

Escuela Politécnica Superior

Grupo 2

Alejandro Riego Velasco (INP)

Guillermo Pérez-Toril Villanueva (ME+AUT)

Irene Ferrer Mendieta (DI+BA)

Jorge Santiago Salazar (ITI)

Víctor Agudo Vázquez (ITI)



Memoria del proyecto

IV Semana de Iniciación a la Investigación Nebrija



UNIVERSIDAD
NEBRIJA



Introducción	3
Objetivos	4
Materiales	5
Componentes	5
Materiales constructivos	7
Montaje	8
Diseño	8
Circuito	10
Automatización	10
Sistema final y resultados	12
Sistema	12
Resultados	13
Conclusiones	13
Análisis y valoración personal de la semana	14
Alejandro Riego (1º Ingeniería Informática)	14
Guillermo Pérez-Toril (3º Ingeniería Mecánica y del Automóvil)	14
Irene Ferrer (5º Ingeniería de Diseño Industrial y Bellas Artes)	14
Jorge Santiago (1º Ingeniería de Tecnologías Industriales)	14
Víctor Agudo (2º Ingeniería de Tecnologías Industriales)	15

Introducción

La temática de la IV Semana de Introducción a la Investigación Nebrija, impulsada por la Cátedra Global Nebrija-Santander de Recuperación de Energía en el Transporte de Superficie ha girado en torno a los materiales con memoria de forma (SMA, *Shape Memory Alloys*).

El interés de estos materiales reside en su comportamiento frente a las variaciones de temperatura que experimentan. En contraposición a lo esperado y a lo que ocurre comúnmente con otros materiales, éstos se contraen al aumentar su temperatura, bien por diferentes mecanismos de transferencia de calor o por el paso de corriente eléctrica por su interior. En concreto, para la realización de este experimento, se ha decidido elevar la temperatura del SMA por radiación térmica procedente de unas resistencias eléctricas. También podría haberse elevado la temperatura del cable de SMA haciendo pasar corriente eléctrica por su interior y aprovechando la propia resistencia interna del cable para ello.

La Dra. Ermira Junita Abdullah, investigadora de la Universiti Putra Malaysia (UPM), impartió unas jornadas de formación sobre SMA muy interesantes, donde se analizó teóricamente el comportamiento de estos materiales y se realizaron ejemplos prácticos de cálculo de selección del mejor SMA para aplicaciones particulares en base a sus propiedades. Desde aquí, el equipo quiere agradecer la labor de la Dra. Ermira y el tiempo que ha dedicado a nuestra instrucción.



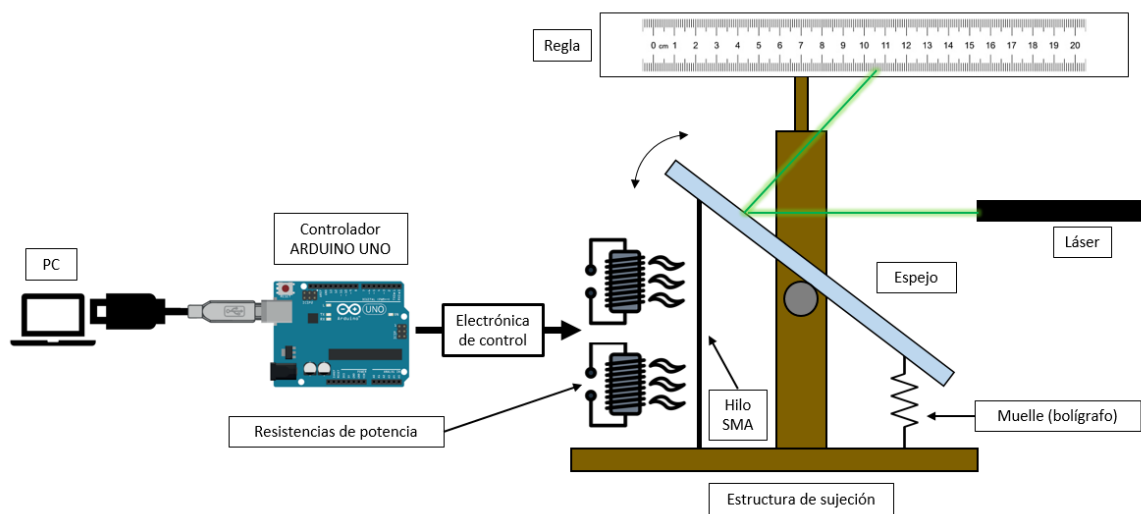
Foto de grupo IV Semana de Iniciación a la Investigación Nebrija.

A continuación, se describirán los objetivos del proyecto y la solución propuesta por el equipo para la superación del reto.

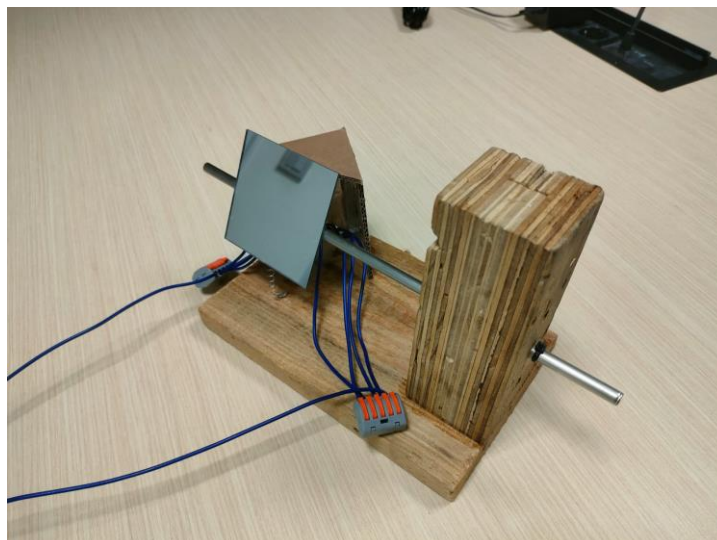
Objetivos

El objetivo del proyecto es diseñar, construir y programar un sistema en lazo cerrado mediante el cual se consiga, con la mayor precisión posible, enfocar el reflejo de un rayo láser con el movimiento relativo de un espejo.

Se ha proporcionado un montaje de ejemplo para orientar la construcción del invento, aunque el equipo ha considerado que existía capacidad de mejora, por lo que ambos montajes son claramente diferenciables.



Esquema del experimento.



Ejemplo mostrado.

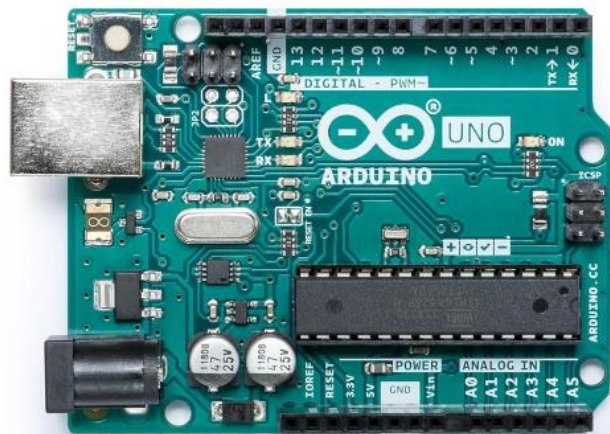
Materiales

Los materiales de partida con los que contaba el equipo para la fabricación del invento eran, por un lado, componentes electrónicos y, por otro, materiales de construcción para la estructura.

Componentes

Los componentes electrónicos suministrados por la organización han sido los siguientes:

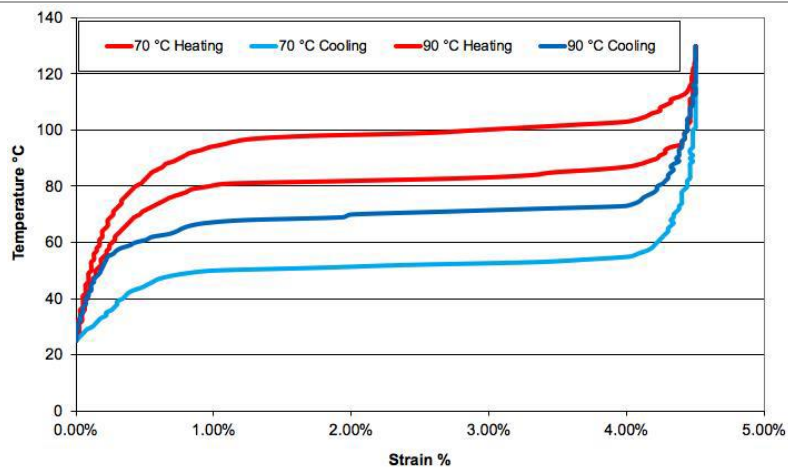
Arduino®



Placa de Arduino®

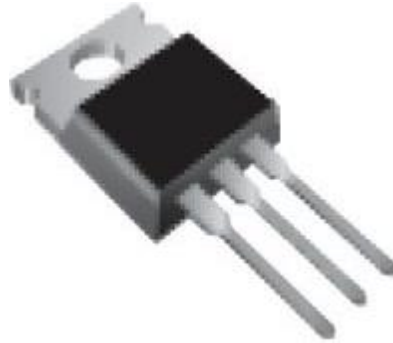
SMA

Cables FLEXINOL® del proveedor DYNALLOY, Inc. Longitud: 10 cm.



MOFSET

Modelo TO-220AB, del proveedor VISHAY®.



MOFSET TO-220AB.

Resistencias

Modelo HS-10, del proveedor ARCOL®.



Gama de resistencias del fabricante.

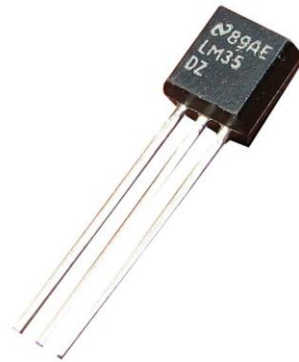
Electrical Specifications

Size	Style MIL-R 18546	Power rating on std. heatsink @25°C	Watts with no heatsink @25°C	Resis- tance range	Limiting element voltage	Voltage proof AC Peak	Voltage proof AC rms.	Approx weight gms	Typical surface rise HS mounted	Standard heatsink	
										cm ²	Thickness mm
HS10	RE 60	10	5	R005-10K	160	1400	1000	4	5.8	415	1

Especificaciones de las resistencias utilizadas.

Sensor de temperatura

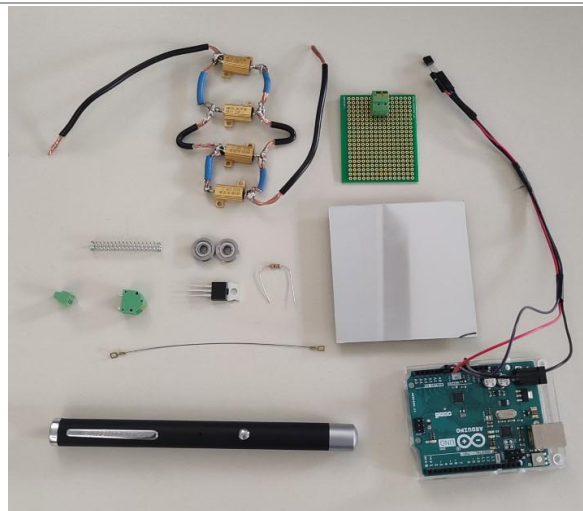
Modelo LM35, de 10 mV, del proveedor ANALOG DEVICES®.



Sensor de temperatura LM35.

Otros componentes

Cables, resistencias, conectores y otros elementos para la construcción del circuito.



Elementos varios.

Materiales constructivos

Algunos de los materiales utilizados para la construcción y montaje del aparato han sido proporcionados por la organización y han tenido aplicación directa. Otros, han servido como materia prima para la posterior manufactura de piezas.

Materiales y piezas de proveedores:

- Rodamientos de bolas de diámetros exterior e interior 10,3 mm y 4,0 mm, respectivamente.
- Muelles de constante elástica baja.
- Láser.
- Espejo.
- Cables eléctricos.

Materias primas:

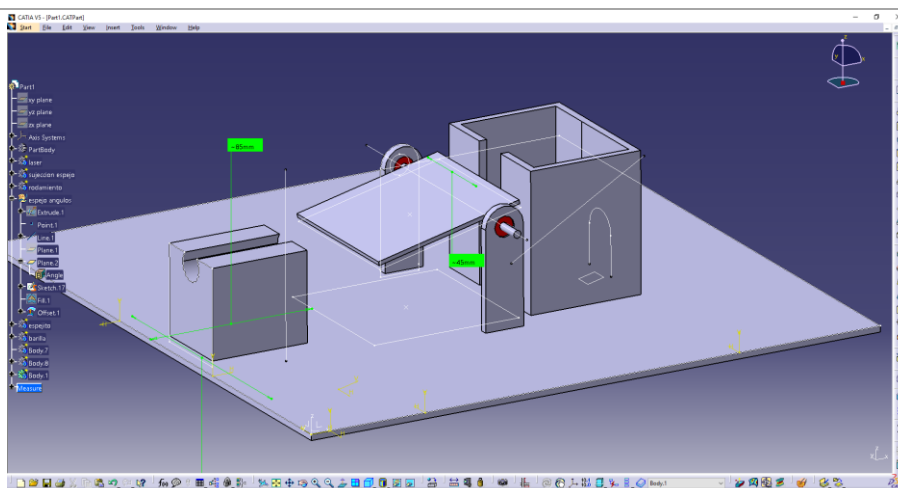
- Contrachapado de espesor 4 mm para corte láser.
- PLA para impresión 3D.
- Papel de aluminio adhesivo.
- Pistola termoencoladora.
- Soldadora y estaño.

Montaje

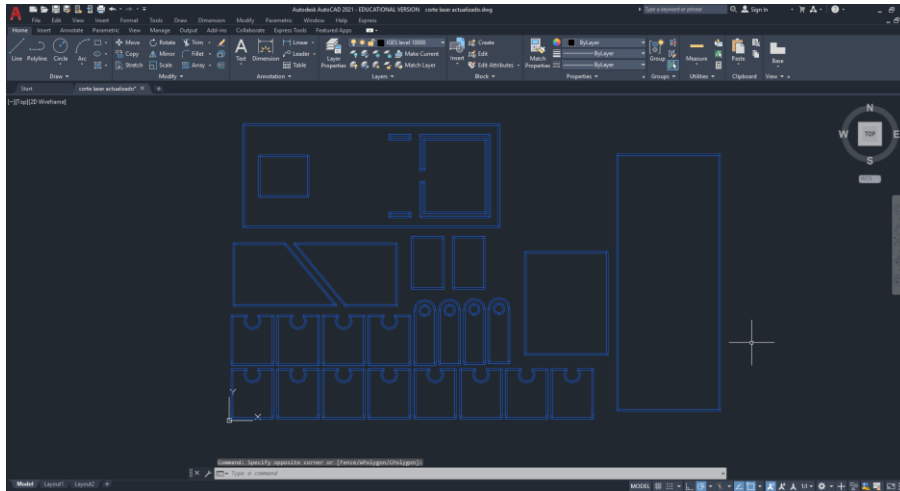
El movimiento del espejo será giratorio, solidario a un eje cilíndrico impreso en 3D. El actuador será el cable de SMA y como retorno, hay un muelle de baja constante elástica de Hooke. Tal y como se ha comentado previamente, el SMA será calentado por el efecto de la radiación térmica emitida por unas resistencias eléctricas.

Diseño

En primer lugar, se ha diseñado la estructura en 3D y se ha creado una plantilla de piezas planas para su posterior corte láser en contrachapado. Algunas de estas piezas son las bases, los soportes del eje, la sujeción del láser y las paredes del habitáculo de resistencias.

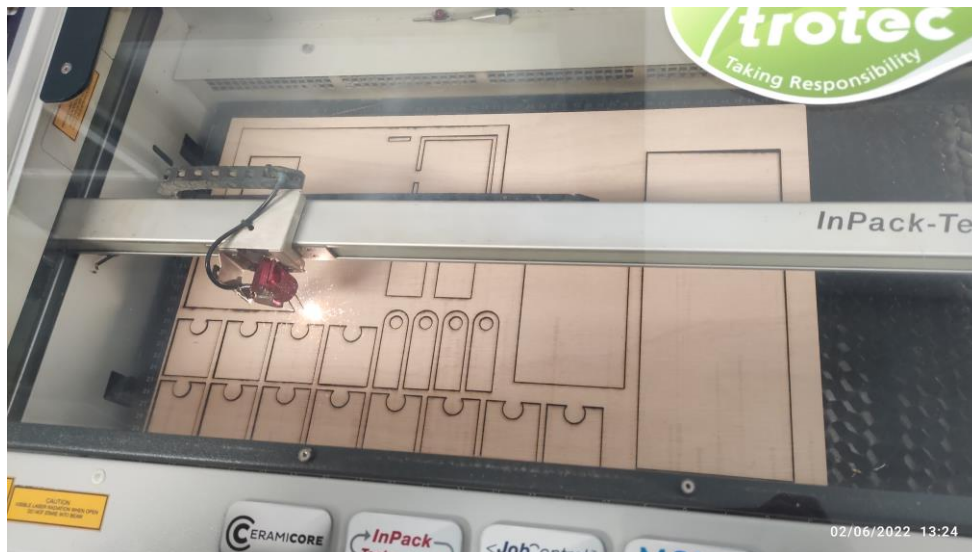


Diseño preliminar en CATIA V5.



Plantilla de corte en AutoCad.

Tras el corte láser de las piezas citadas anteriormente, se ha procedido a su montaje en la base (bicapa) diseñada a tal efecto. El material adhesivo se trataba de pegamento termofusible.



Corte láser.

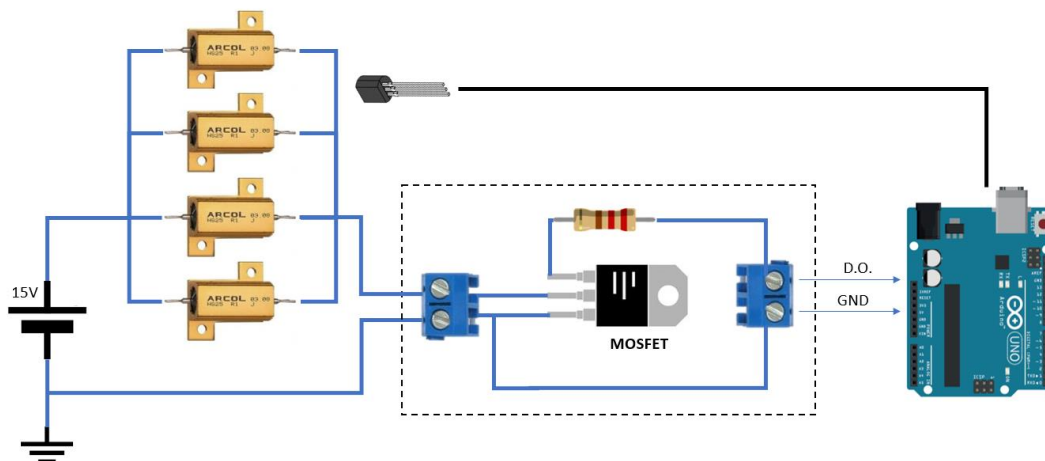
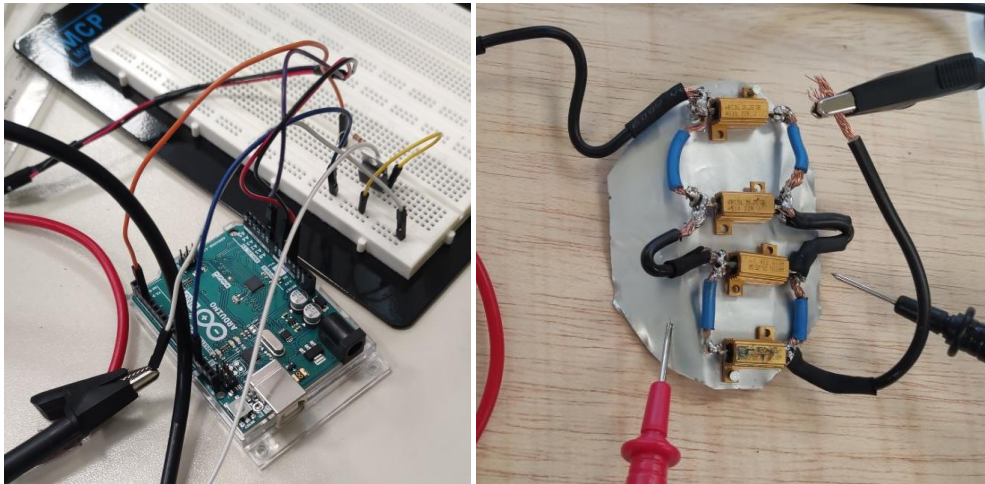
El material seleccionado para la base ha sido madera, por su bajo coste e impacto medioambiental. Para las paredes del habitáculo del SMA el motivo ha sido más profundo, pues un buen aislante térmico y eléctrico como la madera es óptimo para esta aplicación.

Las paredes se han forrado de papel de aluminio adhesivo porque favorece un calentamiento interno del habitáculo más rápido. No existe perjuicio en cuanto al impacto de la temperatura ambiente sobre el interior, pues la madera aísla ambas capas de aluminio. De igual manera, no supone un riesgo para la salud de carácter eléctrico porque las resistencias y todos los cables han sido acoplados a una pletina metálica con recubrimiento polimérico que impide el paso de corriente al continente que, además, reparte el calor de forma relativamente uniforme al cable de SMA.

Para la construcción se han aplicado diversas habilidades de todos los componentes del grupo, por ejemplo: soldadura, lijado, diseño 3D, corte láser, programación, circuitos, etc.

Circuito

Precisamente, el circuito eléctrico ha combinado elementos tradicionales con Arduino®.



Circuito eléctrico.

Automatización

El controlador será un Arduino®. Con ayuda de un sensor de temperatura LM35 de 10 mV se proporcionará retroalimentación al sistema y al programa, convirtiéndolos en un lazo cerrado. Es de gran importancia el *feedback* que aportan las lecturas de temperatura, pues servirán para regular la corriente de las resistencias y aumentar o disminuir su intensidad.

```

20:43:59.474 ->
20:43:59.474 -> El valor PWM es: 255.00
20:43:59.474 -> El valor Kp_error es: 252.12
20:43:59.514 -> El valor Ki_error es: 100.00
20:43:59.561 -> El valor Kd_error es: 0.24
20:43:59.561 -> El error de temperatura es: 15.76
20:43:59.606 -> La temperatura es: 24.19 °C centígrados
20:43:59.653 -> La última temperatura es: 23.95 °C centígrados
20:44:00.625 ->

```

Lectura del sensor, valores de error y fracción de potencia suministrada.

```

void loop()
{
  ultima_temp = analogRead(Entrada_Analogica);
  double suma_array = 0;
  if (ultima_temp !=0)
  {
    for(i=0;i<9;i++)
    {
      array_temperatura[i] = array_temperatura[i+1];
    }
    array_temperatura[9] = ultima_temp;
    for(i=0;i<10;i++)
    {
      suma_array = suma_array + (double)array_temperatura[i];
    }
    decimal = suma_array/10;
  }
}

```

Fragmento del código.

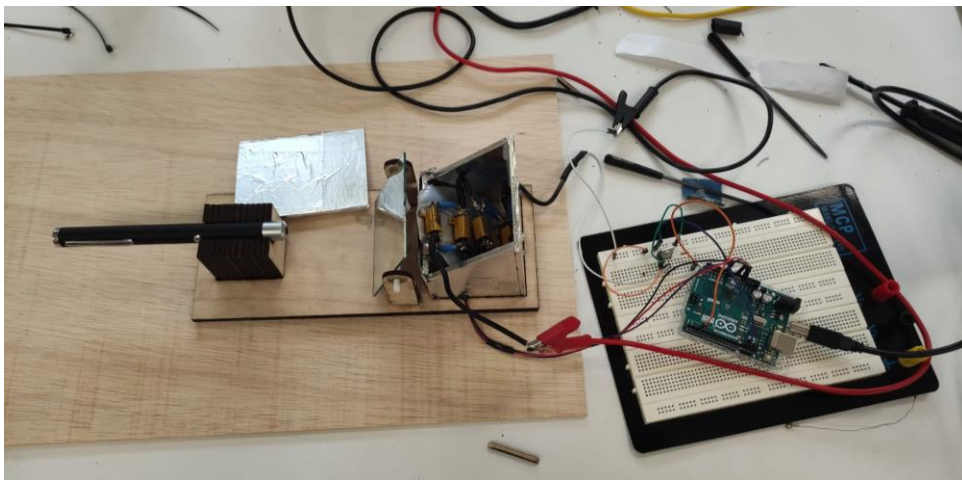
Para el control automatizado del sistema se ha recurrido a un PID, es decir, control proporcional, integral y derivativo. La parte proporcional excita el sistema, la derivativa lo trata de corregir y la integral lo dota de precisión a la hora de estabilizarlo entorno al valor deseado.

Todo ello ha sido programado en un lenguaje similar al C en Arduino®, cuya particularidad principal es que se trata de un bucle que se reproduce continuamente. Por este motivo, la temperatura objetivo se fija previa ejecución del programa. El propio programa está creado para que el Arduino® se comporte como un PID, siendo necesario regular los valores de las constantes características de cada acción (K_p , K_i y K_d) para afinar la precisión del sistema.

Sistema final y resultados

Sistema

El sistema final construido como se ha desarrollado anteriormente se muestra a continuación:



Sistema final.

En la figura se muestra el habitáculo del SMA al descubierto, para facilitar la comprensión del montaje, pero en realidad se cubre con la placa que se muestra en la foto junto al láser.

Durante las fases de diseño se ha buscado conseguir la mayor precisión posible. Por ello, se ha creado un soporte fijo para el láser, con el objetivo de descartar errores por vibraciones producidas por el pulso del operario. Otra medida para reducir las perturbaciones ha sido el diseño de los soportes del eje, pues los agujeros practicados para introducir los rodamientos se han cortado teniendo en cuenta un ajuste con apriete, es decir, no permitiendo tolerancias que den lugar a holguras.

Una medida más de protección frente a agentes externos es la propia cobertura que rodea por todos sus ángulos al foco caliente. Así, además de facilitar el calentamiento del SMA, se reducen las posibilidades de que una corriente fría de aire afecte al experimento.

El eje del espejo no ha sido acoplado a él pasando por su centro de gravedad. En cambio, se ha desplazado hacia el lado del SMA para aumentar la precisión del giro, si bien es cierto que el cable deberá ejercer más fuerza para conseguir un torque que mueva el espejo.

El muelle no ha sido colocado vertical, sino que se sitúa bajo el espejo de forma perpendicular al espejo, por motivos de espacio principalmente.

La distancia del láser al espejo se ha minimizado para evitar distorsiones. Con el mismo objetivo, el espejo es limpiado entre cada ensayo.

Resultados

Los resultados obtenidos han comenzado siendo deficientes, pero poco a poco han ido mejorando con la implementación de avances constructivos.

Finalmente, se han obtenido resultados muy satisfactorios: el desplazamiento del reflejo del láser, por acción de la temperatura sobre el SMA ha alcanzado valores considerables (aproximadamente 60 cm horizontales en 3 m de altura a 43 °C).

De haber dispuesto de más tiempo, se podrían haber realizado mediciones a diferentes temperaturas, de cara al reto. Esto también podría haber dado lugar a la regulación de los parámetros del PID para obtener la máxima precisión de desplazamiento. Sin embargo, tras diferentes complicaciones entre las que se encuentran la baja de un miembro del grupo durante los días de proyecto y la parada de la cortadora láser durante unas horas, ha sido imposible abarcar la calibración que al equipo le habría gustado intentar.

No obstante, el equipo tiene un balance muy positivo de su trabajo, pues los resultados obtenidos han sido sorprendentemente buenos pese a las dificultades que ha encontrado.

Conclusiones

La principal conclusión que se puede extraer del experimento es la elevada complejidad de controlar térmicamente los sólidos. Aun así, esta cátedra centra su investigación en ello por el gran impacto en pérdidas por disipación de calor que suele existir en todo tipo de máquinas. Es evidente la necesidad de investigar descubrimientos disruptivos como los materiales con memoria de forma e invertir en su desarrollo, para conseguir cada vez un planeta más eficiente y sostenible.

Análisis y valoración personal de la semana

Al igual que los resultados obtenidos de los experimentos, la valoración global de la semana por parte del equipo es muy positiva. Concretamente, las impresiones de cada uno han sido las siguientes:

Alejandro Riego (1º Ingeniería Informática)

Poder trabajar con ingenieros de la rama industrial ha sido una experiencia muy enriquecedora que me ha ayudado a comprender su forma de pensar. Además, he podido utilizar el FabLab para impresión 3D y corte láser, que siendo aún de primero no había tenido oportunidad. A pesar de conocer mejor el campo de la programación, he colaborado mucho en la parte constructiva del proyecto, lo que se sale de mi disciplina y me ha permitido aprender mucho más. El trabajo en equipo ha sido uno de los mayores valores de esta semana y creo que oportunidades como ésta me ayudarán en mis próximos años de paso por la universidad.

Guillermo Pérez-Toril (3º Ingeniería Mecánica y del Automóvil)

Ésta ha sido mi primera vez en la Semana de Iniciación a la Investigación Nebrija y es mucho lo que me llevo de ella: nuevos amigos que trabajan excelentemente, conocimientos sobre la vanguardia de la ingeniería aplicada a los SEM, ponencias de expertos investigadores internacionales, etc. Sin duda, ha sido una experiencia de valor. Lo más bonito ha sido ver cómo muchos participantes de distintos equipos nos ayudábamos entre nosotros y es que, antes que competidores, somos compañeros. Ha sido muy fácil trabajar con ingenieros de otras ramas porque cada uno ha podido aportar algo de su dominio al proyecto y los demás aprender de ello. La semana ha sido realmente intensa, retrasando las vacaciones que ya estaban aseguradas, pero creo que el beneficio compensa ese detalle con creces y estoy contento de haber llegado de buena manera al final de la semana, sobre todo, por haber tenido la oportunidad de salir de la zona de confort y desarrollar habilidades interdisciplinarias.

Irene Ferrer (5º Ingeniería de Diseño Industrial y Bellas Artes)

La semana me ha parecido un acercamiento interesante a posibles usos de los SMA, siendo todo un lujo contar con una experta como la doctora Ermira para introducirnos a estos. Por otro lado, estaría bien conocer a priori más de los contenidos que van a impartirse y las asignaturas necesarias para comprenderlos todos. Me parece un acierto el impulso de desarrollo de proyectos multidisciplinares guiados desde la universidad, aunque personalmente disfruto y me siento más satisfecha con aquellos que no involucran competición.

Jorge Santiago (1º Ingeniería de Tecnologías Industriales)

Al inicio de la semana de investigación pensaba que no iba a poder aportar nada en el proyecto que íbamos a realizar ya que, al ser un estudiante de primero de carrera, aún no domino ningún campo de la ingeniería en profundidad, pero en cuanto hemos empezado con el proyecto cada uno de los participantes hemos ido contribuyendo con nuestras ideas y conocimientos y al final todos hemos sido necesarios para poder presentar el proyecto. Esta semana me ha servido para descubrir como realmente sí que puedo aplicar los conocimientos que he ido aprendiendo a lo largo del curso en la vida real. También he aprendido a realizar un proyecto y organizarme para entregar un trabajo complejo en sólo dos días.

Víctor Agudo (2º Ingeniería de Tecnologías Industriales)

La semana de investigación ha sido una oportunidad para aprender y desarrollar nuevos conocimientos a cerca de un material moderno. He tenido la oportunidad de trabajar con un equipo multidisciplinar en el que hemos puesto todas nuestras habilidades en común para llevar a cabo unos objetivos exigentes con éxito. En conclusión, esta beca ha sido una experiencia intensa llena de aprendizaje y esfuerzo que seguro me servirá en el futuro.

Bibliografía

Todos los conocimientos adquiridos durante la semana y conocimientos previos de diversas disciplinas aportados por cada miembro del equipo. Docencia de los profesores Dra. Ermira e Iñaki, así como la ayuda y supervisión del Dr. Javier Aranceta y la Dra. Carmen Iniesta.