

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN MATERIALES

Nombre del proyecto

ESTUDIO DE MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA EN LA
CONSTRUCCION DE MUSCULOS ARTIFICIALES

Año

2021

Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa

General: Estudiar el fenómeno de memoria de forma que poseen algunos materiales, identificando sus características, para proponer el desarrollo de prototipos de actuadores de músculos artificiales a partir del uso de materiales que posean el efecto de memoria de forma. * Específico 1: Identificar las características químicas, físicas y mecánicas de los materiales con efecto de memoria de forma

que mejores propiedades posean para la creación de músculos artificiales. * Específico 2: Estudiar las clases de materiales que poseen propiedades de memoria de forma y que puedan ser considerados en el diseño de objetos con funciones de movimiento. * Específico 3: Evaluar materiales con propiedades de memoria de forma desde el concepto de sus propiedades electroactivas. * Específico 4: Diseñar una propuesta de desarrollo de actuadores para aplicaciones en músculos artificiales con el uso de materiales SME.

Metodología

La metodología implementada contó con dos fases. En la primera fase se realizó la familiarización con los conceptos relacionados con el fenómeno de memoria de forma y las generalidades sobre los mismos. La segunda fase, se centró en el estudio de estos conceptos aplicados al caso de un material específico seleccionado que fue el Nitinol, y se realiza un estudio de las propiedades de este.

Resultados obtenidos

Luego de una revisión sistemática de la literatura, se encontró que las aleaciones de níquel-titanio son las que presentan mejores características de memoria de forma representadas en un porcentaje de recuperación elástica mayor a menores temperaturas. Luego de caracterizar la restitución de un cable de Nitinol (aleación de níquel-titanio) sujetado a unas masas luego de calentarla por encima y por debajo de su punto de transición de fase, se evidenció la capacidad del material para volver a la forma adquirida por encima de su transición de fase al levantar una masa aproximada de 600 g. Se estima que la fuerza de restitución promedio del Nitinol es 20 veces mayor que la fuerza promedio ejercida por un músculo. Gracias al experimento realizado, se identificó el posible uso de este tipo de material en futuras aplicaciones como la construcción de músculos artificiales o sistemas de actuación.

Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa

Se motivó el intercambio de conocimientos y resultados de estudios en torno a la ciencia de los materiales para aplicaciones tecnológicas avanzadas así como la interacción académica entre estudiantes de diferentes semestres del pregrado en Ingeniería Física. Además, se dispuso de un espacio dedicado al estudio y análisis de preguntas sobre la constitución, características y propiedades de los materiales,

permitiendo así identificar sus capacidades y comprender su comportamiento en el contexto de la tecnología y la vida cotidiana actual.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

Medellín

NIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00

Pereira

Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15

Bogotá

Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18

Llanogrande

Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

INFORME FINAL DE PROYECTOS DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN 2021
VICERRECTORÍA DE DESCUBRIMIENTO Y CREACIÓN
OFICINA DE PLANEACIÓN Y DESCUBRIMIENTO FORMATIVO
UNIVERSIDAD EAFIT

Nombre del semillero de investigación	Semillero de Materiales
Nombre del proyecto de investigación	Estudio de materiales con memoria de forma en la construcción de músculos artificiales
Nombre del investigador principal	Claudia Constanza Palacio Espinosa
Estudiantes que participaron en la investigación	Adrian Herrera Pino, Jacobo Chica Quintero, Yoshiro Yi Cardona

OBJETIVOS

Objetivos	Contenido	Porcentaje de cumplimiento
General	Identificar la utilidad de los materiales con memoria de forma en aplicaciones como actuadores y músculos artificiales	100%
Específico	Comprender los conceptos y la física involucrada en el fenómeno de memoria de forma	100%
Específico	Identificar los materiales con efecto de memoria de forma que mejores propiedades posean para la creación de actuadores y músculos artificiales	100%
Específico	Estudiar el comportamiento del material con memoria de forma	100%
Específico	Diseñar una propuesta de desarrollo de actuadores para aplicaciones en músculos artificiales con el uso de materiales con propiedades de memoria de forma	100%

Aunque los objetivos inicialmente planteados se lograron, es importante señalar que existen muchas técnicas para el estudio de los materiales con memoria de forma y en este proyecto se estudió la acción de una fuerza externa aplicada y la presencia de fases específicas del material, de una manera rudimentaria, sin hacer uso de técnicas sofisticadas de caracterización, habiendo evidenciado que hay un gran margen de trabajo si se desea realizar una exploración y estudio más profundo accediendo a instrumentos de medición y evaluación más especializados.

METODOLOGÍA

La metodología implementada contó con dos fases como se muestra en la siguiente tabla. En la primera fase se realizó la familiarización con los conceptos relacionados con el fenómeno de memoria de forma y las generalidades sobre los mismos. La segunda fase, se centró en el estudio de estos conceptos aplicados al caso de un material específico seleccionado que fue el Nitinol, y se realiza un estudio de las propiedades de este.

Fase: conceptual teórica	Actividades desarrolladas
Se investigan los conceptos de la ciencia de los materiales relacionados con el acero y algunas de sus propiedades como memoria de forma.	<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes tipos de acero. - Carbón en aleaciones. - Polímeros con memoria de forma. - Aleaciones con memoria de forma. - Fases Martensita y Austenita.
Fase: conceptual aplicada	Actividades desarrolladas
Se profundiza en las aplicaciones de los conceptos anteriormente mencionados y en el estudio de las propiedades del Nitinol	<ul style="list-style-type: none"> - Composición del Nitinol - Estudio de otros materiales con propiedades de memoria de forma. - Experimentación con muestra de Nitinol y estudio de sus propiedades para posibles aplicaciones.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

- Los materiales con memoria de forma pasaron de ser un tema ajeno a algo comprensible para los integrantes del proyecto, partiendo de una investigación pertinente que permitió la comprensión de los conceptos involucrados en el fenómeno y se logró entender cuál podría ser el impacto de las nuevas tecnologías que se apropien de estos materiales y se observó el comportamiento de una muestra de Nitinol con propiedades de memoria de forma a través de la experimentación.

Se utilizó un cable de nitinol de aproximadamente 5 centímetros (ver Figura 1-a) al cual se le confirió una forma de resorte usando un tornillo y soplete para calentarlo más alto de su punto de transición de fase logrando la geometría presentada en la Figura 1-b. Luego se deformó mediante la aplicación de carga de tracción uniaxial manualmente (Figura 1-c), posteriormente se calentó de nuevo la muestra de nitinol con un mechero para alcanzar temperaturas más bajas y hacer que el cable recuperara la forma anteriormente conferida (Figura 1-b).



Figura 1: En (a) se observa el cable de Nitinol antes de ser calentado, (b) es el cable calentado y en la forma de prueba, y (c) se muestra el cable estirado manualmente listo para recuperar la forma mostrada en el paso anterior.

El cable que se utilizó para los experimentos fue un cable de Nitinol, una aleación de Níquel y Titanio con propiedades de memoria de forma; esta pieza de 1 mm de diámetro y 7 cm de largo fue elegida luego de encontrar en la investigación que existen dos tipos de aleaciones que tienen propiedades de memoria de forma interesantes, que son: (i) la aleación de níquel-cobre-titanio y (ii) la aleación de níquel-titanio; se logró identificar, de acuerdo con la literatura que la aleación de níquel-titanio es la que presenta como la que mejores características de memoria de forma representadas en un porcentaje de recuperación mayor a menores temperaturas.

Se realizaron pruebas de fuerza con dos diferentes masas luego de conferirle una forma de resorte al cable usando un tornillo y soplete para calentarlo por encima de su punto de transición de fase, y posteriormente se colgaron de un extremo del cable deformado las masas mencionada, para luego proceder a calentar de nuevo el cable para evaluar su deformación de restitución a la forma previa.

Realizando estas pruebas se pudo observar directamente el fenómeno de memoria de forma en una muestra que mostró gran capacidad de recuperación, pues para su pequeño tamaño este cable logró ejercer en promedio una fuerza de restitución de 5.8 N, o lo que es lo mismo, la muestra levantó hasta 600 g con facilidad al ser calentada con la masa en su punta, lo cual está representado en una fuerza de restitución promedio de 700 N/cm². Esto comparado con la fuerza que un músculo humano es capaz de ejercer que es del orden de aproximadamente 30 N/cm², indica que la capacidad del nitinol supera 20 veces la capacidad de un músculo humano de ejercer fuerza.

- Los resultados que se obtuvieron en la parte conceptual teórica del proyecto fueron provechosos y enriquecieron la base conceptual y de fundamentación con la que contaban los miembros del proyecto, identificando que muchos de los conceptos encontrados eran desconocidos para el equipo de trabajo, como fue el caso de la composición del acero, estructuras cristalinas del acero y la importancia de las fases de transformación para los materiales con memoria de forma, los cuales ahora son mucho más familiares y pudieron ser interiorizados durante toda la etapa conceptual aplicada.
- La muestra de Nitinol estudiada mostró grandes capacidades para recuperar su forma como ya se explicó, con respecto a su homólogo biológico, los músculos, pues se encontró que el Nitinol posee mayor fuerza por centímetro cuadrado de área transversal que las fibras musculares. Además, el desarrollo de la componente experimental complementó y culminó el proceso investigativo y de discusión activa que se desarrolló durante la primera etapa del proyecto (conceptual teórica), permitiendo a los integrantes crearse una perspectiva propia del futuro de las tecnologías y sistemas de actuación que surgen del uso de materiales con memoria de forma; se observó que

estos materiales pueden superar las características mecánicas de los sistemas biológicos, por lo menos de manera simplificada. Así, se pudo abrir camino a nuevas incógnitas y nuevos retos que podrán abordarse en futuras etapas, como el estudio y aplicación de sistemas complejos de materiales con memoria de forma para la creación de músculos artificiales o sistemas de actuación.

EJECUCIÓN PRESUPUESTAL

A continuación, se presenta una tabla con el presupuesto que se planteó al inicio del proyecto. En dicha convocatoria se especifica la destinación de cada gasto. A lo largo del año se realizaron pocos encuentros presenciales, pues la primera parte del año se trabajó mayormente de manera semipresencial tanto en las actividades de la universidad como las del semillero y durante la segunda parte del año (etapa dos del proyecto) se realizaron algunos encuentros presenciales durante los cuales se discutieron los asuntos del proyecto. La ejecución presupuestal del proyecto se centró en cubrir los gastos de personal asociados al pago del coordinador del semillero quien asumió el liderazgo también del proyecto y a la adquisición de la muestra de nitinol estudiada, lo cual representó un consumo del 40% de los recursos asignados. El 60% restante no ejecutado se debió a la dificultad de adquisición por importación de materiales con memoria de forma que sirvieran como muestras de estudio por cierre de vigencia de compras para importación de la universidad.

Tabla: Presupuesto anual.

TIPO DE GASTO	PRESUPUESTO APROBADO	PRESUPUESTO EJECUTADO	% EJECUCIÓN
Gasto General	922,692.13	0	0
Gastos de Personal-Salarios	1,950,000.00	1,950,000.00	100
Servicios Técnicos	580,000.00	0	0
Total	3,452,692.13	1,950,000.00	56,5%

LECCIONES APRENDIDAS

A continuación, se presentan los aspectos adicionales de aprendizaje por la ejecución del proyecto. Uno de los retos abordados aparte de la línea de investigación del proyecto fue mantener el ritmo de trabajo e indagación del semillero cuando se retomó casi por completo la presencialidad en las actividades académicas luego de los confinamientos de la pandemia.

- Comprender conceptos complejos:** Este proyecto planteó un reto inicial grande para los participantes ya que obligaba al acercamiento a conceptos básicos sobre materiales. Para comprender el fenómeno específico de la memoria de forma en algunos materiales primero fue necesario entender qué era el fenómeno de memoria de forma, esto llevó a los investigadores a familiarizarse con los conceptos de cambios de fase y temas más profundos de la ciencia de materiales que en un principio no eran tan comunes para los integrantes. Inicialmente se pensó que la etapa de búsqueda y aprendizaje de la teoría sería más corta, pero esta tomó más tiempo de lo esperado.

- **Distribución de los encuentros:** La primera parte del año y del proyecto fue desarrollada a través de reuniones y espacios de conversación virtuales en los cuales se discutieron los asuntos importantes del proyecto, sin embargo, en la segunda parte del año los encuentros de discusión se realizaron tanto de manera virtual como presencial, pero debido a la reintegración de la normalidad después de la pandemia y algunas veces a la poca disponibilidad de los integrantes, no se pudieron realizar más actividades presenciales que enriquecieran el transcurso del semillero.
- **Investigación y elección de producto:** Durante la investigación del proyecto se conocieron gran variedad de materiales y polímeros que contaban con propiedades de memoria de forma, esto después de conocer con más detalle los pormenores del fenómeno. Comprender con claridad las propiedades específicas del material que se deseaba estudiar tomó un tiempo importante que se derivó de la ejecución de la fase de aplicación; una vez se tuvo claro el fenómeno, hizo falta considerar un tiempo prudente para la adquisición de las muestras del producto, pues este proceso suele ser lento.

CONCLUSIÓN GENERAL:

Hubo retrasos relacionados con la elección del material con memoria de forma que se utilizaría en los experimentos debido a que existe una gama amplia de materiales con estas características y que están diseñados para aplicaciones diferentes, por lo tanto, se analizó detenidamente cuál podía ser utilizado y estudiado en ambientes no muy complejos. A pesar de los retrasos experimentados, se considera importante decir que fue posible complementar la etapa de investigación e indagación desarrollada durante el año de trabajo y así concluir, incluso de manera visual, que el Nitinol es un material con gran capacidad de recuperación y con una alta posibilidad de aplicación.

Durante todo el proceso quedó en evidencia que el diseño y fabricación de materiales (ya sean polímeros o aleaciones) con memoria de forma es un proceso muy complejo, que supera el enfoque y las capacidades del proyecto y sus integrantes. Con lo logrado se pueden plantear preguntas sobre el camino con el que se quisiera continuar, como son: ¿Es el Nitinol el material con mejores propiedades de memoria de forma?, ¿Cómo crear eficientemente sistemas complejos con estos materiales que permitan la implementación de sistemas de actuación? Partiendo de la pregunta central, que es: ¿es posible crear sistemas de musculatura artificial más eficientes usando materiales con memoria de forma?