno, no tiene una velocidad constante es por esto, que se diseña en función a la carrera máxima disponible y la cantidad de vueltas completas que el piñón sea capaz de dar con este desplazamiento

Es por esto que, la cremallera que inicia el movimiento del sistema logra que el piñón realice tres vueltas completas, que luego el mecanismo cremoné utiliza para activar su doble desplazamiento.

Se hace notar que, al aumentar la cantidad de dientes, aumenta la cantidad de vueltas que da el piñón, lo cual permite que la extensión de los brazos del cremoné sea mayor, haciendo posible aumentar la escala del módulo dinámico final. Esto mejora el rendimiento final del pistón respecto a la superficie de sombra puede proyectar un solo pistón.

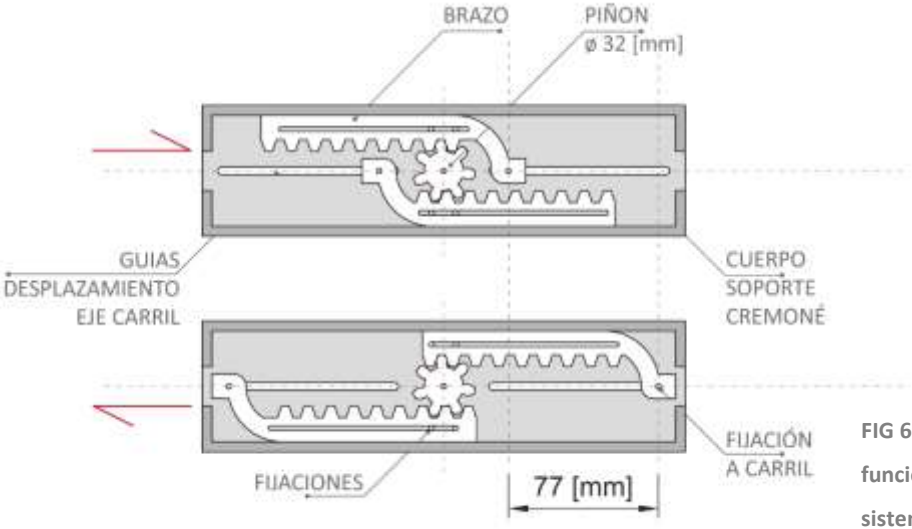


FIG 62. Diagrama funcionamiento sistema cremoné para fachada.

12.5.4 FUNCIONAMIENTO DOBLE

Otra de las oportunidades que brinda el mecanismo cremoné, es poder cambiar el sentido del funcionamiento del módulo dinámico alternando lo que se define como estado inicial, es decir, dependiendo de cómo defina el orden de las piezas dentro del cremoné determinará el movimiento a seguir por los brazos cuando el pistón se active.

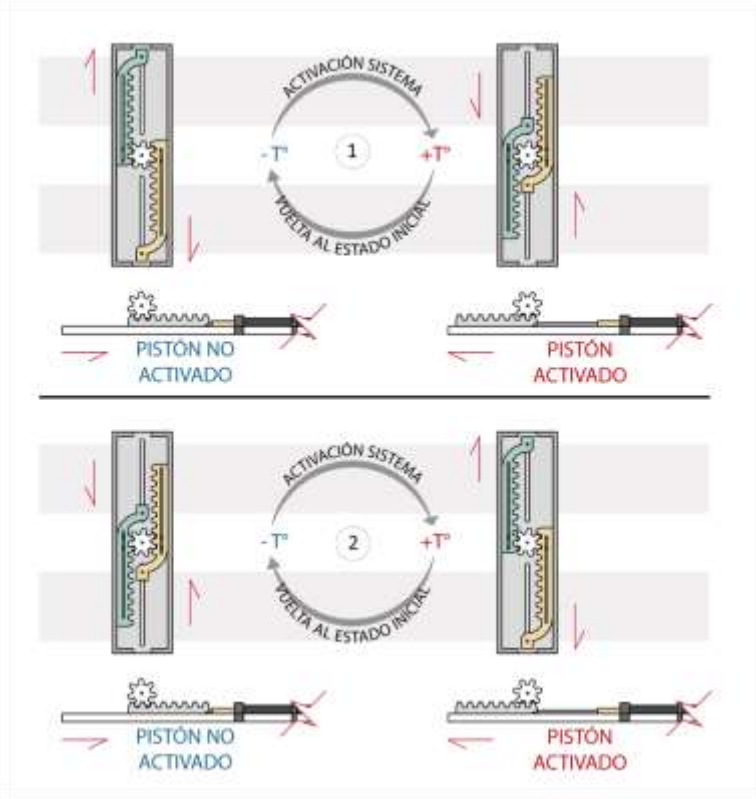


FIG 63. Diagrama funcionamiento doble en mecanismo cremoné.

En disposición 1:

1.1 El pistón en su estado inicial mantiene los brazos del cremoné extendidos.

1.2 El cambio de temperatura activa el pistón y así comienza la retracción de los brazos del cremoné.

1.3 Finalizado el aumento de temperatura, el pistón vuelte al estado inicial extendiendo los brazos del cremoné, preparado para un nuevo ciclo de trabajo.

En disposición 2:

2.1 El pistón en su estado inicial mantiene los brazos del cremoné retraído.

2.2 El cambio de temperatura activa el pistón y así comienza la extensión de los brazos del cremoné.

2.3 Finalizado el aumento de temperatura, el pistón vuelve al estado inicial retrayendo los brazos del cremoné, preparado para un nuevo ciclo de trabajo.

12.5.5 PROTOTIPADO Y EXPERIMENTACIÓN

Con el objetivo de estudiar los mecanismos, se desarrollan modelos dinámicos llevados a la escala del pistón el desplazamiento disponible, que permitan corroborar o hacer modificaciones a los diseños iniciales de estos, comprendiendo los nuevos desafíos de diseño y oportunidades a explorar.

Dentro de los elementos a comprobar, es el cálculo de la relación de dientes entre la cremallera y el piñón, evaluando si son suficientes tanto para accionar el sistema cremoné, como para aprovechar la carrera del pistón. Se busca también la integración de estos diferentes sistemas en una única pieza para acoplar todo el eje transmisor de energía.

Estos prototipos se desarrollan en MDF de 6[mm] mediante corte láser, con una tolerancia de corte del 0,2[mm], como fijadores se emplearon vástagos sobrantes del proceso de remachado, ya que permiten el libre movimiento entre piezas.

12.5.5.1 PROTOTIPO PIÑÓN CREMALLERA V1

FIG 64.

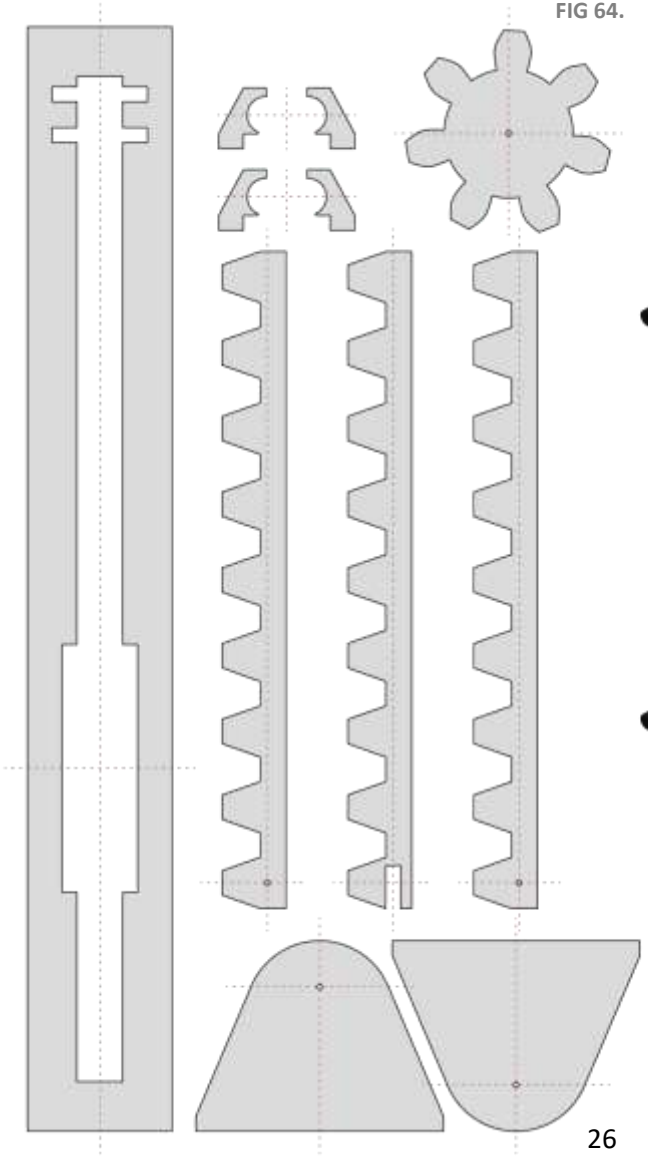


FIG 65.

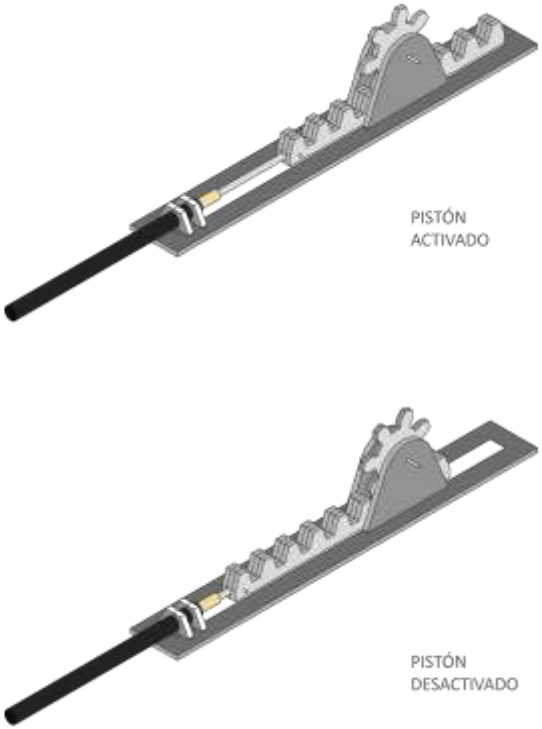


FIG 64. Diagrama de piezas de corte para prototipo sistema piñón cremallera v1, ESC 1:3

FIG 65. Vista isométrica de sistema con pistón activado y desactivado, ESC 1:8

La primera corrección a realizar es respecto a las dimensiones de cada uno de los elementos, tanto la base que sostiene el sistema, como los espesores mínimos posibles por pieza, como es el caso de la pieza de fijación al pistón, que tuvo que ser rediseñada, ya que es poco robusta.

Así mismo, la relación que existe entre el piñón, la cantidad de dientes de la cremallera y el tamaño de estos, durante la experimentación se evidenció que el tamaño del piñón y la forma de sus dientes con sus puntas truncadas, se traban en la cremallera al momento de cambiar el sentido del desplazamiento de esta.

Una de las estrategias que, sí tuvo un desempeño favorable, es la de mantener el espesor de la cremallera que se acopla al pistón, recibiendo el desplazamiento inicial de este. Evitando con esto que el piñón pierda la línea de desplazamiento y termine atascado.

12.5.5.2 PROTOTIPO PIÑÓN CREMALLERA V2

Dentro de las correcciones realizadas está el rediseño del sistema piñón y cremallera, minimizando el largo de los dientes del piñón y redondeando el contorno y añadiendo un diente extra a cada extremo de la cremallera para asegurar el correcto funcionamiento y evitar que se atasque al momento de volver al estado cero.

FIG 66. Diagrama de piezas de corte para prototipo sistema piñón cremallera v2, ESC 1:2

FIG 67. Vista isométrica de sistema con pistón activado y desactivado, ESC 1:5

FIG 66.

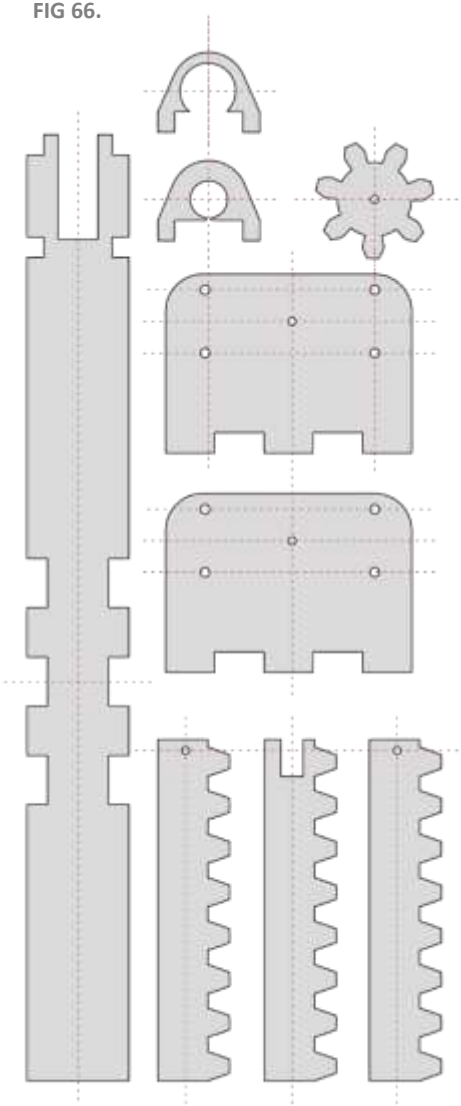
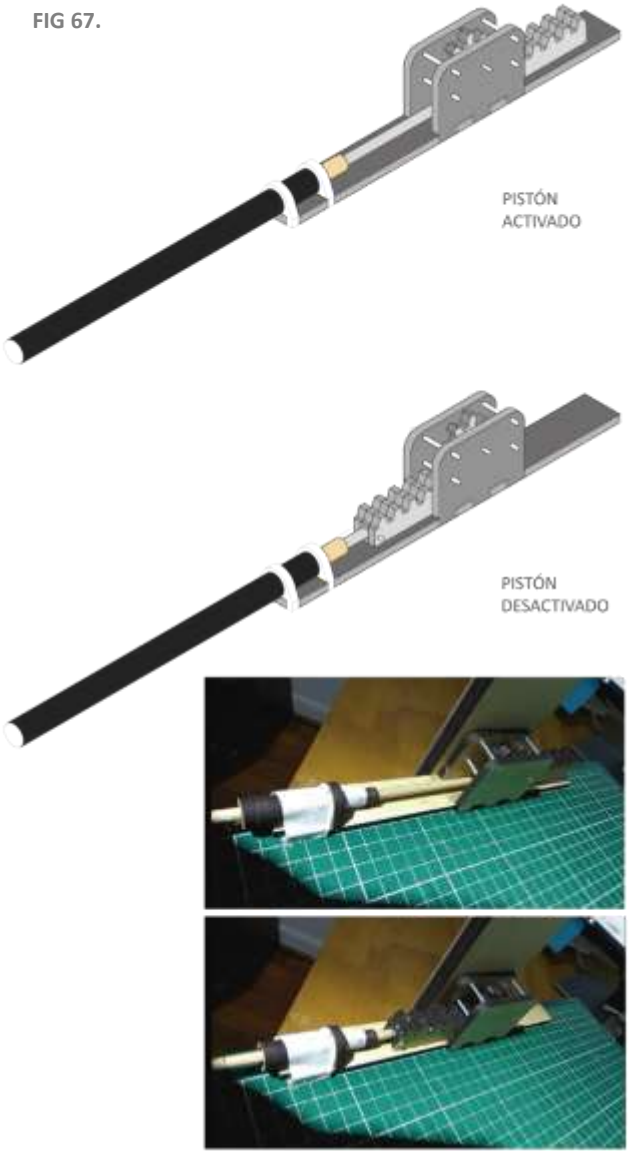


FIG 67.



12.5.5.3 PROTOTIPO MECANISMO CREMONÉ

FIG 69.

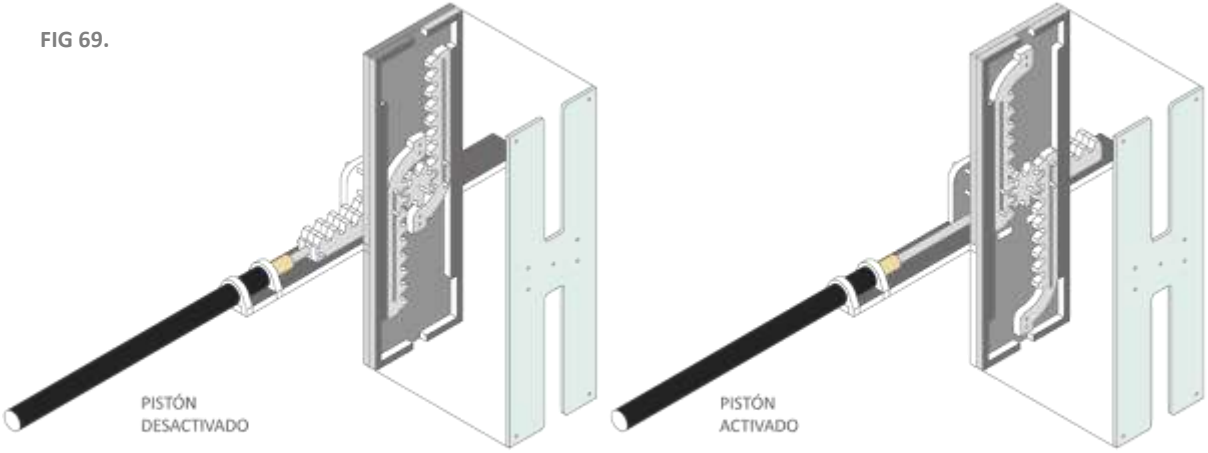


FIG 68.

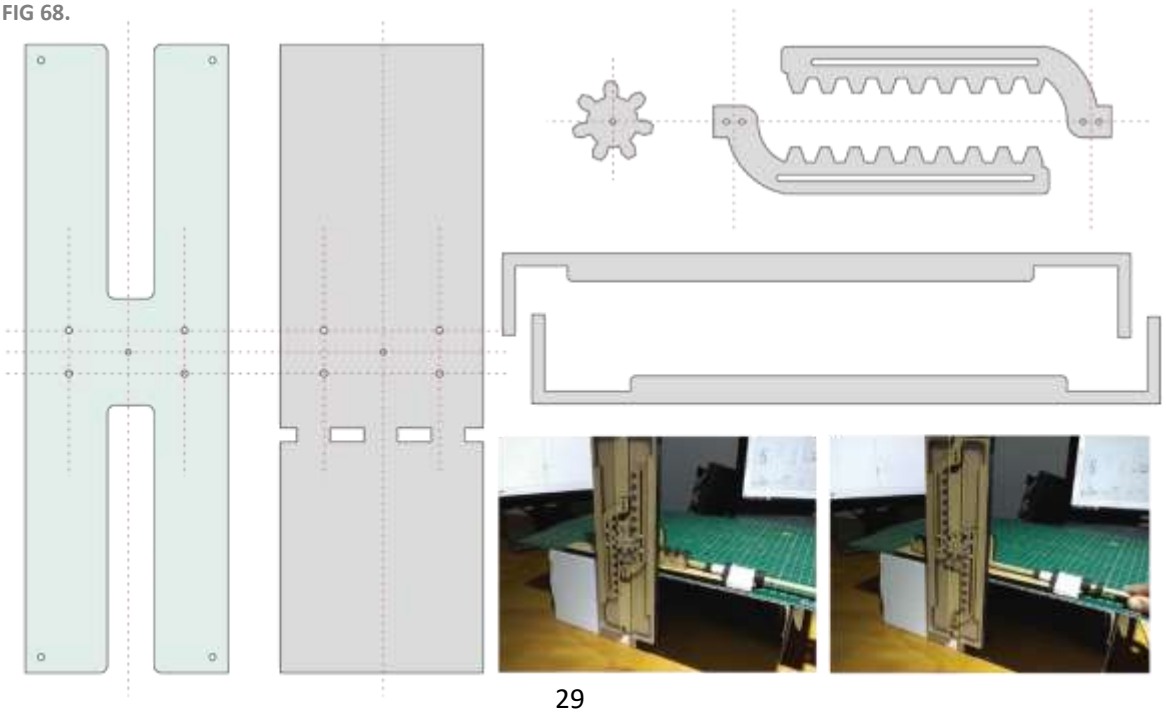


FIG 68. **Diagrama de piezas de corte para prototipo de mecanismo cremoné,** ESC 1:3

FIG 69. **Vista isométrica de sistema con pistón activado y desactivado,** ESC 1:6

Algunas de las consideraciones para el próximo diseño son respecto a los brazos cremallera, ya que al estar dentro de una caja que los contiene y guía, requieren un poco mas de espacio para evitar pérdidas de energía por el roce contra la base del sistema. Así mismo se integran dos perforaciones longitudinales a lo largo estos, con la función de hacer de guía y límite del movimiento. Paralelamente se establece que el movimiento del piñón que acciona los brazos cremallera es el mismo que efectúa el piñón del primer mecanismo transformador de movimiento, compartiendo ambos piñones el mismo eje.

12.5.5.4 PROTOTIPO MÓDULO DINÁMICO V1

Al desarrollar el primer prototipo de la expresión de fachada, el objetivo principal es aprovechar el esfuerzo realizado por el elemento actuador. El primer componente que contiene movimiento es el carril, mediante la incorporación de guías hacer efectiva la elevación de los brazos dando por inicio la activación del módulo dinámico

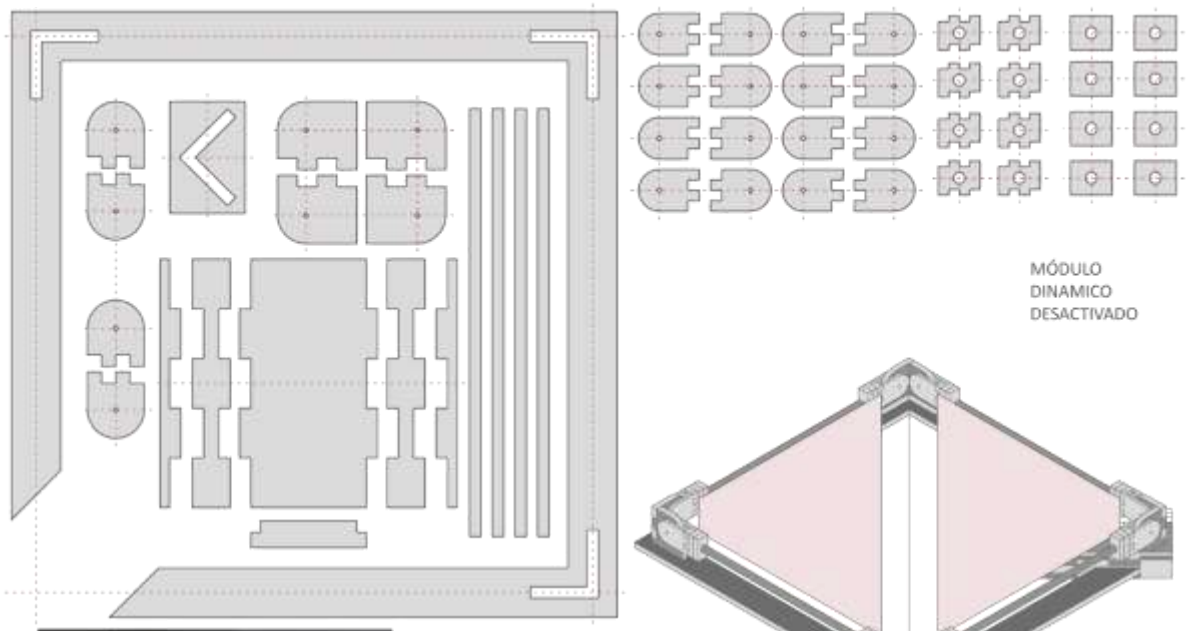
Por la materialidad usada en el modelo, es requerido usar cera a lo largo del carril para evitar roces entre sus piezas móviles. Se estima que, para su diseño final, se empleen elementos como ejes lineales usados en impresoras 3D, cortadoras láser y router cnc.

La forma de la membrana debe contemplar una sección extra de traslape para asegurar el cierre completo del sistema.

FIG 70. **Diagrama de piezas de corte para prototipo de mecanismo cremoné,** ESC 1:4

FIG 71. **Vista isométrica de sistema con pistón activado y desactivado,** ESC 1:8

FIG 70.



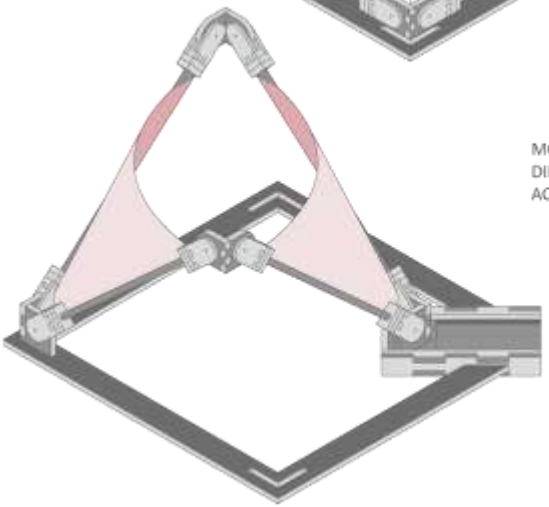


FIG 71.

OBJETIVO

ESPECÍFICO 3

13 OBJETIVO ESPECIFICO 3: Proponer modulo dinámico que una vez activado alcance el máximo % de sombra, capaz de ser panelizado y acoplado a elemento actuador para el desarrollo de fachada dinámica.

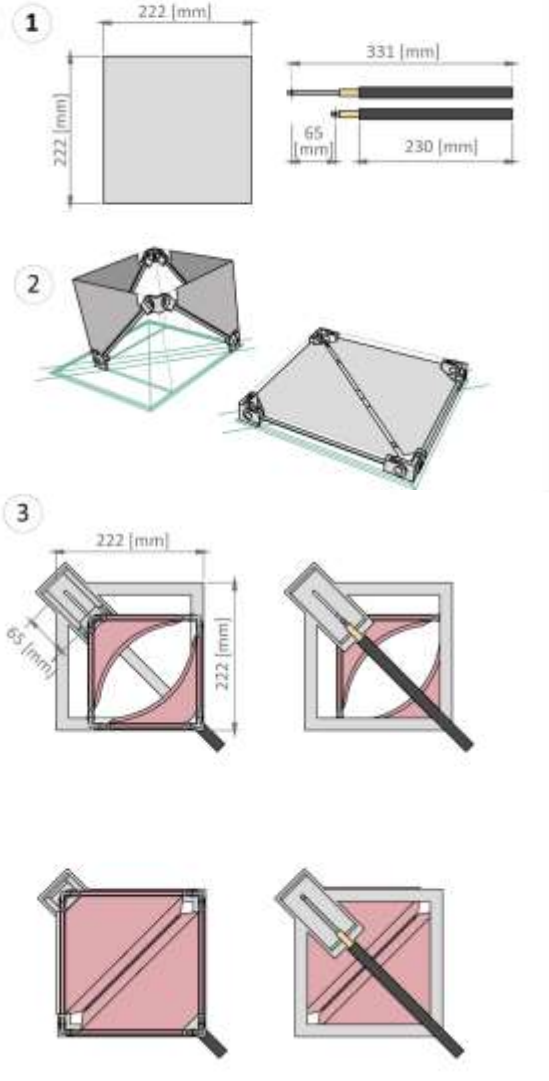
14 EXPLORACIÓN DE MÓDULO DINÁMICO

14.1 [1P/1MD]

1 PISTÓN / 1 MÓDULO MECÁNICO

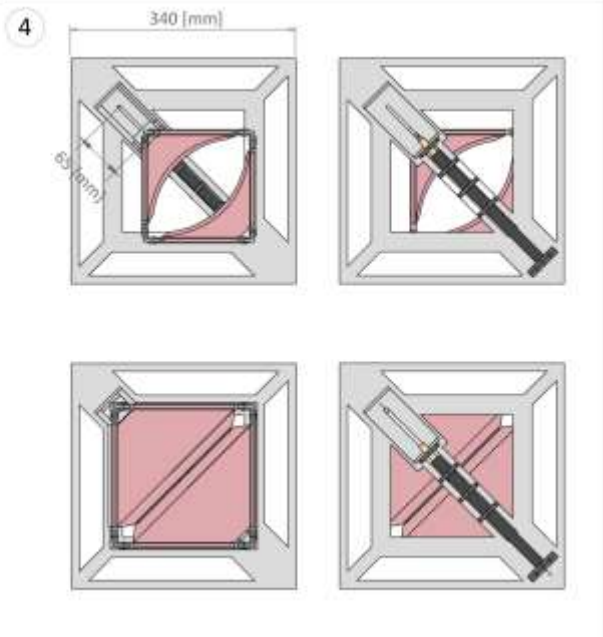
Luego de obtener el mecanismo al cual implementar el elemento actuador,

1) Se decide iniciar con una escala similar al del elemento actuador, por lo tanto, se proyecta un área de 22x22 [cm] cuando el sistema se encuentre en funcionamiento, al implementar el pistón, se ajusta la carrera mínima de accionamiento a 65 [mm] buscando asegurar la activación del sistema incluso con el mínimo desempeño por parte del pistó
2) Dentro de las posibilidades de membrana, se plantea el uso de PAI termoformado de alta flexibilidad, ya que permite ser deformado y volver a su estado original.
3) Se considera la implementación de un marco que le de soporte tanto al elemento actuador como al módulo mecánico y que a su vez permita que esta unidad funcione como elemento estructural por sí mismo.

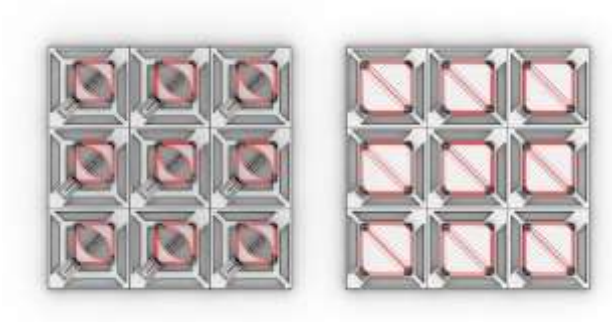


4) Se extiende el espesor del marco base para que pueda mantener el cuerpo del pistón fijo, asimismo, y para que no proyecte sombra hacia a la fachada, se sustrae material en el marco en lugares que no tengan funcionalidad estructural para el sistema completo.

FIG 72. Diagrama desarrollo de prototipo [1P/1MD] ESC 1:11



Al aplicar esta versión de prototipo en 1[m^2] se obtienen los siguientes rendimientos:



[1P/1MD]

1 pistón / 1 módulo dinámico

9 pistones = 1[m2]
1 pistón = 0,1 [m2]

9MD = 1 [m2]

	OFF	ON
x̄ SOMBRA	0,59 [m2]	0,73 [m2]
x̄ LIBRE	0,41 [m2]	0,27 [m2]

FIG 73. Tabla de rendimientos de sombra [1P/1MD] 1[m2]

Se considera que el rendimiento de esta propuesta de sistema de protección solar no es el adecuado pensando en una escala de aplicación arquitectónica, Por eso es necesario proponer una manera de integrar un mecanismo que optimice el funcionamiento del pistón ya sea moviendo más módulos dinámicos o alterando la escala de este.

14.2 [1P/2MD] V1

1 PISTÓN / 2 MÓDULOS MECÁNICOS V1

En esta siguiente iteración, se decide aumentar la cantidad de módulos dinámicos que el pistón es

capaz de accionar, para lo cual se integra el eje motriz, comprendido por el mecanismo piñón - cremallera y el sistema cremoné.

Es en este punto en donde se define el funcionamiento del módulo dinámico, es decir, la respuesta motora final en función al cambio de temperatura del entorno, ya que como ha sido expuesto anteriormente, una de las oportunidades que permite el cremoné es al alterar el orden de una pieza, cambia la expresión final del sistema ante los cambios de temperatura.

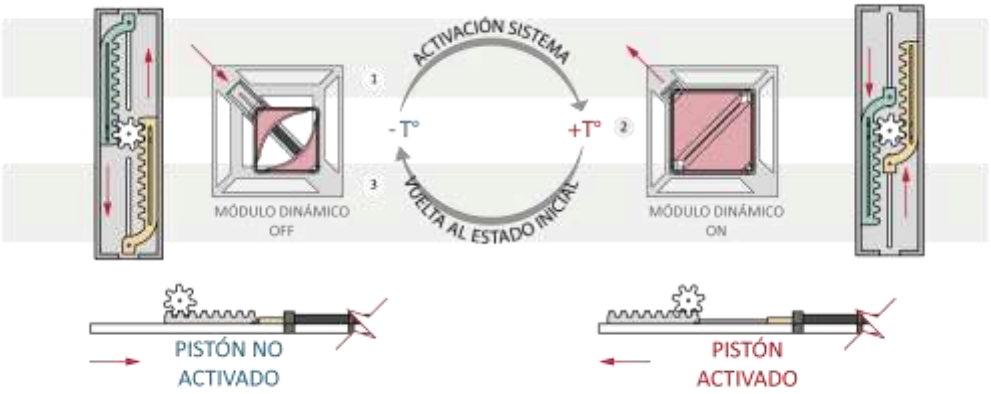


FIG 74. Diagrama de accionamiento de sistema cremoné y su expresión en módulo dinámico.

Debido a que se proyecta su uso durante meses en donde modular la luz es primordial, se determina que el funcionamiento del sistema será el siguiente:

1_ Cuando el pistón se encuentre desactivado los brazos del módulo dinámico se encontrarán arriba, permitiendo la entrada de la luz solar al interior.

2_ Cuando la temperatura del aire que rodea el cuerpo del pistón aumenta, provocando la activación del sistema, extendiendo la varilla de carrera. El módulo dinámico se cierra, bajando sus brazos y comienza a proyectar sombra

3_ Cuando la temperatura del aire que rodea el cuerpo del pistón baja, provoca la cristalización de la cera en su interior, el resorte de compresión en el eje motriz logra empujar la varilla de carrera al interior y en conjunto al peso propio del sistema se reiniciando el ciclo de funcionamiento.

Una vez definido el ciclo de trabajo del sistema de fachada, se proponen las correcciones y nuevas modificaciones de este prototipo:

1_ Integrar un segundo módulo dinámico, en el sentido contrario al módulo inicial, aprovechando el doble desplazamiento realizado por el cremoné

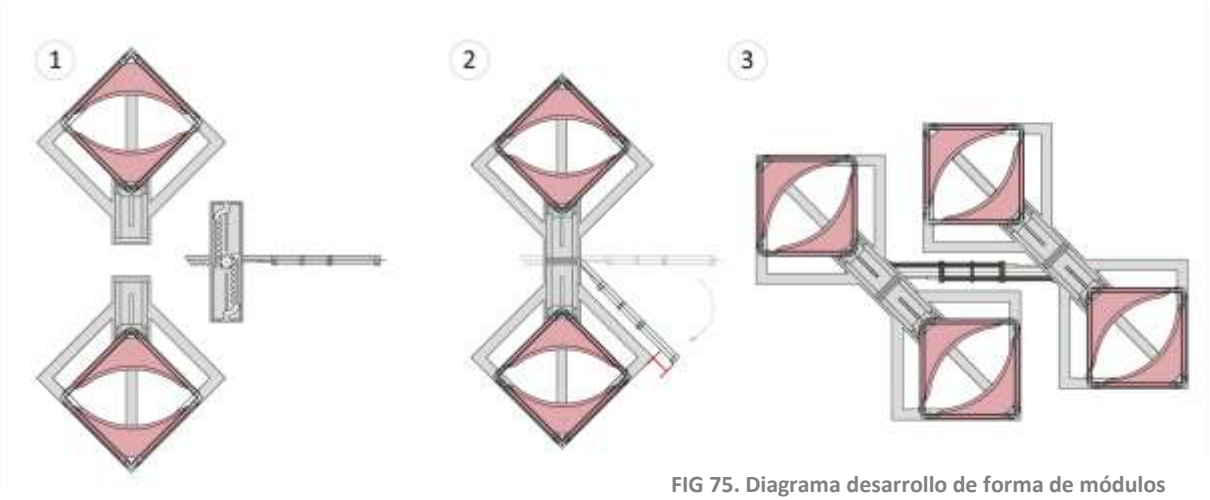
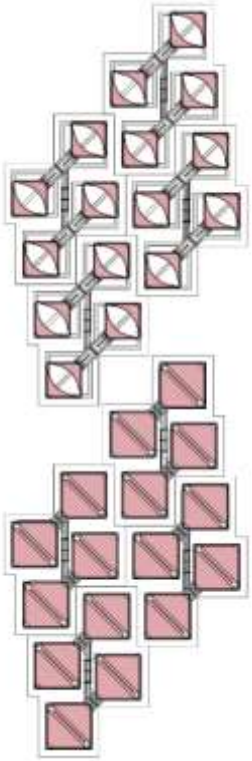


FIG 75. Diagrama desarrollo de forma de módulos dinámicos [1P/2MD]v1.

2_ Se rota la dirección del eje motriz para que coincida con uno de los costados del módulo dinámico manteniendo la ortogonalidad de sus ejes, facilitando su panelización dentro del contexto fachada.

Se hace notar que luego de la rotación del eje motriz, sobresale un extremo del pistón la posibilidad de agregar apoyos involucraría sombras no deseadas, dificultando su panelización. Se ve como una oportunidad de diseño.

3_ Se resuelve enlazar un segundo sistema de módulo dinámico - eje motriz, por medio de una copia invertida, situando paralelamente ambos ejes motrices, que al momento de ser accionados extenderán sus varillas en sentidos contrarios.



Al aplicar esta version en 1[m^2] se obtienen los siguientes rendimientos:

[1P/2MD] V1

1 PISTÓN / 2 MÓDULOS DINÁMICOS V1

4,5 pistones = 1[m2]
1 pistón = 0,2 [m2]

9MD = 1 [m2]

	OFF	ON
x̄ SOMBRA	0,42 [m2]	0,63 [m2]
x̄ LIBRE	0,58 [m2]	0,37 [m2]

FIG 76. Tabla de rendimientos de sombra [1P/2MD]v1 1[m2]

Se requiere mejorar la modulación de las unidades, ya que no conforman paños ortogonales, forma que favorece la aplicación en fachadas.

Tener en consideración para el desarrollo del módulo final el minimizar la cantidad de piezas fijas que proyecten sombra hacia la fachada, ya que se busca modelar la luz a través del movimiento del sistema.

Es en este punto en que se cumple el objetivo específico 3, sin embargo, se decide seguir desarrollando la idea en búsqueda de encontrar la unidad mínima de este sistema.

14.3 [1P/2MD] V2 1 PISTÓN / 2 MÓDULOS DINÁMICOS V2

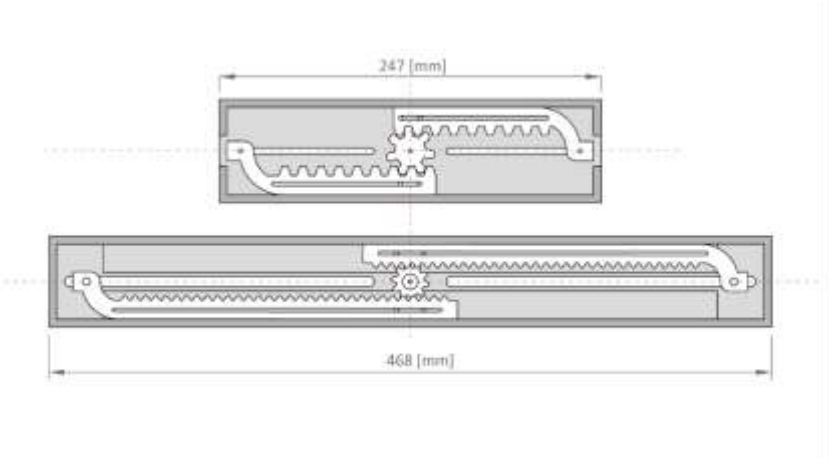


FIG 77. Diagrama propuesta de cambio de escala sistema cremoné [1P/2MD]v2

En este nuevo prototipo de sistema, se busca llevar al límite la escala de los elementos que los componen ya que, en teoría al modificar la forma de las partes del eje motriz, es posible alterar el rendimiento del cremoné. Principalmente porque este sistema está diseñado para aprovechar las vueltas completas dadas por el piñón, entonces si aumento la cantidad

de dientes de las cremalleras y su vez minimizó el radio y la cantidad de dientes presentes en el piñón, este girará más veces, permitiendo que los brazos de cremallera del cremoné tengan una extensión más larga.

Entendiendo que el límite de carga del elemento actuador es alto, se propone un salto de escala.

Esto resulta en la necesidad de estructurar este sistema de una manera diferente, ya que requiero que contenga tanto eje motriz, no le de sombra al elemento actuador, y que permita fijación entre diferentes módulos para la conformación de fachadas.

Al proponer modulación los ejes en 45° no permiten mantener una composición con ejes ortogonales, factor esencial para su aplciación en una fachada arquitectónica. Por lo cual , se determina como área de trabajo el contorno de los módulos para diseñar los puntos de acople entre estos.

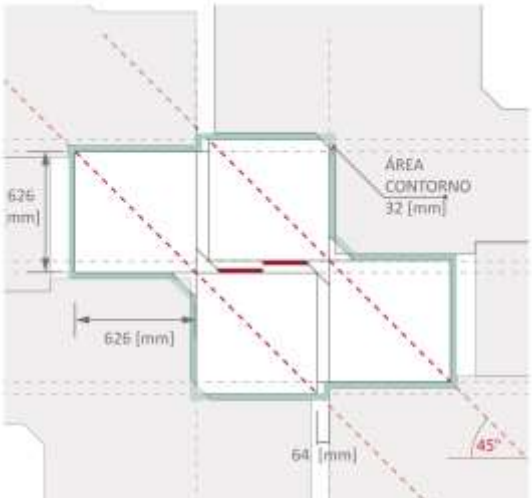


FIG 78. Diagrama propuesta modulación con ejes en 45°

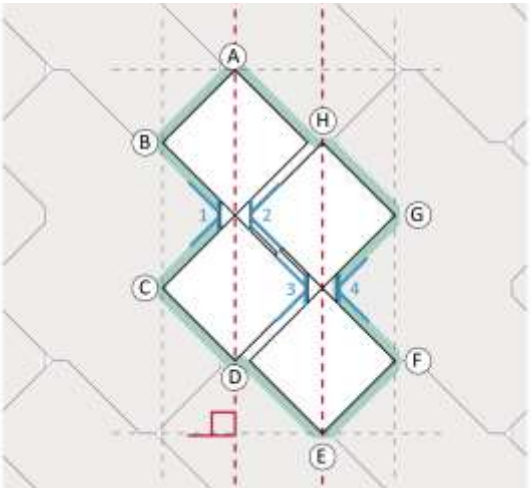


FIG 78. Diagrama propuesta de modulación con ejes a 90° y puntos de unión a otros módulos.

Se rotan los ejes centrales para pasar de 45° a 90° con lo cual se conforma una estructura reticulada en base a rombos.

Para mantener estos ejes se modifica el área contorno de los módulos, truncando las esquinas que tienen contacto con los otros módulos, señalado en los puntos A al H . Y se retrae en los puntos donde un vertice de uno, toca el eje motriz de su módulo gemelo, señalados en puntos 1 al 4 .

A partir de la forma obtenida se plantean dos maneras de modular la disposición del módulo dinámico en el paño de fachada:

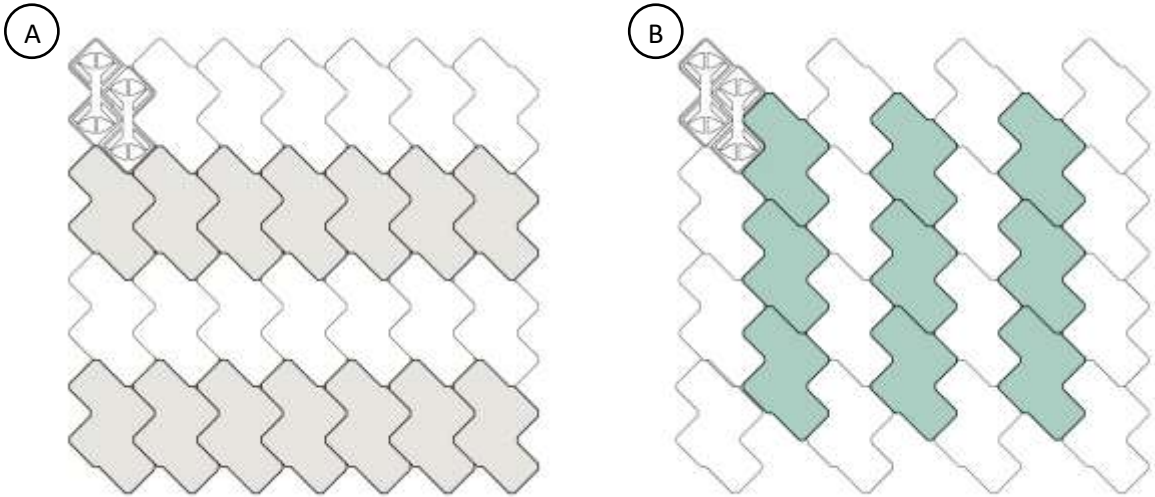


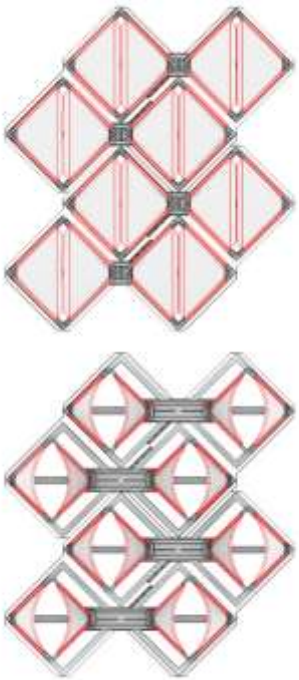
FIG 79. Diagrama propuesta de modulación en paño de fachada.

A) La manera más compacta y que se adecúa fácilmente a una configuración ortogonal, sin dejar espacios vacíos considerables, además con la capacidad de diferenciar cada fila con un tipo de respuesta diferente

B) Se mantienen los ejes de los módulos dinámicos pero los espacios libres requieren de una solución que unifique su borde para su aplicación en fachada, abriendo la oportunidad a desarrollar cubiertas de módulo dinámico fijas con diferentes niveles de permeabilidad de luz y apertura.

C)

Al aplicar esta version en 1[m^2] se obtienen los siguientes rendimientos:



[1P/2MD] V2

1 PISTÓN/2 MÓDULOS DINÁMICOS V2

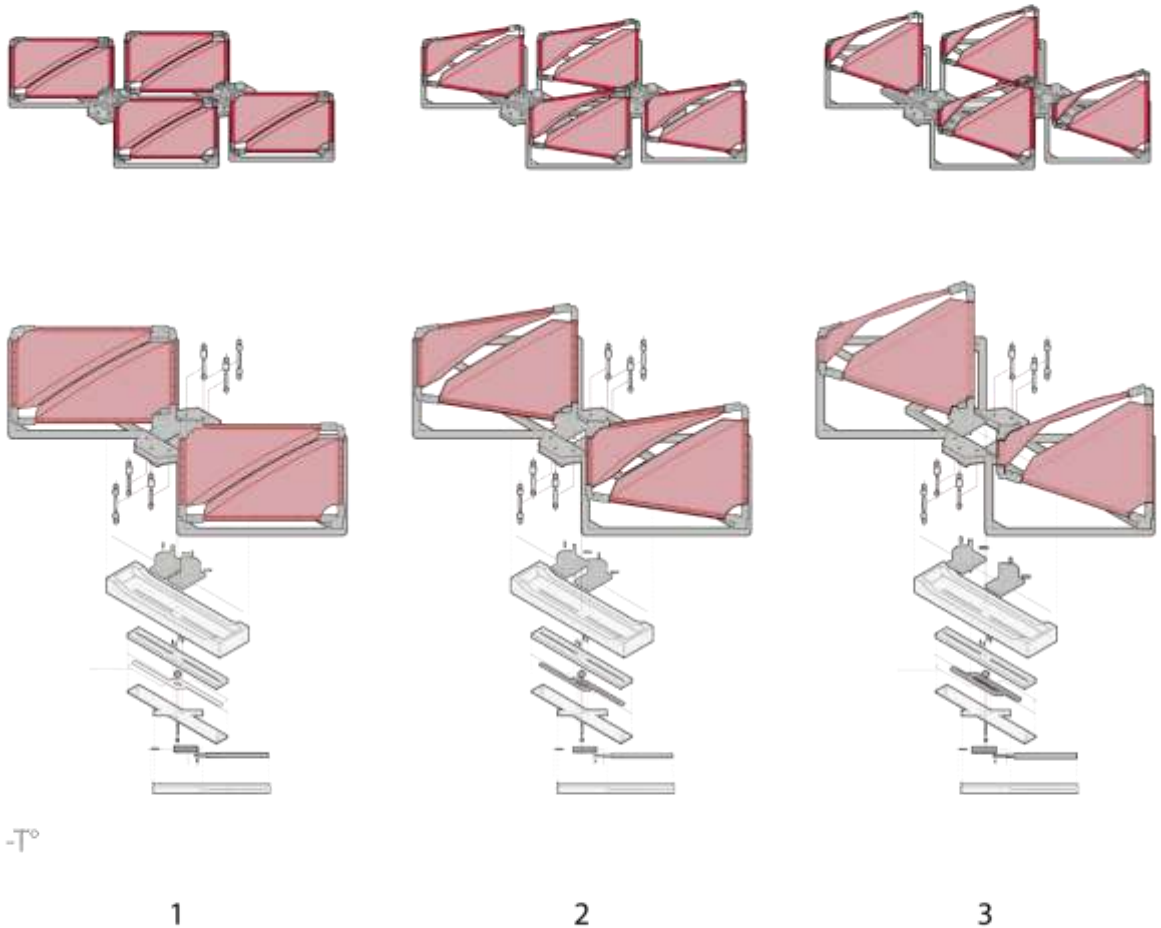
2 pistones = 1[m2]
1 pistón = 0,5 [m2]

2MD = 1 [m2]

	OFF	ON
x̄ SOMBRA	0,46 [m2]	0,80 [m2]
x̄ LIBRE	0,54 [m2]	0,20 [m2]

FIG 80. Tabla de rendimientos de sombra [1P/2MD]v2 1[m2]

14.4 SECUENCIA DE DESPLIEGUE DE MÓDULO DINÁMICO



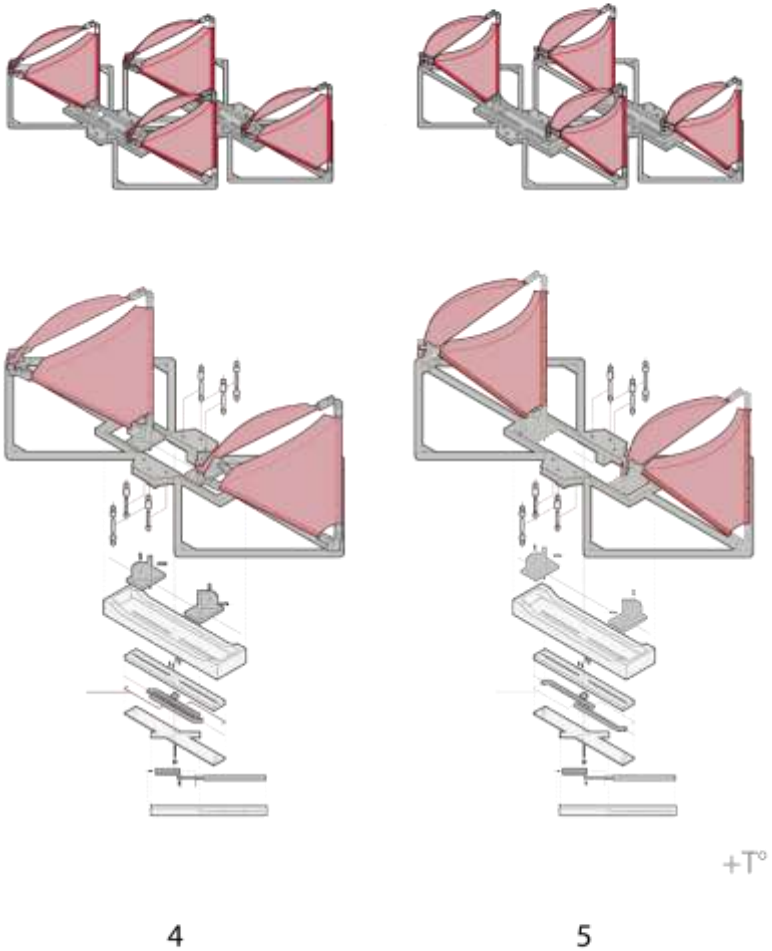


FIG 81. Diagrama isométrico explotado de módulo dinámico y secuencia de despliegue ante cambios de temperatura

ESC 1:30

14.5 PROPUESTAS DE APLICACIÓN CON OPCIONES DE MÓDULO DINÁMICO IMPLEMENTADO

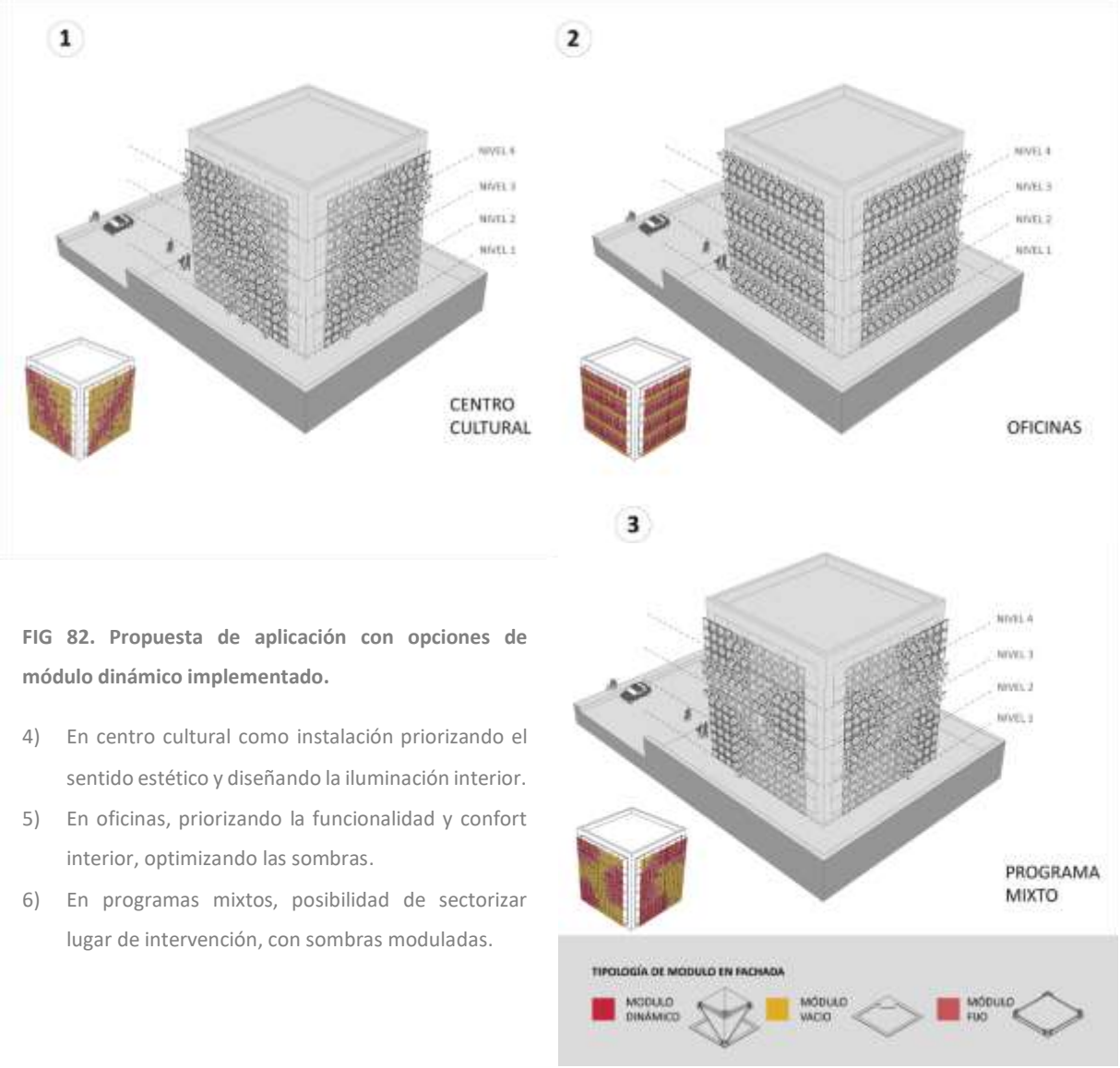


FIG 82. Propuesta de aplicación con opciones de módulo dinámico implementado.

4) En centro cultural como instalación priorizando el sentido estético y diseñando la iluminación interior.
5) En oficinas, priorizando la funcionalidad y confort interior, optimizando las sombras.
6) En programas mixtos, posibilidad de sectorizar lugar de intervención, con sombras moduladas.

14.6 ESTRUCTURA SECUNDARIA

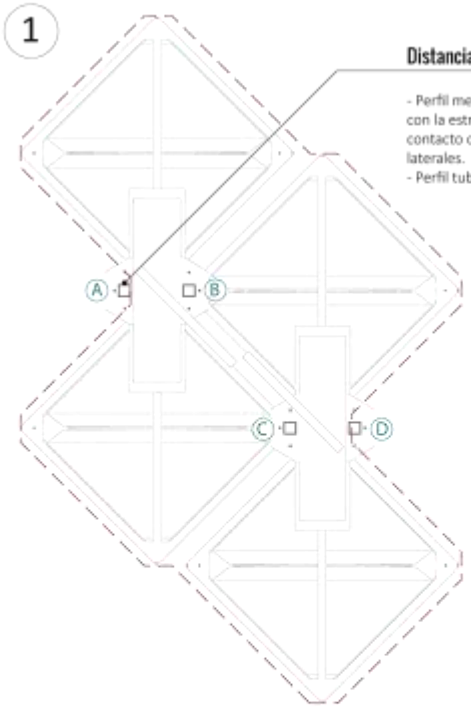


FIG 83. Vista trasera de módulo dinámico

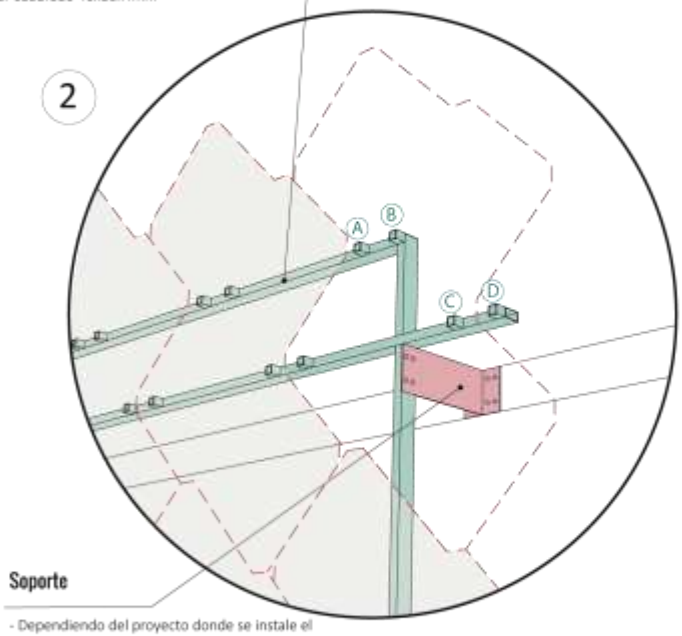


FIG 84. Detalle constructivo unión estructura secundaria.

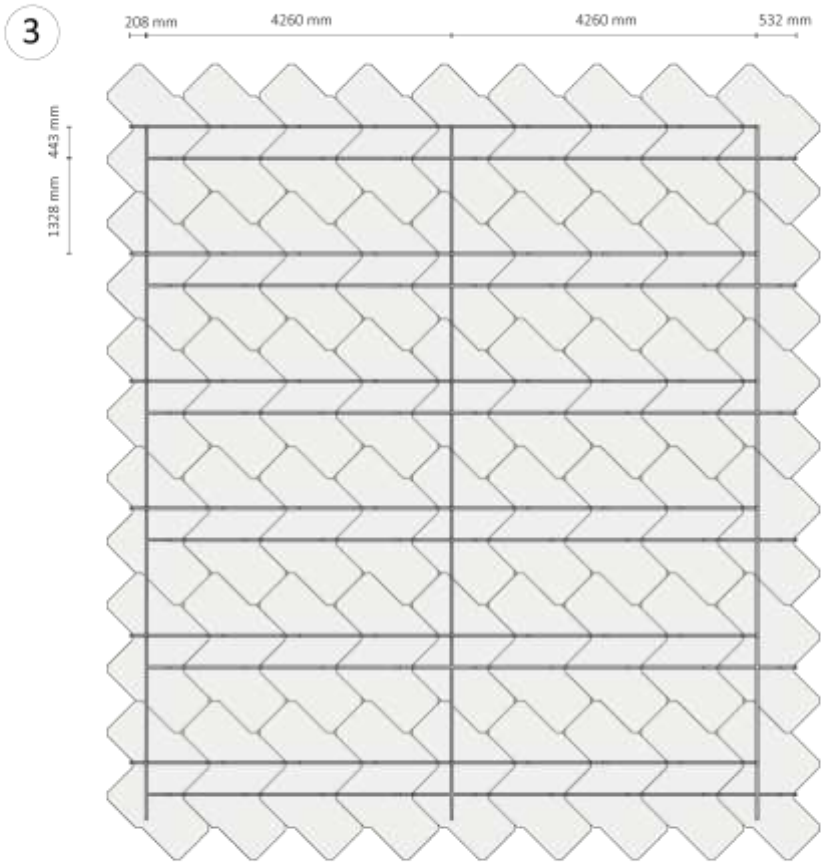


FIG 85. 3_ Estructura secundaria sobre fachada propuesta.

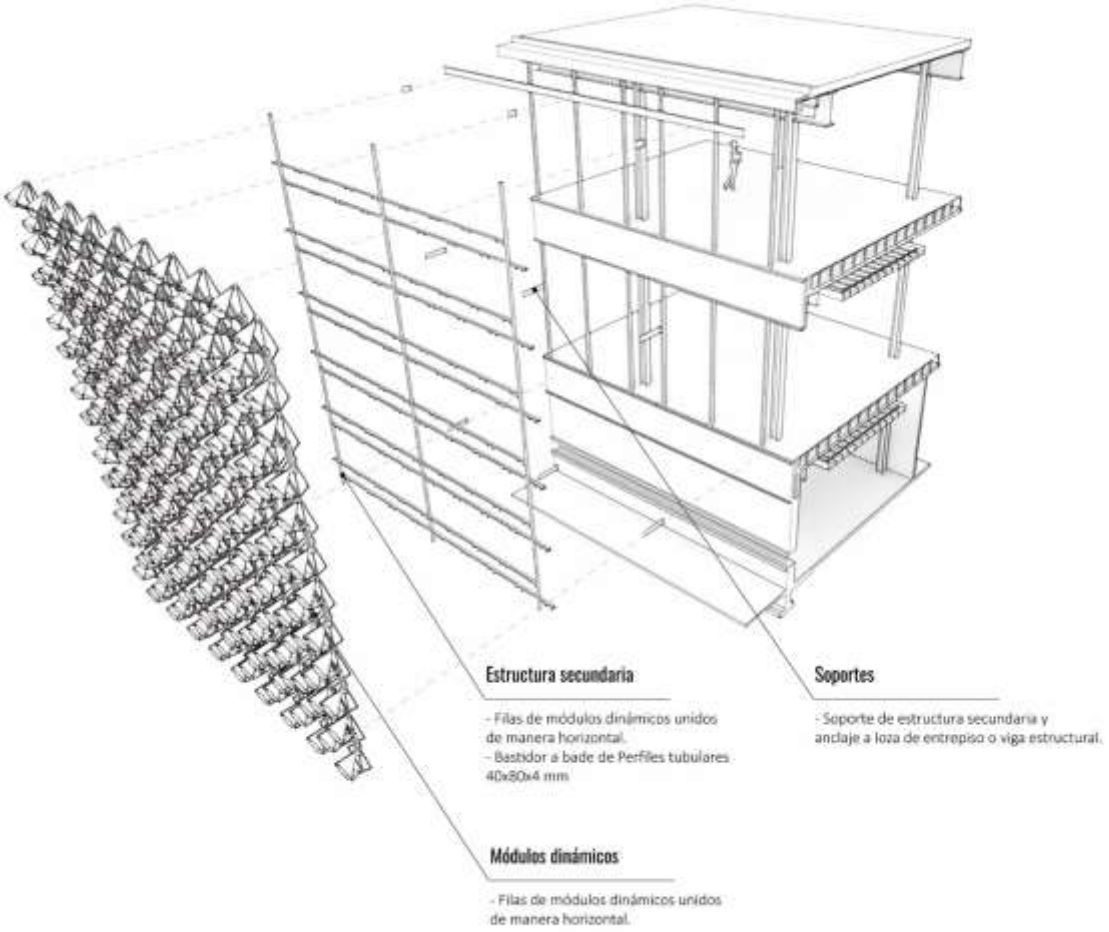


FIG 86. Secuencia de estructura secundaria

14.6.1 DETALLE CONSTRUCTIVO

FIG 87. Planimetría módulo dinámico

Estado OFF- pistón desactivado

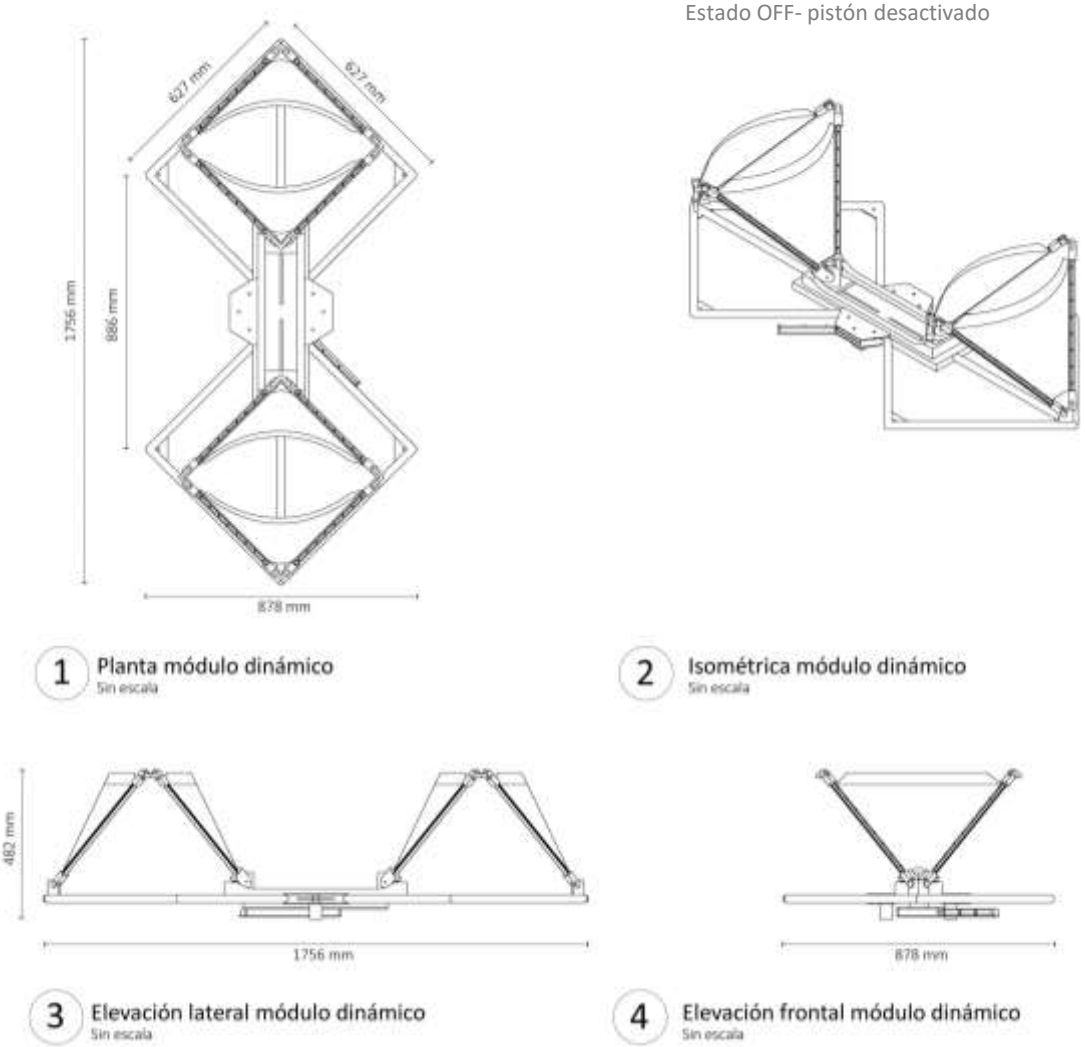
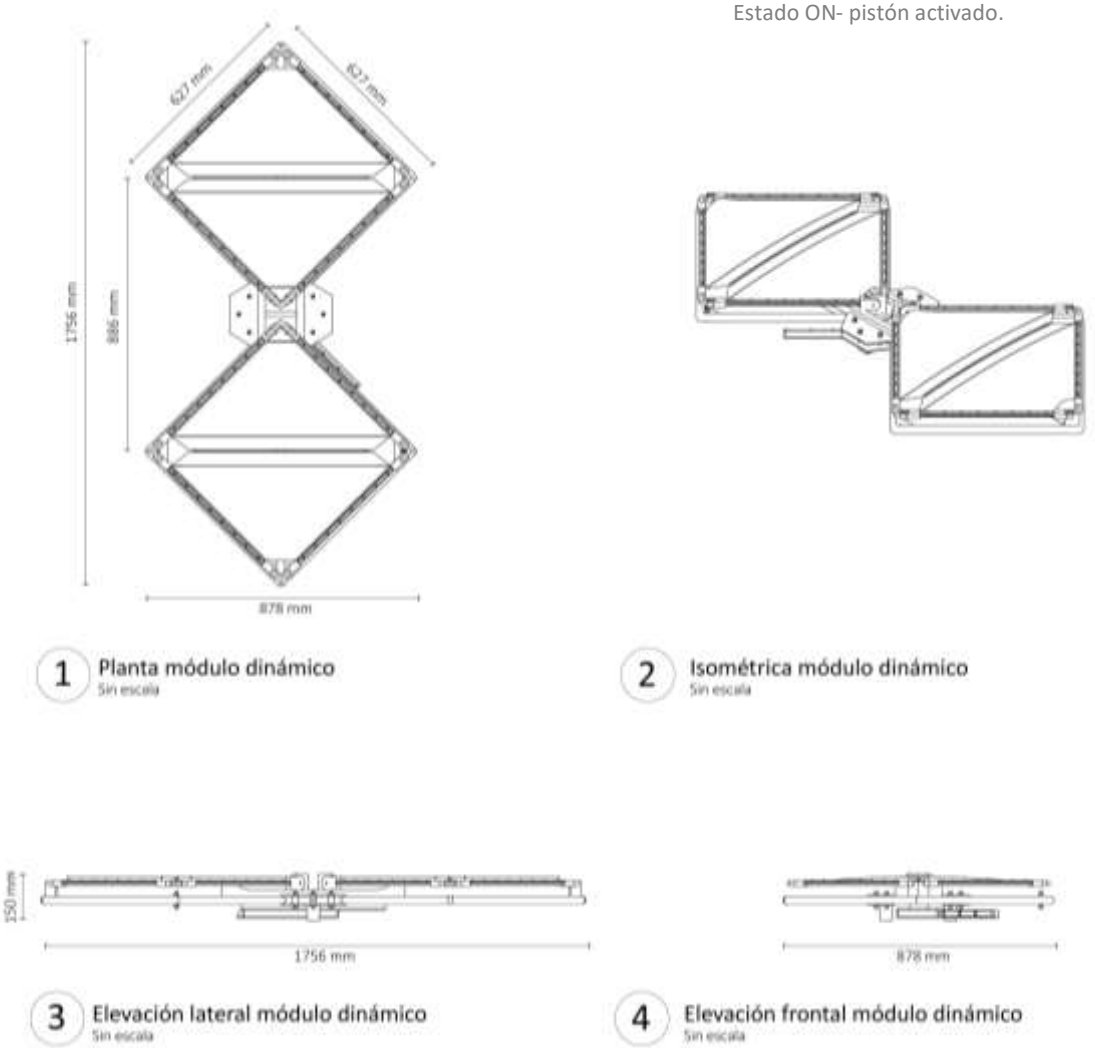
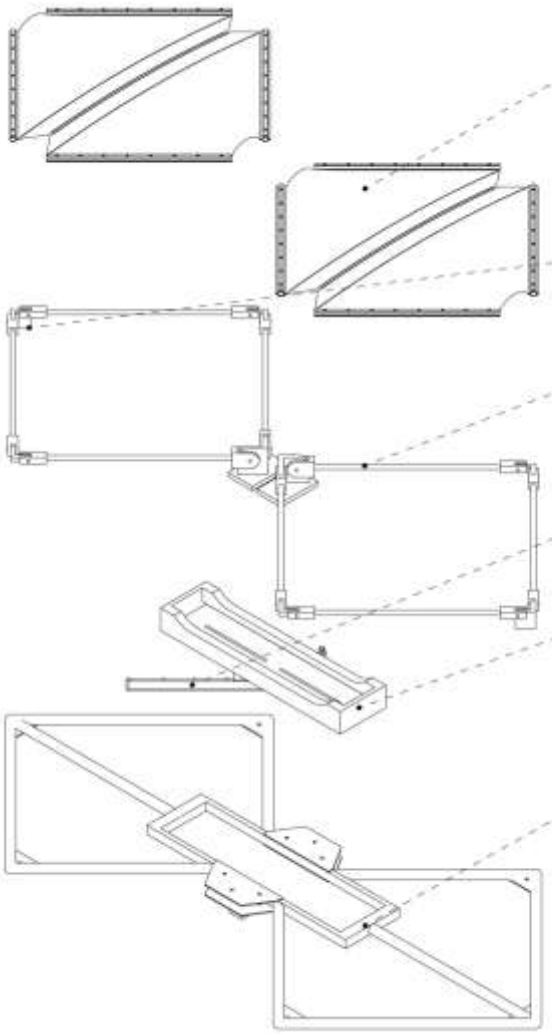


FIG 88. Planimetría módulo dinámico

Estado ON- pistón activado.





Membrana

- Tela PVC con tratamiento de aleación PVDF, otorgando resistencia ante contaminantes armosféricos, rayos UV y la intemperie.
- De 10 a 20 años de vida útil.
- Utilizado en el desarrollo de tensoestructuras y cubiertas flexibles.

Vértice

- Lugar de unión entre los brazos y la estructura principal.

Brazos

- Perfiles tubulares y piezas mecanizadas de aluminio, conforman la estructura de los brazos, que al desplazar uno de sus vertices eleva o baja las membranas.

Pistón

- Elemento motriz del módulo dinámico.

Eje motriz

- Sistema mecánico encargado en transformar la fuerza lineal del pistón en un movimiento giratorio sobre un eje.
- Esta fuerza se utiliza para activar 2 brazos por postón.

Estructura Principal

- Destinada a soportar las cargas del sistema, permitir unión entre módulos y fijarse a la estructura secundaria de la fachada.
- Perfiles tubulares de aluminio conforman los 2 cuadrados principales, que se unen con una caja de aluminio mecanizada, donde se fija el eje motriz.
- En el centro del cuerpo tiene 1 par de aletas de aluminio, que permiten la unión con otro modulo, para generar un manto.

FIG 89. Planimetría módulo dinámico.

Despiece de mecanismo.

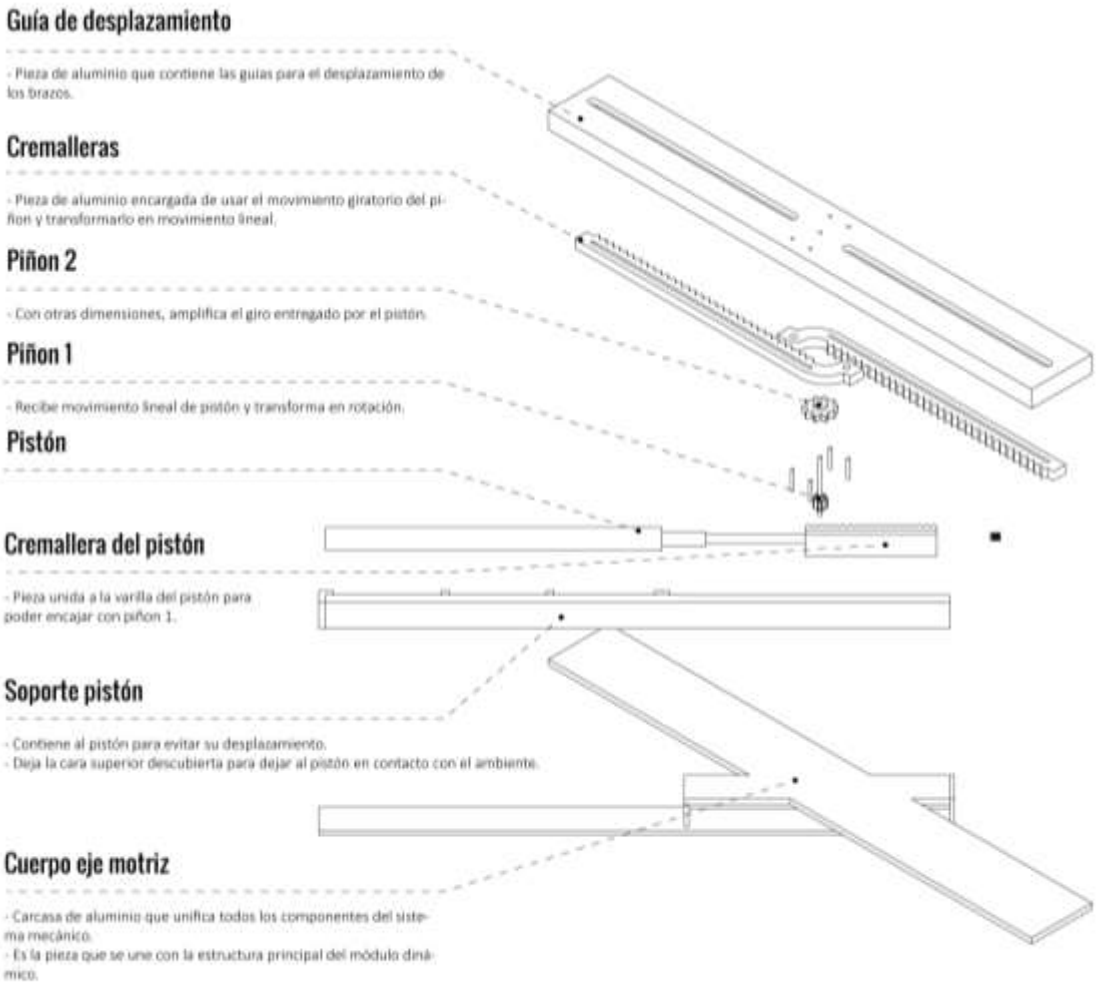


FIG 90. Planimetría eje motriz.

Despiece de mecanismo.

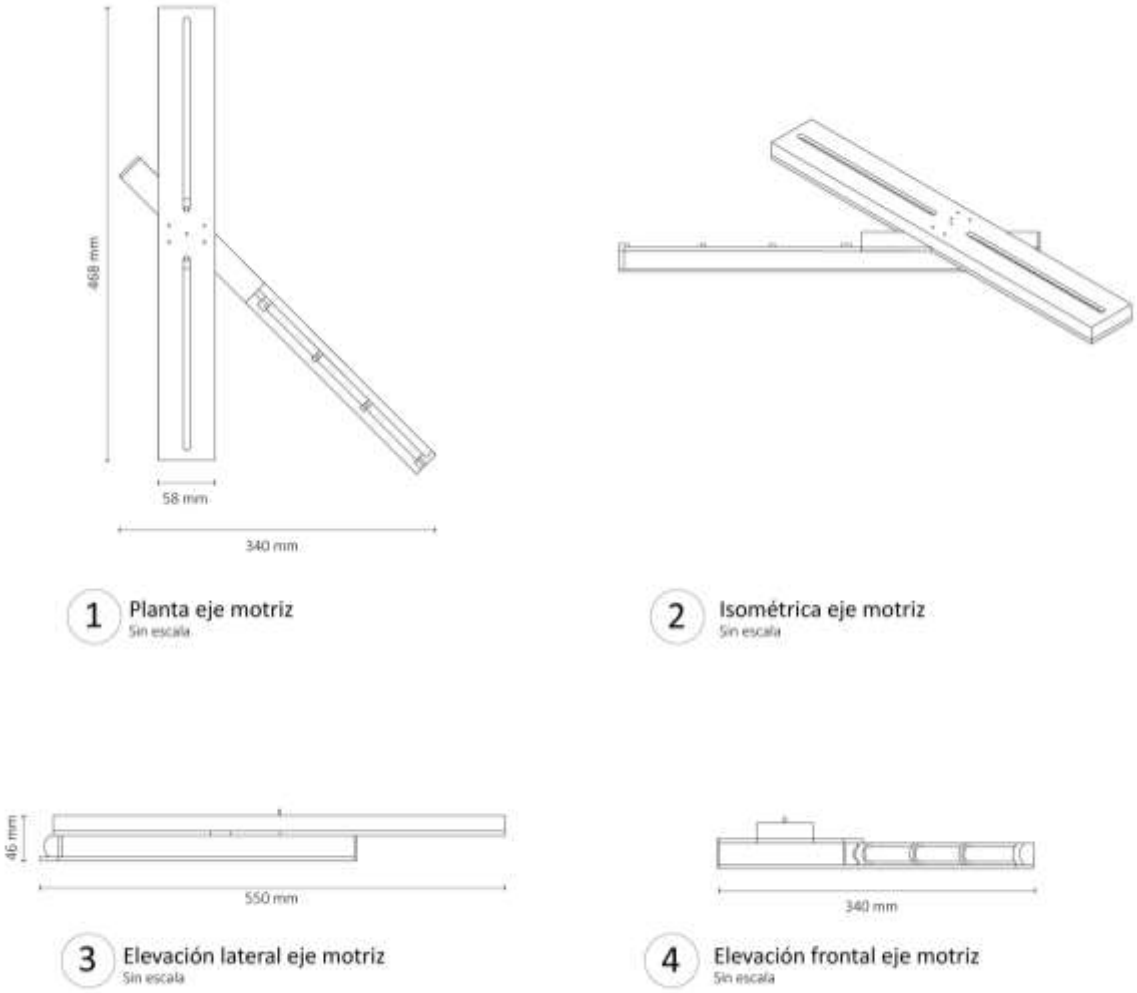
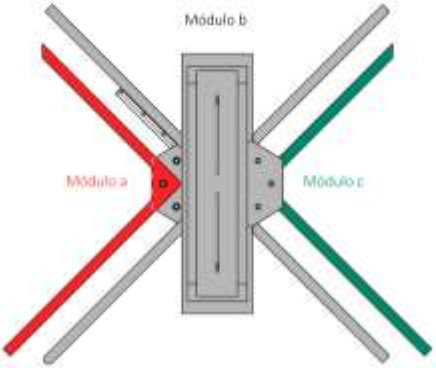


FIG 91. Planimetría eje motriz.

Vistas de elemento

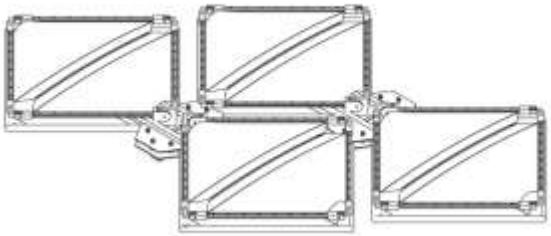
FIG 92. Planimetría módulo dinámico.

Ensamble con otros módulos - modulación

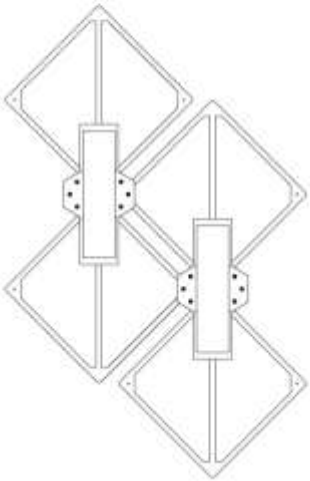


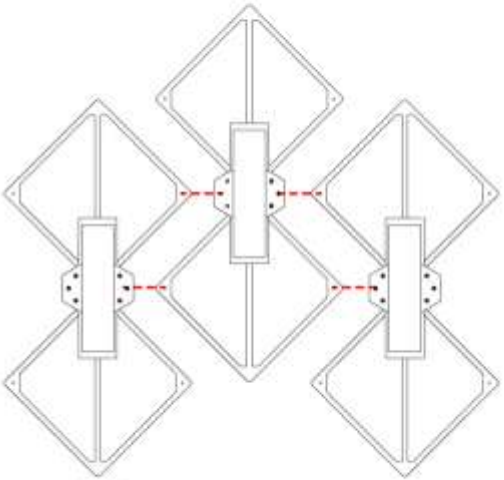
1 Detalle unión módulos dinámicos
Sin escala

El cuerpo principal cuenta con dos placas laterales por lado, entre las cuales llega el siguiente módulo y se aperman para fijar.



2 Isométrica módulos unidos
Sin escala





3 Plano modulación
Sin escala

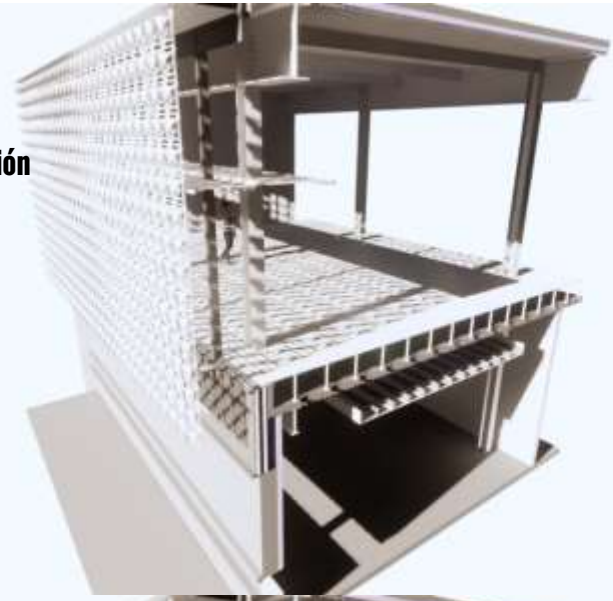
14.7 VISUALIZACIONES

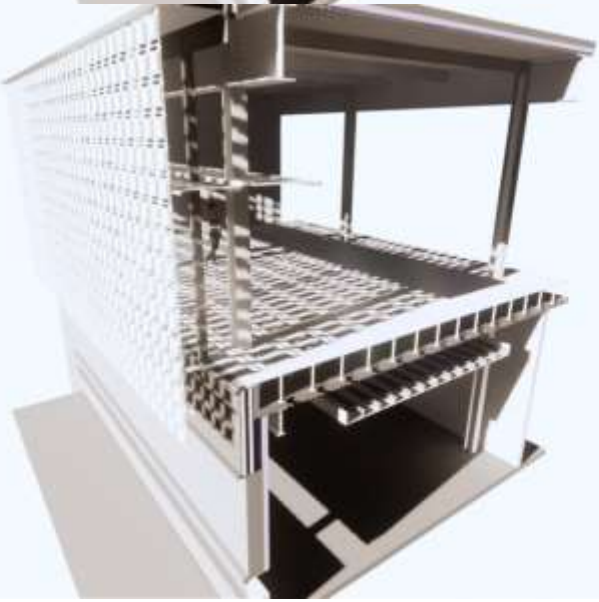
14.7.1 [1P/1MD]

Contexto de aplicación

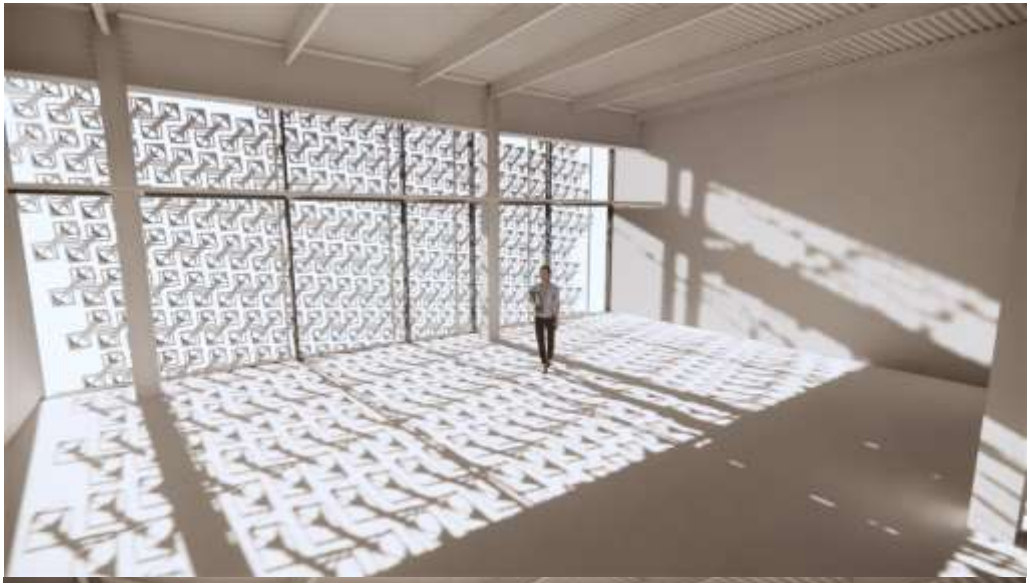
solución fachada

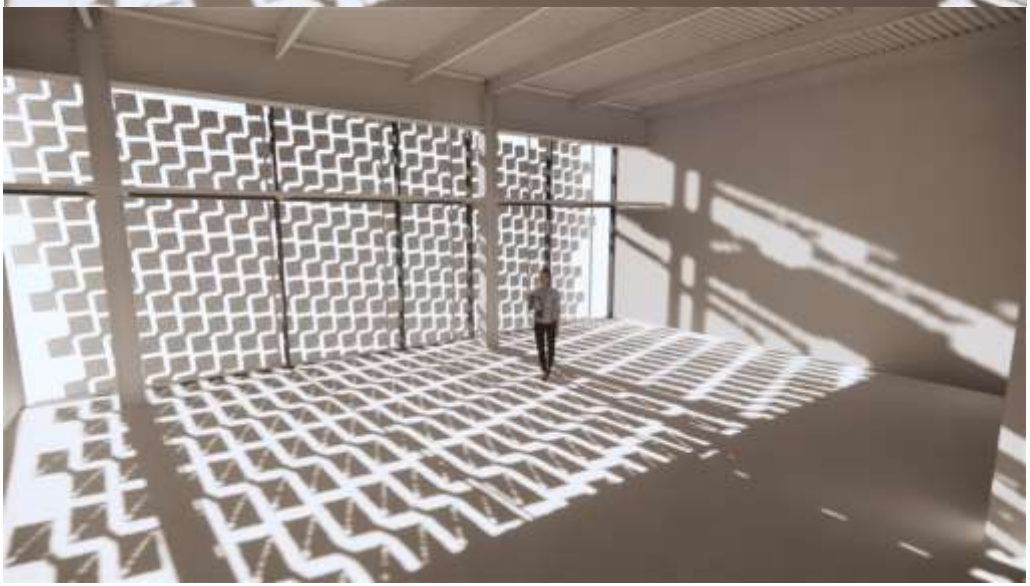
EXTERIOR OFF -ON





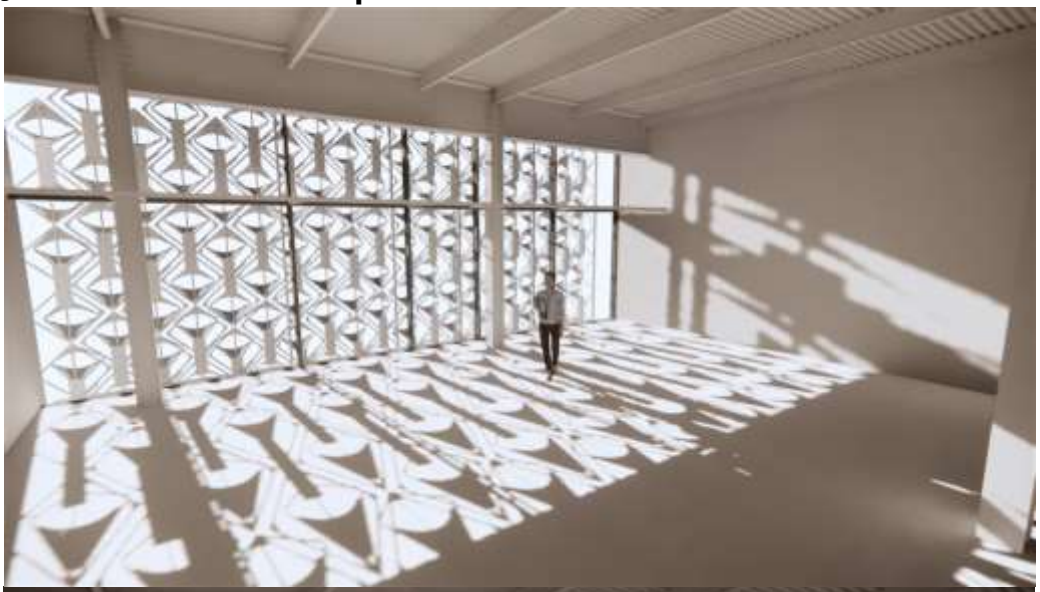
14.7.2 [1P/2MD] V1 Contexto de aplicación solución fachada - INTERIOR/ OFF - ON



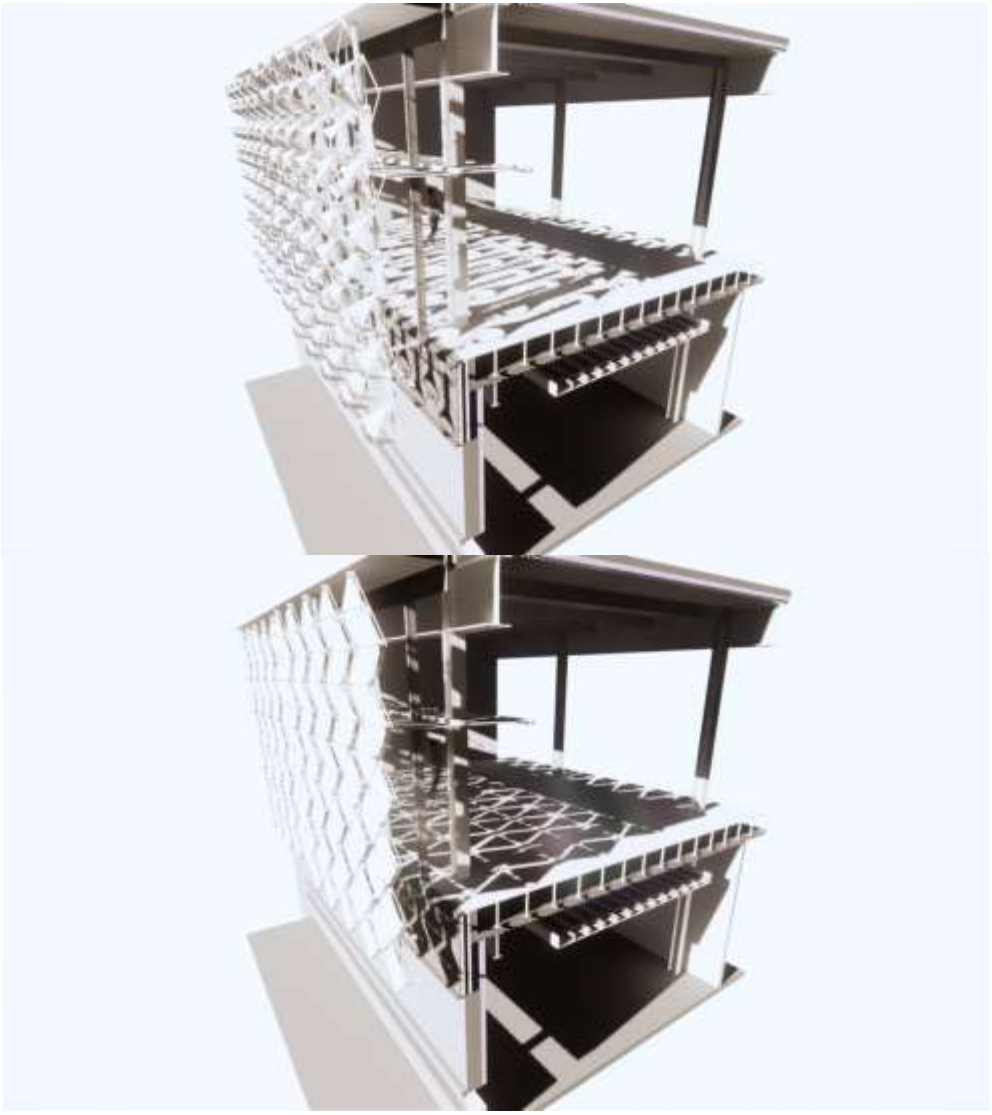


14.7.3 [1P/2MD]V1 Contexto de aplicación solución fachada EXTERIOR/ OFF - ON

14.7.4 [1P/2MD] V2 Contexto de aplicación solución fachada - INTERIOR/ OFF - ON



14.7.5 [1P/2MD]V2 Contexto de aplicación solución fachada - EXTERIOR/ OFF - ON



14.7.6 VISUALIZACIÓN OPCIÓN FACHADA - VERSIÓN FINAL

CONCLUSIÓN

15 CONCLUSIONES

En esta tesis se estudió, diseñó, fabricó, optimizó y simuló un prototipo de módulo de fachada arquitectónica de respuesta dinámica-térmica utilizando un actuador pasivo. Se pudieron enfrentar y resolver con éxito todos los problemas presentados durante el desarrollo de esta tesis.

Lo expuesto a lo largo de este trabajo permite llegar a las siguientes conclusiones:

1.En cuanto a utilizar un pistón de agronomía como elemento accionador

El prototipo desarrollado cumple con las condiciones establecidas en la etapa de investigación, demostrando que un elemento actuador, utilizado en el área de la agronomía, es capaz de llevar a cabo movimientos en un sistema mecánico de fachada cinética, en función a los cambios de temperatura ambiental.

2.En cuanto al mecanismo transformador o transmisor

El diseño de módulo dinámico obtenido tiene varias iteraciones, logrando aumentar el rendimiento otorgado por un solo pistón, quintuplicando el rendimiento del primer prototipo. Se utilizó un sistema mecánico de piñón y cremallera que, además de aumentar la carrera del pistón, también logra accionar dos módulos en sentido contrario.

3.En cuanto al módulo dinámico o elemento conducido y materialidad.

Luego de obtener el sistema que optimiza el rendimiento del pistón, se rediseño la estructura completa del módulo manteniendo las restricciones de diseño, pero, considerando una opción de materialidad final, para poder dar dimensiones adecuadas a cada elemento del conjunto.

Se consideran membranas flexibles de tela PCV, generalmente utilizadas en tenso estructuras o cubiertas flexibles, de entre 10 y 20 años de vida útil. El resto del cuerpo se compone de piezas mecanizadas y perfiles tubulares de aluminio, permitiendo reducir el tamaño total de la estructura y aumentando el rendimiento del pistón.

La estructura diseñada posee un alto nivel de modulación, además de un sistema de acople entre módulos, que permite generar grandes mantos. Además, se consideraron puntos de apoyo claves en la parte trasera del sistema, para liberar a los pistones del contacto con la estructura secundaria que recibirá los módulos en la fachada.

Debido a la pandemia y al cierre temporal de los recintos de estudios, la tercera parte de la investigación (OE3), se desarrolló a partir de estimaciones y simulaciones, limitando la posibilidad de estudiar el máximo potencial del pistón.

En conclusión, abre la puerta a nuevas preguntas relacionadas con el máximo potencial del pistón. Entre ellas, y sólo a modo de ejemplo, cuál es la carga máxima que soporta un pistón antes de fallar por fatiga de material, cuál es la posibilidad de fabricar una estructura que contenga el cuerpo del pistón, de manera de eliminar posibles fallas por fatiga de material, cuáles son los requerimientos para diseñar un pistón de cera y poder regular las temperaturas de accionamiento, qué cambios requiere el módulo dinámico para ser utilizado como cubierta en un espacio itinerante, intermedio o públicos. Estos problemas, entre otros, deberán ser objetivos de nuevas investigaciones.

16 REFERENCIAS

16.1 LIBROS Y PAPERS

-Baquedano, C. (2017). Sistema de protección Solar aprovechando las propiedades Termoeslásticas de los Bimateriales. Valparaiso: UTFSM.

-Bernal Rojas, D. (2019). Estrategias pasivas de ventilación natural en la envolvente de un modelo de edificación dotacional, para el mejoramiento del confort térmico en la ciudad de Bogotá. Universidad Católica de Colombia. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23360/1/Estrategias-pasivas-de-ventilación-natural-en-edificio-dotacional-en-la-ciudad-de-Bogotá.pdf

-Carmenado Vaquero, L. (2016). ESTÍMULOS Y REACCIONES Fachadas dinámicas ante el sol, el viento y la temperatura. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM). https://oa.upm.es/39236/1/TFG_Loreto_Carmenado_Vaquero.pdf

-Duerig, T., Melton, K., Stöckel, D., & Wayman, C. (1990). Engineering Aspects of Shape Memory Alloys (1st ed.). Essex, UK: Butterworth-Heinemann Ltd.

-Lagoudas, D., Miller, D., Rong, L., & Kumar, P. (2009). Thermomechanical fatigue of shape memory alloys: Smart Materials and Structures. Retrieved from http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/18/8/085021/meta

-Leung, C. (2014). Passive seasonally responsive thermal actuators for dynamic building envelopes. Londres, UK. Retrieved from https://www.ucl.ac.uk/bartlett/architecture/dr-christopher-leung

-Loveday, P., & Long, C. (2007). A thermo-hydraulic wax actuation system for high force and large displacement applications. Pretoria, South Africa: L. Porter Davis, B. K. Henderson, M. Brett McMickell, Proc. of SPIE.

-Manual 3 - Aire. (2011, 5 mayo). Issuu, de https://issuu.com/casilisto/docs/manual_3_-_aire

-Nelson, R. R., Webb, W., & Dixon, J. A. (1960). First-Order Phase Transitions of Six Normal Paraffins at Elevated Pressures. The Journal of Chemical Physics, 33(6), 1756–1764. https://doi.org/10.1063/1.1731498

-Olmedilla Jiménez., J. (2012). Sistema de doble fachada. Análisis de las mejoras en las prestaciones térmicas y acústicas de un edificio destinado a centro de salud. UPV Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34057/IMPRESION_definitivo_TFM.pdf?sequence=1

-Omar Khan, James T. Brucz, Nicholas Bruscia, and Matthew T. Hume. (2008) Reflexive architecture machines. Buffalo, New York, USA, first edition.

-Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3559–3573. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.03.045

- Schiano, R., Ford, B., & Bordass, B. (2000). Specification of automatic vent opening devices for natural ventilation : WestminsterResearch. University of Westminster Repository. https://westminsterresearch.westminster.ac.uk/item/944x2/specification-of-automatic-vent-opening-devices-for-natural-ventilation

-Stavridou, Anastasia D., Breathing architecture: Conceptual architectural design based on the investigation into the natural ventilation of buildings, In Frontiers of Architectural Research, Volume 4, Issue 2, 2015, Pages 127-145, ISSN 2095-2635, https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.03.001.

-Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021b). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. Automation in Construction, 121, 103450. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450

-Tibbitts, S. (1988, 1 mayo). High output paraffin actuators: Utilization in aerospace mechanisms - NASA Technical Reports Server (NTRS). Scott Tibbitts. https://ntrs.nasa.gov/citations/19880012086

-Vásquez, Claudio, Encinas, Felipe, & D'Alençon, Renato. (2015). Edificios de oficinas en Santiago: ¿Qué estamos haciendo desde el punto de vista del consumo energético?. ARQ (Santiago), (89), 50-61. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962015000100008

-Villarroel, C., Vásquez Yañez, R., Vilches, C., Aravena, C. and Bustos, M.(2020). REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE 2019. Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. Dirección General de Aeronáutica Civil. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/342716781_REPORTE_ANUAL_DE_LA_EVOLUCION_DEL_CLIMA_EN_CHILE> .

-Villarroel, C., Vásquez Yañez, R., Vilches, C., Aravena, C. and Bustos, M.(2020). REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE 2019. Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. Dirección General de Aeronáutica Civil. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/342716781_REPORTE_ANUAL_DE_LA_EVOLUCION_DEL_CLIMA_EN_CHILE> .

16.2 SITIOS WEB

-ASF – Adaptive Solar Facade. Architecture and building systems. Retrieved, from https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade.

-Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. (2012). ArchDaily. Retrieved, from http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas

-Arquigrafico. (2017). Tipos de Ventanas según su forma de apertura. Retrieved from https://arquigrafico.com/tipos-de-ventanas-segn-su-forma-de-apertura/

-Giselbrecht, E. (2007). Mehr als nur Fassade - Showroom Kiefer technic. Giselbrecht.at. Retrieved, from http://giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html#.

-Hydraulic cylinders - THERMACT. Orbesen Teknink., from https://orbesenteknik.com/thermact/

-HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion / Achim Menges Architect + Oliver David Krieg + Steffen Reichert. (2013). ArchDaily. Retrieved from http://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert/

-Jean Prouvé, la poétique de l'objet technique. Deco.journaldesfemmes.fr (1954). Retrieved 21 September 2017, from http://deco.journaldesfemmes.fr/design/photo/0710-prouve/retro.shtml

-La I+D, la innovación y las patentes. (2017). Wipo.int., a partir de http://www.wipo.int/patent-law/es/developments/research.html

-Multiifunctional nanotechnology glass coating for dust reduction. (s. f.). , de https://www.nanovations.com.au/glass-coating-anti-dust.htm

-Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., & Lydon, G. et al. (2016). The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. Frontiers Of Architectural Research, 5(2), 143-156. https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.03.002

-Soto, C., & Jusforgues, P. (2016). KOPIWE. YouTube, from https://www.youtube.com/watch?v=x4eqTZi8HaY

-Strugal. (2015). Estructuras de ventanas: tipos de apertura. Retrieved from https://www.strugal.com/es/blog/estructuras-de-ventanas-tipos-de-apertura

-Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981. (2016). YouTube., from https://youtu.be/c1puKg73kmg

16.3 PATENTES

-Cole,A. (1985). Window control mechanism(GB2129486). IFI CLAIMS Patent Services.https://patents.google.com/patent/GB2129486A/en?oq=GB2129486

-J Grebe, J. (1949). Thermal responsive venetian blind (US2489879A). IFI CLAIMS Patent Services. https://patents.google.com/patent/US2489879A/en?oq=+US2489879A

-L Baylis,K. (2010). TA temperature actuable opening arragement with a wax filled cylinder (GB2466287). IFI CLAIMS Patent Services. https://patents.google.com/patent/GB2466287A/en?oq=GB2466287A

-Morris, E. D. (2003, 10 abril). Cremone bolt operator, de https://patents.google.com/patent/US6994383B2/en

16.4 FIGURAS DE OTRAS FUENTES

-FIGURA 1 Arroyo, M. C. (2015). Los cerramientos verticales de Jean Prouvé variables de intercambio con el exterior -Archivo Digital UPM. Archivo Digital UPM. http://oa.upm.es/40987/

-FIGURA 2 Nouvel, J. (2018). Institut du monde arabe (IMA). Ateliers Jean Nouvel. http://www.jeannouvel.com/projets/institut-du-monde-arabe-ima/

-FIGURA 3 Menges, A., & Reichert, S. (2015). Performative Wood: Physically Programming the Responsive Architecture of theHygroScopeand HygroSkin Projects. Architectural Design, 85(5), 66–73. https://doi.org/10.1002/ad.1956

-FIGURA 4 Khan, N. (2004). Articulated Cloud. Ned Khan Studios - Portfolio. http://nedkahn.com/portfolio/articulated-cloud

-FIGURA 5 Piano, R. (2000). RPBW Architects - Renzo Piano Building Workshop. Renzo Piano Building Workshop. http://www.rpbw.com/project/aurora-place-office-and-residential-buildings

-FIGURA 6 Rubio Hernández, R. (2017). “A Wall for all Seasons”, un modelo sostenible de “piel” tersa de vidrio. rita_. Published. https://doi.org/10.24192/2386-7027(2017)(v8)(01)

-FIGURA 7 The BIQ House: first algae-powered building in the world. (2015, 1 junio). Build Up. https://www.buildup.eu/en/practices/cases/biq-house-first-algae-powered-building-world#:%7E:text=Situated%20in%20Hamburg%2C%20Germany%20(Am,two%20differently%20designed%20fa%C3%A7ade%20types.

-FIGURA 8 Torres Al Bahar - Ficha, Fotos y Planos. WikiArquitectura. Retrieved 20 May 2020, from https://es.wikiarquitectura.com/edificio/torres-al-bahar/#.

-FIGURA 9 Sede GSW - Ficha, Fotos y Planos. (2021, 25 junio). WikiArquitectura. https://es.wikiarquitectura.com/edificio/sede-gsw/

-FIGURA 10 SolPix at the Cooper Hewitt Design Triennial 2010. (2010). SGP Architects. http://sgp-a.com/single/solpix-for-the-cooper-hewitt-design-triennial-2010/

-FIGURA 11 Svetozarevic, B., Nagy, Z., Hofer, J., Jacob, D., Begle, M., Chatzi, E., & Schlueter, A. (2016). SoRo-Track: A two-axis soft robotic platform for solar tracking and building-integrated photovoltaic applications. 2016 IEEE International Conference On Robotics And Automation (ICRA). https://doi.org/10.1109/icra.2016.7487700

-FIGURA 12 Dynamic facade (Kiefer technic showroom) de Ernst Giselbrecht + Partner | Edificio de Oficinas. Architonic. Retrieved 20 May 2020, from https://www.architonic.com/es/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449.

-FIGURA 13 Chen, C. (2015). Water-Reacting Architectural Surface. Vimeo. Retrieved 20 May 2020, from https://vimeo.com/user40376169.

-FIGURA 14 Kim Sung, D. (2011). Bloom. Dosu-arch.com. Retrieved 20 May 2020, from https://www.dosu-arch.com/bloom.

-FIGURA 15 Husser, M., Haase, W., & Sobek, W. (2018). Subdivided switchable sun protection glazing. Glass Structures & Engineering, 4(2), 185–197. https://doi.org/10.1007/s40940-018-0087-4

-FIGURA 20 Loveday, P., & Long, C. (2007). A thermo-hydraulic wax actuation system for high force and large displacement applications. Pretoria, South Africa: L. Porter Davis, B. K. Henderson, M. Brett McMickell, Proc. of SPIE.

-FIGURA 21 Leung, C. (2014). [PDF] Passive seasonally responsive thermal actuators for dynamic building envelopes | Semantic Scholar. Semantic Scholar. https://www.semanticscholar.org/paper/Passive-seasonally-responsive-thermal-actuators-for-Leung/f340de06683543e8e823b23b514fdb0de202c2ee

-FIGURA 22 Leung, C. (2014). [PDF] Passive seasonally responsive thermal actuators for dynamic building envelopes | Semantic Scholar. Semantic Scholar. https://www.semanticscholar.org/paper/Passive-seasonally-responsive-thermal-actuators-for-Leung/f340de06683543e8e823b23b514fdb0de202c2ee

-FIGURA 23 Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981. (2016, 4 noviembre). [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=c1puKg73kmg&t=62s

-FIGURA 24 Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981. (2016, 4 noviembre). [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=c1puKg73kmg&t=62s

-FIGURA 25 Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981. (2016, 4 noviembre). [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=c1puKg73kmg&t=62s

-FIGURA 26 Window/Vent Opener Greenhouse - Univent® - Orbesen Teknik Denmark - since 1981. (2016, 4 noviembre). [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=c1puKg73kmg&t=62s

-FIGURA 27 J. Orbesen teknik ApS. (2016a). Greenhouse ventilation Automatic window openers, J. Orbesen teknik ApS. How to Ventilate Your Greenhouse - Orbesen Teknik. https://orbesenteknik.com

-FIGURA 28 J. Orbesen teknik ApS. (2016). Standard cylinder with D wax (200 mm) incl. 1 pcs. How to Ventilate Your Greenhouse - Orbesen Teknik. https://orbesenteknik.com/product/standard-cylinder-with-d-wax-200-mm-incl-1-pcs/

-FIGURA 29 J. Orbesen teknik ApS. (2016). Standard cylinder with E5D wax (200 mm) incl. 1 pcs. How to Ventilate Your Greenhouse - Orbesen Teknik. https://orbesenteknik.com/product/standard-cylinder-e5d-wax-200-mm-incl-1-pcs/

-FIGURA 30 J. Orbesen teknik ApS. (2016a). Automatic roof vent for greenhouses - Get the opportunity to buy now. How to Ventilate Your Greenhouse - Orbesen Teknik. https://orbesenteknik.com/produkt/roof-vent-opener/

-FIGURA 31 J. Orbesen teknik ApS. (2019). Automatic vent openers for greenhouses - Orbesenteknik. How to Ventilate Your Greenhouse - Orbesen Teknik. https://orbesenteknik.com/window-openers/

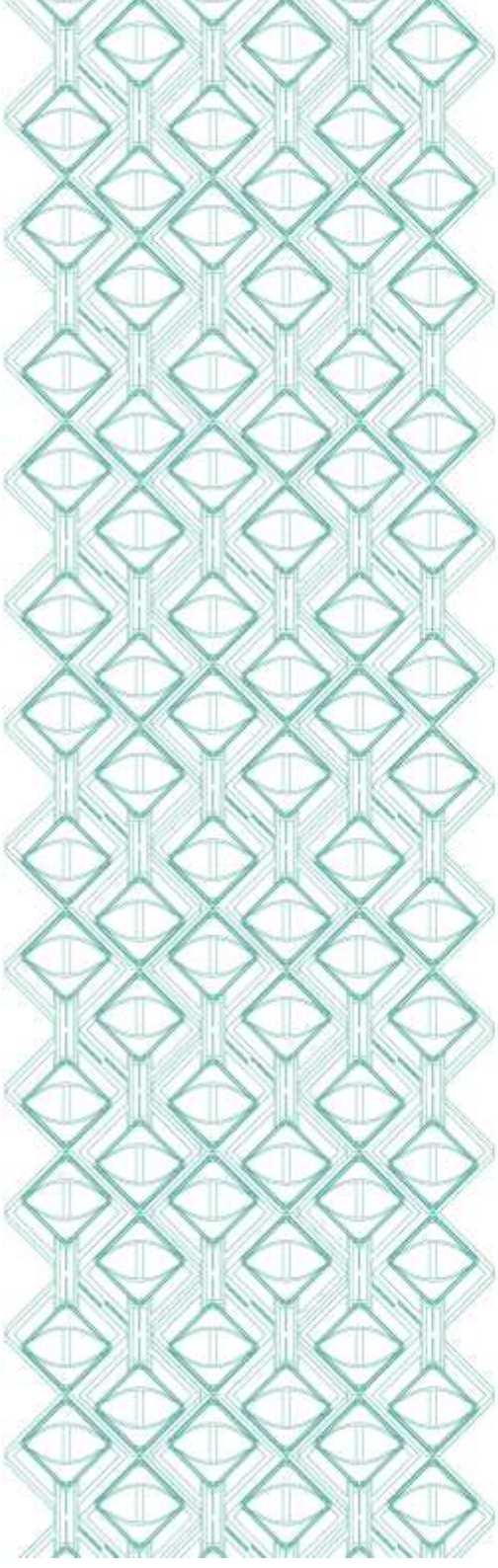
-FIGURA 52 Torres Búa,M. (2014).Mecanísmos , de https://www.edu.xunta.gal/centros/espazoAbalar/aulavirtual/pluginfile.php/296/mod_resource/content/1/10_paquetes/Paquetes_web/5_mecanismos/index.html

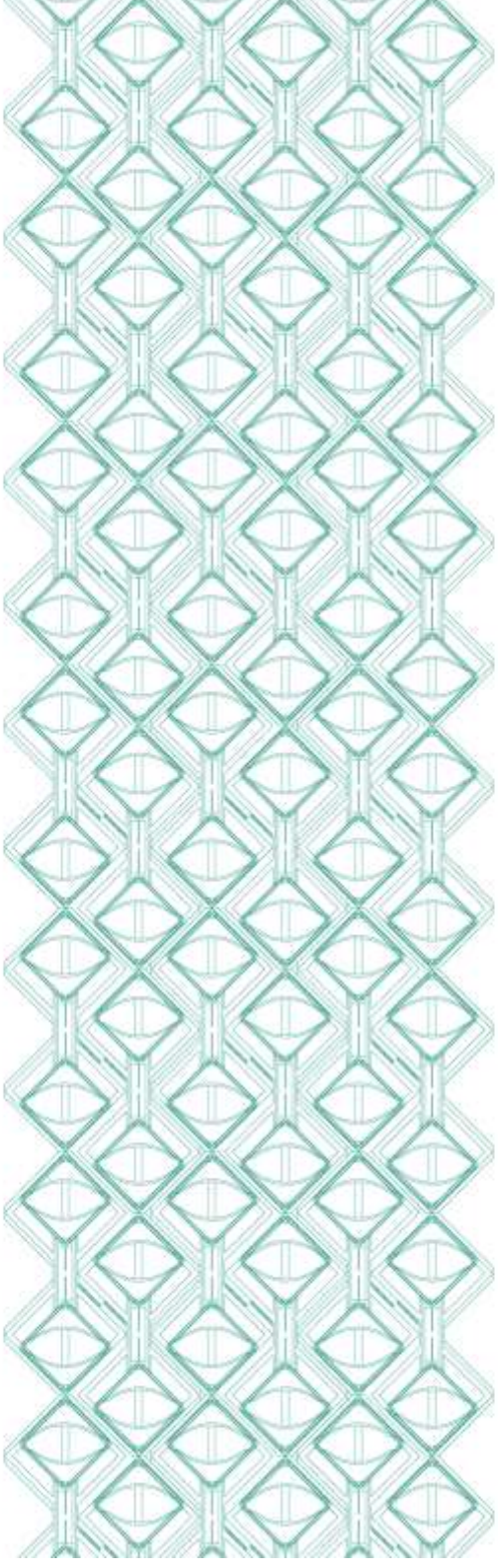
-FIGURA 54 Mechanical telescopic cylinder 2. (2016, 15 marzo). [Vídeo]. YouTube, de https://www.youtube.com/watch?v=yGxCs2ka7HQ

-FIGURA 55 Flapping motion 1. (2015, 20 mayo). [Vídeo]. , de https://www.youtube.com/watch?v=p7wy_GUa_M4

-FIGURA 56 Folding a square 2. (2017, 29 agosto). [Vídeo]. YouTube. , de https://www.youtube.com/watch?v=V6_sy5B5r5A&feature=youtu.be

-FIGURA 57 Snapping Facade — Dioinno Architecture PLLC. (s. f.). , de https://dioinno.com/Snapping-Facade





ARQUITECTURA
USM