



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

**SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL APLICANDO ALEACIONES NÍQUEL + TITANIO
CON MEMORIA DE FORMA**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA,
PRESENTA:**

ARQ. SERGIO RODRÍGUEZ LIZARDI

DIRECTOR DE TESIS

DR. JACINTO CORTÉS PÉREZ

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN, FES ARAGÓN, UNAM

SINODALES:

MTRO. EN ARQ. ERNESTO OCAMPO RUIZ

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

MTRO. EN ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

DR. ALEJANDRO SOLANO VEGA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

DRA. MARIBEL JAIMES TORRES

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

MÉXICO, CDMX, FEBRERO.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

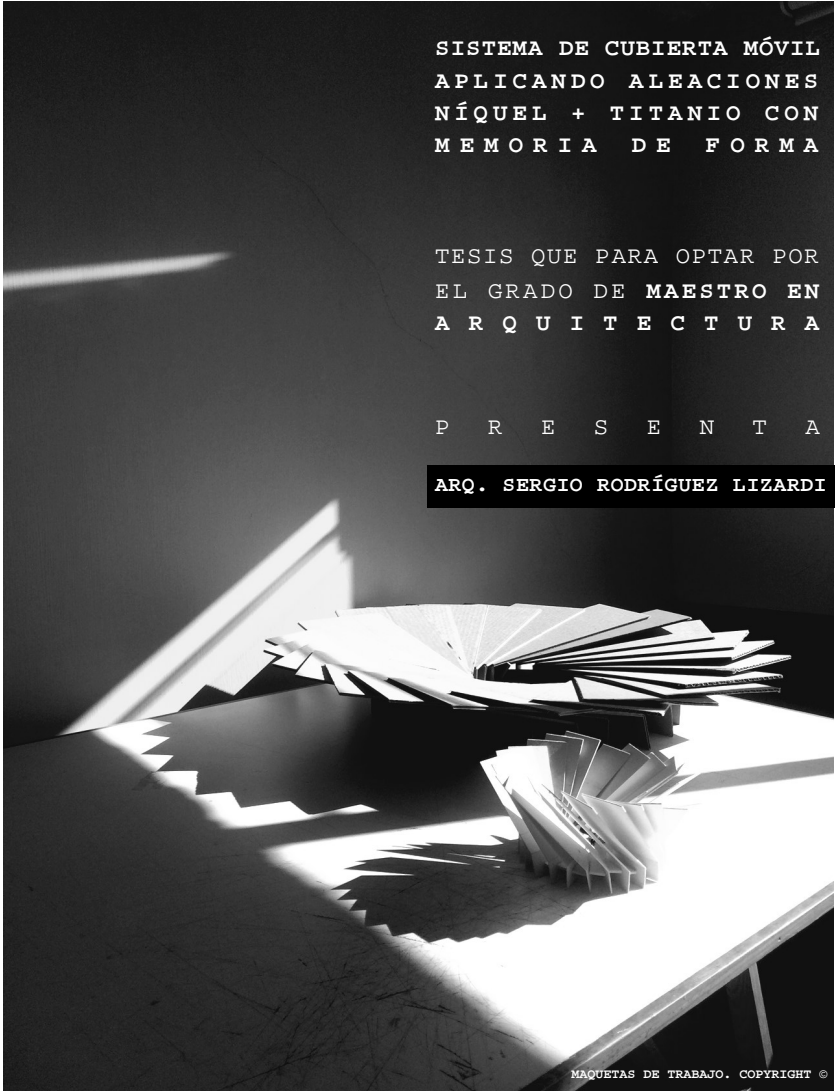


SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL
APLICANDO ALEACIONES
NÍQUEL + TITANIO CON
MEMORIA DE FORMA

TESIS QUE PARA OPTAR POR
EL GRADO DE MAESTRO EN
ARQUITECTURA

P R E S E N T A

ARQ. SERGIO RODRÍGUEZ LIZARDI



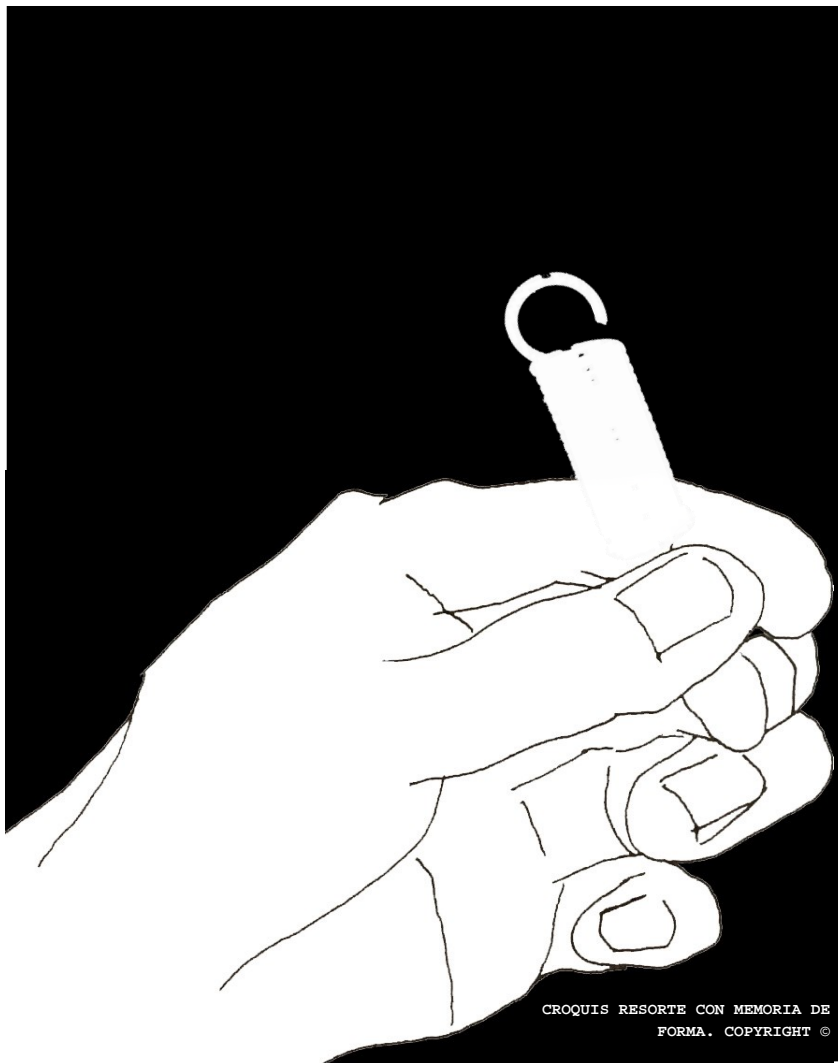
SHAPE



MATERIALS

LOGO. COPYRIGHT ©

SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL APLICANDO ALEACIONES NÍQUEL + TITANIO CON MEMORIA DE FORMA



CROQUIS RESORTE CON MEMORIA DE
FORMA. COPYRIGHT ©

UNAM
POSGRADO
Arquitectura



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y
DOCTORADO EN ARQUITECTURA**
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
**CAMPO DE CONOCIMIENTO
TECNOLOGÍA**

**SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL
APLICANDO ALEACIONES NÍQUEL
+ TITANIO CON MEMORIA DE
FORMA**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL
GRADO DE MAESTRO EN
ARQUITECTURA, PRESENTA:**

**ARQ. SERGIO RODRÍGUEZ
LIZARDI**

MÉXICO, CDMX, FEBRERO.

2 0 1 8



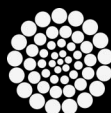
"HABRÍA QUE GENERAR UN CAMBIO DONDE LOS SERES HUMANOS,
LA TECNOLOGÍA Y LA NATURALEZA COEXISTAN"

"CONSIDERAR LOS MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA COMO UN
MATERIAL QUE PUEDE GENERAR CAMBIOS CONSIDERABLES EN
NUESTRA FORMA DE VIDA PENSANDO EN ARQUITECTURA"

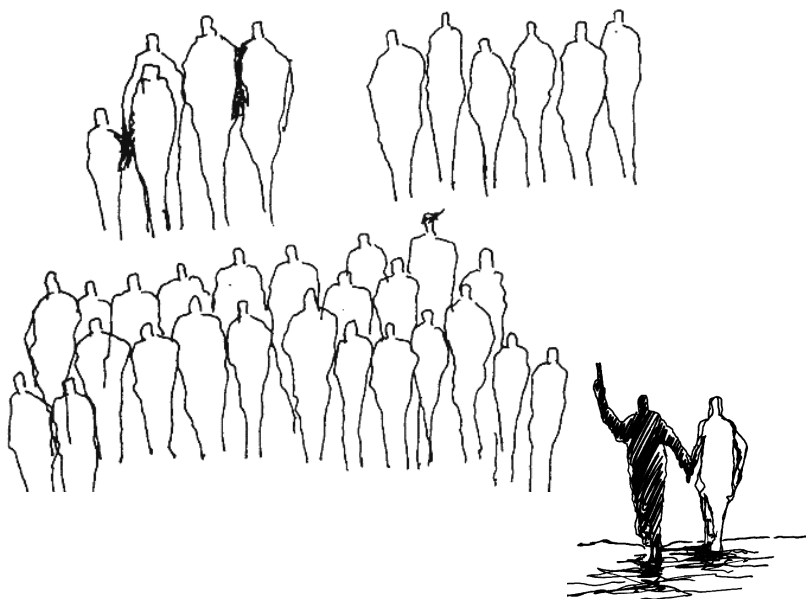
JACQUE FRESCO EN SU PROYECTO DENOMINADO "VENUS"

¡GRACIAS!

UN/M
POSGRADO
Arquitectura



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



CROQUIS AGRADECIMIENTOS. COPYRIGHT ©

Doy gracias a Dios por permitirme concluir esta etapa de mi vida.

Agradezco el apoyo, entusiasmo y enseñanzas que mis papás María del Rosario Lizardi y Javier Quirino Rodríguez me han brindado siempre en cada reto que me he propuesto, de igual manera a mi hermano Javier, quien ha estado en todo momento.

A mi alma mater, Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado de Arquitectura por permitirme realizar la presente Investigación.

Al CONACYT por todo el apoyo otorgado durante la Maestría.

Agradezco a mi tutor Jacinto Cortés Pérez por todo el apoyo, interés y enseñanzas durante el transcurso de esta Investigación.

Al Maestro Ernesto Ocampo Ruiz por su incondicional apoyo y por contagiarme ese entusiasmo de hacer las cosas de la mejor manera y sin limitarse. Por la visión y pasión hacia la Arquitectura y Tecnología.

Al Maestro Jorge Rangel Dávalos por el impulso a concluir y por alentarme a no dejar de dibujar como Arquitecto.

Al Dr. Fernando Néstor García Castillo quien me ha apoyado y me

ha guiado durante todo el proceso de la Investigación.

Al Dr. Alejandro Solano Vega y la Dra. Maribel Jaimes Torres quienes me han apoyado en la recta final de esta Investigación.

Al equipo de trabajo del Laboratorio de Mecánica del Centro Tecnológico de la FES Aragón, UNAM por el uso de sus instalaciones, asesorías y apoyo en todo momento.

De igual forma, al Ing. Israel Rodríguez Montiel por su apoyo, dedicación y entusiasmo. También por su colaboración para el diseño y fabricación del pulsador de corriente.

A Chris por darme ánimos, apoyo y estar en todo momento para concluir este trabajo.

A mis compañeros y amigos de esta Maestría.

ÍNDICE



INTRODUCCIÓN.....XIV-XVIII

CAP. 01

ENERGÍAS RENOVABLES +
MATERIALES
INTELIGENTES.....19-27

A. CONSCIENCIA
ENERGÉTICA

B. ENERGÍAS RENOVABLES

C. ENERGÍA SOLAR

D. MATERIALES
INTELIGENTES

E. MATERIALES CON
MEMORIA DE FORMA

CAP. 02

PROPIEDADES ALEACIONES
NÍQUEL + TITANIO CON
MEMORIA DE FORMA.....28-39

A. CARACTERÍSTICAS

B. APLICACIONES Y
ANÁLOGOS

CAP. 03

EXPERIMENTACIÓN.....40-51

A. MÉTODO

B. PROCESO Y PRUEBAS

CAP. 04

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DEL
PRODUCTO.....52-71

A. APORTACIÓN

B. PROCESO CREATIVO

CONCLUSIÓN.....72-74

GLOSARIO.....75-77

REFERENCIAS.....78-81

ANEXOS.....82-97

IMÁGENES

IMAGEN 01. RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT @_27

IMAGEN 02. FUENTES DE CALOR._27

IMAGEN 03. ESQUEMAS DE LOS EFECTOS DE MEMORIA DE FORMA. A)EFECTO MEMORIA DE FORMA SIMPLE B)DOBLE EFECTO MEMORIA DE FORMA C)CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN PARA UN POLICRISTAL Y UN MONOCRISTAL (EFECTO SUPERELÁSTICO). [19] COPYRIGHT @_30

IMAGEN 04. CURVA FLUJO DE CALOR - TEMPERATURA.[23] COPYRIGHT @_30

IMAGEN 05. REPRESENTACION ESQUEMÁTICA DE LAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS PRESENTADAS EN EL NiTi.[23]_31

IMAGEN 06. CROQUIS IDEA SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL. COPYRIGHT @_34

IMAGEN 07. CROQUIS PERSIANAS MÓVILES. COPYRIGHT @_36

IMAGEN 08. CROQUIS Y LÁMINA ANÁLISIS DE ANÁLOGOS. COPYRIGHT @_37

IMAGEN 09. CROQUIS ANALOGOS_SEGUIDOR SOLAR.COPYRIGHT @_38

IMAGEN 10. CROQUIS ANALOGOS_PERSIANA INTELIGENTE. COPYRIGHT @_38

IMAGEN 11. CROQUIS ANALOGOS_SISTEMA DE PASO AGUA CALIENTE. COPYRIGHT @_38

IMAGEN 12. CROQUIS ANALOGOS_LÁMPARA NENDO.COPYRIGHT @_39

IMAGEN 13. CROQUIS ANALOGOS_LÁMPARA RÓMULO STANCO.COPYRIGHT @_39

IMAGEN 14. CROQUIS ANALOGOS_PROTOTIPO DE FACHADA MÓVIL.COPYRIGHT @_39

IMAGEN 15. CROQUIS IDEAS. CIRCUITO CELDA FOTOVOLTAICA+RESORTES AMFNiTi COPYRIGHT @_42

IMAGEN 16. CROQUIS IDEAS. CELDA FOTOVOLTAICA + PILA + RESORTES AMF NITI COPYRIGHT@_42

IMAGEN 17. CROQUIS IDEAS FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL.COPYRIGHT @_43

IMAGEN 18. LABORATORIO DE MECÁNICA, FES ARAGÓN, UNAM. COPYRIGHT @_44

IMAGEN 19. RESORTES AMF NiTi. COPYRIGHT@_44

IMAGEN 20. CARACTERÍSTICAS RESORTE DE AMF NiTi. [38]_44

IMAGEN 21. PRUEBA 1.TALBERO. COPYRIGHT @_45

IMAGEN 22. PRUEBA 2. TABLERO. COPYRIGHT@_46

IMAGEN 23. PRUEBA 2. RESORTE CONVENCIONAL VS RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT @_47

IMAGEN 24. PRUEBA 2. CONTRACCIÓN DEL RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT @_47

IMAGEN 25. PRUEBA 2. APLICACIÓN DE DIFERENTES VOLTAJES 3, 5, 6, 9 Y 12V COPYRIGHT@_47

IMAGEN 26. PRUEBA 3. MOVIMIENTO DE ÁNGULO RECTO CON ALAMBRE AMF NiTi. COPYRIGHT @_48

IMAGEN 27. FÓRMULA. COPYRIGHT @_48

IMAGEN 28. PRUEBA 4. APLICACIÓN DE PESOS EN RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT @_49

IMAGEN 29. PRUEBA 4. BALANZA. COPYRIGHT@_49

IMAGEN 30. PRUEBA 4. PESAS N. COPYRIGHT@_49

IMAGEN 31. PRUEBA 4. PESO 2N. COPYRIGHT@_50

IMAGEN 32. PRUEBA 4. PESO 3.9786N COPYRIGHT@_50

IMAGEN 33. PRUEBA 4. PESO 5.9572n COPYRIGHT @_51

IMAGEN 34. PRUEBA 5. CELDA FOTOVOLTAICA COPYRIGHT @_51

IMAGEN 35. CROQUIS IDEAS. CUBIERTA EN PATIOS. COPYRIGHT @_54

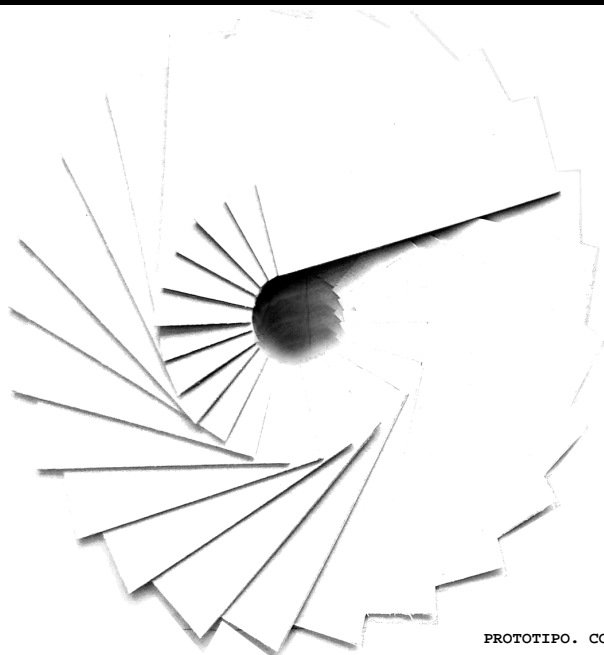
IMAGEN 36. CROQUIS IDEAS. CUBIERTA EN PARQUES. COPYRIGHT @_54

IMÁGENES

TABLAS

- IMAGEN 37.** CROQUIS IDEAS. CUBIERTA EN PLAYAS. COPYRIGHT @_55
- IMAGEN 38.** CROQUIS IDEAS. CUBIERTA EN PLAZAS. COPYRIGHT @_55
- IMAGEN 39.** CROQUIS IDEAS MECANISMOS. COPYRIGHT @_56
- IMAGEN 40.** MODELO 3D PROTOTIPO (APERTURA) COPYRIGHT @_57
- IMAGEN 41.** MODELO 3D PROTOTIPO (CLAUSURA) COPYRIGHT @_57
- IMAGEN 42.** MAQUETA CONCEPTUAL COPYRIGHT@_57
- IMAGEN 43.** CROQUIS E IMÁGENES DE MAQUETA CONCEPTUAL ETAPA 1. COPYRIGHT @_58
- IMAGEN 44.** CROQUIS E IMÁGENES DE MAQUETA CONCEPTUAL ETAPA 1. COPYRIGHT @_59
- IMAGEN 45.** MAQUETA ETAPA 2. FUENTE DE CALOR: FUEGO (VELA). COPYRIGHT @_60
- IMAGEN 46.** MAQUETA ETAPA 3. FUENTE DE CALOR:CORRIENTE ELÉCTRICA. COPYRIGHT @_61
- IMAGEN 47.** LÁMINA ETAPA 4. PLANOS Y MODELO 3D. COPYRIGHT @_62
- IMAGEN 48.** LÁMINA ETAPA 4. MODELO 3D. PROCESO DE APERTURA Y CLAUSURA. COPYRIGHT @_63
- IMAGEN 49.** LÁMINA ETAPA 4. CORTES Y ARMADO DE MAQUETA CON MECANISMO 1:5.COPYRIGHT@_64
- IMAGEN 50.** MAQUETA CON MECANISMO 1:5. COPYRIGHT @_65
- IMAGEN 51.** MAQUETA CON MECANISMO 1:5. COPYRIGHT @_65
- IMAGEN 52.** MAQUETAS PROTOTIPO ESCALA 1:5 Y 1:1. COPYRIGHT @_66
- IMAGEN 53.** MAQUETAS PROTOTIPO ESCALA 1:5 Y 1:1. COPYRIGHT @_66
- IMAGEN 54.** MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT @_67
- IMAGEN 55.** MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT @_67
- IMAGEN 56.** MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT @_68
- IMAGEN 57.** REDISEÑO DE MAQUETA 1:1. COPYRIGHT @_69
- IMAGEN 58.** MODELO EN 3D DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO PARA IMPRIMIR PIEZA.COPYRIGHT@_69
- IMAGEN 59.** TRAZO DE LA BASE PARA CORTE LASER (CNC). COPYRIGHT @_69
- IMAGEN 60.** LIMPIEZA DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO IMPRESA EN 3D. COPYRIGHT @_69
- IMAGEN 61.** CORTE Y GRABADO DE LA BASE CON LASER (CNC). COPYRIGHT @_69
- IMAGEN 62.** ARMADO DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO CON PERFILES REDONDOS (5MM) DE ACRILICO. COPYRIGHT @_69
- IMAGEN 63.** ARMADO DEL SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL CON LAS PIEZAS MEJORADAS. COPYRIGHT@_69
- IMAGEN 64.** COLOCACIÓN DE 2 RESORTES CONVENCIONALES (ARRIBA) Y RESORTES AMF Niti (ARRIBA). COPYRIGHT @_71
- IMAGEN 65.** COLOCACIÓN DE 4 RESORTES CONVENCIONALES (ARRIBA) Y RESORTES AMF Niti (ARRIBA). COPYRIGHT @_71
- IMAGEN 66.** ENSAMBLE DE MAQUETA Y CONECCIÓN DE CABLES CAIMAN PARA GENERAR EL CALOR A TRAVEZ DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA. COPYRIGHT@_71
- TABLA 1.** PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS AMF NITI. [24]_32
- TABLA 2.** COMPARACIÓN ENTRE LAS AMF NITI Y ACERO INOXIDABLE. [24]_33
- TABLA 3.** RESUMEN DE LA EXPERIMENTACIÓN REALIZADA POR CHEPI RIVERA._88

INTRODUCCIÓN



PROTOTIPO. COPYRIGHT ©

El desarrollo tecnológico de **nuevos materiales** ha tenido mayores aplicaciones en campos como la Ingeniería, Diseño Industrial, Química, Biología y Física, sin embargo, en Arquitectura están siendo usados con mayor frecuencia para solucionar problemas específicos. Esto debido a que el proceso de trabajo y aprendizaje que Gibbons ha definido como **Transdisciplina**, va dando cabida a una nueva forma de producir el conocimiento, y por lo tanto, una forma distinta de abordar proyectos hablando propiamente de Arquitectura.

Es importante reflexionar sobre la postura que se debe tener como **Arquitecto Tecnólogo** al momento de desarrollar un proyecto pensando en la aplicación de **nuevos materiales**, los cuales han sido analizados, desarrollados y aplicados con mayor rigor por parte de otras ciencias. Así como pensar en cómo podrían traer beneficios, simplificar o resolver algunas carencias que se tienen con los materiales convencionales de construcción.

Por otro lado, la problemática del consumo excesivo y dependencia de energías fósiles (derivados del petróleo), ha ido generando un cambio de visión sobre el uso de energías renovables como lo es la **energía solar**.

El uso de energía solar en México se encuentra en un proceso lento comparado con Europa, Estados Unidos y Canadá, sin embargo, se van implementando soluciones

como por ejemplo el uso de celdas fotovoltaicas para generar la energía eléctrica necesaria en determinados usos, ya sea en vivienda, industria, comercio, educación, salud, etc.

De acuerdo a la Secretaría de Energía publica en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, enviada al H. Congreso de la Unión el 29 de febrero de 2012, se establece que la generación eléctrica a partir de energías renovables debe alcanzar una participación de 35% de la generación total en 2026.

Hoy en día, la aplicación de elementos electromecánicos que generen confort en un espacio habitable como el uso desmedido del aire acondicionado en lugares con climas cálidos, así como la implementación de sistemas motorizados en fachadas y cubiertas para protección solar, dependen de energías fósiles. Así mismo, el alto costo en la aplicación y mantenimiento de los sistemas móviles que requieren de mano de obra especializada para su correcta ejecución, hacen que este tipo de soluciones se vuelvan poco eficientes.

¿Por qué no apostar por nuevos materiales y sistemas que generen un beneficio tanto a la población como al medio ambiente?

Para ello quizá hace falta más convicción sobre el aprovechamiento de la Tecnología para mejorar nuestro entorno.

La búsqueda de nuevos materiales que puedan resolver con mayor eficiencia las problemáticas antes mencionadas, se vuelven el punto de partida de esta investigación en donde se propone emplear alambres o resortes fabricados con aleaciones con memoria de forma Níquel + Titanio (*AMF NiTi*) como alternativa de solución en dispositivos de automatización.

Los materiales con memoria de forma (*MMF*) por sus cualidades y propiedades físicas, son capaces de generar movimiento al ser calentados empleando ya sea corriente eléctrica, rayos solares, aire caliente, agua caliente o luz incandescente, entre otras.

Se sabe que en lo que se refiere a ciencia aplicada y la tecnología, los *MMF* resultan de importancia debido a que tienen la capacidad de realizar acciones que generalmente requerían la combinación de elementos tanto mecánicos como eléctricos. De hecho existen aplicaciones donde han reemplazado a otros materiales y sistemas con mayor eficiencia y sencillez.

El potencial de aplicación que tienen los *MMF* y sus efectos son debido a que hacen las funciones de sensor y actuador a la vez.

Es por ello que en el Laboratorio de Mecánica Aplicada, FES Aragón, UNAM existe un grupo de investigadores dedicados a estudiar el comportamiento de los *MMF* llevando a cabo aplicaciones en prototipos como: persianas inteligentes, accionador solar

pasivo, motores térmicos, válvula economizadora de agua, entre otros. Donde la aplicación de diferentes configuraciones de *AMF NiTi* son empleados para activar los prototipos mediante el calor obtenido por rayos solares, corriente eléctrica, aire y agua caliente; sin embargo, hace falta tener mayor control en la ganancia de calor y aumento de temperatura para generar el movimiento de algunos dispositivos.

Debido a que las *AMF NiTi* son de importación, es difícil encontrar aleaciones que presenten temperaturas de transformación cercanas a la temperatura ambiente, por lo que la pura incidencia de los rayos solares no son capaces de inducir el comportamiento deseado.

Es por esta razón que cuando las *AMF NiTi* tienen temperaturas altas de transformación se requieren dispositivos adicionales de calentamiento. Como por ejemplo, sistemas de encapsulamiento de resortes en tubos, no obstante en estos sistemas, el tiempo que tarda en presentarse el efecto es lento.

También se ha intentado activar las *AMF NiTi* en varios diseños mediante el uso de agua caliente y fría en contenedores separados. Sin embargo, a pesar de que la ganancia de calor es inmediata se tiene la desventaja que después de cierto tiempo se llega a un equilibrio térmico, por lo que se requiere mantener un gradiente de temperatura continuo.

Por otro lado, el uso de corriente eléctrica es sencillo y eficiente además de que se puede tener mayor control mediante un circuito eléctrico, sin embargo, esa energía es producida por energías fósiles. Aunque se puede captar mediante celdas fotovoltaicas.

Debido a lo anterior, la presente investigación se enfoca en diseñar y construir un prototipo, a escala, de un sistema de cubierta móvil en espacios exteriores públicos y privados con climas cálidos (plazas, patios, playas, malecones, etc.) aplicando componentes de *AMF NiTi*.

El prototipo de sistema de cubierta móvil genera el movimiento de la cubierta (apertura y clausura) mediante el doble efecto de memoria de forma asistido que presentan los *MMF*. Los cuales son accionados con energía eléctrica obtenida por celdas fotovoltaicas, evitando el uso de sistemas electromecánicos.

Con este prototipo se pretende tener, en un futuro próximo, un sistema innovador de cubierta móvil que sea capaz de captar energía solar, transformándola en energía eléctrica, integrando componentes de aleaciones Níquel + Titanio con memoria de forma. Adicionalmente se pretende utilizar material flexible como partes del sistema, que proteja a usuarios actuando como regulador térmico al abrirse cuando la temperatura sea mayor a 20°C y cerrarse cuando sea menor a 20°C. Esto permitirá tener un sistema móvil a partir del uso de energía

solar y generar espacios exteriores de confort y resguardo.

Durante el desarrollo de la tesis se muestra que la combinación de Ciencia y Tecnología pueden generar Arquitectura.

Para lograr los objetivos trazados, el presente trabajo se divide en 4 capítulos que se describen a continuación:

En el capítulo **01** *ENERGÍAS RENOVABLES + MATERIALES INTELIGENTES*, se aborda el tema sobre la conciencia energética que se debe de tener en cuenta cuando se realiza un proyecto. También se mencionan los tipos de energías renovables y distintas formas de aplicaciones para finalmente enfocarse en la energía solar, que es el medio para la obtención de la energía eléctrica que induzca en las *AMF NiTi* la respuesta deseada.

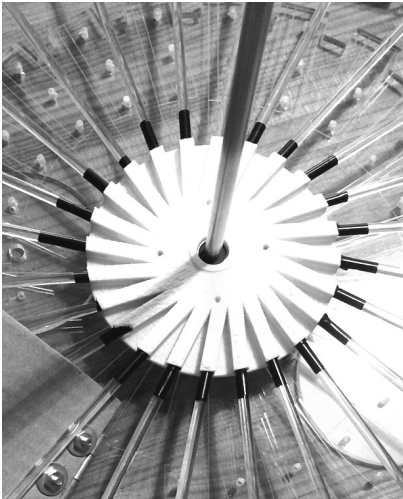
Así mismo, en este capítulo se da una breve descripción de los materiales denominados “Inteligentes” que se han ido usando en Arquitectura para distintas aplicaciones y dentro de esta categoría se encuentran los *MMF*.

En el capítulo **02** *PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES NÍQUEL + TITANIO CON MEMORIA DE FORMA*, se describen de manera breve los efectos asociados a los *MMF* y sus características generales. Se pone particular atención a las *AMF NiTi* debido a que son las utilizadas en el prototipo final de este trabajo.

Adicionalmente se hace un breve análisis de aplicaciones que se han realizado hasta el día de hoy en propuestas arquitectónicas.

Posteriormente en el capítulo **03** *EXPERIMENTACIÓN*, se describen algunas pruebas mecánicas básicas realizadas a los *M M F* en configuración de alambre y resorte. Lo cual permitió obtener valores de fuerzas y voltajes necesarios para el accionamiento de ellos.

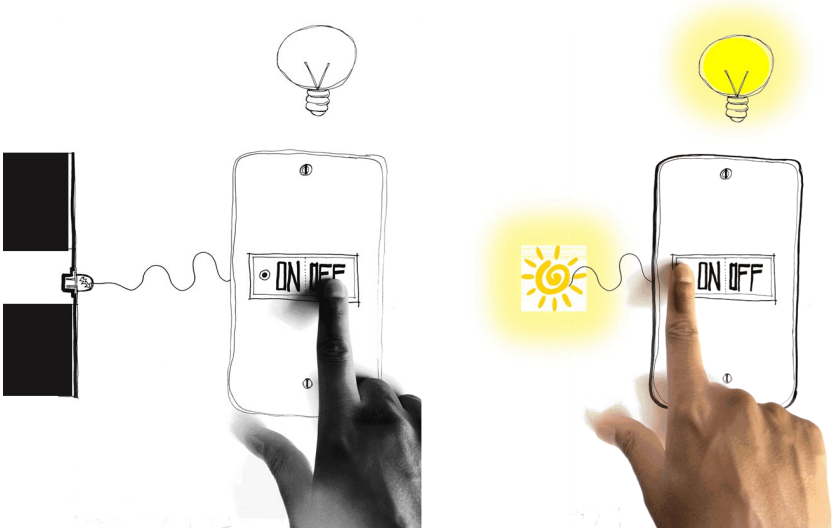
En base a estos resultados en el capítulo **04** *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PRODUCTO*, se presentan las diferentes etapas de desarrollo para la propuesta de prototipo del sistema de cubierta móvil aplicando Aleaciones Níquel + Titanio con memoria de forma a escala 1:1.



ENSAMBLE DE PROTOTIPO. COPYRIGHT ©

01

ENERGÍAS RENOVABLES + MATERIALES INTELIGENTES



A. CONSCIENCIA ENERGÉTICA

Los espacios creados por los arquitectos deben satisfacer las necesidades humanas, pero también las necesidades de otras especies, así como del entorno, por ello, cuando se genera un espacio habitable tienen que lograrse un equilibrio con el medio ambiente.

¿Seremos capaces de adoptar un estilo de vida más responsable?
¿Nos preocupa lo suficiente? Si es así, ¿podemos cambiar las cosas?
[1]

Estas preguntas marcan la pauta para mirar hacia un desarrollo como arquitectos que buscan generar nuevas formas de resolver problemas originados por falta de conocimiento o de presencia en áreas como lo es la Tecnología. Cambiar el estilo y ritmo de vida si es posible, ampliando la visión para la obtención de energías renovables (cosecha de energía) evitando el uso desmedido, así como dependencia a productos derivados del petróleo cuyo ciclo de vida es finito, por lo que se tendría que recurrir a otras fuentes de energía alternas.

Dentro de este cambio, los arquitectos como creadores de espacios e ideas pueden aportar soluciones alternativas que promuevan el desarrollo de una sociedad responsable y con ello lograr estrategias eficientes que permita un equilibrio con el medio ambiente, la calidad de vida y el entorno.

Se ha estudiado que en los últimos 50 años la esperanza media de vida en el mundo ha ido aumentando. A medida en que vivimos más, consumimos más y se incrementa nuestra dependencia de la calefacción, la iluminación y el transporte. [1] Así como también el uso de dispositivos tecnológicos que hacen eficientes y nos facilitan procesos para el desarrollo de la vida además la dependencia de energías no renovables y contaminantes dejando a un lado alternativas naturales como la energía solar.

La actividad humana está provocando un calentamiento del planeta y los edificios son responsables aproximadamente de la mitad por emisiones de gases que generan este calentamiento. La calefacción, iluminación y refrigeración de los edificios mediante combustibles fósiles (como gas, carbón o petróleo) o la electricidad es, directa o indirectamente, la fuente más importante de CO₂ (dióxido de carbono), el principal gas de efecto invernadero. [1]

Los niveles de consumo son más altos, con el aumento del uso de aparatos electrónicos variados y que los edificios se calientan, enfrían e iluminan constantemente con energías no renovables. [1]

Si se pudiera generar toda energía que se necesita para cumplir la demanda de la población a partir de fuentes renovables, no habría necesidad de depender de combustibles fósiles.

Según la National Energy Foundation (Fundación Nacional para la Energía, 2000) se ha establecido un periodo de objetivos de acuerdo a las tendencias que se prevén para la obtención y aplicación de energía a partir de fuentes renovables con una visión desde el año 2005 hasta el 2050:

Año	Objetivo
2005	El 5% de toda energía obtenida a partir de fuentes renovables.
2010	El 10% de toda la energía obtenida a partir de fuentes renovables.
2050	El 50% de toda la energía obtenida a partir de fuentes renovables. [1]

Es fundamental dentro de cada proyecto implementar un diseño adecuado partiendo de ideas que mejoren la condición ambiental evitando el uso desmedido de energía eléctrica o sistemas motorizados. Para poder dar una solución adecuada, se debe partir de principios básicos como una correcta orientación, entender el sitio y a los usuarios que vivirán dentro de ese espacio generado. Recurrir a la tecnología y nuevos materiales para lograr nuevas soluciones que resuelvan la dependencia a fuentes fósiles.

B. ENERGÍAS RENOVABLES

El uso de energías renovables puede sustituir a los combustibles fósiles en la obtención de calor,

aislantes térmicos y ventilación en las viviendas, edificios y espacios públicos. Las principales fuentes de energía renovable son las energías solares, eólica, geotérmica, así como el movimiento de las olas, corrientes de agua, entre otras y no se han aprovechado lo suficiente. La “cosecha de energía” estudia este tipo de fuentes alternas para generar energía limpia y explorar la adecuación de cada una de ellas en Arquitectura y Urbanismo.

La “cosecha de energía” es el proceso de captura de cantidades mínimas de energía de una o más fuentes naturales, acumulándola y guardándola para su uso posterior.

Los cosechadores de energía son entonces dispositivos que en forma efectiva y eficiente, acumulan, almacenan, acondicionan y administran esta energía para después suministrarla de tal forma que puede ser utilizada para realizar alguna tarea en específico.

Esta fuente de energía es básicamente gratis cuando está diseñada e instalada apropiadamente; está disponible con un mantenimiento virtualmente sin costo. [2]

La cosecha de energía puede ser utilizada como una fuente de energía alternativa.

Desarrollos técnicos avanzados han aumentado la eficiencia de los dispositivos de captura de pequeñas cantidades de energía del ambiente y transformarlos en energía eléctrica. [3]

Lo que se prevé para el año 2050 la calefacción y refrigeración tendrán que ser 100% renovables. La demanda de electricidad renovable aumentará y se estima que en:

- 2020 será el 10%.
- 2030 será el 18%.
- 2050 será el 41%. [4]

El sol proporciona un flujo de energía muy superior al consumo humano. El problema reside en cómo distribuir, almacenar, transformar y utilizar esta energía solar de forma que sea útil para calentar edificios, impulsar maquinaria y realizar innumerables tareas mediante el uso de combustibles fósiles.

La energía renovable puede emplearse en distintos modos dentro de un espacio habitable.

El primer principio de la energía renovable es integrar las fuentes de energía disponibles.

Con demasiada frecuencia, la energía renovable se considera solo cuando las decisiones clave afectan a su aprovechamiento.

A medida en que el petróleo deje de ser la fuente principal de energía, se volteará a ver con más rigor las soluciones que hoy en día se están estudiando e implementando satisfactoriamente.

El deber de RE-pensar, RE-plantear y buscar nuevas soluciones ampliará el panorama en todas las ramas de la ciencia.

La Arquitectura y su relación con la Tecnología ha permitido generar propuestas para contribuir con el cambio de conciencia energética.

“El generador de energía debe estar en la misma casa o edificio y lo que él consume, que él lo genere”¹

C. ENERGÍA SOLAR

La radiación solar es la base de la fotosíntesis y la principal fuente de energía renovable. Se utiliza de forma pasiva en los edificios para calentar, ventilar e iluminar espacios, también de forma activa para calentar agua en colectores dispuestos sobre la cubierta del edificio y para generar electricidad mediante celdas fotovoltaicas. La utilización de celdas fotovoltaicas en edificios se hace más frecuente a medida que bajan los costos de la tecnología fotovoltaica y aumenta la confianza en su eficacia. El uso de esta tecnología aumenta un 10% cada año en todo el mundo, mientras que los costos se reducían inicialmente un 12% y ahora aproximadamente un 4% cada año. [1]

La utilización práctica de la energía solar tiene un doble objetivo: contribuir a la reducción de la emisión de efecto invernadero y ahorrar en energías no renovables.

¹ Frase dicha por el Maestro en Arquitectura Ernesto Ocampo Ruiz, UNAM

Los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de la energía solar se clasifican en: **Activos y Pasivos**. [5]

Activos: son aquellos que aprovechan los efectos térmicos de la radiación solar y que, para el aprovechamiento, no se requiere el aporte de cualquier otro tipo de energía. [5]

Pasivos: son semejantes a los anteriores, pero con la diferencia que se requiere el aporte de energía auxiliar como, por ejemplo, la energía eléctrica consumida por bomba o ventiladores destinados a mover los líquidos o gases encargados de transportar el calor desde el captador solar hasta el punto de consumo. [5]

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica mediante la asociación de células fotoeléctricas elementales. [5]

La energía solar además de generar energía eléctrica limpia, puede interactuar con los nuevos materiales que están teniendo una aportación importante en Arquitectura como **los materiales inteligentes**.

Los materiales inteligentes son aquellos que funcionan como **sensores y actuadores** a la vez. Reaccionan y cambian sus propiedades mediante estímulos externos inducidos como lo es el calor o la energía eléctrica.

Estas propiedades pueden ser aprovechadas en propuestas arquitectónicas, por ejemplo en exteriores si fuera una envolvente (cubierta), o en interiores para generar un espacio habitable.

Brindando así el confort necesario sin necesidad de usar energías fósiles o sistemas electromecánicos que demandan consumo de energía.

El confort es esencial para la creación de ambientes humanos saludables. Debe englobar el confort térmico, la humedad, la ventilación y la iluminación. Necesitamos sentirnos cómodos, tener luz suficiente y libre de deslumbramientos, así como lograr un equilibrio correcto entre humedad y ventilación. [1]

El confort también puede alcanzarse por otros medios (los sistemas de aire acondicionado, por ejemplo, son necesarios en gran parte del mundo para mantener el confort) pero, siempre que sea posible, los sistemas y tecnologías naturales son preferibles a los mecánicos. [1]

El aislamiento sistemático, las envolventes transpirantes, mediante las cuales el edificio funciona como un pulmón que responde a los cambios en las condiciones externas, o la eliminación de movimientos de aire no deseados (corrientes) constituyen otras tantas medidas para lograr el confort de modo natural. [1]

D. MATERIALES INTELIGENTES

Actualmente el uso de nuevos materiales en Arquitectura tienen como objetivos mejorar procesos, calidad de vida e interacción con el medio ambiente. Se generan a partir de estudios desde el punto de vista científico y tecnológico para llegar a nuevas propuestas de solución, buscando explorar el material desde sus propiedades físicas y químicas determinando una mejor aplicación, por ejemplo los materiales inteligentes como se mencionó anteriormente, son sensores y actuadores a la vez.

Ha habido un creciente desarrollo de tecnología en campos de la ciencia e Ingeniería, sin embargo, las aplicaciones en Arquitectura comienzan un desarrollo tardío debido a la falta de conocimiento. Arquitectos y diseñadores estaban perdiendo la oportunidad de explotar las propiedades y comportamientos de estos materiales.

Cuando se analiza el otro extremo del enfoque que los científicos e ingenieros estaban haciendo, mucho de su desarrollo ha sido dirigido a la miniaturización y/o la simplificación de las tecnologías existentes, por ejemplo reemplazando las válvulas mecánicas complejas mediante actuadores con memoria de forma. [6]

El desarrollo pasó de la resolución de problemas a "impulso tecnológico". Innumerables nuevos materiales y tecnologías surgieron,

muchos buscando una posible aplicación. [6]

La relación entre Arquitectura y los materiales es estrecha, ya que se ocupan como sistemas constructivos, acabados, etc. Los Arquitectos comenzaron a idear y buscar alternativas de solución apoyándose en materiales que ocupan los ingenieros, físicos, químicos o biólogos. Esta Transdisciplina [7] permite ampliar el conocimiento del Arquitecto, quien no busca enfocarse al estudio del material propiamente sino apoyarse de estas áreas de la ciencia, quienes tienen el conocimiento necesario del material y por lo tanto poder generar una propuesta alterna, así como la forma de implementarlo.

Se trata de hacer una sinergia de conocimientos para generar Arquitectura con Tecnología mediante estos materiales denominados inteligentes.

Los avances tecnológicos en CAD / CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing), materiales tales como aluminio y titanio ahora pueden ser eficientes y fácilmente empleados, por ejemplo para la construcción de "pieles" o envolventes arquitectónicas, lo que permite una gama sin precedentes de las fachadas y las formas de construcción. Como resultado, los arquitectos de hoy en día a menudo piensan en materiales como parte del diseño a partir del cual se pueden elegir y aplicar como superficies de composición. [6]

Además, su contribución eficiente para lograr un cambio de conciencia energética promoviendo el ahorro energético.

Los materiales inteligentes se consideran como una extensión lógica de la trayectoria en el desarrollo de materiales hacia un rendimiento más selectivo y especializado. [6]

Durante muchos siglos había que aceptar y trabajar con las propiedades de los materiales existentes con sus limitaciones, mientras que durante el siglo XX se podría comenzar a seleccionar o diseñar las propiedades de un material de alto rendimiento para satisfacer una necesidad definida. [6]

Muchos arquitectos imaginan construcciones con pisos, muros y fachadas compuestos totalmente con materiales inteligentes, tal vez un diseño automatizado en el que interactúen los usuarios. De hecho, los términos como la interactividad y transformación ya se han vuelto parte del vocabulario del Arquitecto.

Se está comenzando a ver cómo estos nuevos materiales pueden llegar a sustituir a los materiales convencionales o complementarse para brindar una solución adecuada ante el cambio de vida que se está tendiendo y seguirá teniendo de acuerdo a la proyección rumbo al 2050. Estos materiales tienen la capacidad de responder a múltiples requerimientos en lugar de ser únicos como los materiales tradicionales, permitiendo flexibilidad además de oportunidad

de adecuarse a diversas circunstancias en el ámbito arquitectónico (sitio-usuarios).

La idea de que un edificio pueda moverse o cambiar de forma no es nueva. El entorno es inherentemente adaptable. Las fuerzas ambientales, más allá de la gravedad y la presión, provocan constantemente deformaciones, dilataciones, contracciones, roturas y movimientos en los materiales. Las guías típicas de diseños limitan el movimiento en aras de la estabilidad, sin embargo, si pudiera garantizarse la estabilidad al tiempo que añade movimiento, surgirán nuevas oportunidades de diseño.

Los nuevos materiales han generado estas oportunidades para la Arquitectura.

Los Materiales Inteligentes² se clasifican en:

Electro y Magnetoactivos

Son materiales que actúan o reaccionan ante cambios eléctricos o magnéticos, ampliamente empleados en el desarrollo de sensores. También, los nuevos desarrollos en base a materiales poliméricos conductores han dado paso a los EAP (Electro Active Polymers) cuyo desarrollo abren paso a los músculos artificiales y mecanismos orgánicos artificiales.

² Se tomaron las definiciones de los Materiales Inteligentes como los señala el autor. [8]

Piezoeléctricos

Tienen la capacidad para convertir la energía mecánica en energía eléctrica y viceversa, son ampliamente aplicados como sensores y actuadores, vibradores, zumbadores, micrófonos, etc. En la actualidad además de los cerámicos, existen polímeros piezoeléctricos como el PVDF, que en forma de films son fácilmente incorporados a plásticos y composites.

Electro- y magnetoreológicos

Materiales capaces de alterar sus propiedades reológicas ante variaciones del campo. Son suspensiones de partículas micrométricas magnetizables, en fluidos de distintas naturalezas (aceites hidrocarburos, silicona o agua), que de forma rápida y reversible aumentan su viscosidad bajo la aplicación de campos magnéticos. Existen aplicaciones por ejemplo en los amortiguadores variables en base a fluidos magnetoreológicos MRF.

Fotoactivos (Eléctroluminiscente, Fluorescente, Fosforescente o Luminiscentes)

Son materiales que actúan emitiendo luz. En el caso de los electroluminiscentes cuando son alimentados con impulsos eléctricos emiten luz, los fluorescentes devuelven la luz con mayor intensidad y los fosforescentes, almacenan la energía y la emiten después de cesar la fuente de luz inicial.

Son ya aplicados a sistemas de señalización y seguridad. En el caso de los electroluminiscentes,

emiten luz fría y su disposición en forma de film (lámparas planas) están siendo combinados en piezas plásticas mediante técnicas como IMD (In Mold Decoration) para realizar piezas 3D que emiten luz propia.

Cromoactivos (Termocrómico, Fotoocrómicos, Piezocrómicos)

Son materiales que modifican su color ante cambios de temperatura, luz o presión. Los termocrómicos están ya presentes en forma de etiquetas de control de temperatura (cadena de frío), artículos de hogar (envases microondas, sartenes, mangos), juguetes (calcomanías que al frotar muestran una imagen).

Materiales con Memoria de Forma (aleaciones metálicas AMF y polímeros).

Se definen como aquellos materiales capaces de recuperar su forma después de haber sido deformados de manera aparentemente plástica. Esta recuperación se puede producir por un cambio térmico o magnético. [8]

Las deformaciones recuperables en estos materiales son grandes y pueden llegar hasta el 18% en el caso de un *MMF* monocristalino.

El interés por los *MMF* ha ido incrementando los últimos años.

Las aleaciones de *NiTi* se emplean con éxito en aplicaciones tan variadas como hilos de ortodoncia, grapas de osteosíntesis o stents cardiovasculares, así como en diversas aéreas, por ejemplo en aeroespacial, automóviles, trenes, celulares, etc. [9, 10, 11, 12, 13, 14] y recientemente en recuperación de energía de desecho. [15, 16, 17, 18]



IMAGEN 01. RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT ©

Se dividen en:

- Aleaciones con Memoria de Forma. (AMF)
- Cerámicas con Memoria de Forma.
- Polímeros con Memoria de Forma.
- Aleaciones Ferromagnéticas con Memoria de Forma.

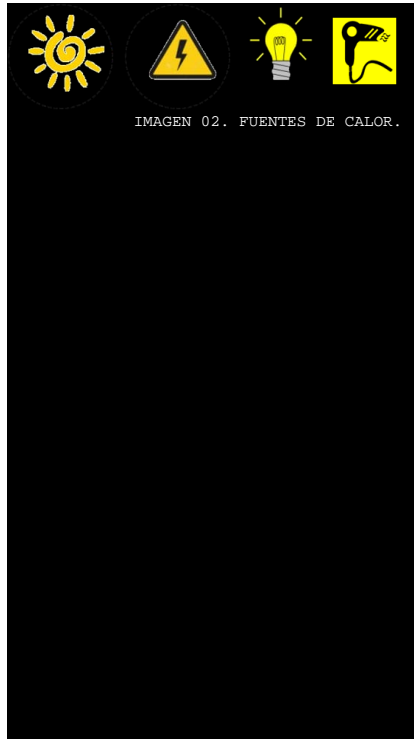
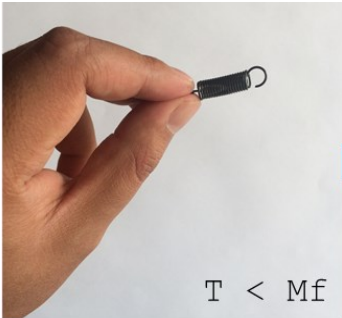


IMAGEN 02. FUENTES DE CALOR.

02

PROPIEDADES ALEACIONES NÍQUEL + TITANIO CON MEMORIA DE FORMA



A. CARACTERÍSTICAS

*GENEALIDADES DE LOS MMF

Los llamados *MMF*, entre los que se encuentran: metales puros, aleaciones metálicas, polímeros, etc, son aquellos que tienen la capacidad de tomar dos formas predeterminadas al pasar cierta temperatura crítica. Estos materiales presentan una serie de efectos entre los que destacan: el efecto memoria de forma simple, doble efecto memoria de forma, efecto superelástico entre otros. [10]

El comportamiento mecánico de los *MMF* y sus efectos asociados se deben a que en ellos se presenta una **Transformación Martensítica (*TM*)**, de tipo termoelástica, la cual puede ser inducida por temperatura, esfuerzo o una combinación de ambos. [19]

La *TM* es una transformación que se presenta sin difusión, de primer orden y está constituida principalmente por una deformación de corte. [20]

A continuación se describen los Efectos antes mencionados:

* **Efecto de memoria de forma simple** es la capacidad que tiene el material para recuperar grandes deformaciones aparentemente plásticas inducidas mecánicamente (hasta el 10% en algunas aleaciones), mediante moderados incrementos de temperatura.

* **Doble efecto de memoria de forma** es cuando el material toma dos formas predeterminadas al variar la

temperatura. Dicho efecto se obtiene después de que el material es sometido a un proceso mecánico llamado educación.

* **Efecto súperelástico** consiste en que el material estando a una temperatura por encima de la crítica y sometido a esfuerzos, es capaz de experimentar deformaciones recuperables, después de quitar la carga, de hasta 100 veces mayor que la que pueden experimentar los materiales convencionales.

* **Doble efecto de memoria de forma asistido** consiste en que el material sujeto a una carga constante, toma dos formas predeterminadas al variar la temperatura entre dos temperaturas críticas. [21] Este efecto es de particular importancia para la aplicación que se propone en la presente tesis como será explicado en los siguientes capítulos.

En la Imagen 03. se muestran esquemáticamente 3 de los efectos de memoria de forma.

Los efectos antes mencionados se deben a que la *TM* en las *AMF* es reversible, es decir, que puede existir cambio de fase de **Austenita** a **Martensita** y viceversa. [21] Estas fases serán explicadas en la siguiente sección para el *NiTi*.

Existen cuatro temperaturas críticas que marcan el inicio y el final de la *TM* así como de la transformación inversa. [19] **Austenita Inicial (*A_i*)**, **Austenita final (*A_f*)**, **Martensita inicial (*M_i*)** y **Martensita final (*M_f*)**.

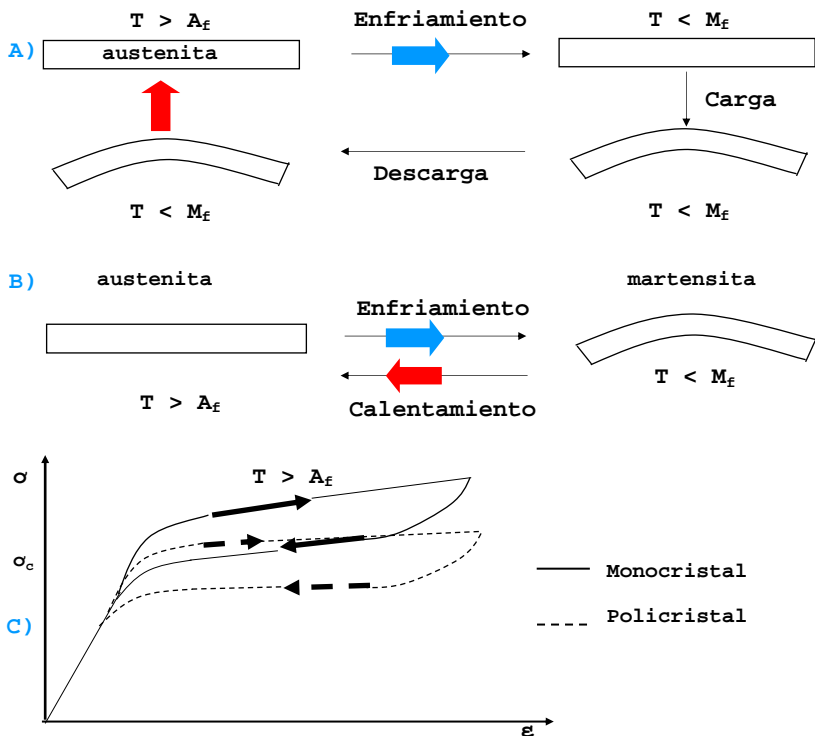
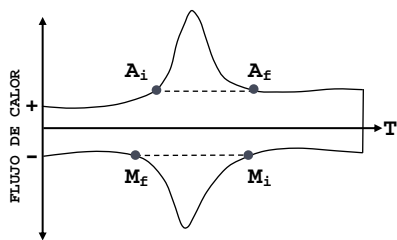


IMAGEN 03. ESQUEMAS DE LOS EFECTOS DE MEMORIA DE FORMA. A)EFECTO MEMORIA DE FORMA SIMPLE B)DOBLE EFECTO MEMORIA DE FORMA C)CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN PARA UN POLI-CRISTAL Y UN MONOCRISTAL (EFECTO SUPERELÁSTICO). [19] COPYRIGHT ©

Las cuatro temperaturas críticas de un **MMF** pueden ser medidas en un material mediante una prueba de calorimetría diferencial de barrido o bien de resistividad. [22]

La gráfica anterior representa esquemáticamente las curvas obtenidas en una prueba de calorimetría diferencial de barrido donde se obtienen estas **temperaturas críticas**.



Estas temperaturas son importantes para el diseño de dispositivos que utilizan **MMF**.

IMAGEN 04. CURVA FLUJO DE CALOR - TEMPERATURA. [23] COPYRIGHT ©

*GENERALIDADES AMF NiTi

La estructura cristalina característica de la fase austenítica en las *AFM NiTi* se designa como estructura B2 y corresponde a una estructura cubica centrada en el cuerpo, donde los átomos de Níquel ocupan el centro de la red mientras que los átomos de Titanio están alrededor. [24]

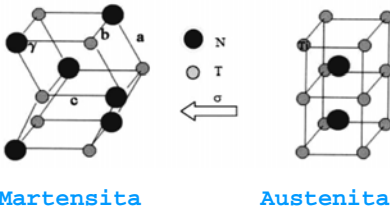


IMAGEN 05. REPRESENTACION ESQUEMÁTICA DE LAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS PRESENTADAS EN EL *NiTi*. [23]

Debido a que el rango de temperatura en donde ocurra la transformación varía según el tipo de aleación y según el porcentaje de los componentes que ésta contenga, por lo general, se busca que las aleaciones tengan una temperatura *AF* lo más baja posible. El objetivo de lo anterior es que el material necesite la menor cantidad de temperatura posible para lograr la transformación Austenita. [21]

En el caso de las aleaciones *NiTi*, presentan una temperatura *AF* más baja, por lo tanto, es la aleación que requiere menos temperatura para llevar a cabo la transformación, es

por esta razón que es la más explotada comercialmente. [21]

Esta aleación en particular, tiene muy buenas propiedades eléctricas y mecánicas, resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión y también puede ser deformado elásticamente hasta un 8-10%. [24]

En la mayoría de los casos, la temperatura de transición de las *AMF* se elige de forma que la temperatura ambiente está muy por debajo del punto de transformación del material. [24]

Al ser estas aleaciones conductoras de electricidad pueden presentar *TM* por el efecto Joule³ En otras palabras, cuando una corriente eléctrica pasa directamente a través del cable, se puede generar calor suficiente para causar la transformación de fase.

Esta aleación tiene buenas propiedades mecánicas de acuerdo con sus descubridores William Buehler y Frederick Wang en 1962.

Por ejemplo esta aleación vista como un actuador en una configuración de alambre con un diámetro de 0.0508cm puede levantar hasta 72N. [24]

³ El efecto Joule representa la aplicación del principio de conservación de la energía a la transformación de energía eléctrica en calor. [25]

Dentro de las series galvánicas (en agua de mar), la familia de las aleaciones base *NiTi* es ligeramente más noble que el acero inoxidable 316, y tiene un comportamiento a la corrosión similar. [24]

Su excelente resistencia a la corrosión se debe a una delgada capa de óxido de titanio que pasiva al material. Esta capa es muy estable y hace que las aleaciones *NiTi* sean muy resistentes a muchos tipos de ataque.

Sin embargo, bajo condiciones muy agresivas, como las que se encuentran en soluciones de cloruros muy ácidos, esta capa puede romperse. Además, en algunas investigaciones se ha demostrado que el proceso de repasivación, es decir la formación de una nueva capa de óxido, en estos materiales es lento y difícil. [24]

En la Tabla 1 se indican las propiedades físicas como térmicas y eléctricas de las *AMF NiTi*.

Tabla 1. Propiedades físicas de las *AMF NiTi*. [24]

Propiedades	Valor
Punto de fusión	1300 °C (2370 °F)
Densidad a temperatura ambiente	6.45 g/cm ³ (0.233 lb/pulg ³)
Conductividad térmica:	
Austenita	0.18 W/cm * °C (10.4 BTU/ft*h*°F)
Martensita	0.086 W/cm * °C (5.0 BTU/ft*h*°F)
Coeficiente de expansión térmica:	
Austenita	11.0E-6/ °C (3.67E6/ °F)
Martensita	6.6E-6/ °C (3.67E6/ °F)
Calor Específico	0.20 cal/g * °C (0.20 BTU/lb * °F)
Resistencia a la corrosión	Excelente*
*Similares a los del acero inoxidable	Serie 300 o al Titanio

Tabla 1. Propiedades físicas de las *AMF NiTi*. [24]

Módulo de Young (Altamente no lineales con respecto a la temperatura):	
Austenita	Aprox. 83 GPa (12E6 psi)
Martensita	Aprox. 28 a 41 GPa (de 4E6 a 6E6 psi)
Resistencia a la fluencia:	
Austenita	195 a 690 MPa (28 a 100 Ksi)
Martensita	70 a 140 MPa (10 a 20 ksi)
Resistencia a la tensión máxima:	
Completamente endurecido	895 MPa (130 ksi)
Endurecido por trabajo	1900 MPa (275 ksi)
Relación de Poisson	0.33
Elongación hasta la falla:	
Completamente endurecido	25 y el 50%
Endurecido por trabajo	5 a 10%
Deformable en caliente	Bastante bueno
Deformable en frío	Difícil debido al endurecimiento rápido por trabajo
Maquinabilidad	Técnicas difíciles, abrasivas preferentemente

En la Tabla 2 se muestra una comparación entre las *AMF NiTi* y el acero inoxidable. Como puede observarse las *AMF NiTi* tienen mejores propiedades que el acero

inoxidable lo cual es muy apropiado pensando en diseños que se ubiquen al aire libre como en la aplicación que se propone en la presente investigación.

Tabla 2. Comparación entre las *AMF NiTi* y acero inoxidable. [24]

Propiedad	Nitinol	Acero Inoxidable
Recuperación a la elongación	8%	0.8%
Biocompatibilidad	Excelente	Justo
Módulo eficaz*	Aprox. 48 GPa	193 GPa
Maquinado por troquel	Excelente	Pobre
Densidad	6.45 g/cm ³	8.03 g/cm ³
Magnético	No	No
Resistencia máxima	Aprox. 1,240 Mpa	Aprox. 760 MPa
Resistividad	80 a 100 micro-ohm * cm	72 micro-ohm * cm

*El módulo de Nitinol es altamente no lineal, y no es tan rígido como el acero inoxidable.

De manera general, Otsuka atribuye siete principales ventajas que poseen los *MMF* de las cuales sobresalen las siguientes:

- * Entregan fuerza por unidad de peso.
- * Poseen mayor capacidad de elongación elástica.
- * Permiten mayor flexibilidad del diseño a una mayor movilidad del actuador.
- * Brindan una rápida respuesta a temperaturas específicas.
- * Son inertes a una gran variedad de condiciones ambientales. [26]

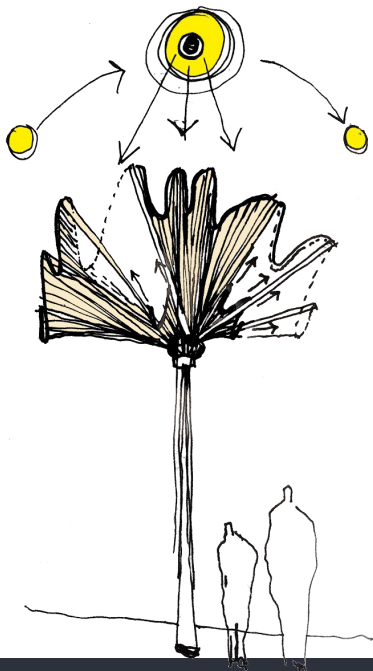


IMAGEN 06. CROQUIS IDEA SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL. COPYRIGHT ©

B. APLICACIONES Y ANÁLOGOS

Tomando como referencia los análogos que se han realizado en el área arquitectónica donde se propone la aplicación de los *MMF*, se encontró: el uso de polímeros (Elastómeros lónicos) en cubiertas ligeras (UNAM, México) [27], prototipo de seguidor solar utilizando aleaciones (*NiTi*) como termo actuador (UNAM, México) [23], prototipo de fachada móvil compuesta por polímeros con polvo ferromagnético (Universidad ETH, Zurich-Suiza) [28] y lámparas móviles formadas con *AMF NiTi* por los arquitectos Oki Sato (japonés-canadiense) [29] y Romolo Stanco (italiano). [30] Otras aplicaciones arquitectónicas desarrolladas en España (Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña, IAAC) [31,32,33,34] han demostrado que el uso de los componentes (alambres y resortes) de *AMF NiTi* permiten mejores resultados en la cuestión de automatización como lo son las propuestas de fachada interactiva (Remembrance) [32] y cubierta emergente que pudiera adaptarse de manera automatizada en casos de desastres naturales con ayuda de drones. [34] Ver Anexo 1 y 3

Dentro del área de Ingeniería Mecánica en la Fes Aragón (Laboratorio de Mecánica del Centro Tecnológico), existe un grupo de investigadores que han realizado diversas investigaciones y aplicaciones enfocadas a los *MMF*.

Dentro de estos trabajos destacan aplicaciones como: persianas

inteligentes [35], el sistema de paso para agua caliente[21], eficiencia térmica de aleaciones con memoria para su uso en distintos dispositivos recuperadores de energía [36], entre otros. Aunque estos proyectos son más enfocados al área de Ingeniería, se busca retomar sus alcances e investigaciones y con ello tener un resultado que pueda generar una aportación dentro del área de Arquitectura.

A continuación, se plantea un análisis de los análogos afines a esta investigación con aplicaciones arquitectónicas que se han desarrollado en Posgrado de Arquitectura, UNAM, campo de conocimiento Tecnología y se identifican tanto usos como las fuentes de calor de ellos.

La investigación realizada por Espinoza Vázquez [27] propone el uso de polímeros Elastómeros lónicos con memoria de forma como análisis de factibilidad para generar confort al interior de el espacio, contemplando la característica principal de los *MMF* que es la de reaccionar ante un estímulo directo y cuando este estímulo termina, el material vuelve a su estado original.

De tal modo que el material usado en fachadas o cubiertas pudiera obtener este estímulo por medio de la temperatura del medio ambiente y directamente por la incidencia solar, con ello lograría que este material respondiera a la necesidad de aislar el calor y controlar la ventilación natural sin la necesidad de usar elementos electromecánicos para su movilidad.

La conclusión de Espinoza Vázquez [27] fue que los Elastómeros Iónicos con *MMF* requieren de una temperatura de 150°C para generar el estímulo necesario y moverse. Por ello la aplicación de este material como regulador térmico en fachadas o cubiertas no cumple con la condición de reaccionar con la temperatura del medio ambiente, ya que solo se lograría obteniendo el calor por medios alternos.

De igual forma Chepi Rivera [23] propuso un sistema mecánico utilizando *MMF* encapsulando un resorte de *AMF NiTi* que actúa con el sol y con ello elimina el uso de controladores electromecánicos.

Las *AMF* actúan como sensores y actuadores del prototipo, al generar movimiento una vez que la incidencia solar directa permite alcanzar la temperatura necesaria para que el dispositivo cumpla su función. Esta propuesta permite captar la energía solar en cualquier dirección, por lo que las *AMF* son “parte” del sistema que plantea y no como un “todo” en el caso del análogo anterior.

Dentro de su investigación también desarrolló un ejercicio en el que incorpora esta idea de encapsular el resorte con memoria de forma en persianas logrando abrirlas y cerrarlas dependiendo de la temperatura exterior, sin embargo, requiere de un lapso de 15 a 20 min en abrir y cerrar debido a que una vez que acumula el calor, si no es constante, el resorte comienza a regresar a su estado en *MF*.

Con fundamento en la propuesta de

investigación de Chepi Rivera, el sol será la energía del futuro y por ello la búsqueda de nuevas formas de automatizar mediante nuevos materiales, evitando el uso de controladores electromecánicos o depender de la energía fósil.

Esté análogo será el punto de partida de esta investigación por lo que se realizó un resumen mediante tablas donde se muestra el proceso de investigación, así como pruebas y resultados obtenidos. Ver Anexo 2.

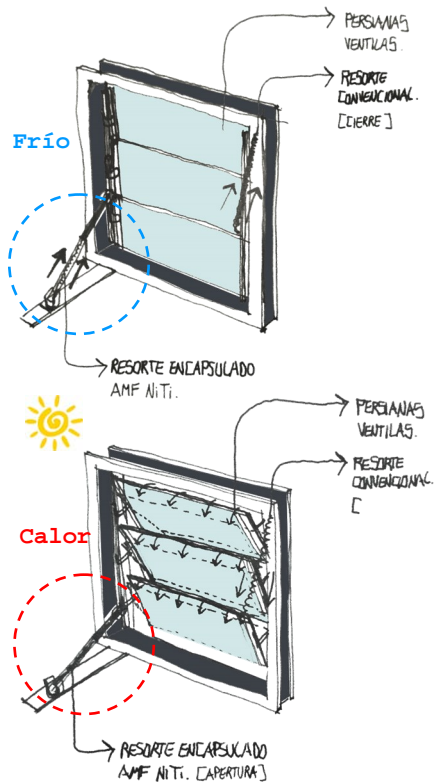


IMAGEN 07. CROQUIS PERSIANAS MÓVILES.
COPYRIGHT ©

Otros ejemplos de aplicación como en la universidad de Birmingham/ School of Metallurgy and Materials (Inglaterra) [37] cuyo profesor Claire Davis somete el material al calor generado por una pistola de aire caliente provocando el movimiento del material al reaccionar con el estímulo directo, posteriormente apaga la pistola de aire caliente y el material regresa a su estado original. También las *AMF NiTi* reaccionan por el calor generado mediante focos, esto fue probado con las lámpara realizadas por los arquitectos Oki Sato [29] y Romolo Stanco[30] que demuestra el comportamiento de las aleaciones Níquel + Titanio con Memoria de Forma usando fuentes de calor alternas.

Los *MMF* (polímeros y aleaciones) han sido considerados para aportar beneficios en la Arquitectura. Se plantea que los elementos electromecánicos consumen energía eléctrica de forma excesiva, para cumplir funciones específicas como proteger al hombre del medio ambiente con cubiertas o envolventes electromecánicas y mantener un espacio interior confortable (temperatura adecuada). Para lograr lo anterior se necesita de un proceso complejo cuya fuente de energía eléctrica es a través del petróleo o será que los *MMF* (aleaciones *NiTi*) son capaces de generar estas mismas funciones de manera natural, sin requerir de una fuente artificial alterna y obtener su energía mediante la energía solar.

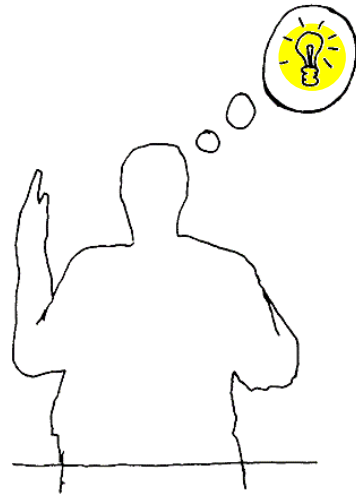
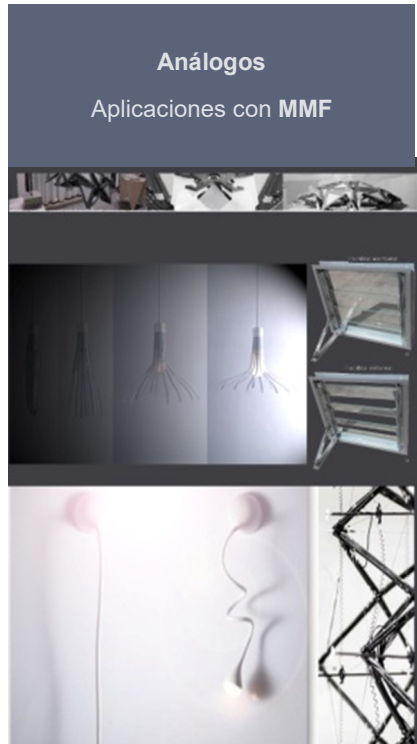


IMAGEN 08. CROQUIS Y LÁMINA ANÁLISIS DE ANÁLOGOS. COPYRIGHT ©

Análogos Laboratorio de Mecánica Aplicada, FES Aragón, UNAM

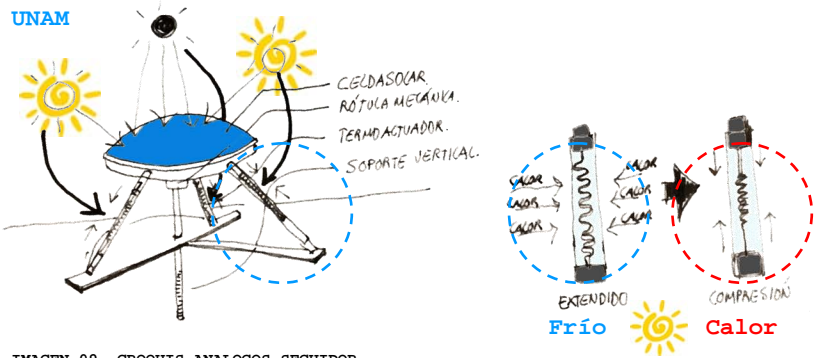


IMAGEN 09. CROQUIS ANALOGOS_SEGUIDOR SOLAR. COPYRIGHT ©

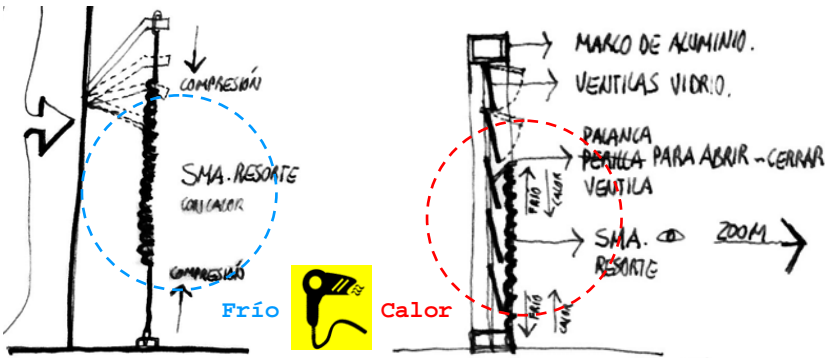


IMAGEN 10. CROQUIS ANALOGOS_PERSIANA INTELIGENTE. COPYRIGHT ©

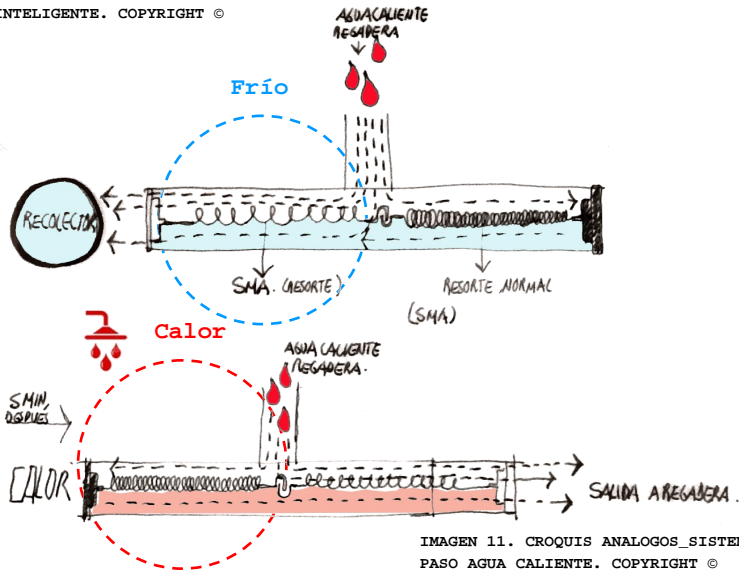


IMAGEN 11. CROQUIS ANALOGOS_SISTEMA DE PASO AGUA CALIENTE. COPYRIGHT ©

Análogos Europa.

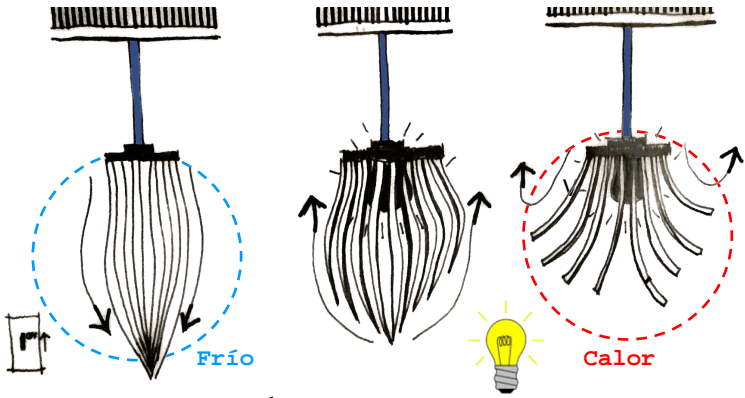


IMAGEN 12. CROQUIS ANALOGOS_LÁMPARA
NENDO.COPYRIGHT ©

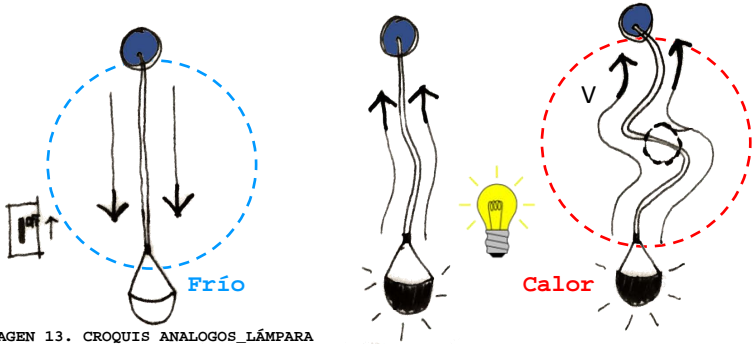


IMAGEN 13. CROQUIS ANALOGOS_LÁMPARA
RÓMULO STANCO.COPYRIGHT ©

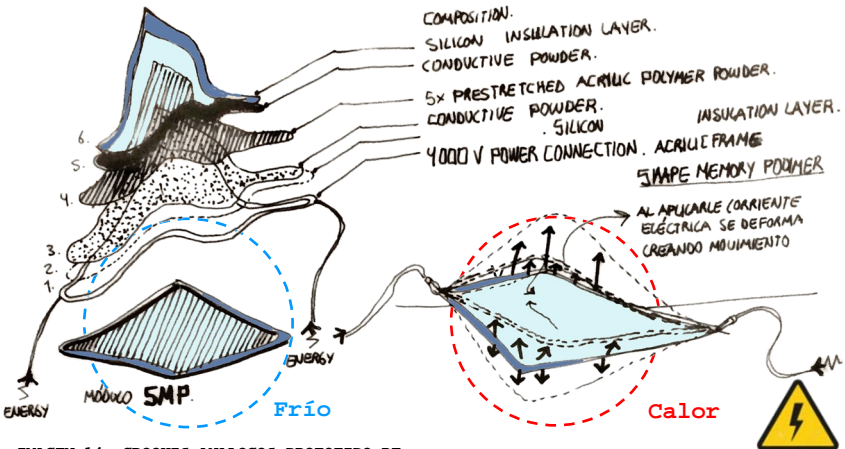
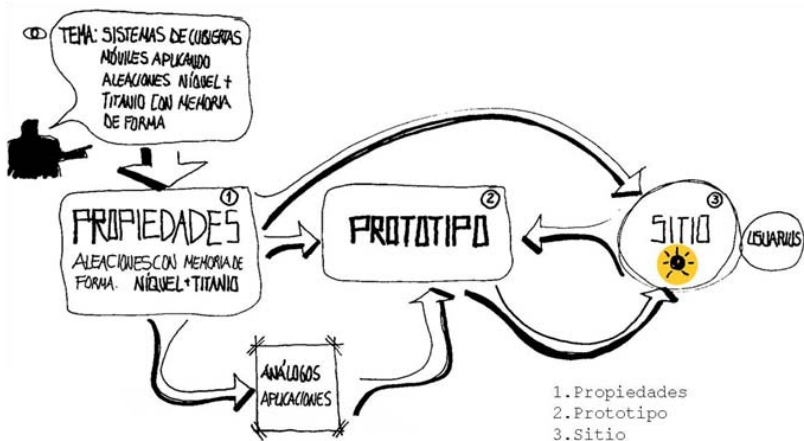


IMAGEN 14. CROQUIS ANALOGOS_PROTOTIPO DE
FACHADA MÓVIL.COPYRIGHT ©

03

EXPERIMENTACIÓN



A. MÉTODO

Los objetivos iniciales fueron investigar el comportamiento termo mecánico de alambres y resortes fabricados con *AMF NiTi*, para ello, se revisó la literatura de distintas fuentes con aplicaciones que emplean estas aleaciones.

Posteriormente se planteó la estrategia de diseño del sistema de cubierta móvil, integrando las *AMF NiTi*, para el caso de esta investigación se utilizaron resortes.

Así mismo, se realizaron diferentes pruebas mecánicas básicas con los resortes de *AMF NiTi* en el Laboratorio de Mecánica Aplicada de la FES Aragón. Donde se midió la cantidad de energía eléctrica para generar el movimiento y el tiempo de reacción que tienen las *AMF NiTi* al aplicarle calor. También se realizaron pruebas básicas de carga para estimar la cantidad de peso que soportan los resortes de *AMF NiTi* utilizados.

Una vez establecido el peso se buscó obtener la energía eléctrica necesaria para hacer reaccionar a los resortes de *AMF NiTi* mediante la implementación de una celda fotovoltaica y una pila para almacenar la energía eléctrica.

Con asesoría del grupo de investigadores del Laboratorio de Mecánica se estableció un criterio de mecanismo para generar el movimiento y con ello, adecuar el sistema de cubierta móvil aplicando las *AMF NiTi*.

Se diseñó y construyó un prototipo a escala 1:5 para comenzar con pruebas incorporando los resortes de *AMF NiTi* al sistema previamente proyectado.

Una vez analizado el comportamiento del prototipo, se desarrolló a escala 1:1 el sistema de cubierta móvil para analizar su factibilidad tanto de diseño como de funcionamiento.

B. PROCESO Y PRUEBAS

Hipótesis experimento.

Si se suministra electricidad obtenida a partir de las celdas fotovoltaicas y se logra generar la temperatura necesaria en un tiempo breve (segundos) para obtener el movimiento en los *MMF*, entonces la apertura de la cubierta será inmediata cuando la temperatura sea mayor a 20°C.

A continuación se muestran mediante croquis las ideas sobre los experimentos en cuanto al mecanismo y cómo lograr el movimiento.

Más adelante se describen las pruebas realizadas junto con los resultados obtenidos en cada una de ellas.

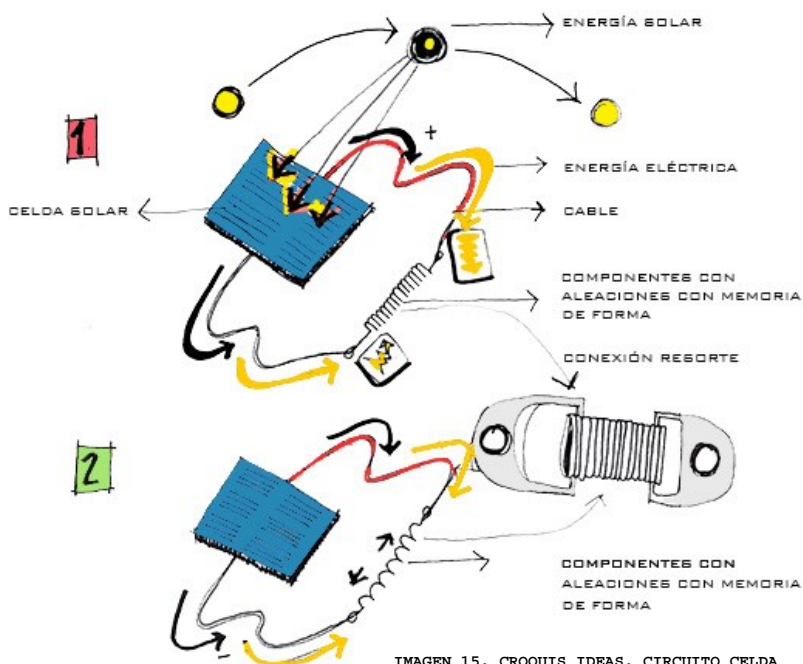


IMAGEN 15. CROQUIS IDEAS. CIRCUITO CELDA FOTOVOLTAICA + RESORTES AMF NiTi COPYRIGHT ©

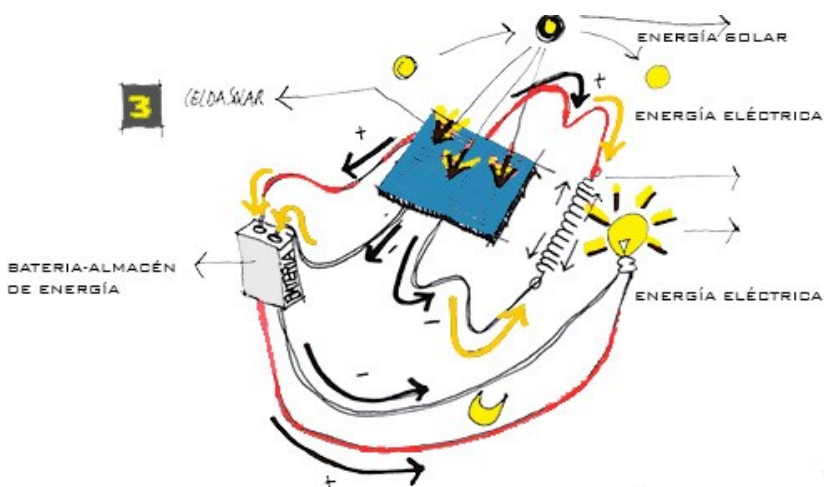
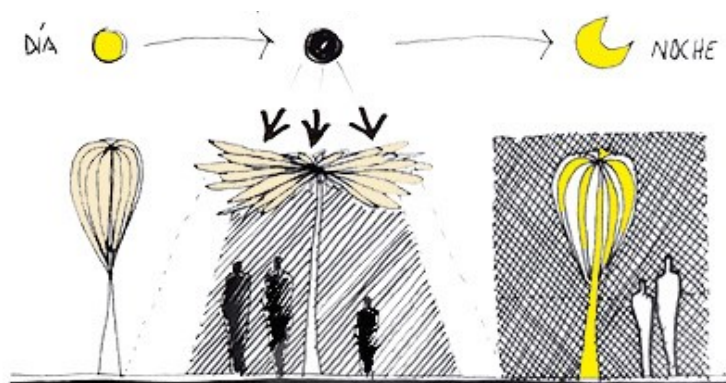
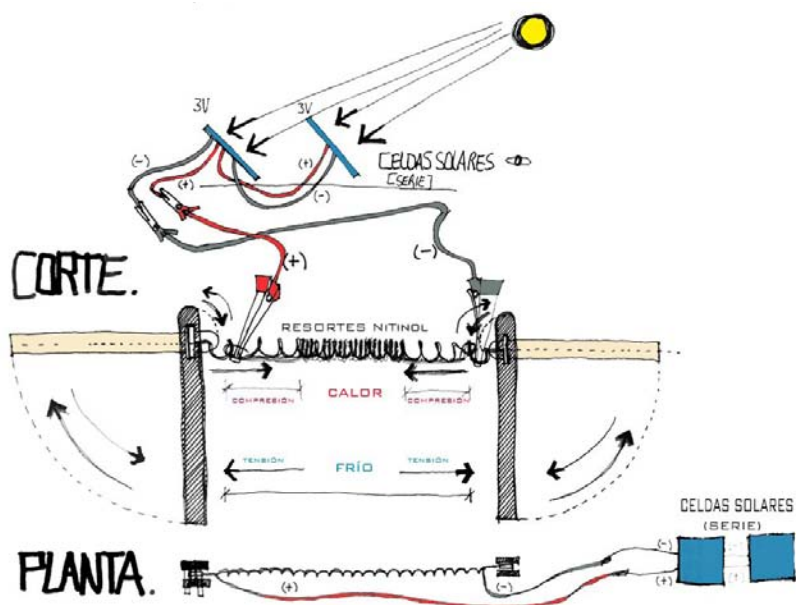


IMAGEN 16. CROQUIS IDEAS. CELDA FOTOVOLTAICA + PILA + RESORTES AMF NITi COPYRIGHT ©



1

SIN LUZ SOLAR

2

CON LUZ SOLAR

ENERGÍA SOLAR

ENERGÍA ELÉCTRICA

3

CON ILUMINACIÓN

ENERGÍA ELÉCTRICA

ALMACENADA

IMAGEN 17. CROQUIS IDEAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL. COPYRIGHT ©

Sitio para la elaboración de pruebas: [Laboratorio de Mecánica Aplicada del Centro Tecnológico, FES Aragón, UNAM.](#)



IMAGEN 18. LABORATORIO DE MECÁNICA, FES ARAGÓN, UNAM. COPYRIGHT ©

Para la realización de las pruebas mencionadas, se utilizó un resorte y un alambre de [AMF NiTi](#).

Las características de los materiales utilizados son:

Resorte.

*Modelo: 3-642 [NiTi](#) Spring, tensión (Imagen 19, 20).

*Longitud: 2.68cm.

*Diámetro del alambre: 0.75mm.

*Vueltas: 21.4vueltas,

*Temperatura: 70 a 80°C con 3A de corriente.

Alambre.

*Diámetro: 0.01mm aproximadamente, (sumamente delgado, de uso para ortodoncia).

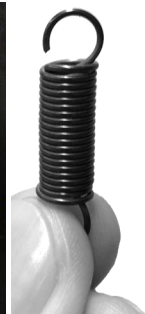


IMAGEN 19. RESORTES DE [AMF NiTi](#). COPY-RIGHT©


Una vez elegidos los materiales para las pruebas se utilizó un equipo previamente diseñado en el Laboratorio de Mecánica Aplicada que permitió realizar las siguientes pruebas:

Prueba 1. Resorte [AMF NiTi](#) vs Resorte convencional en serie. Medición de temperatura aproximada de accionamiento del resorte [AMF NiTi](#) a diferentes voltajes. (Imagen 21)

Material:

- Fuente de poder con voltajes de (3V, 5V, 6V, 9V y 12V).
- Resorte [AMF NiTi](#).
- Resortes convencionales.
- Multímetro con Termopar.

MuscleWires.com Next Generation Kits and Products for Robotics and Material Education



NiTi Tension Springs (Item #3-642) SRP \$39.95

Tension - When cool, can be extended or deformed to ~14 cm, using ~6N. Heated, contracts to ~29 mm overall, using ~9.4N, with 3 Amps. 750 µm wire diameter, activates at ~55°C - 85°C. This is a demonstration product and the force and amperage values may vary.

Four pieces per pack. Use several in series for greater distance, or in parallel for greater force. Sold in a 4-Pack. Force will vary based on your application.

[Add to Cart](#)

IMAGEN 20. CARACTERÍSTICAS RESORTE DE [AMF NiTi](#). [38]

En este ejercicio se vio la contracción del resorte cuando se le va aplicando determinada corriente.

Se estimaron las temperaturas durante la contracción del resorte de *AMF NiTi* con un termopar. Las temperaturas oscilaron entre 60 a 60.5 °C. Lo cual es cercano a la temperatura crítica de transformación dada por el fabricante (70 °C).

En esta prueba se vio la influencia que tiene la fuerza adicional generada por el resorte convencional al de *AMF NiTi*. Cabe mencionar que las temperaturas obtenidas en esta prueba son únicamente de referencia ya que para realizar una medición más precisa se debe de hacer una prueba de calorimetría diferencial de barrido.

Se colocaron los termopares en el resorte *AMF NiTi* y se le fueron aplicando diferentes voltajes (3V, 5V, 6V, 9V y 12V).

En esta prueba se puede observar una configuración de resortes en serie (uno de material convencional y otro de *AMF NiTi*). Inicialmente debido a que el resorte de *AMF NiTi* se encuentra en fase *martensita* el resorte convencional hace que se estire. Cuando el voltaje es aplicado al *MMF* este se contrae y estira el resorte convencional. Esta configuración es importante y se ha aplicado a diversos dispositivos como el de la válvula economizadora de agua.

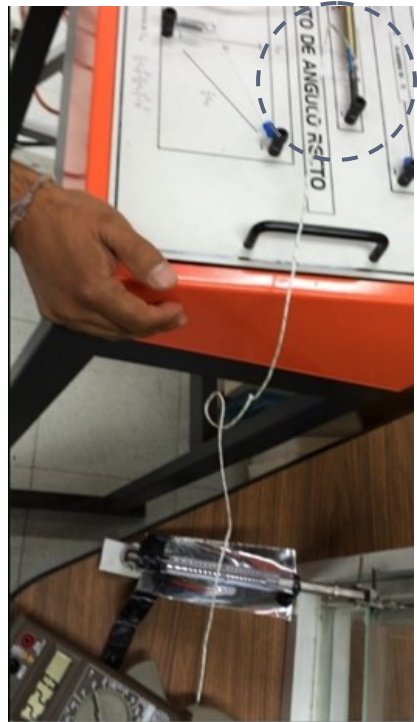


IMAGEN 21. PRUEBA 1. TALBERO. COPYRIGHT ©

Prueba 2. Resorte de *AMF NiTi* vs Resorte convencional en serie. Medición de tiempos de contracción del resorte *AMF NiTi* a diferentes voltajes. (Imagen 22)

Material:

- Fuente de poder con voltajes de (3V, 5V, 6V, 9V y 12V).
- Resorte de *AMF NiTi*.
- Resorte convencional.

Este ejercicio consiste en tener un resorte convencional enganchado a un resorte de *AMF NiTi* para determinar el tiempo de reacción que tiene el resorte *AMF Ni Ti* cuando está sujeto a un esfuerzo constante debido al resorte convencional.

Posteriormente se realizó una prueba para determinar el tiempo que se tarda en contraer el resorte de *AMF NiTi*, adicionalmente en estas pruebas se midió la distancia que se contrae el resorte al aplicar la corriente eléctrica.

En estas pruebas se pudo observar que el tiempo de contracción del resorte *AMF NiTi* varía dependiendo el voltaje aplicado. Los tiempos de contracción son de unos cuantos segundos a diferencia del encapsulamiento que realizó Chepi Rivera [23] donde su tiempo de reacción del resorte de *AMF NiTi* tardaba de 15 a 20min en poder tener una contracción.

Esta prueba es interesante debido a que se pensó en un arreglo similar

para el mecanismo de apertura y clausura del sistema móvil propuesto en la presente tesis.

Durante la prueba el resorte convencional tiene una distancia de 5cm y el resorte *AMF NiTi* se estiró a una distancia de 5.5cm (Imagen 23). Al ponerle distintos voltajes el resorte con memoria de forma se contrajo 2.2cm que es la contracción máxima y estira el resorte convencional (Imagen 24). Por la fuerza que ejerce el resorte convencional, al enfriarse el resorte *AMF NiTi* vuelve a su estado inicial de 5.5cm.

Como se mencionó anteriormente el tiempo de respuesta es inmediato (segundos) al aplicarle la corriente eléctrica, entre mayor voltaje el tiempo de contracción es más rápido, aunque demanda mayor amperaje (Imagen 25).

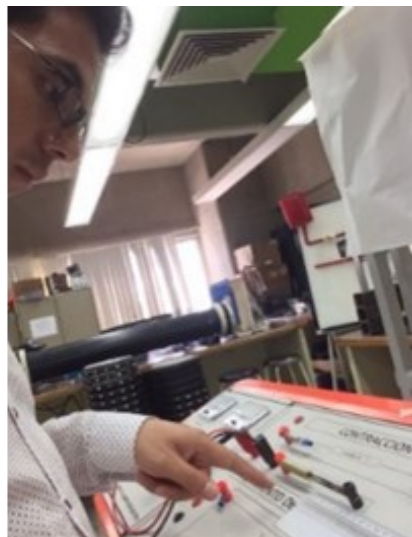


IMAGEN 22. PRUEBA 2. TABLERO. COPYRIGHT©



IMAGEN 23. PRUEBA 2. RESORTE CONVENCIONAL VS RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT ©



IMAGEN 24. PRUEBA 2. CONTRACCIÓN DEL RESORTE AMF NiTi. COPYRIGHT ©

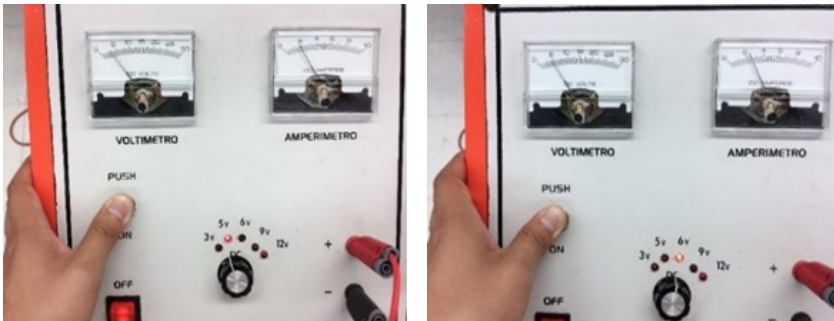


IMAGEN 25. PRUEBA 2. APLICACIÓN DE DIFERENTES VOLTAJES 3, 5, 6 Y 12V COPYRIGHT ©

Prueba 3. Alambre de *AMF NiTi*. Movimiento de ángulo recto. Medición de tiempo de accionamiento y desplazamiento. (Imagen 26).

Material:

- Fuente de poder con voltajes de (3v, 5v, 6V, 9V y 12v).
- Alambre de *AMF NiTi*.
- Resorte convencional.
- Regla.

Debido a que los alambres de *AMF NiTi* tienen menor porcentaje de contracción que un resorte, en esta prueba se colocó un alambre de *AMF NiTi* vs un resorte convencional con la idea principal de que se aumente el desplazamiento generado. Dicho aumento se puede lograr con la configuración que se muestra en la Imagen 26.

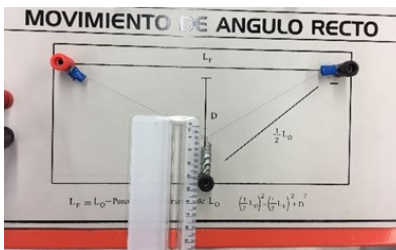
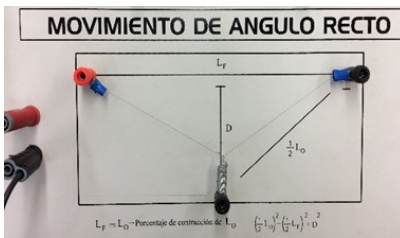


IMAGEN 26. PRUEBA 3. MOVIMIENTO DE ÁNGULO RECTO CON ALAMBRE DE *AMF NiTi*. COPYRIGHT©

Al realizar la prueba se logró un desplazamiento de 1 cm desde el estado inicial o L_0 mediante corriente eléctrica. Después de quitar la corriente eléctrica, al igual que en los casos de las pruebas en resortes en serie, el resorte convencional lo regresa a su estado original.

En la Imagen 27 se presentan las formulas para calcular la distancia final de acuerdo al porcentaje de contracción y la longitud inicial del alambre. Así como la relación de estas longitudes, de acuerdo a la configuración, y el diámetro del alambre. Para realizar esta prueba el resorte convencional ha sido previamente seleccionado obteniendo la constante apropiada.

$$L_F = L_0 - \text{Porcentaje de contracción de } L_0$$

$$\left(\frac{1}{2}L_0\right)^2 - \left(\frac{1}{2}L_F\right)^2 + D^2$$

IMAGEN 27. FÓRMULA. COPYRIGHT ©

Se analizó la idea de utilizar esta configuración de alambre de *AMF NiTi* y resorte convencional para que fuera parte del mecanismo del sistema de cubierta móvil, sin embargo, se optó por el uso de resortes de *AMF NiTi*. Lo anterior debido a que la configuración del resorte vs resorte presenta un mayor desplazamiento. Y el adicionar un mecanismo con la configuración de esta prueba sería más complicado debido al espacio que utiliza este arreglo.

Prueba 4. Resorte de *AMF NiTi* vs pesos en serie. Fuerza que soporta el resorte de *AMF NiTi* (Imagen 28)

Material:

- Resorte de *AMF NiTi*.
- Pesas.
- Pistola de aire caliente.

Se realizó una configuración en el que se colocó el resorte de *AMF NiTi* en un sistema de contrapeso (Imagen 29), para irle colocando pesos en Newtons (Imagen 30) y cuantificar la fuerza que puede soportar el resorte contrayéndose a 2.68 cm. En esta prueba se utilizó una pistola de aire caliente para lograr la transformación del resorte de *AMF NiTi* y con ello hacer que regresara a su estado inicial.

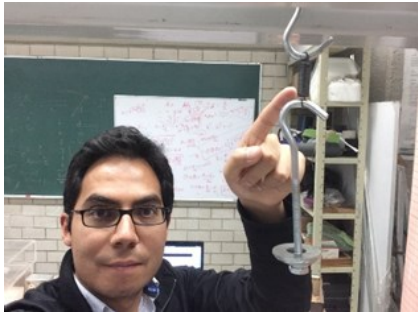


IMAGEN 29. PRUEBA 4. BALANZA. COPYRIGHT©



IMAGEN 30. PRUEBA 4. PESAS N. COPYRIGHT©



IMAGEN 28. PRUEBA 4. APLICACIÓN DE PESOS EN RESORTE de *AMF NiTi*. COPYRIGHT ©

En el primer ensayo se colocó un peso de 2 N. Como se mencionó la medida original del resorte de *AMF NiTi* es de 2.68cm; sin embargo debido al sistema de contrapeso la distancia inicial en todas las pruebas fue de 2.88 cm y con los 2 N se estiró hasta 4.8 cm. Al calentarlo regresó a su estado inicial sin ningún contratiempo lo cual muestra que puede cargar un peso de 2 N (Imagen 31).

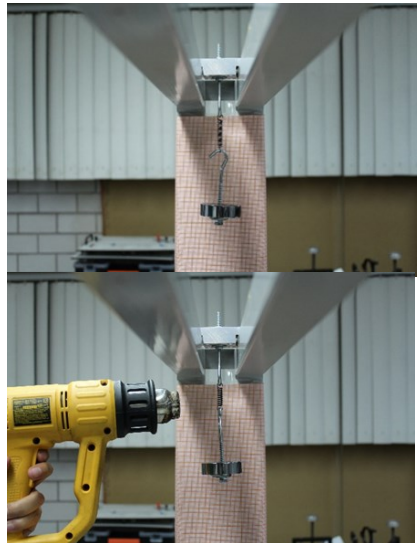


IMAGEN 31. PRUEBA 4. PESO 2N. COPYRIGHT©

En el segundo ensayo se colocó un peso de 3.9786 N, el resorte de *AMF NiTi* se estiró hasta 7.9 cm partiendo de la longitud inicial antes mencionada. Al calentarlo regresó a una distancia de 3.3 cm lo cual indica que no logró regresar al estado inicial, pero el resorte pudo contraerse (Imagen 32).

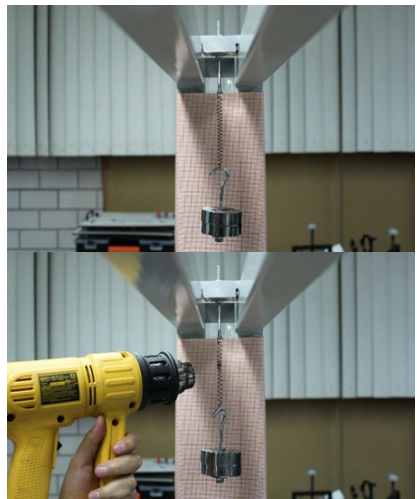
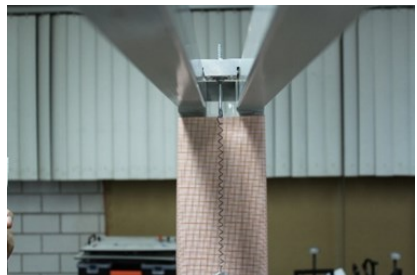


IMAGEN 32. PRUEBA 4. PESO 3.9786N COPY-RIGHT©

En el tercer ensayo se colocó un peso de 5.9572 N, el resorte de *AMF NiTi* se estiró a 23 cm partiendo de la longitud inicial antes mencionada. Debido a que el resorte estiró demasiado, el calentamiento con la pistola de aire no pudo ser aplicado de una manera homogénea. Por lo anterior la contracción del resorte fue por secciones lo cual indica que el calentamiento debe de ser de manera continua sobre todo el alambre para evitar la contracción por sección de los resortes. (Imagen 33).



Las pruebas anteriores indican que el peso que puede soportar el resorte de *AMF NiTi* utilizado para las pruebas son de aproximadamente hasta 4 N casi 400 gr.

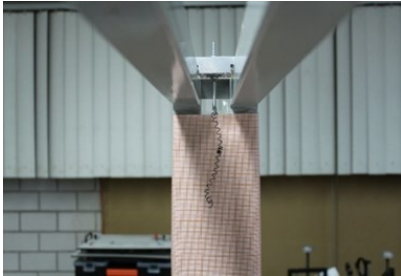


IMAGEN 33. PRUEBA 4. PESO 5.9572n COPY-RIGHT ©

Prueba 5. Prueba de fuerza con celda fotovoltaica de 12V/ 10 Watts y batería de 12V 7AH. (Imagen 34)

Material:

- Celda fotovoltaica de 12V/10 Watts.
- Una pila con capacidad de 12 V/7A.
- Resorte de *AMF NiTi*.
- Peso de 398 gr. (pesado en báscula calibrada)

En esta prueba se colocó el peso al resorte de *AMF NiTi*, similar a la prueba 4, con la diferencia que la contracción se realiza con carga eléctrica proporcionada por la celda fotovoltaica. Ver [Anexo 4](#)

Este arreglo es más cercano a la idea que se planteó en la hipótesis de generar la corriente eléctrica a través de una celda fotovoltaica y utilizarla para aplicarla a los *MMF*. Mediante esta prueba se determinó que una celda con estas características no es suficiente para mover un resorte de *AMF NiTi* de 2.68cm. Lo anterior debido a que el amperaje necesario para contraer el resorte

fue insuficiente, conectando la celda fotovoltaica directamente al resorte. Por ello se adicionó una pila, la cual es cargada por celda fotovoltaica, de 12V / 7A. Con esta nueva configuración fue posible mover el resorte de *AMF NiTi*. El resorte de 2.88 cm se estiró con el peso de 398 gr hasta 8 cm. Al conectar la batería cerrando el circuito, ya que el resorte funciona como una resistencia, regresó a su estado inicial. La pila se descargó luego de realizar esta misma prueba 3 veces.

Como puede observarse en las pruebas realizadas a diferencia del calentamiento por aire los que utilizan corriente eléctrica no presentan el inconveniente de la contracción por secciones.



IMAGEN 34. PRUEBA 5. CELDA FOTOVOLTAICA COPYRIGHT ©

04

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN



CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO. COPYRIGHT ©

A. APORTACIÓN

Se propuso generar una cubierta, que a partir de un módulo, se pudiera replicar “n” número de veces para generar mas superficie de sombra sin que sea necesario implementar una cubierta a gran escala. Por lo que se planteó desarrollar un diseño de prototipo del sistema de cubierta móvil cuya factibilidad de uso pudiera ser aprobado, incorporando los resultados obtenidos de las pruebas anteriormente descritas. Sin embargo, este sería un primer acercamiento del producto terminado alcanzando la etapa 4 del TRL⁴ para presentarlo como alternativa de solución en temas de automatización en cubiertas, generando espacios de confort y resguardo en exteriores (plazas, patios, malecones, playas, etc.).

La presente propuesta pretende mostrar que el dispositivo de cubierta móvil, puede ser en un futuro cercano un producto comercial, que brinde soluciones de manera integral con respecto a la inversión que se hace en la utilización de sistemas motorizados o electromecánicos.

A continuación se muestra el proceso creativo para el diseño, construcción e implementación del sistema de cubierta móvil aplicando aleaciones Níquel + Titanio con memoria de forma , mostrando sus fases dentro del proceso que se llevó a cabo una vez obtenidos los resultados en laboratorio y el planteamiento del diseño.

B. PROCESO CREATIVO

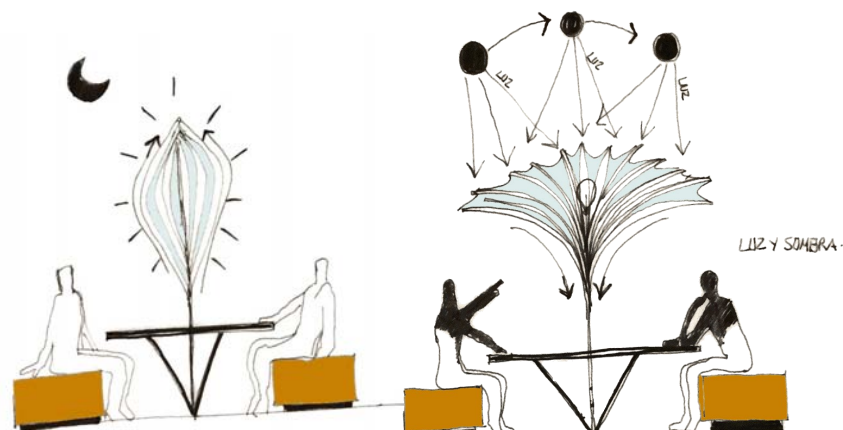
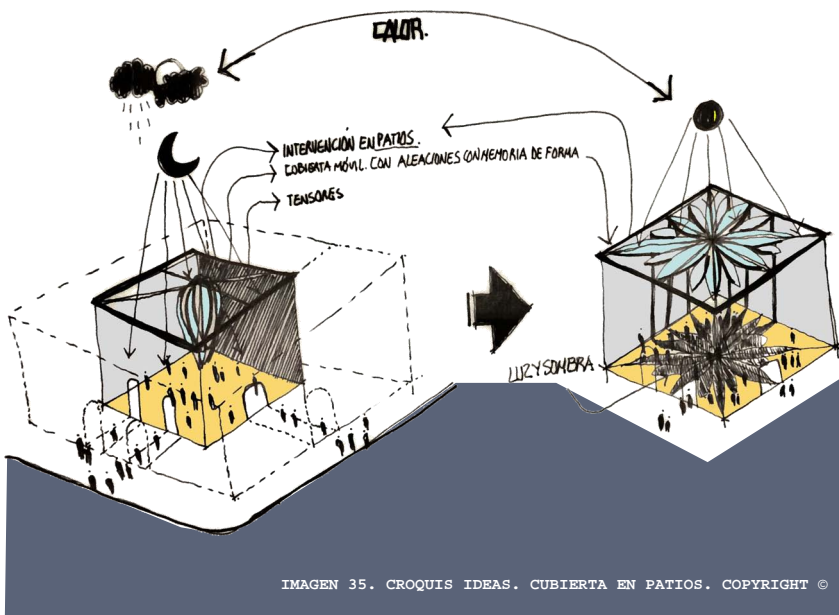
Se comenzó por la idea de generar una cubierta a gran escala de acuerdo con las propiedades que presentan los *MMF*, es decir, que se pudiera tener una cubierta que generara la apertura y clausura en patios de edificios, de acuerdo al clima que hubiera durante el día.

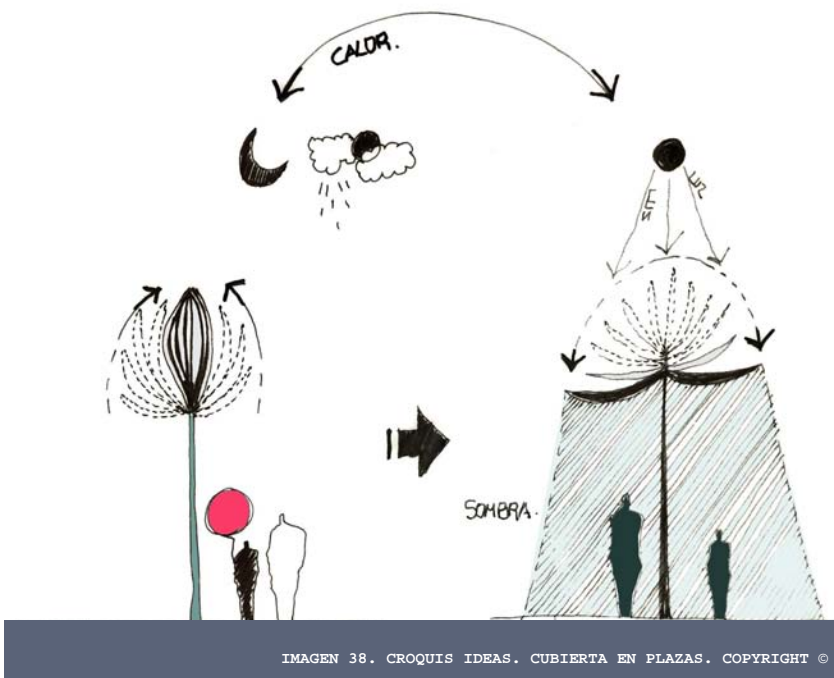
Esta idea partiendo de lo visto en análogos como la lámpara de Oki Sato y la Universidad de Birmingham, sin embargo, era pensar en un sistema más complejo.

Posteriormente se fue acotando la idea y se decidió desarrollar la cubierta a una escala menor como en cubiertas de plazas, parques, malecones, playas, etc. Donde generalmente se encuentra mobiliario para sentarse y estar resguardado del clima.

Para estas primeras ideas se desarrollaron una serie de croquis (Imagen 35, 36, 37 y 38) mostrando lo que se quería lograr con el sistema de cubierta móvil, así como arreglos de mecanismos con los resortes de *AMF NiTi* (Imagen 49)

⁴ TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL) [39] Niveles de disponibilidad para el desarrollo Tecnológico en la Arquitectura y el Diseño Industrial. TRL 4 es la etapa de validación de prototipo o sistema burdo en ambiente controlado de Laboratorio. El TRL maneja 9 etapas para tener un producto final.

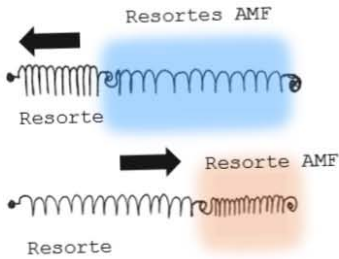




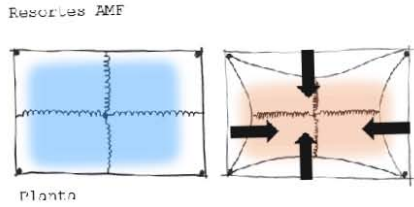
Ideas sobre el tipo de mecanismo para la apertura y clausura usando los resortes *AMF NiTi*.



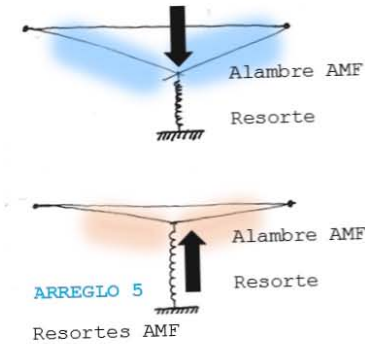
ARREGLO 1



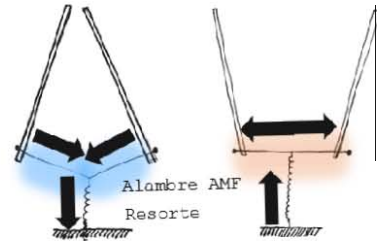
ARREGLO 3



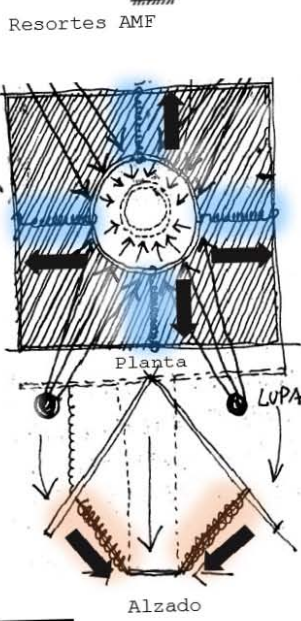
ARREGLO 2



ARREGLO 4



ARREGLO 5



ARREGLO 6

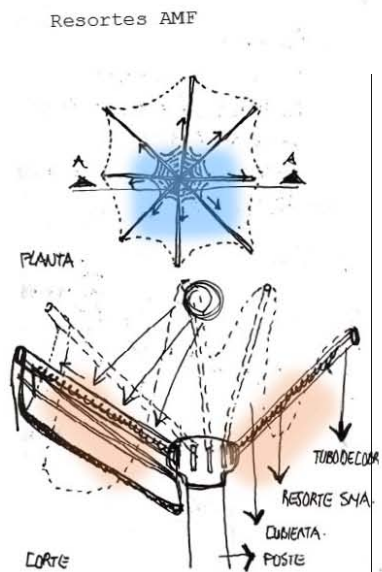


IMAGEN 39. CROQUIS IDEAS MECANISMOS. COPYRIGHT ©

Diseño del prototipo a escala 1:5

¿Por qué desarrollar una cubierta como siempre se hace, formada por un solo elemento que abarque toda la superficie teniendo un mecanismo de activación como sucede con las sombrillas o paraguas?

La propuesta que se planteó, contempla elaborar un módulo que pudiera repetirse “n” cantidad de veces de acuerdo a la superficie a cubrir y como alcance de esta investigación se desarrolló un prototipo a escala 1:5.

La idea de apertura y clausura va enfocado al diseño de la Biomimética, entendiendo el comportamiento de elementos vegetales como las flores que abren y cierran cuando detectan la luz solar, ese movimiento, es lo que se buscó lograr en este sistema de cubierta móvil. De igual forma, se analizaron los mecanismos de apertura y clausura en ejemplos de diafragmas. Resultó interesante lograr una combinación de ambos términos para el desarrollo del prototipo.

Los arreglos utilizados en las pruebas realizadas, marcaron la pauta para incorporarlos al diseño de la cubierta. Por lo que una vez definida la idea de diseño, se realizó un primer prototipo a escala 1:5 para determinar el funcionamiento, así como la forma de colocar las *AMF NiTi*.

El prototipo se Modeló en 3d y paralelamente se fueron haciendo distintas maquetas conceptuales.

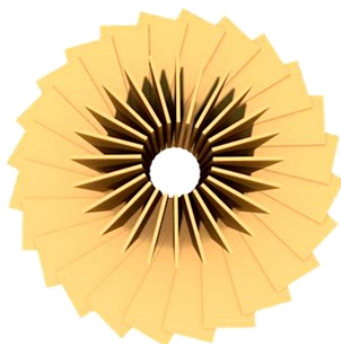


IMAGEN 40. MODELO 3D PROTOTIPO (APERTURA) COPYRIGHT ©



IMAGEN 41. MODELO 3D PROTOTIPO (CLAUSURA) COPYRIGHT ©



IMAGEN 42. MAQUETA CONCEPTUAL COPYRIGHT©

Proceso de Maquetas conceptuales.

Se muestran Imágenes del proceso de maquetas desarrolladas. Desde la [Etapa 1](#) a la [Etapa 6](#).

En la [Etapa 1](#) (Imagen 43 y 44), se incorporaron los conceptos de Biomimética y diafragmas para el sistema de cubierta móvil, utilizando materiales como papel

opalina, corcho y papel batería para generar la volumetría de la cubierta a escala 1:5. Con estas ideas se establecieron criterios de apertura y clausura.

En las imágenes que se muestran a continuación, se aprecia el seguimiento del proceso de maquetas para determinar tanto la función como la forma que debía tener el sistema de cubierta móvil.

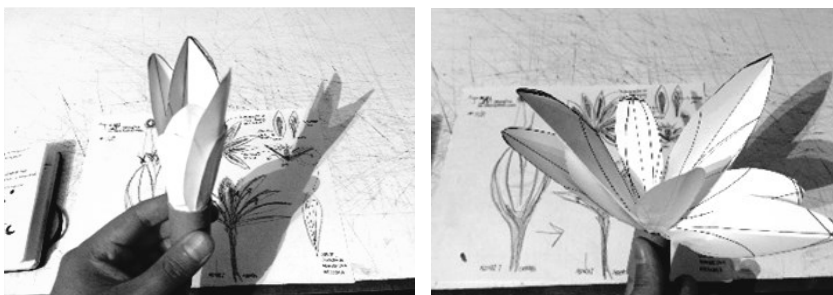
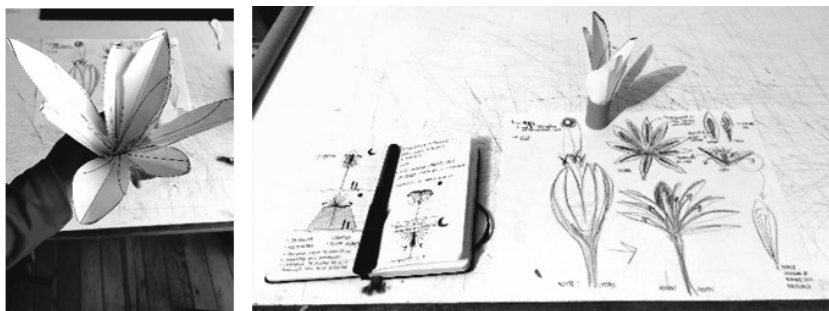
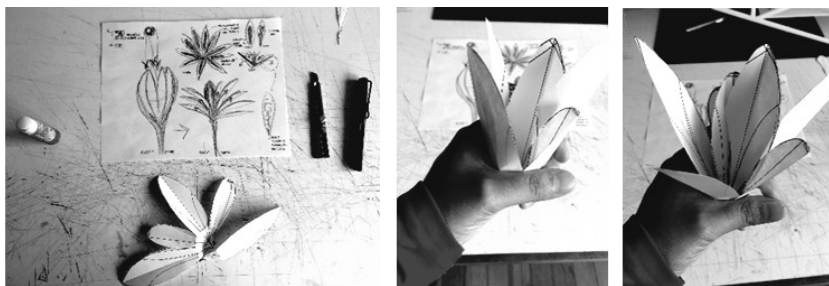


IMAGEN 43. CROQUIS E IMÁGENES DE MAQUETA CONCEPTUAL [ETAPA 1](#). COPYRIGHT ©

El diseño buscaba una forma de cubierta que tuviera vistas diferentes cuando se abriera y cerrara. Se planteó una geometría circular pero con elementos verticales separados que fueran rotando (tangentes al centro) y una vez desplegados logran generar la sombra deseada.

realizar las primeras pruebas de movimiento aplicándoles calor.

Posteriormente se incorporaron los resortes de **AMF NiTi** para

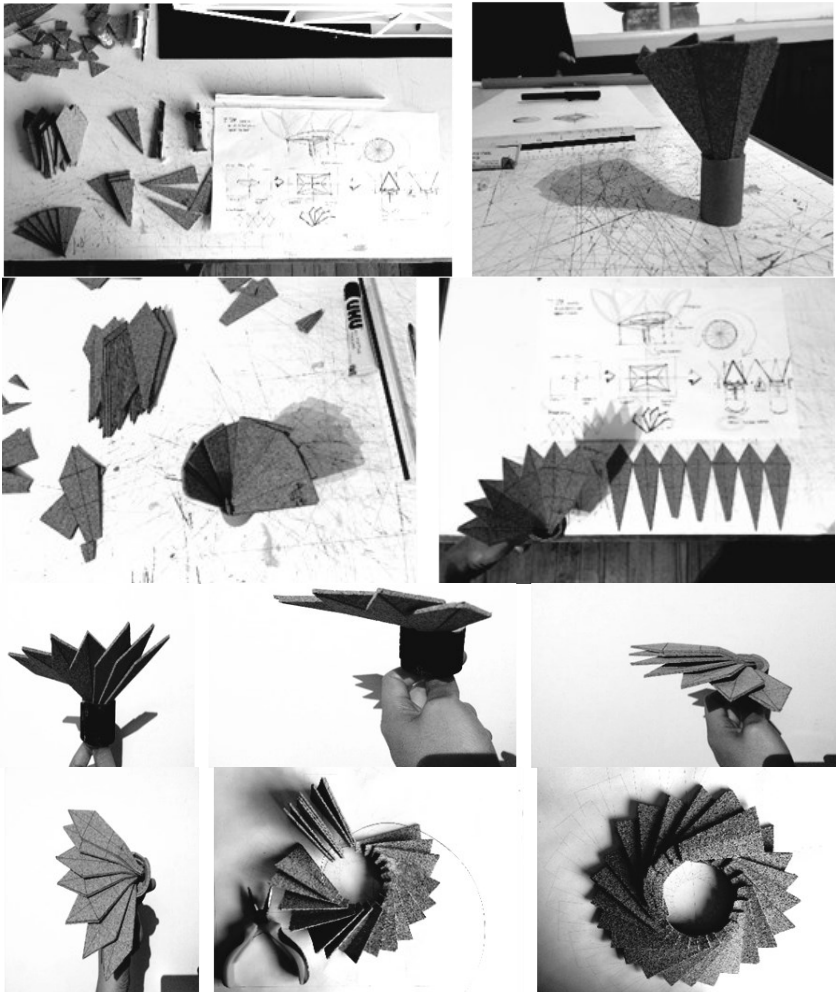


IMAGEN 44. CROQUIS E IMÁGENES DE MAQUETA CONCEPTUAL ETAPA 1. COPYRIGHT ©

Una vez definida la geometría, en la **Etapa 2** (Imagen 45), se desarrolló otra maqueta escala 1:5 en la que se puede apreciar tanto la forma como la idea de apertura y clausura de los elementos que conforman el sistema de cubierta móvil.

Está formado por 24 paneles verticales colocados a cada 15° con respecto a la base circular, girando de forma tangente. Se planteó que los elementos verticales tuvieran un doble para permitir el despliegue de la cubierta apoyándose uno tras otro, unidos mediante alambre

convencional colocado de forma diagonal.

En este arreglo, se ubicó el resorte de **AMF NiTi** en la parte inferior para generar el movimiento de la cubierta móvil.

Se realizó la primer prueba usando el calor de una vela (con fines ilustrativos) para lograr la temperatura de transformación del resorte de **AMF NiTi** generando el movimiento deseado, sin embargo, el acomodo del alambre de forma diagonal causaba demasiada fricción.

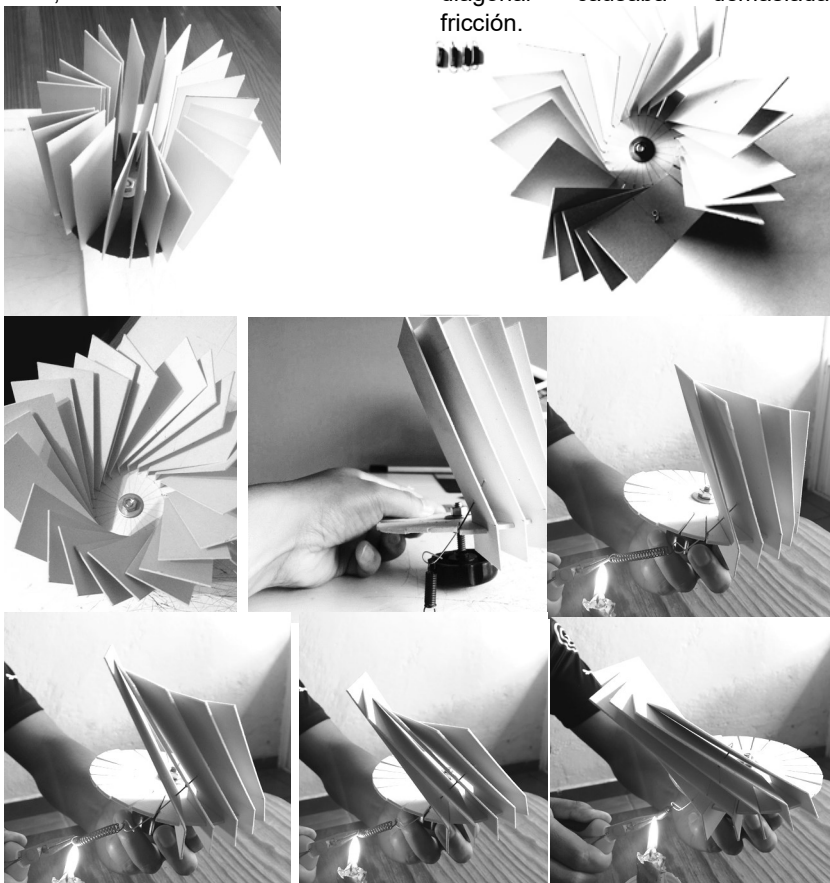


IMAGEN 45. MAQUETA **ETAPA 2**. FUENTE DE CALOR: FUEGO (VELA). COPYRIGHT ©

Paralelamente al desarrollo del sistema de cubierta móvil, se planteó generar en la **Etapa 3** (Imagen 46), un circuito o “pulsador de corriente” que permitiera controlar el paso de corriente eléctrica y con ello lograr la temperatura de transformación del resorte **AMF NiTi**. Esto, siguiendo con la hipótesis planteada de generar el movimiento de los **MMF** con calor mediante la corriente eléctrica obtenida por celdas fotovoltaicas. Para el desarrollo del pulsador se contó con el apoyo y asesorías de equipo de

trabajo del Laboratorio de Mecánica Aplicada, FES Aragón, UNAM. De acuerdo a su análisis, se planteó usar la celda fotovoltaica como sensor para activar el circuito del pulsador obteniendo la energía eléctrica de la corriente de un contacto eléctrico común (primer fase del desarrollo del circuito) y poder así desplegar el sistema de cubierta móvil.

Se hizo la prueba uniendo el pulsador y la maqueta del sistema de cubierta móvil logrando generar el movimiento.

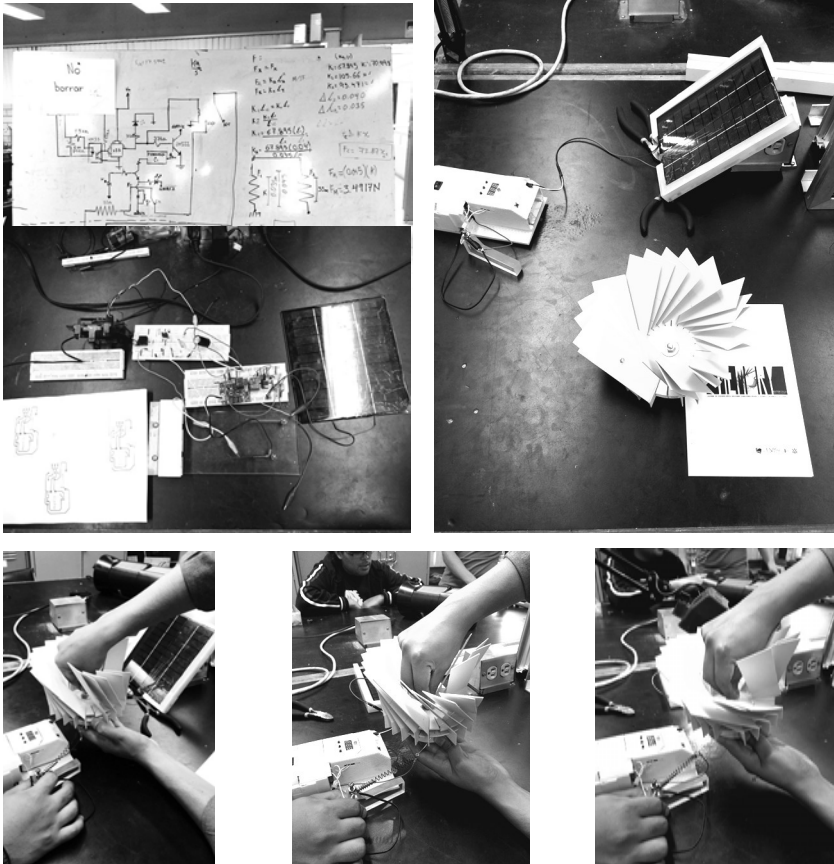
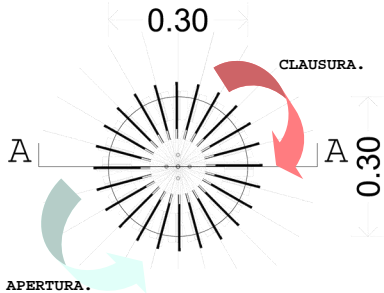


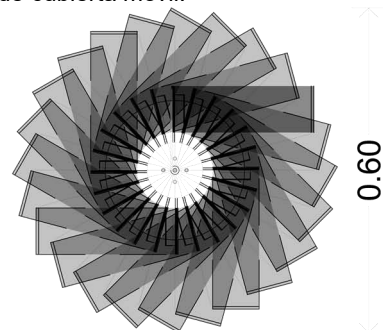
IMAGEN 46. MAQUETA ETAPA 3. FUENTE DE CALOR: CORRIENTE ELÉCTRICA. COPYRIGHT ©

Una vez probado el pulsador, se planteó la **Etapa 4** (Imagen 47, 48 Y 49) donde se desarrolló el prototipo de sistema de cubierta móvil a detalle, logrando definir el acomodo del mecanismo para la apertura y clausura de la cubierta, así como el acomodo de los 24 paneles verticales. También se resolvió la

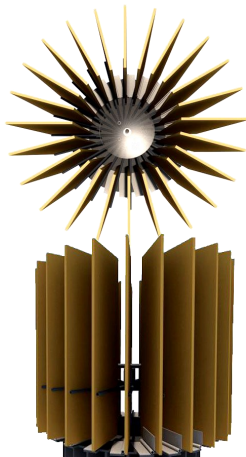
manera de fijar los paneles a la base y tener la facilidad de doblarse para generar el despliegue de la cubierta. Se realizaron los planos y modelo en 3d (Archicad 18 versión estudiantil) de cada una de las piezas para comprender cómo debían incorporarse en el sistema de cubierta móvil.



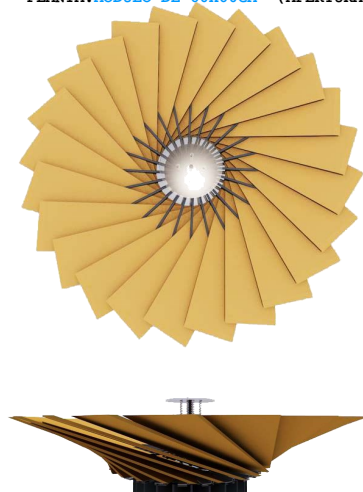
PLANTA. MÓDULO DE 30X30CM (CLAUSURA).



PLANTA. MÓDULO DE 60X60CM (APERTURA).



ALZADO Y CÓRTE (CLAUSURA).



ALZADO Y CÓRTE (APERTURA).

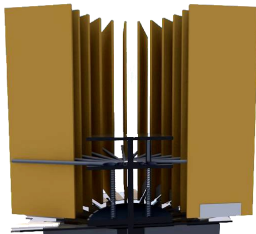


IMAGEN 47. LÁMINA ETAPA 4. PLANOS Y MODELO 3D. COPYRIGHT ©

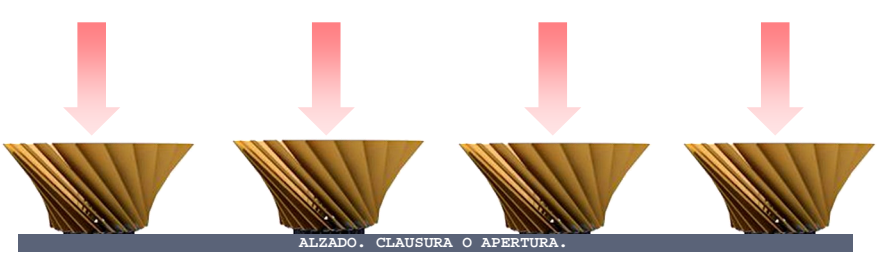
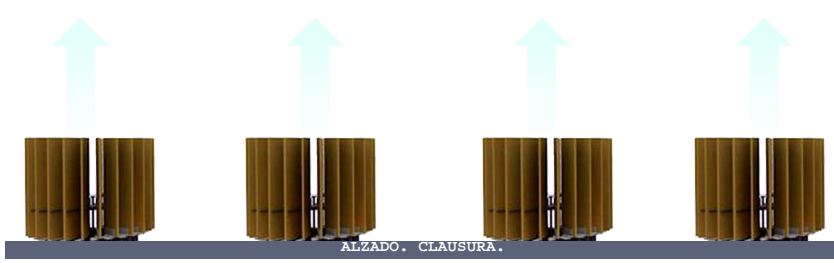
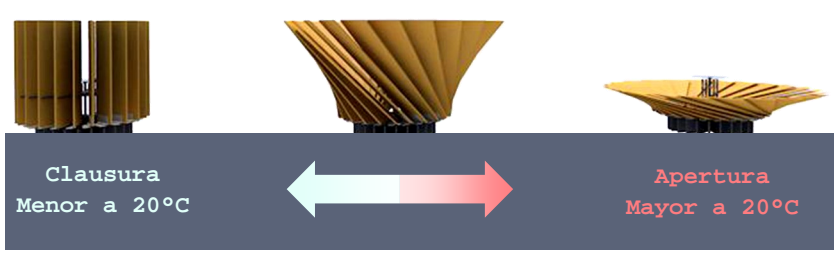


IMAGEN 48. LÁMINA ETAPA 4.
MODELO 3D. PROCESO DE APERTURA
Y CLAUSURA. COPYRIGHT ©

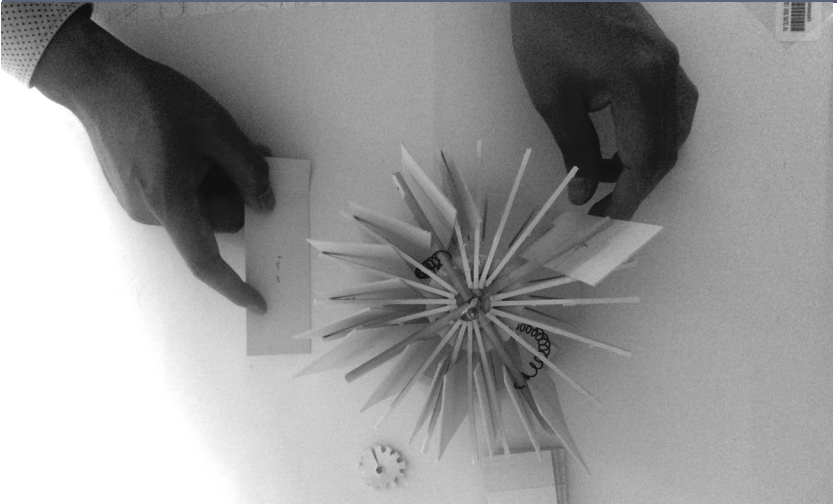
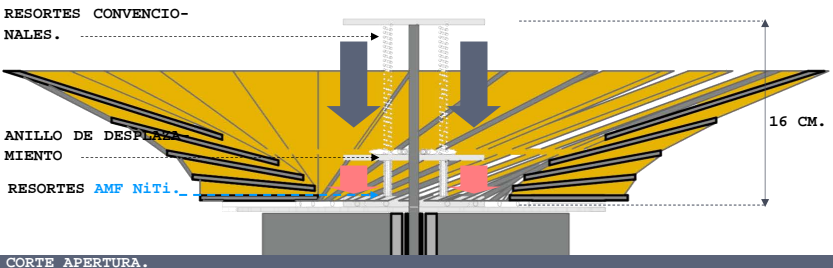
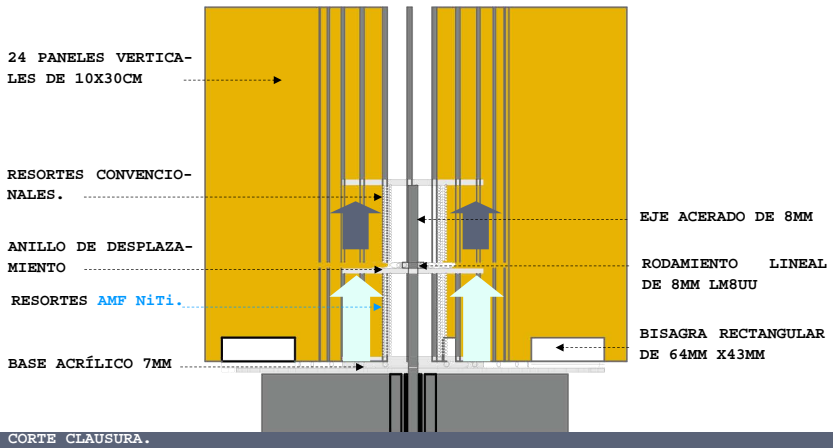


IMAGEN 49. LÁMINA ETAPA 4. CORTES Y ARMADO DE MAQUETA CON MECANISMO 1:5. COPYRIGHT ©

Se realizó el armado del eje y el anillo de desplazamiento a escala 1:5 para ver el funcionamiento de giro de la cubierta (Imagen 50 y 51).

Una vez armado, se colocaron los resortes de *AMF NiTi* por debajo del anillo de desplazamiento. Se hicieron pruebas obteniendo el

movimiento deseado con esta configuración.

Aunque se lograba el movimiento, resultaba inestable por los materiales usados en la maqueta, por lo que se tomó la decisión de realizar el prototipo a escala 1:1 utilizando materiales convencionales y comerciales para su fabricación.

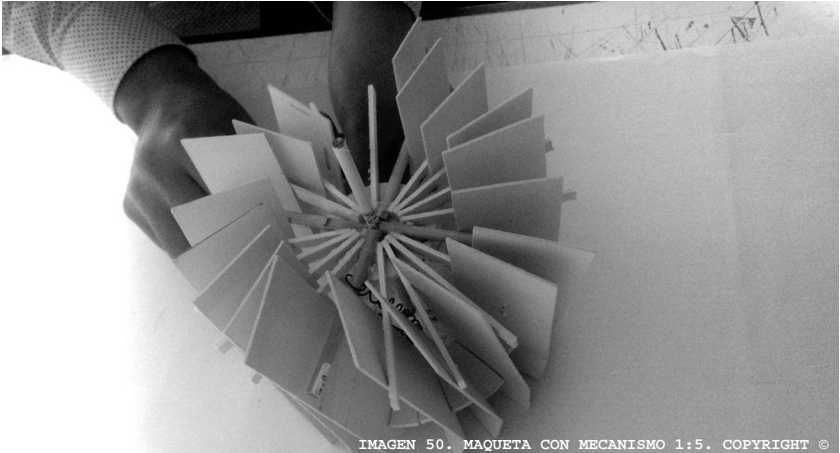


IMAGEN 50. MAQUETA CON MECANISMO 1:5. COPYRIGHT ©

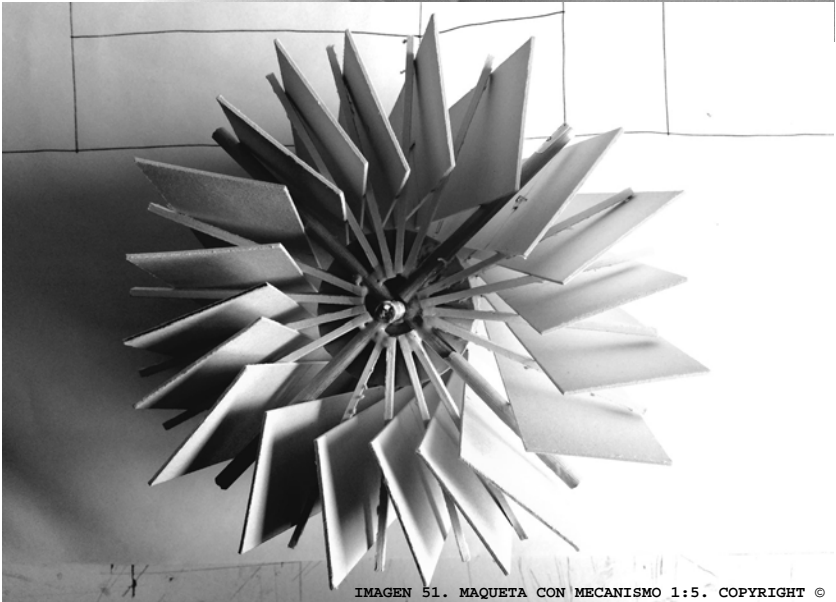


IMAGEN 51. MAQUETA CON MECANISMO 1:5. COPYRIGHT ©

En la **Etapa 5**, se desarrolló la maqueta del prototipo del sistema de cubierta móvil a escala 1:1 (Imagen 52, 53, 54 y 55).

Se empleó el siguiente material: **base**-papel batería grueso (3mm), **paneles verticales**-cartón corrugado de 3mm, bisagras rectangulares de 64mm x 43mm, **eje**-tubo de cobre de 1/2", **anillo de desplazamiento**-

perfil redondo (7mm de diámetro) de madera y papel batería grueso, tapón de 1/2" con rosca para fijar el eje, tornillos, tuercas y rondanas para sujetar el sistema de cubierta móvil.

Para esta configuración, se utilizaron 4 resortes **AMF NiTi** (2 arriba y 2 abajo del anillo de desplazamiento).

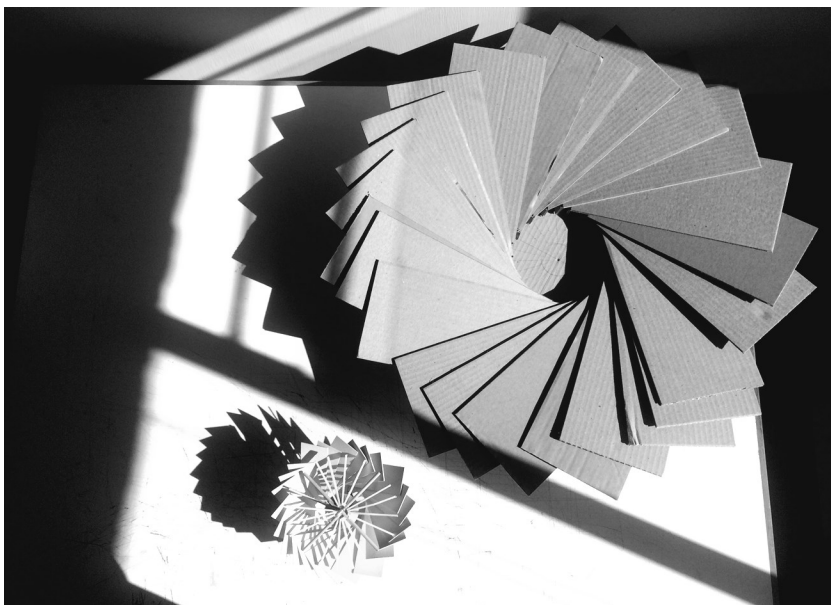


IMAGEN 52. MAQUETAS PROTOTIPO ESCALA 1:5 Y 1:1. COPYRIGHT ©

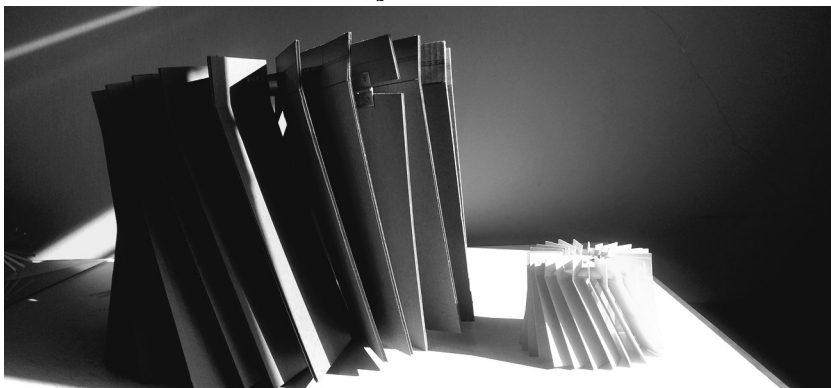


IMAGEN 53. MAQUETAS PROTOTIPO ESCALA 1:5 Y 1:1. COPYRIGHT ©

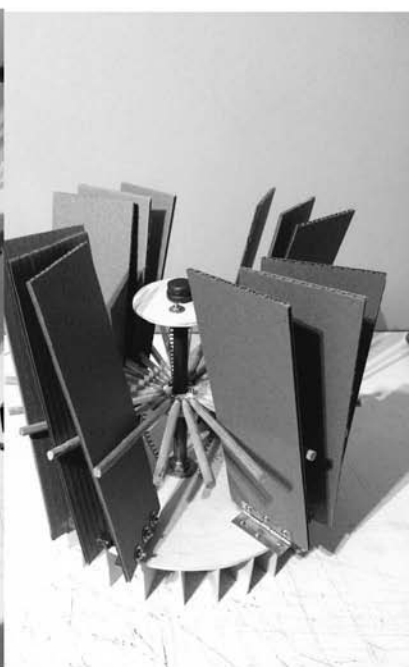
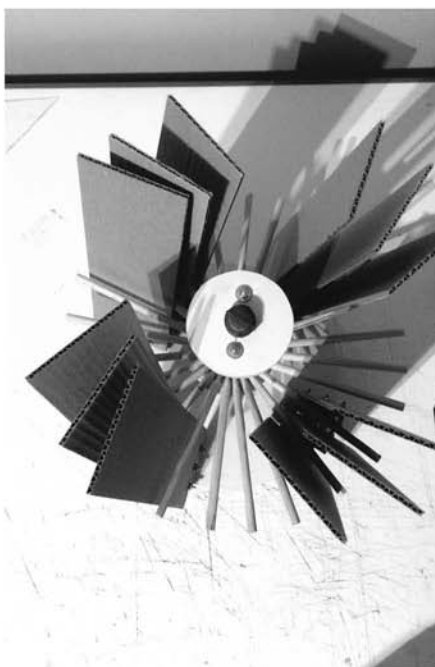


IMAGEN 54. MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT ©

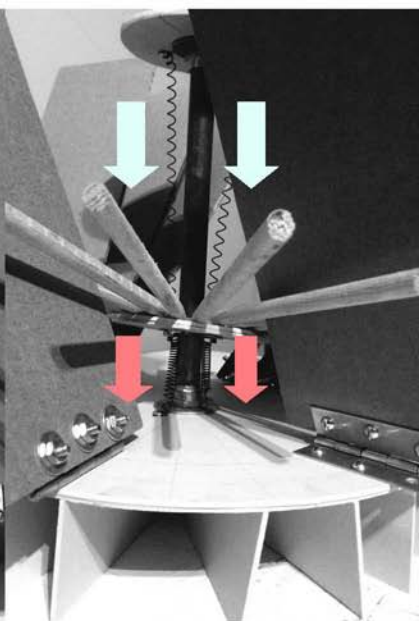
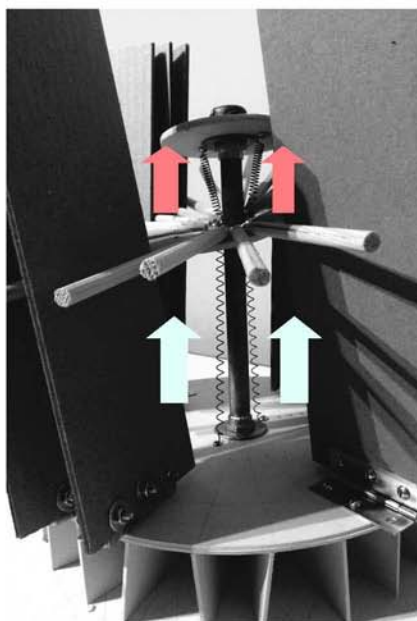


IMAGEN 55. MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT ©

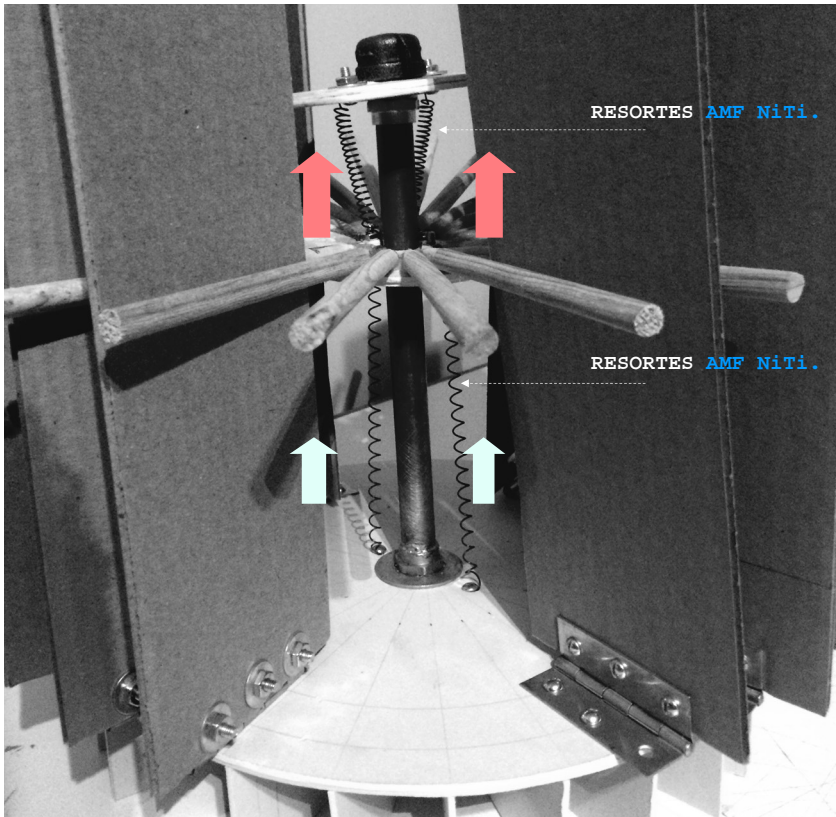


IMAGEN 56. MAQUETA PROTOTIPO ESCALA 1:1. COPYRIGHT ©

Se propuso usar 4 resortes *AMF NiTi* con el fin de tener un equilibrio de fuerzas al ser del mismo material y características, logrando mover el anillo de desplazamiento para generar el movimiento deseado (Imagen 56).

Se realizó la prueba calentando los resortes con encendedores (con fines ilustrativos) al mismo tiempo. Primero en la parte de abajo para simular la apertura y enseguida arriba para la clausura de la cubierta móvil, sin embargo, se observó inestabilidad, desnivel y fricción en el anillo de desplazamiento por los

materiales usados, mal soporte del eje central, fricción entre los perfiles redondos de madera y paneles verticales, así como falta de calor continuo y uniforme por el uso de encendedores. Además se necesitaría activar con el pulsador abajo y arriba para tener control del sistema de cubierta móvil, lo cual demandaría el uso de mayor energía eléctrica. Por lo que en la *Etapas 6* (Imagen 57, 58, 59, 60, 61, 62 y 63) se realizaron ajustes en el diseño del anillo de desplazamiento, eje central y base. Así como el uso de dos resortes convencionales y 2 resortes *AMF NiTi*.



IMAGEN 57. REDISEÑO DE MAQUETA 1:1. COPYRIGHT ©

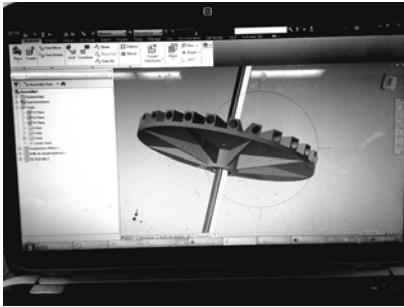


IMAGEN 58. MODELO EN 3D DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO PARA IMPRIMIR PIEZA. COPYRIGHT ©

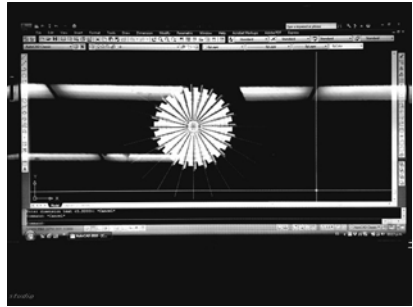


IMAGEN 59. TRAZO DE LA BASE PARA CORTE LASER (CNC). COPYRIGHT ©



IMAGEN 60. LIMPIEZA DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO IMPRESA EN 3D. COPYRIGHT ©

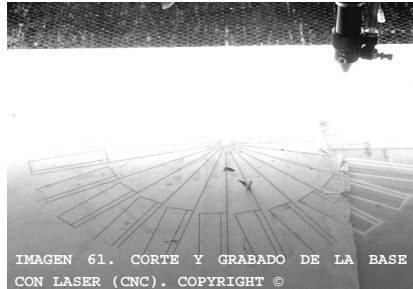


IMAGEN 61. CORTE Y GRABADO DE LA BASE CON LASER (CNC). COPYRIGHT ©



IMAGEN 62. ARMADO DEL ANILLO DE DESPLAZAMIENTO CON PERFILES REDONDOS (5MM) DE ACRILICO. COPYRIGHT ©



IMAGEN 63. ARMADO DEL SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL CON LAS PIEZAS MEJORADAS. COPYRIGHT ©

Con esta configuración se mejoró la estabilidad, nivel y se redujo la fricción del anillo de desplazamiento al utilizar un eje acerado de 8 mm junto con un rodamiento lineal de 8 mm LM8UU incorporado a la pieza impresa en 3d del anillo de desplazamiento.

La base de acrílico de 6mm le da mayor soporte al eje acerado, así como los anclajes de los resortes convencionales y *AMF NiTi* mediante tornillos, tuercas y rondanas.

Se fijó la parte central del sistema de cubierta móvil, así como los paneles verticales con bisagras.

Una vez armado el eje, anillo de desplazamiento y base, se planteó utilizar resortes convencionales en la parte superior con el propósito de estirar los resortes *AMF NiTi* ubicados en la parte inferior y lograr la clausura del sistema de cubierta móvil sin necesidad de emplear energía eléctrica para cerrarla.

Los resortes convencionales deben cumplir con dos funciones:

1. Capacidad de estirarse sin presentar deformación permanente o ruptura cuando son jalados por los resortes *AMF NiTi* una vez que se contraen al aplicarles calor mediante energía eléctrica.
2. Tener Capacidad de fuerza para estirar los resortes *AMF NiTi* una vez enfriados y con ello generar la clausura del sistema de cubierta móvil. En base a estas funciones se realizaron pruebas colocando 2 y 4

resortes convencionales en la parte de arriba del anillo de desplazamiento (Imagen 64 y 65).

Con 2 resortes convencionales, no era suficiente la fuerza para estirar los resortes *AMF NiTi*, por lo que no permitía el giro para regresar los paneles verticales a su posición de clausura. Por otro lado, los resortes *AMF NiTi* sí lograron jalar estos resortes con facilidad, es por tanto evidente que los resortes convencionales elegidos para esta configuración, no tienen la resistencia necesaria, aunque cuenten con la posibilidad de estirarse sin deformarse plásticamente o romperse.

Posteriormente se realizó una segunda prueba agregando 4 resortes convencionales. Con esta configuración, sí se estiran los resortes *AMF NiTi* una vez que se enfrían.

En ambas pruebas, los resortes *AMF NiTi* se calentaron mediante una conexión en serie con cables caimán y a su vez conectándolos al “pulsador”. Se obtuvo un movimiento mínimo por la falta de potencia del pulsador y la fricción que aún tiene el anillo de desplazamiento con los paneles verticales de cartón corrugado. Por lo que se decidió conectar los cables caimán a un transformador de 24V y 3A (Imagen 66) utilizando únicamente 12V, con esto se obtuvo mayor potencia y se generó el movimiento inmediatamente. Aunque sigue presentando fricción entre los paneles verticales de cartón corrugado y el anillo de

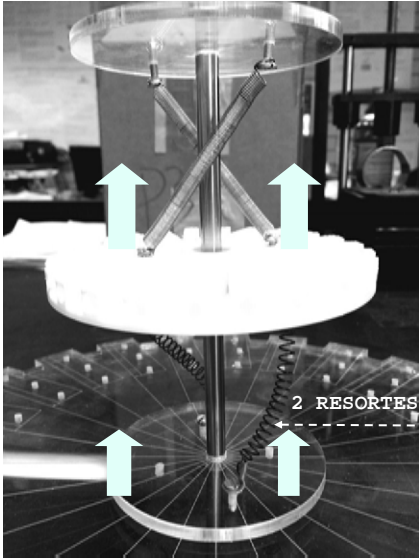


IMAGEN 64. COLOCACIÓN DE 2 RESORTES CONVENCIONALES (ARRIBA) Y RESORTES AMF NiTi (ABAJO). COPYRIGHT ©

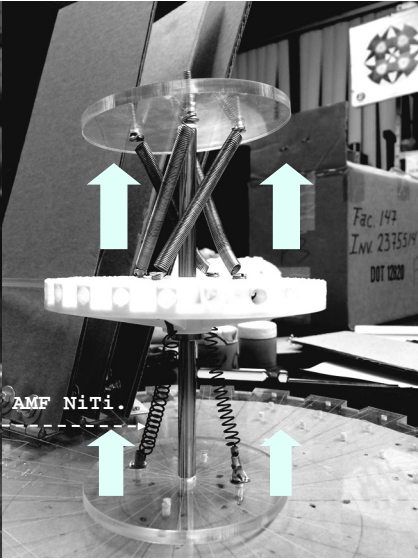


IMAGEN 65. COLOCACIÓN DE 4 RESORTES CONVENCIONALES (ARRIBA) Y RESORTES AMF NiTi (ABAJO). COPYRIGHT ©

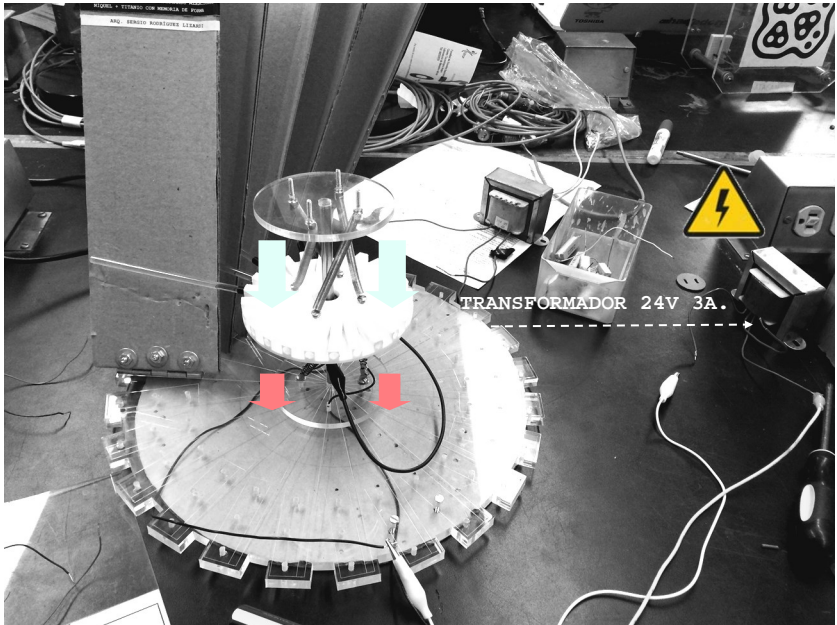


IMAGEN 66. ENSAMBLE DE MAQUETA Y CONECCIÓN DE CABLES CAIMAN PARA GENERAR EL CALOR A TRAVEZ DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA. COPYRIGHT©

CONCLUSIONES . PROSPECTIVAS



En base al trabajo realizado en la presente tesis se puede concluir lo siguiente:

Se diseñó y construyó un prototipo, a escala, que pretende ser un sistema de cubierta móvil en espacios exteriores públicos y privados con climas cálidos aplicando resortes de *AMF NiTi*.

El prototipo de sistema de cubierta móvil genera el movimiento de la cubierta (apertura y clausura) mediante el doble efecto de memoria de forma asistido presentado en los resortes utilizados de memoria de forma. Dichos resortes son accionados con energía eléctrica obtenida de dos formas diferentes: por celdas fotovoltaicas y pila (evitando el uso de sistemas electromecánicos) y por medio de un pulsador de corriente.

El movimiento de apertura y clausura en ambas propuestas se hace a través de un arreglo mecánico de resortes *AMF NiTi* y resortes convencionales.

Al utilizar la corriente eléctrica para activar los resortes *AMF NiTi*, su capacidad de reacción y generación de movimiento es inmediata, de igual forma es constante a diferencia del encapsulado propuesto en otros prototipos.

En cuanto a la corriente eléctrica, para que logre un mejor funcionamiento (de acuerdo a la configuración planteada del sistema

de cubierta móvil en el prototipo) se requiere tener por lo menos 12V 3A para que tenga una reacción inmediata y uniforme haciendo que la contracción del resorte sea de una sola vez, logrando una fuerza mayor en lugar de contraerse paulatinamente.

A pesar de que el arreglo con el pulsador de corriente no cumple con el uso de energías renovables, ya que la corriente del pulsador es generada por la corriente de un contacto eléctrico común, en este arreglo se tienen un mejor control sobre el calor que debe ser inducido para generar el movimiento que se desea obtener y lograr la apertura del sistema de cubierta móvil, por lo que el pulsador cumple con esa función.

Durante el desarrollo del prototipo, se observaron algunas desventajas que tiene el sistema de cubierta móvil como por ejemplo: la fricción que se genera entre los paneles verticales de cartón corrugado y los perfiles redondos de acrílico de 5mm, lo cual no permite un buen desplazamiento para lograr la apertura y clausura de manera eficiente. Por lo mismo, los resortes *AMF NiTi* no generan la fuerza suficiente para provocar el movimiento deseado, por lo que solo se logra mover los paneles verticales ligeramente.

Por otro lado, la disposición de los resortes *AMF NiTi* en forma diagonal para lograr el giro del anillo de desplazamiento también influye en la pérdida de fuerza, ya que se está generando otra componente de

fuerza y no se tiene control sobre ello.

El desarrollo del prototipo es una muestra de que si se combina Ciencia (características de los *MMF*) y Tecnología (aplicación de los *MMF*) es posible generar Arquitectura (espacio), llevando a cabo un proceso de Transdisciplina en la transferencia del conocimiento y con ello crear un espacio de confort y resguardo en exteriores.

Si el prototipo diseñado, en su primera configuración, es rediseñado podría contribuir de forma alternativa a la no dependencia energías fósiles en dispositivos de generación de sombra, ya que para generar los movimientos deseados se utilizan energías renovables.

Como parte de las prospectivas que se plantean a futuro, se enuncian las siguientes:

* **Realizar** cambios dentro de la configuración del sistema de cubierta móvil usando poleas o piezas (levas cilíndricas) que permitan realizar el giro deseado en el anillo de desplazamiento, quitándole carga de trabajo a los resortes *AMF NiTi*.

* **Colocar** los resortes *AMF NiTi* de forma horizontal o vertical para no generar pérdida de fuerza.

* **Mejorar** el diseño y material de los paneles verticales, así como la conexión con el anillo de desplazamiento, evitando la fricción.

* **Adecuar** el pulsador para que tenga mayor potencia logrando contraer los resortes *AMF NiTi*, de forma inmediata.

* **Diseñar** un botón de seguridad para tener control en el mecanismo de apertura y clausura del sistema de cubierta móvil.

* **Hacer** un cálculo a detalle sobre la cantidad de energía que habría de generarse ya con las adecuaciones del prototipo para determinar si es factible obtenerla mediante el uso de celdas fotovoltaicas, así como las características que deben tener.

GLOSARIO



Biomimética: Es una filosofía contemporánea que busca soluciones sostenibles en la naturaleza, sin replicar puramente sus formas, sino que a través de la comprensión de las normas que las rigen. Este enfoque multidisciplinario busca seguir una serie de principios en lugar de centrarse en códigos estilísticos

CAD: Diseño Asistido por Computadora.

CAM: Fabricación Asistida por Computadora.

CNC (Control Numérico por Computadora): Es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina. Esto quiere decir que mediante un software y un conjunto de órdenes, controlaremos las coordenadas de posición de un punto (la herramienta) respecto a un origen (0,0,0 de máquina), o sea, una especie de GPS pero aplicado a la mecanización, y muchísimo más preciso.

Conciencia: Es el conocimiento que un ser tiene de sí mismo y de su entorno, pero también se refiere a la moral o bien a la recepción normal de los estímulos del interior y el exterior.

Cromatografía: Es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia

Cubierta: Se llama cubierta de forma genérica a cualquier cosa que se pone encima de otra para taparla o resguardarla.

Elemento constructivo que protege los edificios en la parte superior y, por extensión, estructura sustentante de dicho elemento.

Diafragmas: El diafragma es una parte del objetivo que limita el rayo de luz que penetra en la cámara. Funciona como el iris del ojo humano, abriéndose o cerrándose para permitir que entre más o menos luz según sea necesario.

Energía: Es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, la energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas. La unidad de medida que utilizamos para cuantificar la energía es el *Joule* (J).

Energías alternas: Son aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas. Todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo).

Entorno: Ambiente, lo que rodea. Es lo que rodea a un individuo, sin formar parte de él, por ejemplo, el clima, otros individuos, el relieve, las normas culturales, religiosas o jurídicas, etcétera. Las múltiples interrelaciones que se presentan en el entorno, dando significación al entorno, y gravitando sobre el sujeto, componen el contexto.

Fotoocrómicos: El efecto fotocromático se define como una transformación reversible de una especie química entre dos estados A y B, los cuales tienen diferentes espectros de absorción. Esta transformación es inducida en una o ambas direcciones por la radiación electromagnética.

Fotoeléctricas: Que produce corriente eléctrica por medio de radiaciones luminosas.

Inherente: Que es esencial y permanente en un ser o en una cosa o no se puede separar de él por formar parte de su naturaleza y no depender de algo externo.

Medio ambiente: Es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana. Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

Móvil: adj. Que puede moverse o se mueve por sí mismo. Cuerpo en movimiento.

Nano escala: Se hace referencia normalmente a las estructuras con una escala de longitud aplicable a la nanotecnología, generalmente citado con una variación de 1 a 100 nanómetros.

Piezocrómicos: Son materiales que cambian su color dependiendo de la presión del ambiente.

Reología: es la parte de la física que estudia la relación

entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología es una parte de la mecánica de medios continuos. Una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales.

Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Termocrómico: Es la capacidad de una sustancia de cambiar de color debido a los cambios de temperatura. Los anillos del humor son un ejemplo de aplicación que funciona utilizando este efecto.

Tecnología: Es el conjunto de conocimientos técnicos, científicos ordenados, que permiten diseñar, crear bienes, servicios que al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de la humanidad aunque hay muchas tecnologías muy diferentes entre sí, es frecuente usar el término en singular para referirse a una de ellas o al conjunto de todas.

Transdisciplina: Es un esquema de investigación que incluye múltiples disciplinas que no se organizan jerárquicamente (como sí lo hacen en el caso de la interdisciplina) y que se enfoca en problemas compartidos y en la contribución activa de los participantes fuera del ámbito académico, como los tomadores de decisiones.

REFERENCIAS



[1] Edwards, B. (2004). Guía básica de la sostenibilidad, Gustavo Gili. Barcelona pp. 11, 14, 26, 29-32 y 75-76.

[2]<http://ex-sheffield.org/soloparaingenierosnet/2014/02/15/cosecha-de-energia/>

[3] <http://www.energyharvesting.net/>

[4] Arthouros Zervos, et al, Rethinking 2050, A 100% Renewable Energy Vision for the European Union, EREC, Bélgica, 2010, pp. 27 y 28.

[5] Jutglar, Ll. (2004). Energía solar. Energías alternativas y medio ambiente, CEA, Barcelona, pp. 7 y 8.

[6] Michelle Addington y Daniel L Schodek, Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions; Oxford, Routledge, 2005, pp. vii, viii, 2.

[7] Gibbons, M., et al. (1997). La nueva producción del conocimiento.

[8]<http://materialestecnologiayproduccion.blogspot.mx/2012/03/materiales-inteligentes.html>

[9] Cismasiu, C. (2010). Shape Memory Alloys, Rijeka, Croatia: Sciyo

[10] Otsuka K. and Wayman C.M. (1998). Introduction to shape memory materials. Shape memory Materials. Cambridge University Press. pp. 1-48, Cambridge, Inglaterra.

[11] Yamauchi, I., et al. (2011). Shape Memory and Superelastic

Alloys. Technologies and applications, Cambridge, UK: WP Woodhead Publishing.

[12] Miyazaki, S., et. al. (2009). Thin Film Shape Memory Alloys. Fundamentals and Device Applications, Cambridge, UK: Cambridge University Press

[13] Lagoudas, D.C. (2008). Shape Memory Alloys. Modeling and Engineering Applications, New York, NY: Springer.

[14] Yoneyama, T. (2009). Shape Memory Alloys for biomedical applications, Cambridge, England, England Woodhead Publishing Limited.

[15] Tobushi, H., et. al. (2010). Characteristics and development of shape-memory alloys heat engine, J. Solid, Mech. Mater. Eng., vol 4, pp. 1094-1102.

[16] Kaneko, K., et. al. (2011). Development of reciprocating heat engine using shape memory alloys, J. Environ, Eng., vol.6 pp. 131-139.

[17] Zhu, J.J., et. al. (2001). Energy conversión in shape memory alloy heat engine Part I: theory, J. Intell Mater. Syst. Struct., vol. 12, pp. 127-132.

[18] Zhu, J.J., et. al. (2001). Energy conversión in shape memory alloy heat engine Part II: simulation, J. Intell Mater. Syst. Struct., vol. 12, pp. 133-140.

[19] García, F. (2006). Influencia de la Microestructura en la Transformación Martensítica Inducida por Esfuerzo en Aleaciones CU-Al-Be con Memoria de Forma. Tesis Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, México D.F.

[20] García, F. (2016). Estudio de las interacciones intergranulares durante la Transformación Martensítica Inducida por Esfuerzo en materiales con memoria de forma policristalinos

[21] Lechuga, R. (2011). Diseño de una válvula economizadora de agua empleando materiales con memoria de forma. Tesis. FES Aragón, UNAM, México, D.F.

[22] Cortés, J. (2007). Modelación matemática de la transformación martensítica inducida por esfuerzo. Tesis Doctoral. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, México D.F.

[23] Chepi, I. (2015). Aplicación Arquitectónica de la Aleación Metálica de Ni-Ti con propiedad de Memoria de Forma para Sensor y actuador de movimiento [Accionador Solar Pasivo]. Tesis Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM, México D.F.

[24] Gómez, A., et. al.(2011) NITINOL un biometal con memoria de forma, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ingeniería, Laboratorio de tecnología de materiales, México.

[25] Santamaría G, et al. (2009) Electrotecnia. Ciclos Formativos Electricidad y electrónica. Editex. Madrid, España pp.31

[26] Otsuka K., et al. (1998). General Applications of SMA's and

Smart Materials, Shape Memory Materials. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.

[27] Espinoza, R.M. (2014). Factibilidad Técnica de la Aplicación de Polímeros con Memoria de Forma en Cubiertas Ligeras Arquitectónicas.. Tesis Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM, México D.F.

[28]<http://www.embedded.arch.ethz.ch/Projects/Shapeshift>

[29]<http://www.nendo.jp/en/works/hanabi-2/>

[30]<http://www.architetturaedesign.it/index.php/2007/06/23/lampada-viagra-romolo-stanco-nonesiste.htm>

[31]<http://www.iaacblog.com/programs/advanced-materials-shape-memory-alloy/>

[32]<http://www.iaacblog.com/projects/remembrance-ji-won-jun-josep-alcover-matteo-silverio/>

[33]http://www.iaacblog.com/projects/response_able-2/

[34]<https://iaac.net/research-projects/responsive-architecture/translated-geometries/>

[35] García. S. I. (2009). Diseño de persianas inteligentes a partir del comportamiento termomecánico de los materiales con memoria de forma. Tesis. FES Aragón, UNAM, México, D.F.

[36] Ríos, J. (2013). Evaluación de la eficiencia térmica de aleaciones con memoria de forma típicas para su uso en distintos dispositivos recuperadores de energía. Tesis Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM. México, D.F.

[37] <https://www.birmingham.ac.uk/schools/metallurgy-materials/videos/shape-memory-alloy-demo.aspx>

[38] http://store-musclewires-com.3dcartstores.com/NiTi-Tension-Springs-4-pack-_p_243.html

[39] <http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>

Niveles de madurez de la tecnología. Technology Readiness Levels. TRLS. Una Introducción

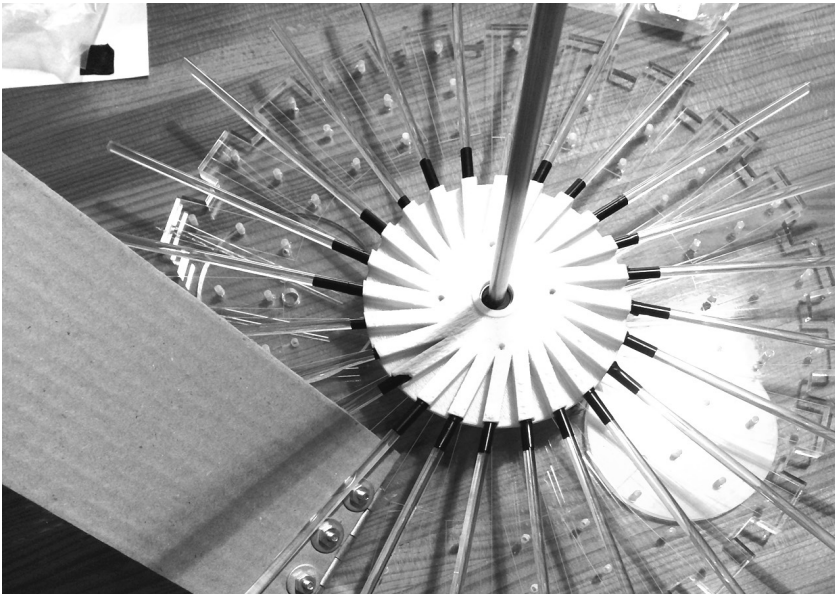
[40] <https://www.archdaily.mx/mx/02-107904/en-detalle-cubierta-retractil-kugel-rein-architekten-und->

[41] <https://www.archdaily.mx/mx/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel>

[42] <https://ecosocialhouse.wordpress.com/2015/03/11/fachadas-cineticas/ingenieure>

[43] <https://www.archdaily.mx/mx/770322/elementos-constructivos-cobran-vida-con-este-inovador-material-inspirado-en-las-pinas>

ANEXOS



ENSAMBLE PROTOTIPO. COPYRIGHT ©

Anexo 1. Se muestran ejemplos de prototipos utilizando *MMF*. Las imágenes y textos fueron tomados de los análogos citados.

Ejemplo 1. [32]

iaac Institute for Advanced Architecture of Catalonia BARCELONA

SENIOR FACULTY
ARJET MAMICPOLOV

FACULTY ASSISTANT
ALEXANDRE DURIC

COMPUTATIONAL SUPPORT
CARLOS BAUGÀ MARTÍNEZ

PHD CANDIDATE
JOSEP ALCOVER
MAITE SILVERIO

MASTER IN ADVANCED ARCHITECTURE
2011-2013

DIGITAL MATTER

re
mem
brane

lightweight
kinetic responsive
structure



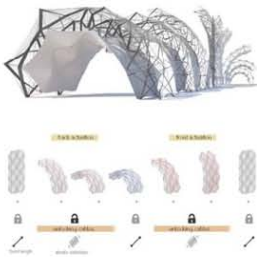
REMEMBRANCE:
A LIGHTWEIGHT KINETIC
STRUCTURAL SYSTEM
THAT CAN ADAPT TO
ENVIRONMENTAL CONDITIONS
AND USER'S NEEDS

The Remembrance project is a research that aims to design a new adaptable system that can be endlessly reshaped to meet the requirements of the users and perform in an efficient and sustainable way. It is based on the study of kinematic and pantograph structures as a starting point to develop multiple digital and physical models of different systems. It is not the goal of the project to design a specific architectural or urban element but to define a system that could be further developed in many different ways. An important part of the project is the investigation of smart materials that can replace motors to create a lightweight distributed system of actuators embedded into the structure. Nitinol (a shape memory alloy) has been studied and used in the prototypes as a very light linear actuator, requiring only heat to be activated.

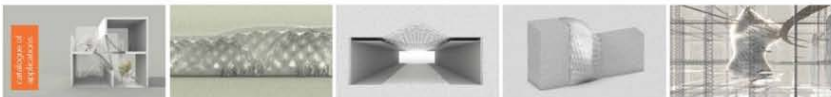
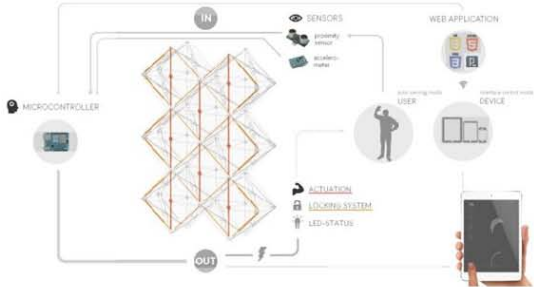
The study of different ways of interacting with kinetic structures and the possibility of creating a prototype with artificial intelligence is the last but essential aspect of the project. A web based user interface has been specifically designed and developed in order to easily interact with the prototype. The interface can be used to send orders to the structure manually or to switch to automatic mode in which the structure will make its own decisions according to the data measured by the sensors.

The Remembrance prototype allows us to envision a shift in the future of architectural approach in which spaces, buildings and entire cities will be able to move and adapt autonomously to perform in the most optimal way.

kinetic behaviour & motion control



digitally driven system & embedded computation



El proyecto [Remembrance](#) es una investigación que tiene como objetivo diseñar un nuevo sistema adaptable que puede ser modificado para satisfacer las necesidades de los usuarios y llevarlo a cabo de una manera eficiente y sostenible. Se basa en el estudio de las estructuras de tensegridad y pantógrafo como punto de partida para desarrollar múltiples modelos digitales y físicas de los diferentes sistemas. No es el objetivo del proyecto para diseñar un elemento arquitectónico o urbano específico, sino para definir un sistema que podría ser desarrollado para diferentes aplicaciones. [32]

Una parte importante del proyecto es la investigación de materiales inteligentes que pueden reemplazar motores para crear un sistema distribuido de peso ligero de actuadores integrados en la estructura. [Nitinol](#) (una aleación con memoria de forma) se ha estudiado y utilizado en los prototipos como un actuador lineal muy ligero, que sólo requiere de calor para ser activado. [32]

As all the semiconductor materials, Nitinol has an electrical resistance that varies according to its geometrical characteristics and it must be precisely calculated in order to calibrate the exact amount of current that should pass through the wire.

For example, a 1,0 meter long Nitinol cable has a resistance value of 4,3 (0,5 mm thick) and in order to achieve a complete contraction in 1 second the cable needs 4,0 Ampere (source: Dynnalloy). Thanks to the Ohm law we can easily calculate the voltage value that the Nitinol needs:

$$V = R \cdot I = 4,3 \cdot 4,0 = 17,2 \text{ V}$$

This Voltage should be set as max value on the PWM circuit. However, this value allows a complete contraction in just 1 second and that is too fast and probably useless for this research. Therefore, after many tests, a lower current value has been chosen allowing the structure to move slowly.



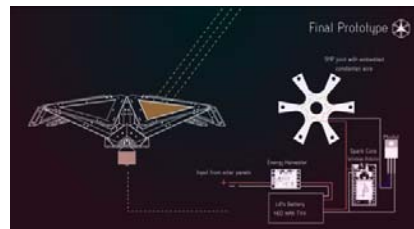
Ejemplo 2. [34]

“Unidad de abierta a cerrada”

Decidimos que, para adaptarse mejor a nuestra falta de capacidad de adaptación estructural que necesitamos para encontrar una geometría que podría llegar el sitio en un estado original y luego tener la capacidad de deformar o expandir en una forma deseada de fuerzas de accionamiento. Además, se determinó que el concepto tendría más sentido como un componente de las piezas que pueden ensamblarse para crear un conjunto dado deseado. Por lo tanto, una estructura un tanto plegable se consideró que era capaz de darnos esta expansión, por lo que revisamos los patrones de origami plegables rígidos, del pionero de origami, matemático y artista Ron Resch. Al igual que Resch empezamos con papel, experimentando con diferentes patrones, como el Waterbomb, y la bola mágica, pero finalmente nos decidimos con el diseño de teselación triangular, lo que nos dio tanto una gran flexibilidad y capacidad de plegado originales. Por lo tanto, nuestro objetivo es interpretar la obra de Resch y desarrollar su concepto en la de un edificio que cambia de forma funcional, una estructura autoportante que, dada su naturaleza homogénea tiene la capacidad de expandirse, deformar y formar de nuevo con el tiempo. Después de numerosas pruebas de papel, se decidió que se trata de los nodos hexagonales del patrón que

tienen más control sobre la deformación global de la geometría, dependiendo de su expansión o contracción. [34]

Una vez más, actuando como una junta estructural, el SMP se corta en una forma hexagonal y se coloca en estas intersecciones de las montañas y valles del patrón. Aparte de estos nodos SMP, el resto de los pliegues se sustituyen por bisagras regulares, que actúan en conjunto con la posición de los paneles alrededor de ellos. [34]



Ejemplo 3. [21]

FES Aragón, UNAM.

Diseño de una válvula economizadora de agua empleando materiales con memoria de forma.

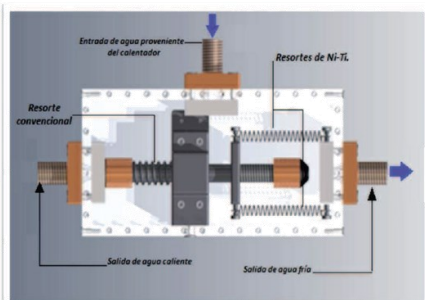


Figura 4.17. Posición final del mecanismo cuando la temperatura del agua proveniente del calentador es menor a la temperatura crítica de los resortes de Ni-Ti.

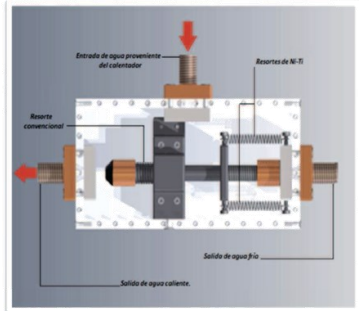


Figura 4.18. Posición final del mecanismo cuando la temperatura del agua proveniente del calentador es mayor a la temperatura crítica de los resortes de Ni-Ti.

Ejemplo 4. [36]

FES Aragón, UNAM

Evaluación de eficiencia térmica de aleaciones con memoria de forma típica para uso en distintos dispositivos recuperadores de energía.

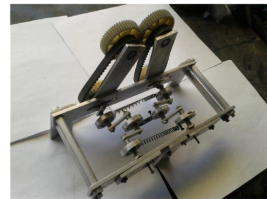


Figura 3.9 Posición de los resortes en el motor con cigüeñales sincro



Figura 3.26 Sistema de impulsión usando MMF.

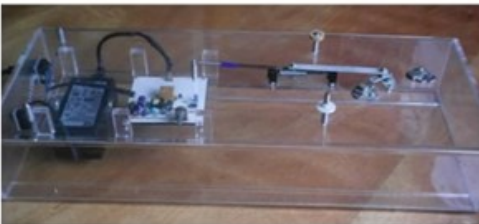


Figura 3.12 Motor de manivela con alambres de NiTi.

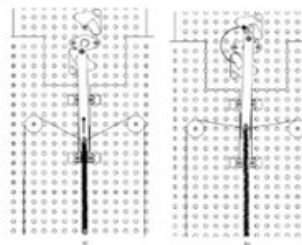
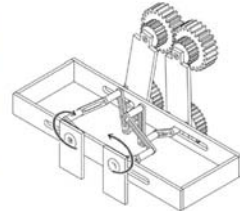


Figura 3.16 Carga sobre el alambre con memoria de forma

Anexo 2.

A continuación se muestran imágenes de la propuesta realizada por Chepi Rivera. [23]

También se realizó un análisis de datos obtenidos del encapsulado de resortes Níquel + Titanio con memoria de forma y se diseñaron Tablas de apoyo en base a los resultados obtenidos de esta investigación. Nota: las imágenes fueron tomadas de la Investigación, así como la tabla 4 que mas adelante se muestra.



Figura 65.-Presentación del accionador solar en el 5to. Congreso de Posgrado UNAM 2015. Unidad de Posgrado UNAM.



Figura 71.-a) Fotografía del modelo físico desarrollado, utilizando piezas de refugio. b) Este esquema, es un modelo virtual creado en el Programa de modelado Inventor, como propuesta del prototipo final. De este modelo se generan los planos a detalle, con el cual serán fabricadas cada una de las piezas.



Figura 74.-Propuesta de aplicación e integración de las persianas en un espacio habitable a) Las ventilas se muestran cerradas. b) Las ventilas se mantienen abiertas. Fuente: Imágenes obtenidas de estancias inteligentes, cortesia del Centro Tecnológico de la FES Aragón.



Figura 71.-Nueva propuesta de la ventana tipo persiana, en el cual se ha utilizado el accionador solar, como mecanismo acciona de cierre y apertura. a) Las ventilas, se muestran cerradas cuando la temperatura del accionador es superior a la del ambiente. b) Las ventilas se muestran abiertas, estado que mantiene cuando la temperatura del resorte es inferior por arriba de los 40°C, al ser calentado por el sol.

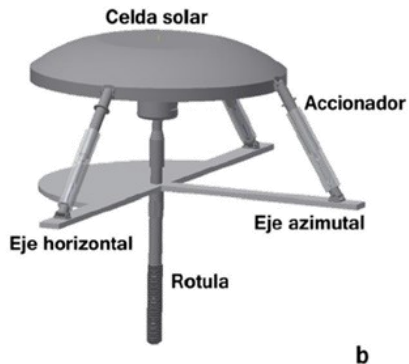


Tabla 3. Resumen de la experimentación realizada por Chepi Rivera.

Movimiento del resorte *AMF NiTi*.

Movimiento del material. Efecto de memoria de forma										
Material	Ensayo	Distancia inicial		Temperatura		Lugar	Tiempo de prueba	Distancia final		Resultado
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma (aleación 58.36% Ni y 41.64% Ti) en balance). El diámetro del alambre con el que ha sido fabricado es de 1.20mm, su longitud libre es de 26.8mm, el diámetro de sus anillos es de 5.50mm, tiene un total de 21.4 vueltas en sus espiras.	1	Se estiró de 2.6cm a 10cm		Ambiente		Patio FES Aragón, CDMX	Considerable (5hrs aprox.)	Se mantuvo en 10cm		No se obtuvo el calor necesario para provocar el efecto de memoria de forma, causado por las corrientes de aire frío, es decir, hubo pérdida de calor por convección.
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma. Copas de vidrio transparente fina, con cáliz de 3.7cm de diámetro, y altura de 4.5cm. Cinta adhesiva para sellar la unión y evitar la entrada de aire. Tira de aluminio dentro de la "lámpara".	2	Se estiró de 2.6cm a 10cm		Ambiente			Diferentes días y horas del mes de Marzo 2015	Se contrajo 0.71cm por minuto		Después de varias pruebas se consiguió provocar el efecto esperado. Se determinó que mientras mayor ganancia de calor, mayor será la contracción del resorte.
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma. Tiro de vidrio transparente de 10cm de longitud y con diámetro de 1.5cm, para mejorar el efecto de reflexión, se pintó una mitad del tubo con esmalte acrílico color cromo en lugar de papel aluminio.	3	Se estiró de 2.6cm a 10cm		Ambiente			Serie de repeticiones del experimento	Se contrajo un promedio de 2.17 cm por minuto		Fue posible establecer, que los cambios realizados al primer modelo mejoraron el tiempo de restauración de la forma en el resorte con memoria de forma.

Registro de temperatura necesaria para contracción del resorte *AMF NiTi* utilizando una lupa.

Registro de temperatura necesaria para contracción del resorte										
Material	Ensayo	Distancia inicial		Temperatura		Lugar	Tiempo de prueba	Temperatura inicio de movimiento (As)		Resultado
Resorte Helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma. Registrador Data Easy Logger (registro de temperaturas). Termo par tipo T. Lupa 10cm de diámetro.	1	Se estiró de 2.6cm a 10cm		Ambiente			Varias	28°C		El resorte comienza a contraerse a los 28°C, se observa que conforme aumenta la temperatura el resorte se contrae

Se muestran los resultados de mediciones de temperatura utilizando una lupa. [23]

Registros	Temperaturas			Tiempo en alcanzar la As	
	No. De ensayos	Inicial (Mf)	Final (Ms)	Máx.	Inicio de la As
1	19	23.5	47.5	27	60 seg
2	23	23.5	38	27.5	60 seg
3	19	23	41.5	27	89 seg
4	17	25	57	28	46seg
5	25	22.5	37.5	28.5	7 seg

Tabla 4.- Resultados de las mediciones efectuadas utilizando una lupa como fuente de calor.

Tabla 3. Resumen de la experimentación realizada por Chepi Rivera.

Registro de temperatura entre el resorte AMF NiTi y tubo de vidrio (encapsulado)

Registro de temperatura entre el resorte y el tubo de vidrio son dependientes de la temperatura del medio ambiente								
Material / Termómetro infrarojo marca Fluke	Ensayo	Temperatura ambiente/ separados			Temperatura ambiente/ juntos			Resultado
Resorte Helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma.	1	22 y 22,5°C			El tubo estando a temperatura ambiente 22,5°C + el resorte calentado previamente. El resorte aumentó su temperatura en 4 segundos y llegó a los 43°C. La máxima temperatura a que se alcanzó en el tubo fue de 69,4°C.			Comprobar que el tubo resorte con memoria de forma y el tubo de vidrio utilizado como aislante y concentrador de calor, son dependientes de la temperatura del medio ambiente.
Tubo de vidrio	2	22 a 22,8°C						

Experimento con adecuaciones.

Experimento con adecuaciones										
Material	Fecha	Distancia inicial	Hora de inicio	Hora de término/etapa de enfriamiento	Temperatura inicial	Temperatura final	Lugar	Temperatura inicio de movimiento (As)	Maxima Temperatura/ se estabilizó	Resultado
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma, tubo de vidrio con elemento adicional para mantener fijo el resorte, data Easy Logger y termopares. Se inclinó 30°.	27 de octubre de 2014	Se estiró de 2,6cm a 10cm	11:03am	12:27	Ambiente 22°C	Ambiente 23°C	Patio basero del CENM	37°C (12 minutos después de activar el sensor).	45,5°C a las 11:42am	El tiempo que se requirió para que el resorte pasase de la fase Martensita a Austenita fue de 46min con 46 segundos.
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma, tubo de vidrio con elemento adicional para mantener fijo el resorte, data Easy Logger y termopares. Se inclinó 30°.	28 de octubre de 2014	Se estiró de 2,6cm a 10cm	11:06am	14:00	Ambiente 26°C	Ambiente 23°C	Sucata del edificio B del CENM	44°C a la 1:11pm	44°C a la 1:33pm ya no aumentó más la temperatura y se optó por enfriar el material.	solo se contrajo en una tercera parte, esta mínima contracción, se debió a la presencia del aire del ambiente, que se introdujo al interior del tubo, evitando que el resorte calentara lo suficiente y pudiera restaurar su forma por completo.
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma, tubo de vidrio con elemento adicional para mantener fijo el resorte, data Easy Logger y termopares. Se inclinó 30°. Se selló la parte superior del tubo.	29 de octubre de 2014	Se estiró de 2,6cm a 10cm	10:53am	6:03pm	Ambiente 26°C	Ambiente 21,5°C		42°C a la 1:21pm, pasado las 3:00pm esta temperatura habia descendido 32°C. Se reorientó al sol y aumento de nuevo la temperatura. Se registró una máxima de 38°C a las 3:59pm.	42°C a la 1:21pm, pasado las 3:00pm esta temperatura habia descendido 32°C. Se reorientó al sol y aumento de nuevo la temperatura. Se registró una máxima de 38°C a las 3:59pm.	Tuvo una perdida de orientación el dispositivo con respecto al sol, al inicio fue orientado al Este y se tuvo que orientar al oeste. Se hizo una mínima, ahora se debió a las condiciones climáticas, fue un día cubierto.
Resorte helicoidal de expansión con efecto de memoria de forma, tubo de vidrio con elemento adicional para mantener fijo el resorte, data Easy Logger y termopares. Se inclinó 30°. Se selló la parte superior del tubo. Capa de pintura utilizada como reflejante.	30 de Octubre de 2014	Se estiró de 2,6cm a 10cm	11:20am	6:03pm	Ambiente 28,5°C	Ambiente 20,5°C		48,5°C a las 3:17pm	48,5°C a las 3:17pm	El resorte mostró un comportamiento estable (térmicamente hablando). Se comprobó que el material regresa a su forma inicial casi en un 100%. Fue posible comprobar que el vidrio posee cualidades de aislante térmico y el calor que transmite al resorte es suficiente para retraer el material. Aunque cabe destacar, que mientras menos fuerte es la intensidad de aire en el ambiente, la fluctuación de temperatura al interior del tubo es también menor, permitiendo mantener el calor ganado por un tiempo prolongado, y con ello se consigue la contracción del resorte.

Anexo 3.

Se muestran ejemplos de proyectos arquitectónicos donde se implementaron soluciones de cubiertas, fachadas o muros móviles, utilizando nuevos materiales y sistemas construidos.

Cubierta Retráctil. [40]

La fortaleza de Kufstein se construyó para la defensa de la ciudad durante la Edad Media; hoy en día atrae a una gran cantidad de turistas. En los años 90 y debido a la vegetación excesiva, varias partes de la estructura del edificio histórico estaban en muy mal

estado. Por este motivo se fundó el Top City Kufstein, que buscaba reactivar el edificio a través de su restauración gradual y el establecimiento de restaurantes y eventos al aire libre. [40]

El clima imprevisible hizo que muchos de los eventos al aire libre fueran cancelados de forma frecuente, resultando en una gran pérdida económica. De esta forma surgió la idea de diseñar una cubierta móvil, que permitiera cubrir la mayor área posible del patio circular. [40]

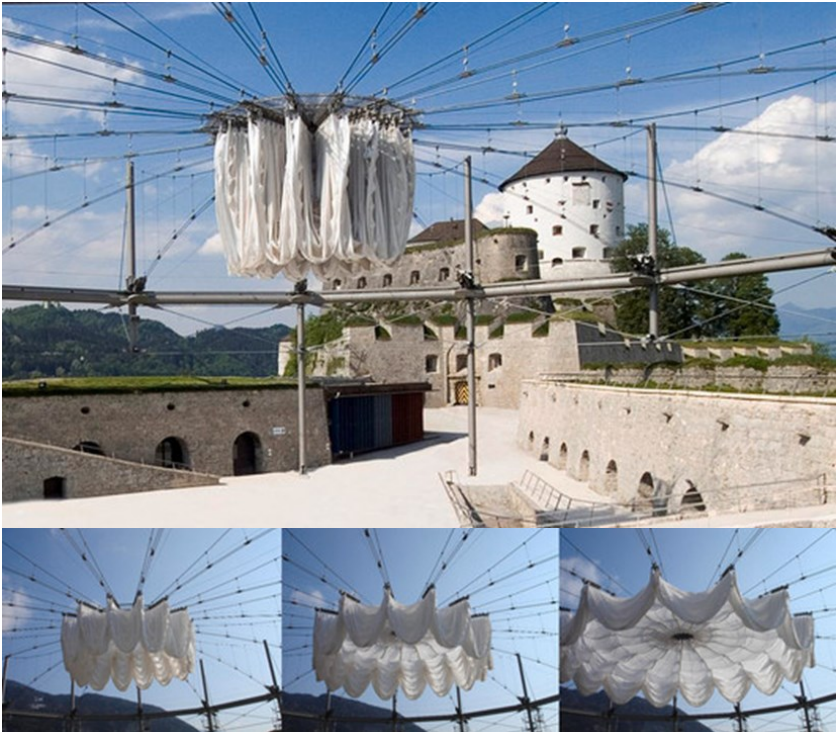


VISTA DE CUBIERTA MÓVIL. APERTURA.

Por otro lado se prohibió el uso de cualquier tipo de anclaje hacia el edificio existente ni tampoco interferirlo visualmente. Para cumplir con todo esto, los diseñadores crearon una estructura a modo de paraguas que puede llegar a cubrir un área de 2.000 m² en cuatro minutos. [40]

La estructura de la membrana consiste en un anillo poligonal, de 52 m de diámetro, compuesto por 15 segmentos iguales. Ésta se apoya en los puntos nodales del anillo, a través de 15 columnas

dispuestas en el borde del círculo. Dentro del anillo de presión aparecen cables conectados en forma radial, que terminan por conformar el sistema de “rueda de bicicleta”. Cinco de las 15 columnas quedan flotando, suspendidas por 30 cables cruzados en diagonal. [40]



VISTA DE CUBIERTA MÓVIL. CLAUSURA.

Cuando el techo está abierto, la membrana se mantiene compacta y doblada en el centro de la estructura, protegida a través de placas de policarbonato transparente. La membrana textil se compone de una tela de PTFE (Politetrafluoroetileno) con alta resistencia al estrés.

© pro.media kommunikation

Este tejido se caracteriza por su alta calidad en comparación con materiales convencionales: dura más de 15 años, es flexible, resistente al pandeo y tiene un alto grado de transparencia (de alrededor del 40%). Además es resistente a los rayos ultravioleta y muy fácil de limpiar, ya que no permite la adherencia de partículas de suciedad fácilmente. [40]

Corte 1

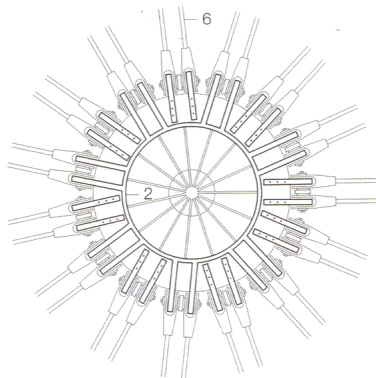
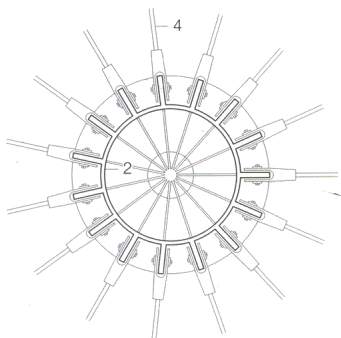
La membrana se abre a través de carros de deslizamiento, suspendidos por cables en su parte

inferior. Ésta se mueve por 15 motores que trabajan sincronizados y que son controlados automáticamente por una unidad central. [40]

La cubierta fue diseñada inicialmente como protección frente al clima, pero a medida que el proyecto se fue desarrollando, se incorporó el tema de la acústica y la iluminación, los que hicieron más atractivo su uso nocturno. [40]



DETALLE. ANILLO DE COMPRESIÓN DE CUBIERTA MÓVIL.



DETALLE. ANILLO DE COMPRESIÓN DE CUBIERTA MÓVIL EN PLANTA (VISTA INFERIOR Y SUPERIOR).

Fachada móvil. [41]

El instituto Árabe del Arquitecto Jean Nouvel terminado en 1987 es uno de los primeros que emplean sensores basados en respuesta automática a las condiciones ambientales. 25.000 células fotoeléctricas similares a una lente de la cámara se controlan a través del ordenador central para

moderar los niveles de luz en la fachada sur. [41]

El sistema de cortinas plegables inferiores se produce por Kiefer, un fabricante de equipos de acero inoxidable médico de su sala de exposición en Bad Gleichenberg, Austria. El diseño fue concebido por Giselbrecht + Partners. [41]

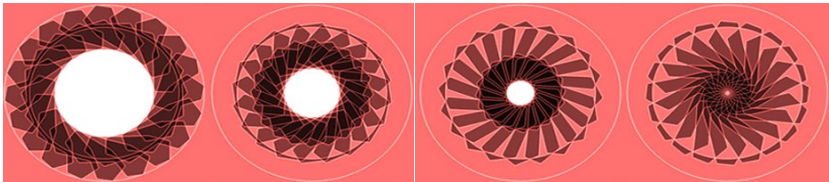
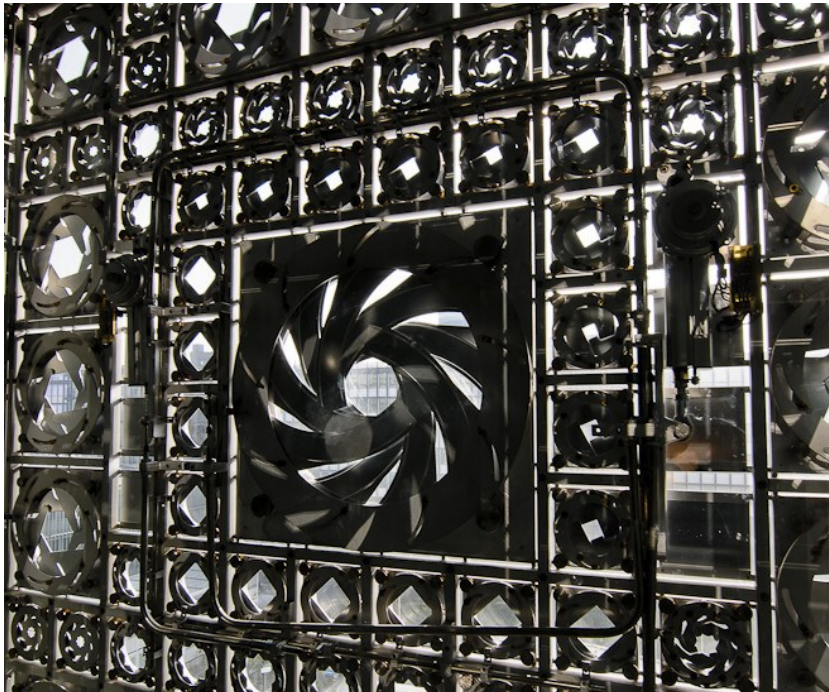


DIAGRAMA DE APERTURA DE SENSORES DE RESPUESTA AUTOMÁTICA, PARA EL INSTITUTO ÁRABE DE JEAN NOUVEL.



FACHADA DEL EDIFICIO: INSTITUTO DEL MUNDO ÁRABE, PARÍS, FRANCIA ÁRABE DE JEAN NOUVEL.

Fachada cinética. [42]

Al hablar propiamente de la dinámica de una fachada nos referimos eventualmente a lo que es un comportamiento, y esto en términos arquitectónicos esta vinculado a la reacción para con el ambiente puesto que esta es la razón principal de la cinética de la piel, y para esto es necesario proporcionar al edificio con ojos o bien con sensores que indiquen la posición del sol, la temperatura a la que está sometida la fachada (mas adelante entramos en detalle). Este complejo de facultades que se le van ingresando a un edificio hace necesario tener cierta capacidad de inteligencia artificial para tomar

decisiones debido a las variantes que presenta el ambiente, porque es difícil predecir con exactitud si va llover, si alguna nube va tapar al sol o va haber eclipse solar, en fin, la gama de posibilidades es infinita. A continuación una entrevista sobre el proyecto de torres Al Bahar en Dubai, este proyecto es de los más recientes en cuanto a fachadas cinéticas y uno de los más sofisticados en su tipo. [42]



FACHADA CINÉTICA. TORRES AL BAHAR. DUBAI.

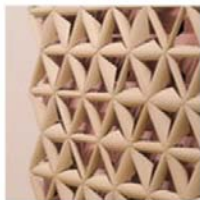


FACHADA CINÉTICA. CAFÉ-RESTAURANTE OPEN. AMSTERDAM

Materiales reactivos. [43]

Los materiales reactivos tienen un enorme potencial para los arquitectos e ingenieros en un futuro próximo, ofreciendo formas de construcción interactivas y personalizables que podrían, si se utilizan correctamente, podrían seriamente alterar la forma en la que las personas interactúan con su entorno construido. La masiva expansión de las capacidades de las pantallas táctiles y otras tecnologías basadas en el vidrio han abierto las interfaces de usuario a nivel de paisajes urbanos

interactivos, pero la creación de materiales reactivos en sí mismos es una solución mucho menos explorada. **Water Reaction**, un proyecto del estudiante **Chao Chen** del Royal College of Art, es un intento de precisamente eso: la creación de un material que reacciona a las condiciones externas, sin intervención humana requerida. [43]



La superficie reactiva abierta.
Image © Chao Chen



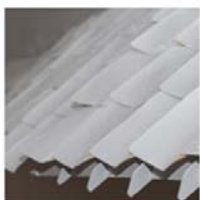
© Chao Chen



Indicador del agua seco.
Image © Chao Chen



© Chao Chen



El canopy mojado. Image ©
Chao Chen



© Chao Chen



MATERIALES REACTIVOS.



© Chao Chen



El canopy seco. Image ©
Chao Chen



Especificaciones:

1. Tamaño de las celdas (mm): 78x39
2. Celdas por módulo: 4x9
3. Tamaño del módulo (mm): 310x287x15
4. Peso (kg): 2.3
5. Tolerancia de potencia: +/- 3%
6. Pico de potencia nominal: 10
7. Voltaje nominal (V): 17
8. Corriente nominal(A): 0.59
9. NOCT: 45+/-2°C
10. Coeficiente de temperatura de voltaje: -0.33%/°C
11. Coeficiente de temperatura de corriente: +0.05%/°C
12. Coeficiente de temperatura de potencia: -0.23%/°C
13. Voltaje de circuito abierto Voc (V): 21
14. Corriente de corto circuito Isc (A): 0.99
15. Eficiencia de conversión: 15.00%
16. Temperatura de operación: -40° a +85°C

 AG Electrónica S.A. de C.V. República del Salvador N.20 Segundo Piso Tel. 5130 - 7210			
Acotación:	www.agelectronica.com	Escala	Rev SLMG
Pulgada [mm]			Rev 2. EVG
Tolerancia:	CELDA SOLAR MONO CRISTAL 12V/10W		
Tolerancia:	Fecha: 17/Febrero/11	Número de parte AG SM-12V/10W-SU	

LPM
MHB BATTERY

VRLA Battery

MS 7-12

12V7.0AH

MS Series SLA Battery

MHB MS Series--Small-size batteries

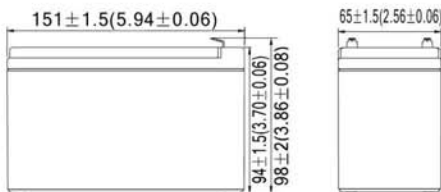
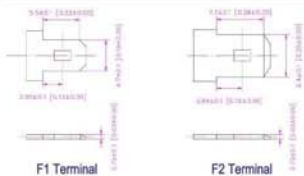
- 100% before shipment testing, stable and reliable long-term quality
- patented grid alloy formula and updated manufacturing technique
- completely sealed and maintenance-free, low self-discharge
- Excellent charging and re-charging acceptance
- Cycle use: More than 260 cycles at 100% DOD
- Floating & standby use: 3-5 years

Application:

- Alarm System
- Cable Television
- Communication Equipment
- Emergency Power System
- Security System
- Medical Equipment
- UPS
- Power tools
- Control Equipment
- Toys

Construction:

- ComponentRaw material
- PositiveLead dioxide
- NegativeLead
- ContainerABS
- CoverABS
- SealantEpoxy
- Safety valve Rubber
- TerminalCopper
- SeparatorFiber glass
- ElectrolyteSulfuric acid



Specification:

Battery Model	MS 7-12 12V7.0AH			
Designed Floating Life	3~5 Years			
Capacity (25°C)	20HR(0.35A,10.5V)	10HR(0.673A,10.5V)	5HR(1.26A,10.5V)	1HR(4.19A,10.5V)
	7.00AH	6.73AH	6.30AH	4.19AH
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	151mm (5.94inch)	65mm (2.56inch)	94mm (3.70inch)	98mm (3.86inch)
Approx. Weight	2.10Kg (4.63 lbs) ± 5%			
Internal Resistance	Full charged at 25°C : ≤35mΩ			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (25°C)			
Capacity Affected by Temp.(20HR)	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
Charge Voltage(25oC)	Cycle use		Float use	
	14.4-15.0V(-30mV/°C), max. Current: 2.10A		13.6-13.8V (-20mV/°C)	

