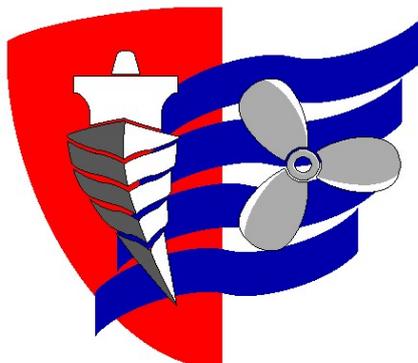


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**PROPUESTA DE CLASES PRÁCTICAS CON
ARDUINO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS PARA SU IMPARTICIÓN A
DISTANCIA**

**A PROPOSAL FOR PRACTICAL CLASSES
ON NON-DESTRUCTIVE TESTING WITH
ARDUINO FOR DISTANCE LEARNING**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: David García Gutiérrez

Director: Elías Revestido Herrero

07 - 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD
DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**PROPUESTA DE CLASES PRÁCTICAS
CON ARDUINO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS PARA SU IMPARTICIÓN
A DISTANCIA**

**A PROPOSAL FOR PRACTICAL CLASSES
ON NON-DESTRUCTIVE TESTING WITH
ARDUINO FOR DISTANCE LEARNING**

Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARÍTIMA

07 - 2021

RESUMEN

Este proyecto presenta la plataforma Arduino y su aplicación actualmente en la universidad y también su relación con el uso de las nuevas tecnologías en la enseñanza, tratando de crear una propuesta referente a los ensayos no destructivos y su realización con el apoyo de Arduino, una plataforma electrónica de código y abierto. Para este fin propone la simulación de ensayos no destructivos en un entorno de simulación apoyado por la plataforma de simulación "Tinkercad" para su uso educativo en las áreas de ingeniería.

ABSTRACT

This project presents Arduino and its relevance in university, showing its coexistence with new technologies in educational areas, trying to create a proposal regarding nondestructive tests and its incorporation of Arduino, an open code electronic platform. For this objective it proposes de simulation of nondestructive tests in a simulation environment supported by the platform named “Tinkercad” for educational purposes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi tutor Don Elías Revestido Herrero, por haber aceptado ser mi tutor y guiarme en la redacción de este proyecto, así como brindarme la ayuda necesaria para acabarlo.

En segundo lugar, a mi familia por haberme apoyado a lo largo de toda la carrera universitaria que ha culminado en la realización de este proyecto.

Y en último lugar a la ETS de Náutica por haberme brindado la oportunidad de estudiar esta carrera.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	7
ILUSTRACIONES.....	9
TABLAS.....	11
1.0 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 MOTIVACION.....	12
1.2 OBJETIVO.....	13
1.3 METODOLOGIA Y DESARROLLO.....	14
2.0 OBJETOS DE ESTUDIO.....	15
2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	15
2.2 ARDUINO.....	16
2.3 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO.....	18
2.4 ARDUINO EN LA EDUCACIÓN.....	19
2.5 ARDUINO EN LAS INGENIERIAS.....	21
3.0 ASPECTOS LEGALES: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	22
4.0 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	27
4.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS.....	27
4.2 ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.....	33
4.3 ENSAYO POR TERMOGRAFIA.....	41
4.4 ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES.....	45
5.0 PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	49
5.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS.....	52
5.2 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	54
5.3 ENSAYO POR TERMOGRAFÍA.....	56
5.4 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.....	59
5.5 LIMITACIONES QUE PRESENTA LA UTILIZACIÓN DE TINKERCAD.....	60
6.0 REALIZACION DE LOS ENSAYOS IN SITU.....	61
6.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS.....	61
6.2 ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS.....	63
6.3 ENSAYO POR TERMOGRAFÍA.....	64
6.4 ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES.....	66
7.0 COMPONENTES NECESARIOS PARA EL ENSAYO REAL.....	67
7.1 TABLA 1: COMPONENTES ENSAYO POR ULTRASONIDOS.....	67
7.2 TABLA 2: COMPONENTES ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS.....	68
7.3 TABLA 3: COMPONENTES DE ENSAYO POR TERMOGRAFIA.....	70

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

7.4	TABLA 4: COMPONENTES ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES.....	72
8.0	ESCANDALLO DE COMPONENTES PARA LOS ENSAYOS	73
8.1	TABLA 5: ESCANDALLO ENSAYO POR ULTRASONIDOS	73
8.2	TABLA 6: ESCANDALLO ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS	73
8.3	TABLA 7: ESCANDALLO ENSAYO POR TERMOGRAFIA.....	74
8.4	TABLA 8: ESCANDALLO ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES	74
8.5	TABLA 9: ESCANDALLO TOTAL	75
9.0	CONCLUSIONES.....	76
	REFERENCIAS.....	77
	ANEXOS.....	79

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipos de Arduino (Fuente: https://mielelectronicafacil.com/cursos/arduino-principiantes/introduccion/#page-content)	17
Ilustración 2. Arduino en la educación	20
Ilustración 3. UC ingeniería Industrial (Fuente: https://www.eldiariomontanes.es/cantabria/universidad-cantabria-tres-20201111143403-nt.html)	21
Ilustración 4. Características de una onda (Fuente: http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta5/carpetas/quienes/departamentos/ccnn/CCNN-1-2-ESO/2eso/2ESO-12-13/Bloque-III/T-4-Luz-Sonido/T-4-Sonido.html).....	27
Ilustración 5. Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 (Fuente: https://www.hwlibre.com/hc-sr04/)	31
Ilustración 6. Cadena de montaje (Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=HhvX-zqCqeA)	32
Ilustración 7. Campo magnético (virutas) (Fuente: https://acelerandolaciencia.wordpress.com/2017/08/15/el-sol-su-campo-magnetico-y-las-manchas-solares/).....	34
Ilustración 8. Diferentes ángulos de fugas magnéticas (Fuentes: http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.2_particulas_magnticas.pdf)	34
Ilustración 9. Comportamiento de un dipolo (Fuente https://cpstmoctorisco.educarex.es/primaria/6-primaria?start=15)	36
Ilustración 10. Líneas de fuerza en diferentes disposiciones (Fuente: http://cienciarutinaria.blogspot.com/2016/01/)	37
Ilustración 11. Esquema de Yugo electromagnético (Fuente https://docplayer.es/17122383-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-trabajo-estructurado-manera-independiente-previo-a-la-obtencion-del-titulo-de.html)	37
Ilustración 12. Efecto Hall (Fuente: https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/145-efecto-hall/).....	38
Ilustración 13. Sonda Hall (Fuente: Amazon.es)	38
Ilustración 14. Esquema electrónico del Sensor hall (Fuente: https://www.luisllamas.es/medir-campos-magneticos-arduino-hall-49e/)	38
Ilustración 15. Grafica Sensor Hall (Fuente: https://www.luisllamas.es/medir-campos-magneticos-arduino-hall-49e/)	39
Ilustración 16. Termografía de un motor (Fuente: https://www.termografia.tech).....	41
Ilustración 17. Transmitancia	42
Ilustración 18. Reflexión	42
Ilustración 19. Emisividad	42
Ilustración 20. Termografía equipo eléctrico (Fuente: https://www.termografia.tech).....	44
Ilustración 21. Ángulos de Alfa (Fuente: http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.3_liq_penetrantes.pdf).....	46
Ilustración 22. Ensayo de Líquidos penetrantes (Fuente: https://ingenieriagce.wordpress.com/2015/06/25/como-funcionan-las-pruebas-destructivas-en-estructuras-de-acero/).....	48
Ilustración 23. Tinkercad (Fuente: http://biblioteca.uoc.edu/es/recursos/recurso/tinkercad)	49

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Ilustración 24. Entorno de simulación. (Fuente: Propia)	52
Ilustración 25. Esquema Ultrasonidos (Fuente Propia)	53
Ilustración 26. Entorno de simulación (Fuente: Propia)	54
Ilustración 27. Esquema Particula magneticas (Fuente: Propia)	55
Ilustración 28. Entorno de Simulación (Fuente: Propia)	56
Ilustración 29. Esquema Termografía (Fuente: Propia)	57
Ilustración 30. Termografia con escala. (Fuente: http://www.gpnor.com/termografia/)	58
Ilustración 31. Microsoft Teams (Fuente: https://sumamoos.com/blog/consejos-para-el-uso-de-microsoft-teams/)	59
Ilustración 32. Construcción de un LLC con Tinkercad (Fuente: Propia)	60
Ilustración 33. LabView MakerHub (Fuente: Propia)	62
Ilustración 34. Programa Termografía (Fuente: Propia)	64

TABLAS

Tabla de componentes ensayo por Ultrasonidos.....	67
Tabla de componentes ensayo por Partículas magnéticas.....	68
Tabla de componentes ensayo por Termografía.....	70
Tabla de componentes ensayo de Líquidos Penetrantes.....	72
Escandallo del ensayo por Ultrasonidos.....	73
Escandallo del ensayo por Partículas Magnéticas.....	73
Escandallo del ensayo por Termografía.....	74
Escandallo del ensayo por Líquidos Penetrantes.....	74
Escandallo Total.....	75

1.0 INTRODUCCIÓN

En este apartado se exponen la motivación detrás de la realización de este proyecto, así como la metodología que se usara para realizar el mismo y el objetivo final del TFG, es decir el desarrollo de ensayos no destructivos mediante un entorno de simulación de Arduino con fines educativos.

Conforme han avanzado las nuevas tecnologías, la electrónica ha ido tomando un papel más importante y cuantioso en todos los aspectos de la ingeniería. Esto ha propiciado la aparición de la plataforma Arduino, que ha tenido un desarrollo y una expansión muy importante en el ámbito educativo. Estas razones han motivado el desarrollo del presente proyecto en el que se utilizan un entorno de simulación con Arduino para la realización de prácticas de ensayos no destructivos.

1.1 MOTIVACION

Cualquier elemento móvil de una herramienta mecánica está sujeto a un desgaste por el uso que con el paso del tiempo puede llevar a una rotura o un error en la cadena de producción, es por esto por lo que los ensayos no destructivos se utilizan para poder identificar esas fallas y poder prever las posibles fallas sin destruir el objeto a ser estudiado, de ahí su nombre.

Debido a la naturaleza de los ensayos se pueden realizar comprobaciones del estado del material sin miedo a que este se deteriore por el mismo testeo, además el coste de los ensayos, como se indica en este proyecto, es bajo.

Debido a la evolución y desarrollo de las nuevas tecnologías y su incremento de relevancia y necesidad en la industria, ha llevado a la idea de juntar el aspecto accesible de Arduino y la utilidad de los ensayos para demostrar lo beneficioso de ambos mundos y aplicarlo en la educación.

1.2 OBJETIVO

En este proyecto se analizarán, explicarán, y realizarán en simulación una serie de prácticas de ensayos no destructivos (END) utilizando como entorno Arduino y Tinkercad.

Complementariamente se describirán las distintas regulaciones legales de cada uno de los ensayos no destructivos, así como el principio físico de los mismos en una profundidad suficiente para que se entienda y comprenda el funcionamiento de este por parte del estudiante.

Ensayos Por Realizar:

- a) ULTRASONIDOS
- b) PARTICULAS MAGNETICAS
- c) TERMOGRAFIA
- d) LIQUIDOS PENETRANTES

A continuación, se realizará una propuesta de prácticas con relación a los ensayos no destructivos mediante el entorno de simulación, en las que el profesor deberá de complementar mediante grabaciones o retransmisiones a distancia el contenido de las prácticas que no se pueda llevar a cabo en el entorno de simulación para la correcta asimilación por parte del alumno.

Por último, se realizará una descripción de los componentes necesarios para cada ensayo junto a un escandallo de cada uno.

1.3 METODOLOGIA Y DESARROLLO

En un inicio se hace una breve introducción a las motivaciones y objetivos del trabajo para que el lector entienda de forma muy inicial como va a ser, de que va a tratar y como se va a desarrollar.

Después de eso, se hará una pequeña introducción a los temas de Ensayos no Destructivos, Arduino, y el entorno de programación a utilizar.

Se hará referencia también a los aspectos legales y regulaciones que engloban a los ensayos no destructivos para conocer las condiciones de operación a las que están sujetos.

Debido a que los ensayos que vamos a hablar contienen un trasfondo teórico algo complejo se comenzará por explicar la parte teórica de estos tratando de que se tenga una comprensión básica de los mismos y así poder comprender cual es el proceso que ocurre detrás de ellos en su totalidad. Se comenzará con una pequeña introducción al ensayo en cuestión.

Una vez la parte teórica se haya explicado, se continuará con el aspecto práctico del ensayo, para lo que se propondrán una serie de prácticas mediante un entorno de simulación con Arduino apoyado por la plataforma Tinkercad así como la realización de ensayos in situ para completar los conocimientos que no se pudieran adquirir en simulación.

A continuación, se hace una descripción de todos los componentes necesarios para los ensayos.

Ya acercándonos al final se hará un escandallo del coste económico que tendrán los ensayos, sus piezas y sensores (Hardware), para el caso de la realización de los mismo en entorno real.

En la parte final de la memoria, se hará un resumen de todo lo que hemos hablado, así como una conclusión en relación con todo lo descrito a lo largo del trabajo. Al final de este apartado se redactarán los agradecimientos y la bibliografía utilizada.

2.0 OBJETOS DE ESTUDIO

2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba física practicada a un material que no altere de forma permanente ninguna de las cualidades o propiedades de los materiales. Los ensayos no destructivos se basan en la aplicación de procesos físicos sobre materiales, tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, u cualquier otra que no afecte de manera considerable a la muestra por examinar.

Se dividen principalmente en 3 grupos dependiendo del objetivo del ensayo:

a) Pruebas no destructivas Superficiales:

- Inspección Visual
- Líquidos Penetrantes
- Partículas Magnéticas
- Corrientes Inducidas

b) Pruebas no destructivas Volumétricas:

- Radiografía Industrial
- Ultrasonido Industrial
- Emisión Acústica
- Termografía Activa

c) Pruebas no destructivas de hermeticidad:

- Pruebas de fuga
- Pruebas por cambio de presión
- Pruebas de Burbuja
- Pruebas de espectro de masas
- Pruebas de fuga con Rastreadores de Halógeno

La tendencia de la industria es ir adaptando estos ensayos en la cadena de producción, ya que la naturaleza de estos permite que se compruebe las propiedades y características de los materiales de la cadena de producción sin tener que sacarles de esta, y en caso de que se necesiten realizar cambios o ajustes se pueden hacer minimizando la cantidad de piezas con ese fallo o anomalía, todo esto sin la intervención humana de por medio.

Los ensayos no destructivos también pueden ser utilizados para reducir la frecuencia del mantenimiento de los materiales y maquinaria no programado, el cual suele ser más caro que el programado. Al realizar estos ensayos de forma regular se pueden prever futuras fallos de funcionamiento y evitar un gasto mayor al mismo tiempo que se prolonga la vida útil del equipo.

2.2 ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa con diferentes utilidades gracias a su versatilidad [1].

Para poder comprender este concepto hay que conocer los conceptos de hardware y software libres. Son dispositivos y programas de acceso libre de manera que cualquier individuo o entidad empresarial tiene la posibilidad de replicarles de manera gratuita y con completa libertad. Esto significa que cualquier utilidad dada a Arduino por otro usuario la puedes utilizar tú también.

Arduino trae un entorno de programación integrado (IDE), con el que se pueden crear todas las aplicaciones.

El proyecto Arduino comenzó en 2003 cuando varios estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia, decidieron buscar alternativas para facilitar el acceso y uso de la electrónica y la programación. Además, debido a su simplicidad y fácil replicación el coste de Arduino en comparación con competidores

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

contemporáneos como “BASIC Stamp” fue mucho menor dando aún más accesibilidad a aquellos con menos recursos.

El proyecto Arduino al final culminó en una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos, entradas y salidas en un microcontrolador, con una fácil programación y compatible para cualquier sistema operativo (Windows, Linux, Mac...).

Y es por ello por lo que hemos elegido Arduino, una plataforma de código abierto donde se puede encontrar códigos realizados para multitud de diferentes sensores y placas de circuito impreso, permitiendo así una mayor facilidad a la hora de programar por parte del estudiante.



Ilustración 1. Tipos de Arduino (Fuente: <https://mielelectronicafacil.com/cursos/arduino-principiantes/introduccion/#page-content>)

2.3 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

Un programa de Arduino se llama “Sketch” o proyecto y tiene la extensión “.ino” que es después leída por la placa Arduino.

Dentro del Sketch se definen “variables”, que es un lugar en el que se almacena información, tienen un nombre, un tipo y un valor. Por ejemplo, una lectura de cualquier tipo puede almacenarse en una variable que va cambiando con el tiempo.

También hay “Funciones”, o “sub-rutinas”, una parte de código que puede ser usada en el proyecto desde cualquier lugar, y tienen diversos parámetros que los rigen [2]. Por ejemplo:

- a) La función “pinMode()” configura uno de los pines como una entrada o una salida , para usarla pasa el número de pin para configurarlo con un valor concreto, si está configurado como entrada este puede leer por ejemplo, el pulsar un botón. Si está configurado, por el contrario, como una salida, puede en su lugar activar un LED.
- b) La función “Setup()” configura de forma inicial todos los pines y es el corazón de todo programa debido a que es fundamental tener una base sobre la que el programa pueda comenzar, puede pensarse que es como una calibración inicial del sistema.
- c) La función “Loop()” simplemente crea un bucle para que todos los comando se activen de forma continua y de esta manera, tener mediciones constantemente, por ejemplo.

Librerías

Las librerías son trozos de código hechos por terceros que usamos en nuestro sketch. Esto nos facilita mucho la programación y hace que nuestro programa sea más sencillo de hacer y de entender [3].

Las librerías normalmente incluyen los siguientes archivos comprimidos en un archivo ZIP o dentro de un directorio. Estas siempre contienen:

- Un archivo .cpp (código de C++)
- Un archivo .h o encabezado de C, que contiene las propiedades y métodos o funciones de la librería.
- Un archivo Keywords.txt, que contiene las palabras clave del programa.
- Muy posiblemente la librería incluye un archivo readme con información adicional de lo que hace y con instrucciones de cómo usarla.
- Directorio denominado examples con varios sketches de ejemplo que nos ayudará a entender cómo usar la librería (opcional).

2.4 ARDUINO EN LA EDUCACIÓN

Arduino es una herramienta que se puede aplicar a todos los niveles de la enseñanza, desde la escuela primaria, donde puede ser una herramienta de juego que, de forma introductoria, puede ayudar a los alumnos a introducirse en el aprendizaje lógico, físico y la resolución de problemas, como en las universidades donde es ampliamente usado en los campos de la ingeniería, robótica y diseño por nombrar unos pocos [4]. Gracias a Arduino podemos:

- Fomentar el uso de la programación en el aula.
- Usar la programación en escuelas e institutos usando la programación para fomentar la creatividad y la resolución de problemas.
- Realizar proyectos interactivos que faciliten el aprendizaje de cualquier asignatura sin estar necesariamente ligada al mundo de la tecnología.
- Iniciar a los alumnos en el mundo de la electrónica y la robótica.
- Construir herramientas electrónicas a nuestro gusto de forma muy sencilla.
- Aprender a usar sensores para interpretar el mundo que nos rodea.

PENSAMIENTO COMPUTACIONAL

Es una habilidad que nos permite resolver problemas aprovechando la versatilidad de dispositivos computacionales como los ordenadores o los móviles (como representa la Ilustración 2).

Utilizando secuencias o instrucciones y algoritmos somos capaces de alcanzar soluciones a los problemas de la vida misma.

Este pensamiento es importante desarrollarlo debido a que vivimos en un mundo cada vez más digital, por lo que el saber manejar este tipo de tecnología es cada vez más importante [4].

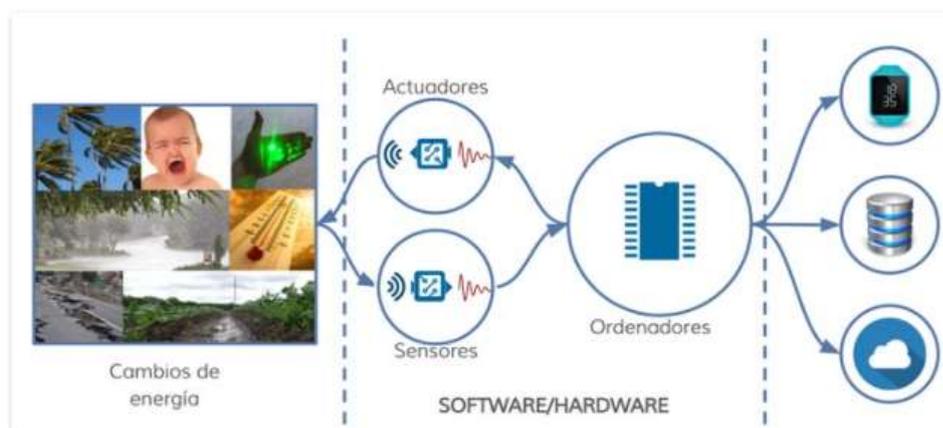


Ilustración 2. Arduino en la educación

(Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/05/06/arduino-en-la-educacion/>)

2.5 ARDUINO EN LAS INGENIERIAS

La universidad es un entorno de educación avanzado en el que se imparten estudios de áreas estrechamente ligados con la tecnología e ingeniería. Es por esto por lo que Arduino es uno de los recursos modernos idóneos para ser usados en la educación de forma extensa, pudiendo ayudar al profesorado a la enseñanza de fundamentos teóricos y prácticos de cualquier tipo, en nuestro caso los Ensayos no destructivos, algo que mayoritariamente se enseña de forma teórica pero no tanto de forma práctica.

Gracias a la versatilidad de Arduino y su bajo coste, es una de las mejores opciones para la educación de conceptos más complicados como los que hay detrás de los ensayos no destructivos. Por ello en este proyecto se desarrollará la base sobre la que se podría construir un entorno de enseñanza usando Arduino en las ingenierías, con el fin de enseñar de forma fiable y comprensible sin requerir de muchos conocimientos de electrónica.

Pese a que Arduino comienza a tener una presencia mayor en la universidad, aun no se ha desarrollado todo su potencial, ya que principalmente se utiliza en ingenierías más relacionadas con la electrónica (como la facultad de ingenieros industriales y telecomunicaciones de la Ilustración 3), algo que debería extenderse a todo tipo de ingenierías ya que servirían de un entorno de enseñanza muy versátil y fácil de usar en cualquier rama de la ingeniería.



Ilustración 3. UC ingeniería Industrial (Fuente: <https://www.eldiariomontanes.es/cantabria/universidad-cantabria-tres-20201111143403-nt.html>)

3.0 ASPECTOS LEGALES: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En este apartado se referirán las normas vigentes que rigen los ensayos no destructivos y su entorno. Principalmente son desarrolladas por:

- ISO (Organización Internacional de Estandarización)
- CTN (Comité Técnico de Normalización)
- CEN (Comité Europeo para la Normalización)

Todas ellas tienen el objetivo de desarrollar un marco legal y común sobre los ensayos no destructivos para que se realicen de forma segura y con un consenso en cuanto a la puesta en práctica de estos [5].

Reglas generales referidas a los ensayos no destructivos:

[5][UNE-EN 1330-1:2015](#) (2020-10-08)

Ensayos no destructivos. Terminología. Parte 1: Lista de términos generales.

[5][UNE-EN 1330-2:1999](#)(2008-10-17)

Estado: VIGENTE /

Ensayos no destructivos. Terminología. Parte 2: Términos comunes a los métodos de ensayos no destructivos.

Reglas de formación de ensayos no destructivos:

[5][UNE-CEN ISO/TS 25107:2020](#) (2020-06-10)

Ensayos no destructivos. Programas de formación en ensayos no destructivos (END). (ISO/TS 25107:2019).

[5][UNE-CEN ISO/TS 25108:2019](#) (2019-11-20)

Ensayos no destructivos. Organismos de formación de personal que realiza ensayos no destructivos (END). (ISO/TS 25108:2018).

[5][UNE-EN 4179:2017](#) (2017-09-20)

Serie aeroespacial. Cualificación y aprobación del personal de ensayos no destructivos.

[5][UNE-EN ISO 9712:2012](#) (2012-11-28)

Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. (ISO 9712:2012).

Reglas referidas al Ensayo de **Ultrasonidos**:

[5][UNE-EN ISO 5577:2017](#) (2017-09-20)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Terminología. (ISO 5577:2017).

[5][UNE-EN ISO 16810:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Principios generales. (ISO 16810:2012).

[5][UNE-EN ISO 16946:2017](#) (2017-07-12)

Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones para los bloques de calibración con escalones. (ISO 16946:2017).

[5][UNE-EN ISO 16809:2020](#) (2020-04-22)

Ensayos no destructivos. Medición del espesor mediante ultrasonidos. (ISO 16809:2017).

[5][UNE-EN 15317:2014](#) (2019-10-17)

Ensayos no destructivos. Ensayo por ultrasonidos. Caracterización y verificación de los equipos de medida del espesor por ultrasonidos.

[5][UNE-EN 12668-1:2010](#) (2016-09-23)

Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación del equipo de examen por ultrasonidos. Parte 1: Aparatos.

[5][UNE-EN 12668-2:2010](#) (2016-09-23)

Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación del equipo de examen por ultrasonidos. Parte 2: Palpadores.

[5][UNE-EN 12668-3:2014](#) (2014-04-02)

Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación del equipo de examen por ultrasonidos. Parte 3: Equipo completo.

[5][UNE-EN ISO 18563-1:2016](#) (2016-01-13)

Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación de los sistemas de ultrasonidos con multielementos con control de fase (phased arrays). Parte 1: Instrumentos. (ISO 18563-1:2015).

[5][UNE-EN ISO 18563-2:2018](#) (2018-04-11)

Ensayos no destructivos. Caracterización y verificación de los sistemas de ultrasonidos con multielementos con control de fase (phased arrays). Parte 2: Palpadores. (ISO 18563-2:2017).

[5][UNE-EN ISO 18563-3:2016](#) (2016-10-05)

Ensayos no destructivos. Características y verificación de los equipos de ultrasonidos con multielementos con control de fase (phased arrays). Parte 3: Sistema completo. (ISO 18563-3:2015).

[5][UNE-EN ISO 17405:2015](#) (2015-01-28)

Ensayos no destructivos. Ensayo por ultrasonidos. Técnica de ensayo de plaqueados realizados por soldadura, laminado o explosión. (ISO 17405:2014).

[5][UNE-EN ISO 16811:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Ajuste de la sensibilidad y de la base de tiempos. (ISO 16811:2012).

[5][UNE-EN ISO 16827:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Caracterización y dimensionamiento de discontinuidades. (ISO 16827:2012).

[5][UNE-EN ISO 16826:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Examen para discontinuidades perpendiculares a la superficie. (ISO 16826:2012).

[5][UNE-EN ISO 16828:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Técnica de difracción del tiempo de vuelo como un método para la detección y dimensionamiento de discontinuidades. (ISO 16828:2012).

[5][UNE-EN ISO 16823:2014](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayos por ultrasonidos. Técnica de transmisión. (ISO 16823:2012).

[5][UNE-EN ISO 2400:2013](#) (2013-02-27)

Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones relativas al bloque de calibración N ° 1. (ISO 2400:2012).

[5][UNE-EN ISO 7963:2011](#) (2011-04-13)

Ensayos no destructivos. Examen por ultrasonidos. Especificaciones para el bloque de calibración N ° 2. (ISO 7963:2006)

Reglas referidas al Ensayo de **Partículas Magnéticas y Líquidos Penetrantes**:

[5][UNE-EN ISO 9934-1:2017](#) (2017-07-26)

Ensayos no destructivos. Ensayo por partículas magnéticas. Parte 1: Principios generales. (ISO 9934-1:2016).

[5][UNE-EN ISO 9934-2:2016](#) (2016-04-13)

Ensayos no destructivos. Ensayo por partículas magnéticas. Parte 2: Medio de detección. (ISO 9934-2:2015).

[5][UNE-EN ISO 9934-3:2016](#) (2016-04-13)

Ensayos no destructivos. Ensayo por partículas magnéticas. Parte 3: Equipos. (ISO 9934-3:2015).

[5][UNE-EN ISO 12707:2016](#) (2016-09-28)

Ensayos no destructivos. Ensayo por partículas magnéticas. Terminología (ISO 12707:2016)

[5][UNE-EN ISO 3452-1:2013](#) (2014-07-02)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 1: Principios generales. (ISO 3452-1:2013, versión corregida 2014-05-01).

[5][UNE-EN ISO 3452-2:2014](#) (2014-03-26)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 2: Ensayo de productos penetrantes. (ISO 3452-2:2013).

[5][UNE-EN ISO 3452-3:2014](#) (2014-03-26)

Ensayos no destructivos. Ensayos por líquidos penetrantes. Parte 3: Bloques patrón. (ISO 3452-3:2013).

[5][UNE-EN ISO 3452-4:1999](#) (2008-11-07)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 4: Equipo. (ISO 3452-4:1998)

[5][UNE-EN ISO 3452-5:2009](#) (2009-12-22)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 5: Ensayo por líquidos penetrantes a temperaturas superiores a 50 °C (ISO 3452-5:2008)

[5][UNE-EN ISO 3452-6:2009](#) (2009-12-22)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 6: Ensayo por líquidos penetrantes a temperaturas inferiores a 10 °C. (ISO 3452-6:2008)

[5][UNE-EN ISO 12706:2010](#) (2010-07-14)

Ensayos no destructivos. Ensayos por líquidos penetrantes. Vocabulario. (ISO 12706:2009)

[5][UNE-CEN/TR 16638:2014](#) (2020-01-01)

Ensayos no destructivos. Ensayo mediante líquidos penetrantes y partículas magnéticas utilizando luz azul (Ratificada por AENOR en agosto de 2014.)

[5][UNE-CEN/TS 17100:2017](#) (2017-11-01)

Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Fotografías de referencia y calibrado de indicaciones (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2017.)

[5][UNE-CEN/TR 17108:2017](#) (2017-08-01)

Ensayos no destructivos. Buenas prácticas de iluminación en los ensayos de partículas magnéticas y líquidos penetrantes. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en agosto de 2017.)

[5][UNE-EN ISO 3059:2013](#) (2013-02-27)

Ensayos no destructivos. Ensayo mediante líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Condiciones de observación. (ISO 3059:2012).

Reglas referidas al Ensayo por Termografía:

[5][UNE-EN 17119:2019](#)

Estado: VIGENTE / 2019-05-22

Ensayos no destructivos. Ensayos termográficos. Termografía activa.

[5][UNE-EN 16714-1:2017](#)

Estado: VIGENTE / 2017-02-22

Ensayos no destructivos. Ensayo por termografía. Parte 1: Principios generales.

[5][UNE-EN 16714-2:2017](#)

Estado: VIGENTE / 2017-02-22

Ensayos no destructivos. Ensayo por termografía. Parte 2: Equipo.

[5][UNE-EN 16714-3:2017](#)

Estado: VIGENTE / 2017-02-22

Ensayos no destructivos. Ensayo por termografía. Parte 3: Términos y definiciones.

4.0 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

4.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS

INTRODUCCIÓN

El ensayo por ultrasonido, también conocido como ensayo no destructivo, es un método para caracterizar el espesor o las estructuras internas de una pieza bajo ensayo mediante la aplicación de ondas ultrasónicas de alta frecuencia. Las frecuencias, o emisiones, que son usadas para los ensayos por ultrasonido están por encima del límite perceptible por el oído humano, comúnmente en un rango de 500 kHz a 20 MHz [6].

Las principales aplicaciones en la industria contemporánea son:

- Control de Calidad
- Mantenimiento predictivo

PRINCIPIOS FISICOS

El sonido es simplemente la vibración mecánica de las partículas de un medio elástico. Las partículas de las que está compuesto un medio vibran individualmente sin cambiar su posición; si la conexión con las partículas adyacentes es suficientemente elástica, provocará que las partículas vibren, lo que permite que el sonido viaje a través del medio [9].

Principales características de una onda:

- 1-Velocidad
- 2-Frecuencia
- 3-Longitud de onda

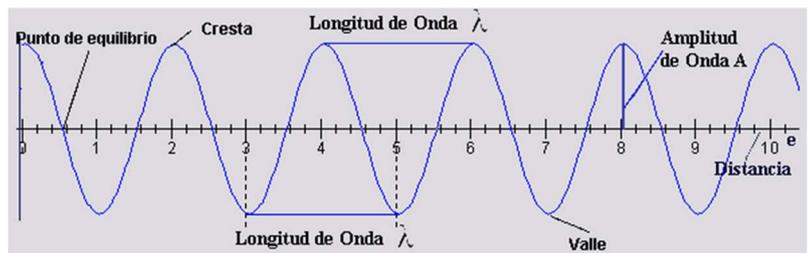


Ilustración 4. Características de una onda (Fuente: <http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta5/carpeta5/quienes/departamentos/ccnn/CCNN-1-2-ESO/2eso/2ESO-12-13/Bloque-III/T-4-Luz-Sonido/T-4-Sonido.html>)

Para describir con precisión las características de una onda se han de conocer con precisión los siguientes parámetros:

Amplitud

La amplitud de un sonido es el máximo alejamiento de las partículas de su posición de equilibrio. A mayor amplitud, mayor vibración de la partícula y mayor energía transportada por la onda. Nuestro oído percibe la amplitud como intensidad sonora. De hecho, la amplitud es directamente proporcional a la intensidad de la onda.

La amplitud se mide en unidades de longitud, metro (m) cuando se trata de una onda mecánica, en las ondas acústicas en pascales (Pa) o en decibelios (dB) y en las ondas electromagnéticas en voltios/metro (v/m).[18]

Frecuencia

Frecuencia es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo. La frecuencia en los fenómenos ondulatorios, tales como el sonido, las ondas electromagnéticas (como las de la radio o la luz), señales eléctricas u otras ondas, expresa el número de ciclos que se repite la onda por segundo.[18]

En el sistema internacional la medida de la frecuencia es Hercios (Hz)

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Velocidad acústica

La rapidez con la que la onda viaja a través de un medio es la velocidad (C). La velocidad a la que los ultrasonidos se transmiten por un medio determinado depende de la densidad y de la elasticidad de dicho medio. Esta velocidad es fundamental, pues no sólo es uno de los factores que intervienen en la producción del eco, sino que además es la base para calcular la impedancia acústica, que a su vez es clave para la absorción.[18]

Velocidad máxima de vibración

Es la velocidad propia de la partícula en su movimiento oscilatorio.

Longitud de onda

La longitud de onda λ se define como la distancia que recorre una onda electromagnética en un tiempo igual a un período. Matemáticamente, esto se traduce en:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

El componente principal y en el que se basa el ensayo es el sensor de ultrasonidos, el cual, mediante un pulso ultrasónico, conociendo sus características, podemos determinar la distancia entre el sensor y el objeto a medir.

La velocidad del sonido es 343 m/s en unas condiciones de 20° C y 50% de humedad a nivel del mar.

Debido a la velocidad de propagación del pulso el tiempo se medirá en microsegundos (μs) y como estamos hablando de distancias pequeñas, se medirá en centímetros (cm).

Transformando las unidades:

$$343 \frac{m}{s} \cdot 100 \frac{cm}{m} \cdot \frac{1 s}{10^6 \mu s} = \frac{1 cm}{29,6 \mu s} \quad (3)$$

Por lo que sabemos que el pulso tarda 29,2 μs en desplazarse 1 cm. De esta forma sabiendo el tiempo de emisión y el tiempo de vuelta podemos calcular la distancia a la que este el objeto:

$$\text{Distancia (cm)} = \frac{\text{Tiempo } (\mu\text{s})}{29,2 \cdot 2} \quad (4)$$

El tiempo se divide entre dos ya que el tiempo total sería lo que tarda el pulso en ir, alcanzar al objeto, y volver.

De esta manera podemos preparar un entorno en el que podamos medir la distancia del sensor a un objeto pudiendo inferir de ahí las medidas reales del objeto teniendo en cuenta la posición del banco de trabajo de forma previa.

Este entorno no es más que conocer las medidas iniciales del banco de trabajo, distancias y medidas que al colocar n objeto conozcamos la diferencia al realizar la medición. Por ejemplo, si conocemos que el tope del banco está a 2 cm, habiendo hecho la medición con el sensor, y ponemos una pieza que al volver a hacer la medición está a 0.5 cm, podemos calcular de ahí que la pieza mide 1.5 cm en ese eje.

Es por ello por lo que utilizando un sensor y un Arduino podemos automatizar todo este proceso consiguiendo una mayor eficacia y precisión en las mediciones.

En el capítulo 5.1 se propone unas prácticas que complementen una asignatura poniendo en uso lo descrito hasta ahora.

Problemas del sensor ultrasónico:

-Teóricamente el rango del sensor es entre 2 cm y 400 cm, pero a la hora de la verdad el rango de efectividad es mucho menor, entre 2 y 200 cm

-Son susceptibles a fallos de medición debido a fallas de uniformidad en la superficie del objeto medido o en la orientación de este. Además, su fiabilidad es muy baja en espacios donde hay muchos objetos debido a mediciones fantasma y ecos. Por este motivo tampoco son efectivos al aire libre.



Ilustración 5.Sensor de Ultrasonidos HC-SR04 (Fuente: <https://www.hwlibre.com/hc-sr04/>)

SU USO EN LA INDUSTRIA

Dentro de su uso industrial cabe destacar su gran importancia en la caracterización de materiales tales como metales plásticos materiales compuestos y cerámicas. Los únicos materiales utilizados en la ingeniería en los que no es posible usar este ensayo es en la madera y el papel.

Como se refleja en el proyecto otra de sus aplicaciones es en los ensayos no destructivos con el objetivo de comprobar las características del material y si cumple con los requisitos de su futura aplicación (Control de calidad). Ya sea detectando heterogeneidades en el material o comprobando sus medidas.

En el campo de la biomedicina cabe destacar su gran importancia en la realización de diagnósticos por imágenes y en la investigación [8].



Ilustración 6. Cadena de montaje (Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=HhvX-zqCqeA>)

4.2 ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS

INTRODUCCION

El principal objetivo del ensayo es detectar discontinuidades superficiales o subsuperficiales mediante el uso de un campo magnético.

Para ello es necesario que los materiales analizados sean ferromagnéticos, ya que son los únicos que son capaces de cargarse magnéticamente lo suficiente para que este método sea lo suficientemente eficaz. Al pasarles por un campo magnético y analizando esos datos se puede dibujar de forma aproximada la forma del material y ver si se encuentran dichas imperfecciones.

A la hora de detectar estas irregularidades se debe tener en cuenta su profundidad y su morfología debido a que cuanto más profunda sea la falla, más cuesta el ser detectado y pasara, en comparación, de ser visible a simple vista a ser prácticamente indetectada.

Junto a esto la orientación de la falla con el campo magnético también afecta, en el mejor de los casos ambos serán perpendiculares. En la práctica esto es imposible de saber a ciegas por lo que siempre se realizará el ensayo con al menos dos campos magnéticos que distan 90º entre sí para que, de esta manera, se pueda detectar las distorsiones de la pieza de estudio en cualquier dirección.

El ensayo se basa principalmente en las líneas de fuerza que se crean por la presencia de un campo magnético, en este cuando hay una discontinuidad estas fuerzas se ven obligadas a salir del objeto para volver a entrar, provocando así una visible discontinuidad. El fenómeno se llama “campo de fuga”. Este fenómeno se puede ver claramente cuando se espolvorean virutas de hierro con el campo magnético activado y se verá como las virutas se apelmazan allí donde ha falta de material creando un puente para que deje de haber esa escasez [10].

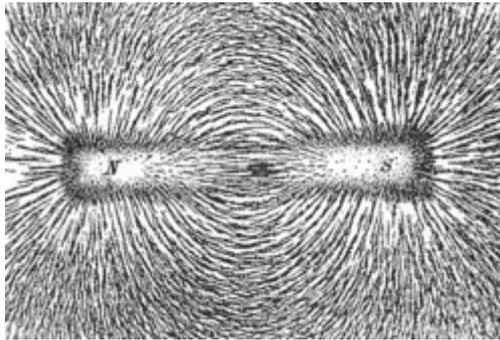


Ilustración 7. Campo magnético (virutas) (Fuente: <https://acelerandolaciencia.wordpress.com/2017/08/15/el-sol-su-campo-magnetico-y-las-manchas-solares/>)

El ensayo por partículas magnéticas ese realiza mezclando dos ensayos distintos:

Ensayo de fuga de flujo magnético: Como se ha explicado brevemente en la introducción el ensayo de fuga consta en, mediante un campo magnético, y usando las líneas de fuerza de este, encontrar en la superficie del material una “fuga” que provoca que las líneas de fuerza salgan del material, para volver a entrar provocando una discontinuidad en la lectura del campo magnético.

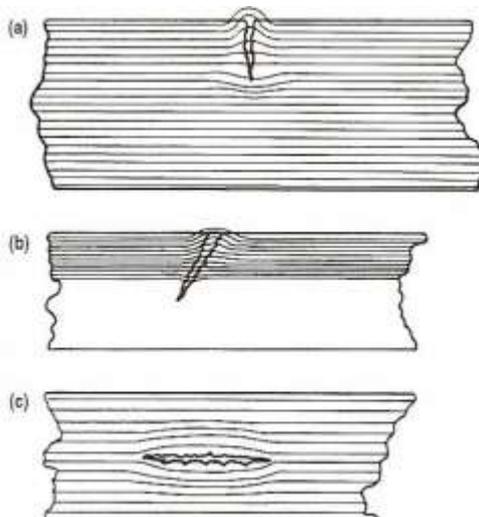


Ilustración 8. Diferentes ángulos de fugas magnéticas (Fuentes: http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.2_particulas_maanticas.pdf)

Ensayo visual: Al haber una fuga, se asocia a la creación de un nuevo imán con polos semejantes a los de la pieza original, por lo que si se espolvorean virutas de un material ferromagnético las virutas serán atraídas hacia esos polos de la fuga permitiendo ver a simple vista la localización de la fuga [11].

De forma resumida el Ensayo de partículas magnéticas consiste en los siguiente:

- 1- Cuando un material es sometido a un campo magnético y este tiene discontinuidades superficiales se puede observar que distorsionan sus líneas de fuerza.
- 2- Si las fugas se sitúan cerca de la superficie del material se crean “campos de fugas”
- 3- Al aplicar partículas magnetizadas sobre estos campos de fuga se puede ver a simple vista la localización de la fuga por sus polos.
- 4- Si el campo magnético principal y la discontinuidad están en planos paralelos no se podrá observar ninguna variación.

La inspección por ensayo de partículas magnéticas se puede realizar tanto en la etapa de producción como en la etapa de servicio:

En Fabricación: Se utiliza en esta etapa debido a la facilidad de uso y lo útil que es a la hora de encontrar materiales con fallos en la etapa de producción. Se usa en todo tipo de servicios, desde la forja hasta mecanizados y tratamientos.

En Servicio: También durante el servicio, ya que con el uso los materiales pueden sufrir desperfectos o simplemente por el desgaste del tiempo se pueden ver en cuestionable integridad, el ensayo de partículas magnéticas ayuda en todo momento a detectar estos posibles problemas para solventarles.

PRINCIPIOS FISICOS

CAMPOS MAGNETICOS

Un campo magnético es la representación matemática del modo en que las fuerzas magnéticas se distribuyen en el espacio que circunda a una fuente magnética

Una de las características fundamentales de los campos magnéticos es que son dipolares, es decir, tienen dos polos, uno positivo y uno negativo. Como consecuencia las líneas de fuerza que se utilizan son siempre cerradas, van siempre del polo positivo al negativo (norte->sur). [17]

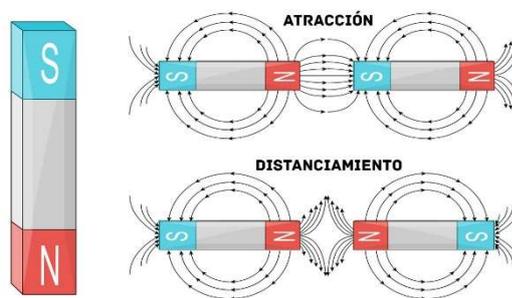


Ilustración 9. Comportamiento de un dipolo (Fuente <https://cpstmotorisco.educarex.es/primaria/6-primaria?start=15>)

CREACION DE CAMPOS MAGNETICOS

Para que exista un campo magnético es obligatoria la existencia de una fuente de energía magnética, como un imán, una carga o una corriente eléctrica.

Una carga eléctrica genera a su alrededor un campo magnético que ejercerá una fuerza sobre otra carga en movimiento, al igual que con las corrientes eléctricas.

En el caso de los imanes permanentes, la razón de que se cree un campo magnético es debido a unos procesos microscópicos que se dan en el material del imán, que, como resultado, dan un campo magnético.

Tipos de Campo magnético:

- Campos provenientes de un imán
- Campos provenientes de una corriente eléctrica

LÍNEAS DE FUERZA

Una línea de fuerza es la representación matemática del campo magnético en un espacio, estas líneas son cerradas y se mueven del norte al sur de polo. Las líneas de fuerza no se cruzan entre sí y son capaces de magnetizar ciertos tipos de materiales si entran en contacto con ellas.

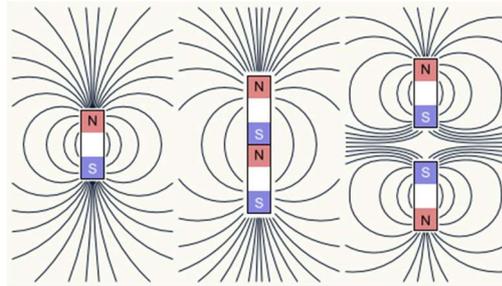


Ilustración 10. Líneas de fuerza en diferentes disposiciones (Fuente: <http://cienciarutinaria.blogspot.com/2016/01/>)

MAGNETIZACION POR ELECTROIMÁN

Para los ensayos no destructivos se suele utilizar un yugo electromagnético. Este yugo tiene forma de “U” con brazos móviles que le permiten adaptarse mejor a la pieza variando también la distancia entre los polos. El yugo induce un campo magnético entre sus polos y son usados para realizar una magnetización local. Para la creación del campo se utiliza una bobina, que está dentro del yugo y transmitida a través de sus polos. Este campo puede ser continuo (rectificado) o alterno.

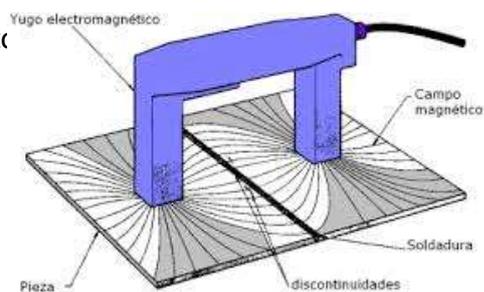


Ilustración 11. Esquema de Yugo electromagnético (Fuente <https://docplayer.es/17122383-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-trabajo-estructurado-manera-independiente-previo-a-la-obtencion-del-titulo-de.html>)

SONDA HALL

Una sonda hall es un dispositivo que lleva el nombre del efecto por el cual aparece un campo eléctrico por la separación de cargas en el interior de un conductor en presencia de un campo magnético. El campo eléctrico que se crea es perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético presente [15].

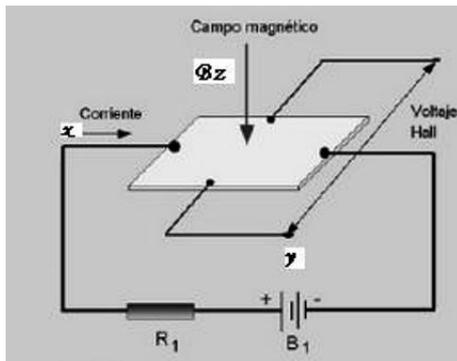


Ilustración 13. Sonda Hall (Fuente: Amazon.es)

Ilustración 12. Efecto Hall (Fuente: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/145-efecto-hall/>)

La principal aplicación para la sonda hall en este proyecto es la medición del campo magnético con el objetivo de saber si el yugo electromagnético funciona correctamente sin variaciones de flujo si la pieza de estudio esta magnetizada correctamente.

Funcionamiento del sensor de efecto hall:

Este tipo de sensor tiene la electrónica necesaria incorporada para convertir un flujo magnético en una salida de tensión lineal de -100 a 100 mT ($T= Wb \cdot m^{-2}$). Este tipo de sensor está equipado con un filtro para evitar interferencias.

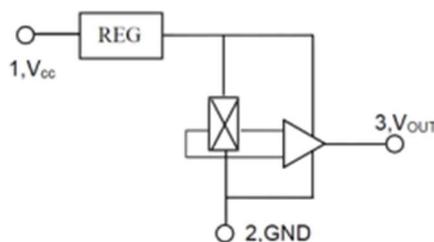


Ilustración 14. Esquema electrónico del Sensor hall (Fuente: <https://www.luisllamas.es/medir-campos-magneticos-arduino-hall-49e/>)

La siguiente gráfica representa de forma lineal la relación que existe entre el flujo de lectura y la tensión de salida que nos daría el sensor Hall:

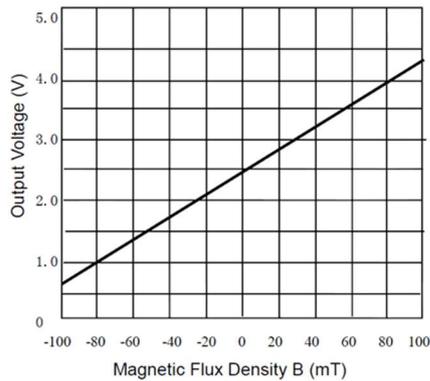


Ilustración 15. Gráfica Sensor Hall (Fuente: <https://www.luisllamas.es/medir-campos-magneticos-arduino-hall-49e/>)

Interpolando en la gráfica anterior obtenemos la siguiente expresión para la respuesta en tensión respecto al flujo magnético medido por el sensor Hall 49E:

$$V = 0.018 \cdot B + 2.5 \quad (5)$$

O equivalentemente, invirtiendo la ecuación, llegamos a la ecuación necesaria para poder obtener la densidad de flujo magnético a partir de la respuesta del sensor:

$$B = 53.33 \cdot V - 133.3 \quad (6)$$

El ensayo de partículas magnéticas sirve para detectar fallas estructurales internas en un material, utilizando un campo magnético inducido mediante un yugo podemos magnetizar la pieza y utilizando un material revelador, el cual es magnético y seguirá las líneas de fuerza a través del material podremos detectar a simple vista los lugares del material en los que haya fallos de este tipo.

La función principal del sensor Hall es la comprobación de que el yugo electromagnético esté funcionando correctamente, esto lo consigue debido a que el campo magnético del yugo infiere una corriente eléctrica a través del medible, y en base a esa medición podemos conocer la fuerza del campo.

En el capítulo 5.2 se propone una práctica para reforzar todos estos conceptos que se aprenden en las asignaturas de la ingeniería.

SU USO EN LA INDUSTRIA

El ensayo de partículas magnéticas es un método utilizado para la detección de fallas superficiales y subsuperficiales. Debido a sus características teóricas este ensayo solo se puede utilizar en materiales ferromagnéticos. La eficacia en la detección de estas fallas decrece cuando esa falla se encuentra a mucha profundidad [7].

El ensayo es utilizado en inspecciones en las siguientes industrias:

- Acero estructural
- Automoción
- Petroquímica
- Generación de electricidad
- Aeroespacial
- Marítima

4.3 ENSAYO POR TERMOGRAFIA

INTRODUCCION

La termografía es un método de estudio que sirve para estudiar la temperatura de un objeto determinado. La principal ventaja que aporta es que no provoca ningún tipo de daño ya que no requiere de contacto directo con el objeto de estudio.

La información que capta se almacena de forma inmediata en una base de datos lo que permite seguir de forma fácil y cómoda la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo [11].

La termografía funciona a través de las radiaciones de infrarrojos. Gracias al empleo de un termógrafo podemos captar el espectro electromagnético de un objeto e identificar así su temperatura.

El termógrafo convierte estos datos en la información que necesitamos para conocer la temperatura de un objeto. A través de una variedad cromática nos indicará la temperatura. Siendo las partes azules las más frías y las partes rojas las de mayor temperatura.

Las principales aplicaciones del ensayo por termografía es el mantenimiento preventivo, pero se puede resumir en los siguientes sectores:

- Sistemas eléctricos
- Sistemas mecánicos
- Construcción
- Hornos y calderas
- Visualización de flujo
- Tanques y depósitos



Ilustración 16. Termografía de un motor (Fuente: <https://www.termografia.tech>)

PRINCIPIOS FISICOS

La temperatura de un objeto cuanto más aumenta, más aumentan las emisiones de radiación infrarroja que son emitidas.

Una cámara termográfica mide la onda larga de la radiación infrarroja la cual está directamente relacionada con la temperatura del objeto, dependiendo de su temperatura el objeto, visto a través de la cámara, toma un color más rojizo, cuanto más alta la temperatura, y más azulado, cuanto más baja.

Para ello se ha de medir [16]:

Emisividad (ϵ)

La emisividad es la capacidad de un cuerpo de emitir radiación. Los valores de emisividad fluctúan entre 0 y 1 ya que son comparaciones con un radiador perfecto.

Para referencia, la emisividad de la piel humana es de 0.98, cerca de ser un radiador perfecto. Por el otro lado el cobre, material del que están hechos los cables tiene una emisividad de 0,01 [12].

Reflexión (ρ)

La reflexión es la medida de la capacidad de un material de reflejar la radiación infrarroja. Depende de las propiedades de la superficie, la temperatura y el tipo de material. La rugosidad del material también afecta a la reflexión, donde un material liso reflejara la radiación de forma más intensa que una rugosa.

Transmisión (t)

Es la capacidad de un material de transmitir la radiación infrarroja (cuan permeable es a la radiación). Depende del tipo y del grosor del material.

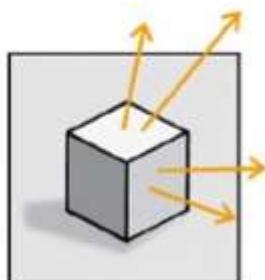


Ilustración 19. Emisividad

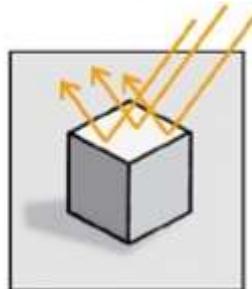


Ilustración 18. Reflexión

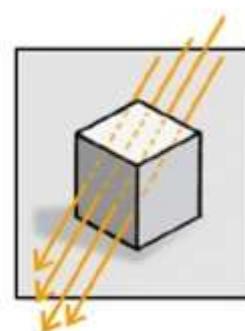


Ilustración 17. Transmitancia

El ensayo por termografía tiene como función conocer el estado de un sistema durante su funcionamiento, esto se hace conociendo la temperatura a la que funciona ese sistema. Por ejemplo, en el caso de un eje de un motor, mediante una termografía podríamos conocer posibles problemas de rozamiento en partes del eje sin necesidad de parar dicho motor, pudiendo así verificar de forma preventiva estos problemas emergentes y actuar antes de que ocurran.

Para la realización del ensayo se necesita un sensor que detecte la temperatura y un entorno que interprete esas medidas para mostrarlas en cámara, en el capítulo 5.3 se explica como se consigue esto y se propone una practica que refuerce todos estos conceptos teóricos mediante la realización del ensayo.

SU USO EN LA INDUSTRIA

El ensayo por termografía nos indica la temperatura del objeto de estudio, lo cual nos es ideal para conocer sus condiciones de funcionamiento en un momento en particular, permitiendo así encontrar, por ejemplo, fugas o aparatos eléctricos defectuosos.

Debido a sus características es muy sencillo almacenar información y poder hacer un estudio a lo largo del tiempo del objeto de estudio permitiéndonos conseguir:

- El estado térmico de la instalación
- Localizar fugas y puntos de actuación
- Evitar interrumpir el proceso productivo
- Alargar la vida útil del equipo
- Una mayor eficiencia energética.

De forma habitual es utilizado en la industria en mantenimiento predictivo y en la detección de fugas, debido a que nos muestra rangos de temperatura permitiéndonos ver lo invisible al ojo humano, la temperatura [7].

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En este ensayo lo que se pretende conseguir es las mediciones de temperatura de un objeto/instalación para conocer su estado térmico. Conociendo la temperatura en distintas partes de los elementos podemos determinar si su funcionamiento es correcto o hay algún problema.

Si observamos la Ilustración 20 podemos ver que partes del circuito eléctrico se encuentran a una mayor temperatura que el resto, pudiendo determinar que la parte inferior izquierda está a una mayor temperatura. Esto nos permite conocer de antemano si nuestro sistema funciona correctamente, y si no es así, actuar antes de que se produzca una avería.



Ilustración 20. Termografía equipo eléctrico
(Fuente: <https://www.termografia.tech>)

4.4 ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

INTRODUCCION

El ensayo no destructivo de líquidos no penetrantes tiene como objetivo la localización de cualquier tipo de imperfección en la superficie de un material a sea superficial o subsuperficial, en materiales metálicos o no metálicos.

En este ensayo se utiliza un líquido que es aplicado sobre la superficie a estudiar, este líquido tiene un gran poder humectante, que se traduce en una gran penetración en el material mostrando imperfecciones del material [13].

Existen varios tipos de líquidos penetrantes:

- Líquidos penetrantes coloreados, los cuales llevan un pigmento que los hacen visibles a simple vista con luz natural.
- Líquidos penetrantes fluorescentes, los cuales necesitan de una luz especial para su observación.
- Líquidos penetrantes mixtos, mezcla de los dos ya citados.

Para la realización del ensayo se han seguido las directrices impuestas según la Norma Europea EN ISO 3452-1:2013

PRINCIPIOS FISICOS

La principal característica de este método es el poder humectante del líquido utilizado, para mojar lo suficiente y que el líquido penetre lo más profundo posible con el objetivo de determinar la gravedad de los imperfectos. El líquido debe de ser capaz de permear lo suficiente para poder introducirse incluso en las discontinuidades que no sean apreciables a simple vista para que a posteriori, con un revelador, se puedan hacer visibles.

Poder humectante

Si tenemos una gota de líquido sobre la superficie sólida, las fuerzas de cohesión y las fuerzas de adherencia determinan un ángulo de contacto, o ángulo mojado α (Ilustración 26).

Si α es menor de 90° , el líquido moja la superficie y su poder humectante es bueno.

Si α es igual o mayor a 90° el poder humectante es malo ya que no moja la superficie lo suficiente [14].

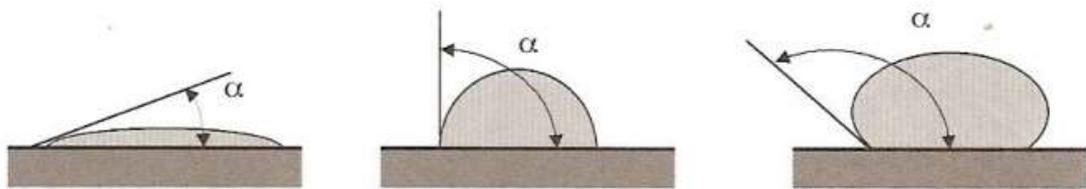


Ilustración 21. Ángulos de Alfa (Fuente: http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.3_liq_penetrantes.pdf)

$$PODER\ HUMECTANTE = T \cdot \cos \theta$$

Tensión Superficial

La tensión superficial se puede definir como la fuerza por unidad de longitud que se ejerce tangencialmente sobre la superficie de separación entre un líquido y un gas.

La tensión superficial es la causa de la resistencia que ofrecen los líquidos a la rotura de su superficie.[19]

Viscosidad

Fuerza que se opone al movimiento del propio fluido, cuanto más viscoso el líquido más le cuesta moverse. Cada líquido tiene una viscosidad particular medida en Poise, la unidad de viscosidad dinámica del Sistema Cegesimal de Unidades (equivalente a 0.1 Pa*s).

Esta fuertemente ligada a la temperatura, pues cuanto más alta es la temperatura más disminuye la viscosidad ayudando a que el líquido fluya sin problemas.[19]

Temperatura

La temperatura a la que está el líquido, vinculado a la viscosidad.

Capilaridad

La capilaridad es una propiedad de los fluidos que depende de su tensión superficial, la cual, a su vez, depende de la cohesión del fluido, y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.[19]

Todos estos conceptos son necesarios para la realización del ensayo y su correcto desempeño, ya que son conceptos esenciales en el Ensayo de Líquidos Penetrantes.

En el capítulo 5.4 se propone una práctica en la que se aplican estos conocimientos y mediante una grabación/retransmisión el profesor encargado pueda hacer una demostración aplicando estos conceptos.

En el ensayo, una vez realizado el proceso completo se deben interpretar los resultados, estos resultados deben de ser interpretados según la norma ASTM E 433[14] “fotografías de referencia para inspecciones por líquidos penetrantes”.

Aunque hay que puntualizar que puede haber un fallo en la interpretación si no se ha realizado el proceso de limpieza correctamente.

APLICACIONES DEL ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

Según el proceso de aplicación:

- Fundición -Extrusión
- Soldadura -Mecanizados
- Forja -Laminación

Según el tipo de industria:

- Ind. Aeronautica -Construccion
- Ind. Nuclear -Ind. Naval
- Ind. Automocion -Ind. Ferroviaria

SU USO EN LA INDUSTRIA

Este ensayo se utiliza para la obtención de datos sobre el estado superficial de un material, principalmente metales, aunque también puedan ser utilizados en materiales cerámicos y plásticos.

Frente al resto de ensayos tiene una gran ventaja, su bajo coste. Además, no requiere de una preparación o un equipo excesivamente sofisticado.

Por eso es extensamente utilizado en la industria en mantenimiento e inspecciones de todo tipo de aplicación ya que nos permite recoger datos sobre los materiales de forma rápida y fácil de interpretar [7].



Ilustración 22. Ensayo de Líquidos penetrantes (Fuente:

<https://ingenieriaqce.wordpress.com/2015/06/25/como-funcionan-las-pruebas-destructivas-en-estructuras-de-acero/>)

5.0 PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Hoy en día la industria utiliza los ensayos no destructivos a diario, en control de calidad, en pruebas de rendimiento, en reparaciones etc. Es por esto por lo que las universidades deben de asegurar que sus estudiantes tengan un conocimiento tanto teórico como práctico de los ensayos no destructivos.

Por ello, en este proyecto, propone la realización de unas prácticas, en las cuales los alumnos puedan adquirir conocimientos acerca de los ensayos no destructivos, su uso, y su importancia en la industria de hoy en día.

En los tiempos que corren, año 2020-2021, en situación de pandemia, sin la posibilidad de realizar clases teóricas y prácticas presenciales ha supuesto una bajada en la eficacia de los métodos de educación en todas las facultades, pudiendo provocar una falta de conocimientos importante. Una posible solución ante esta situación es la utilización de los medios a nuestra disposición como son los simuladores. Es por ello, que propongo la utilización de Tinkercad (Ilustración 26), una herramienta de Autodesk, para la realización de prácticas de simulación de ensayos no destructivos apoyados por Arduino, ideal para los tiempos que corren.

Tinkercad es una herramienta web que nos permite utilizar y simular diversos dispositivos electrónicos, programarles y ponerles en funcionamiento de forma muy sencilla y accesible. Tinkercad dispone de dispositivos extensamente utilizados en la industria, conteniendo placas de Arduino, componentes eléctricos y electrónicos como diodos, resistencias, condensadores, baterías, servomotores, diodos o sensores, entre muchos otros elementos.



Ilustración 23. Tinkercad (Fuente: <http://biblioteca.uoc.edu/es/recursos/recurso/tinkercad>)

Las prácticas que se proponen en este proyecto, ya que contienen conocimientos necesarios tanto de materiales como de electrónica podrían ser impartidas en asignaturas de estas dos áreas de conocimiento, o incluso en colaboración. En nuestro caso, en la E.T.S de Náutica de la Universidad de Cantabria, por los siguientes departamentos:

-DPTO. TECNOLOGIA ELECTRONICA E INGENIERIA DE SISTEMAS Y AUTOMATICA

-DPTO. CIENCIA E INGENIERIA DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

CONOCIMIENTOS NECESARIOS

Para poder realizar las practicas es necesario que el alumno haya adquirido unos conocimientos previos mínimos en las asignaturas anteriores.

Específicamente:

-Conocimientos generales sobre el funcionamiento de lenguajes de programación, pudiendo interpretarles.

-Conocimientos de electricidad; voltajes, amperajes, potencias, conexión de circuitos.

-Conocimientos de electrónica; dispositivos, conexión de dispositivos y sus entradas y salidas.

-Conocimientos de materiales; características básicas de materiales, ferromagnetismo, dureza, temperatura.

-Conocimiento de los ensayos no destructivos; bases teóricas (ver capítulo 4) aprendidas en la asignatura en la que se impartan estas prácticas.

OBJETIVOS

El principal objetivo de las practicas es que el alumno asimila los fundamentos teóricos estudiados previamente y los lleve a la práctica, es decir, que sea capaz de realizar los ensayos por sí mismo, pudiendo interpretar el resultado de forma adecuada.

Por otro lado, también aprenderá a utilizar un entorno de simulación, poniendo en práctica los conocimientos aprendidos en asignaturas previas relacionadas con la programación, la electrónica, y los materiales.

5.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS

PRACTICA 1: Simulación de Ensayo por ultrasonidos

Tiempo Estimado: 2 horas

Objetivos de la práctica: Construir en el entorno de simulación “Tinkercad” el circuito de ultrasonidos capaz de detectar objetos próximos.

Conocimientos previos: Apartado 4.1 “Ensayo de Ultrasonidos”

Descripción de la práctica: Para realizar la practica debemos ir al entorno de simulación “Tinkercad” situado en “www.tinkercad.com”, y conectarnos con nuestra cuenta de la universidad para poder acceder.

Una vez dentro veremos una barra con diferentes opciones en la parte izquierda de la pantalla, ahí podemos encontrar la pestaña “circuitos”, nos permitirá crear simulaciones de circuitos utilizando un catálogo de componentes. Seleccionamos “Crear nuevo circuito”.

Tras crear un nuevo proyecto se nos abrirá el entorno de simulación, a la derecha donde podemos ver los componentes que se pueden simular y programar a nuestro gusto.

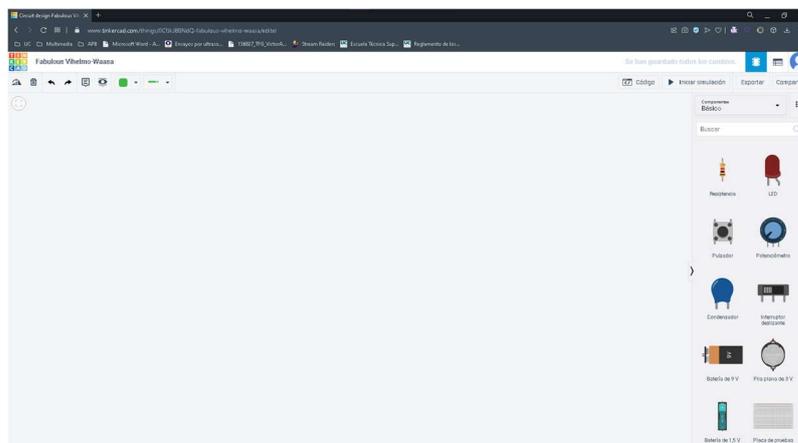


Ilustración 24. Entorno de simulación. (Fuente: Propia)

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Para introducir los elementos en el entorno de simulación solo tenemos que hacerles clic y arrastrar a la parte de la pantalla donde queremos colocarles.

Una vez introducidos los componentes necesarios para la práctica, los cuales están listados al final de la práctica. Solo queda realizar las conexiones pertinentes:

Esquema de conexiones Ensayo por Ultrasonidos:

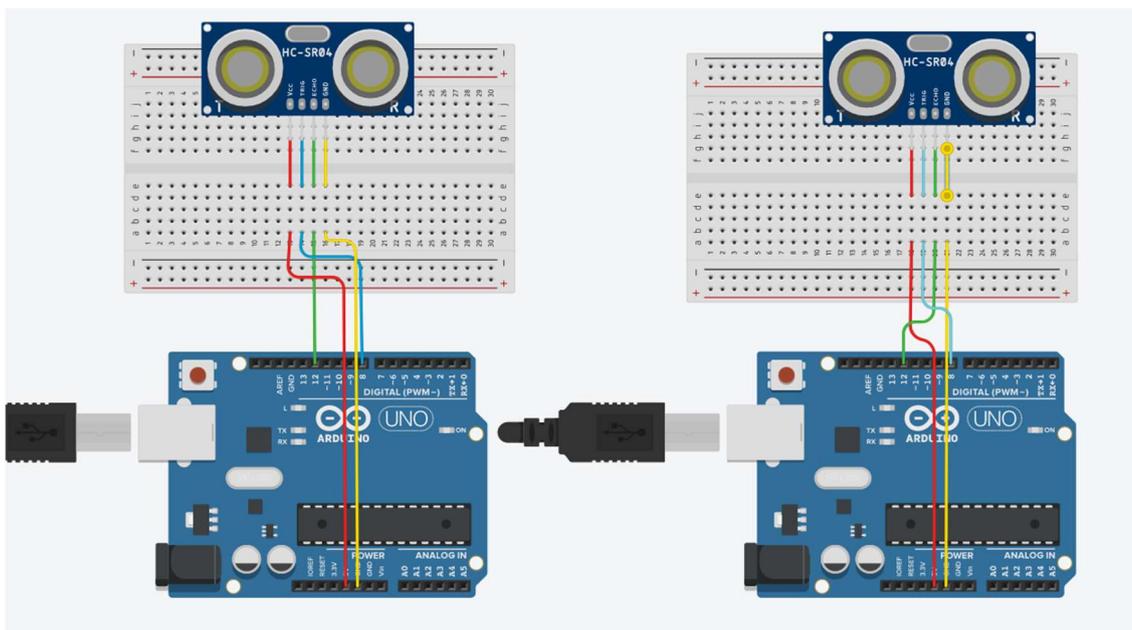


Ilustración 25. Esquema Ultrasonidos (Fuente Propia)

Para programar los componentes elegidos solo hay que ir al menú de “Código”, localizado en la parte superior derecha de la pantalla, elegir el elemento y escribirlo. Nos aparecerán todos los elementos elegidos que pueden ser programados. El código para este apartado se encuentra en el Anexo A.

Una vez programado, al iniciar la simulación el sensor nos imprimirá por pantalla la distancia del objeto que coloquemos enfrente, ya que es una simulación no podremos realizar una inspección visual.

Elementos utilizados: 2 Placas de Arduino UNO, 2 Protoboards, 2 Sensores de Ultrasonidos, cables de conexión.

5.2 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

PRACTICA 2: Simulación de Ensayo por Partículas Magnéticas

Tiempo Estimado: 2 horas

Objetivos de la práctica: Construir en el entorno de simulación “Tinkercad” el circuito de partículas magnéticas, programar Arduino para la recogida de datos.

Conocimientos previos: Apartado 4.2 “Ensayo de Partículas Magnéticas”

Descripción de la práctica: Para realizar la practica debemos ir al entorno de simulación “Tinkercad” situado en “www.tinkercad.com”, y conectarnos con nuestra cuenta de la universidad para poder acceder.

Una vez dentro veremos una barra con diferentes opciones en la parte izquierda de la pantalla, ahí podemos encontrar “circuitos”, nos permitirá crear simulaciones de circuitos utilizando un catálogo de componentes. Seleccionamos “Crear nuevo circuito”.

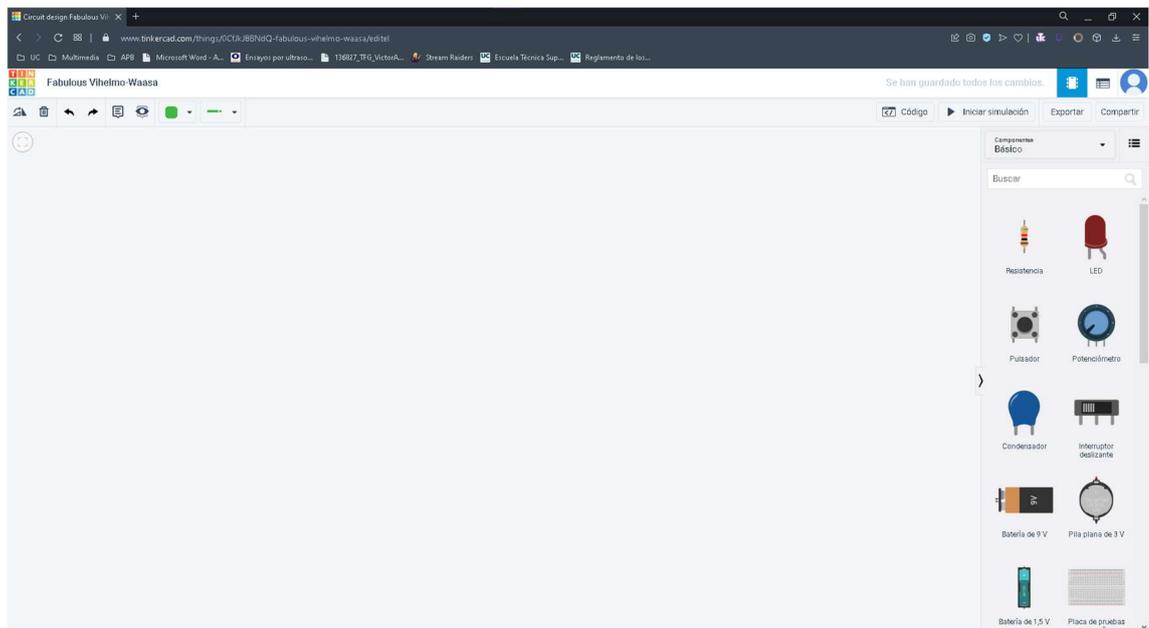


Ilustración 26. Entorno de simulación (Fuente: Propia)

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Para introducir los elementos en el entorno de simulación solo tenemos que hacerles clic y arrastrar a la parte de la pantalla donde queremos colocarles.

Una vez introducidos los componentes necesarios para la práctica, los cuales están listados al final de la práctica. Solo queda realizar las conexiones pertinentes:

Esquema de conexiones Ensayo por Partículas Magnéticas:

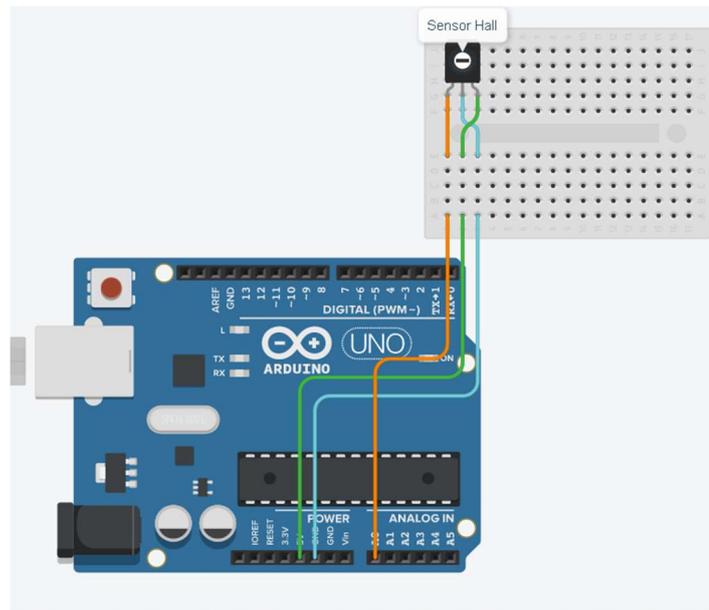


Ilustración 27. Esquema Particula magneticas (Fuente: Propia)

Para programar los componentes elegidos solo hay que ir al menú de “Codigo”, localizado en la parte superior derecha de la pantalla, elegir el elemento y escribirlo. Nos aparecerán todos los elementos elegidos que pueden ser programados. El código para este apartado se encuentra en el Anexo B.

Una vez construido podemos colocar cualquier circuito eléctrico por ejemplo, un circuito de regulación de intensidad de una bombilla para que el sensor detecte la variación del campo magnético y pueda darnos los datos de este, simulando en el ensayo real el campo magnético que crearía el yugo.

Elementos utilizados: Placa Arduino UNO, Sensor Hall, Protoboard, Cables de Conexión.

5.3 ENSAYO POR TERMOGRAFÍA

PRACTICA 3: Simulación de Ensayo por Termografía

Tiempo Estimado: 2 horas

Objetivos de la práctica: Construir en el entorno de simulación “Tinkercad” el circuito de partículas magnéticas, programar Arduino para la recogida de datos.

Conocimientos previos: Apartado 4.3 “Ensayo por Termografía”

Descripción de la práctica: Para realizar la practica debemos ir al entorno de simulación “Tinkercad” situado en “www.tinkercad.com”, y conectarnos con nuestra cuenta de la universidad para poder acceder.

Una vez dentro veremos una barra con diferentes opciones en la parte izquierda de la pantalla, ahí podemos encontrar “circuitos”, nos permitirá crear simulaciones de circuitos utilizando un catálogo de componentes. Seleccionamos “Crear nuevo circuito”.

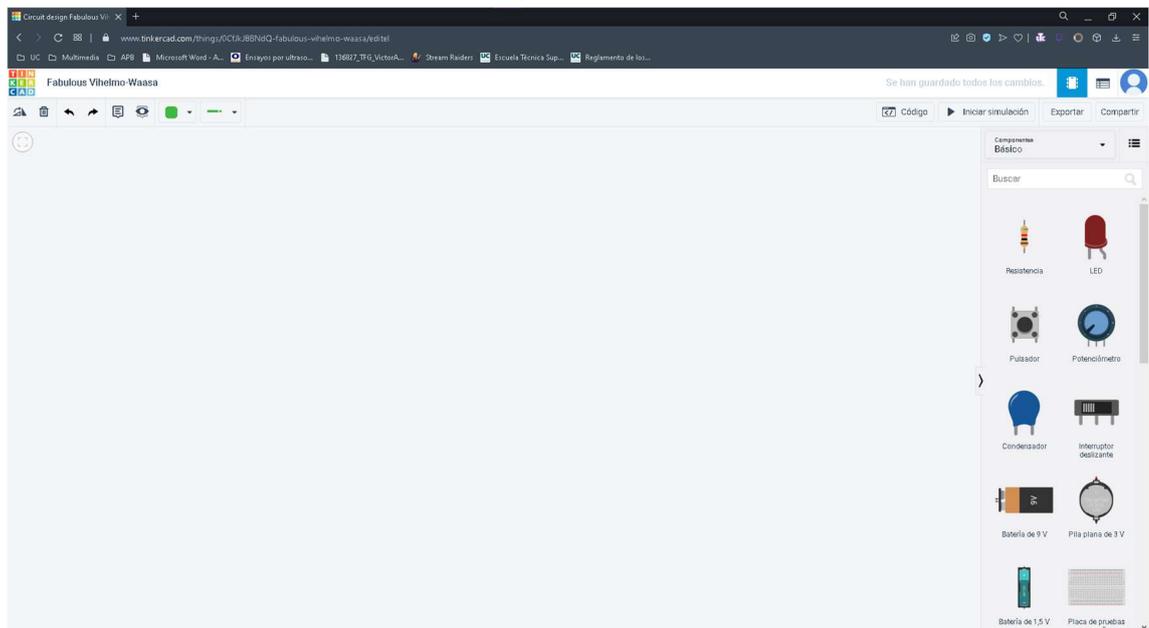


Ilustración 28. Entorno de Simulación (Fuente: Propia)

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Para introducir los elementos en el entorno de simulación solo tenemos que hacerles clic y arrastrar a la parte de la pantalla donde queremos colocarlos.

Una vez introducidos los componentes necesarios para la práctica, los cuales están listados al final de la práctica. Solo queda realizar las conexiones pertinentes:

Esquema de conexiones Ensayo por Termografía:

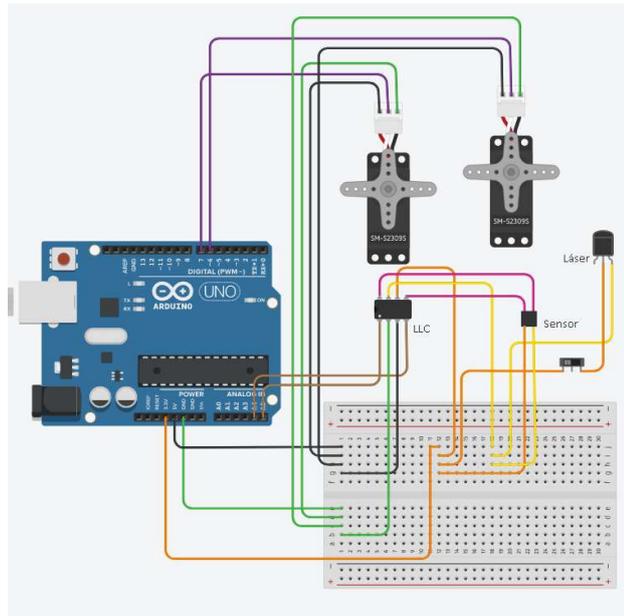


Ilustración 29. Esquema Termografía (Fuente:Propia)

Debido a que Tinkercad no posee todos los elementos necesarios, hay que construirlos a partir de los elementos que nos provee la plataforma. La construcción de estos elementos se encuentra en el Anexo C.

Para programar los componentes elegidos solo hay que ir al menú de "Codigo", localizado en la parte superior derecha de la pantalla, elegir el elemento y escribirlo. Nos aparecerán todos los elementos elegidos que pueden ser programados. El código para este apartado se encuentra en el Anexo C.

Elementos utilizados: LLC, Sensor de Temperatura, PCB Board, Soportes para la rotación, Arduino UNO, Protoshield PCB, Webcam.5, 2 Servomotores

Una vez todo esta construido, podremos observar el objeto de estudio en pantalla con un filtro de gradiente de colores que indican la temperatura de cada parte del objeto, el objetivo es detectar el significado de estas temperaturas. Sabiendo que una temperatura extremadamente baja se representará con un color azul muy intenso y una temperatura elevada será rojo intenso.

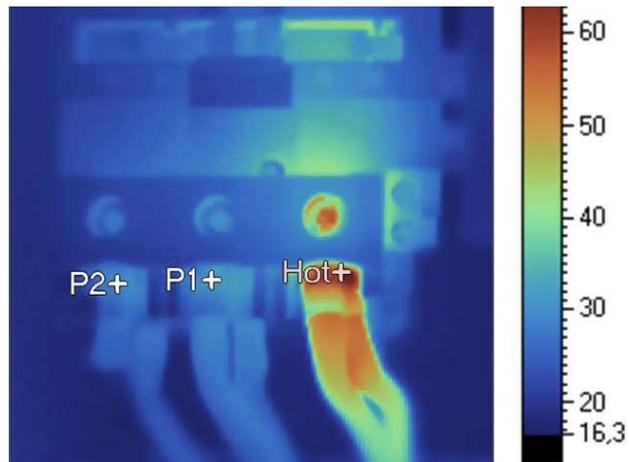


Ilustración 30. Termografía con escala. (Fuente: <http://www.gpnr.com/termografia/>)

5.4 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

Debido a la naturaleza de este ensayo y su imposibilidad de realizar en un entorno de simulación este ensayo será comentado únicamente en el apartado 6.0.

No obstante, es necesario que este ensayo sea asimilado por el alumno en la misma medida que el resto de los ensayos, es por eso por lo que el profesor es fundamental en este ensayo, realizando una demostración en detalle del ensayo de líquidos penetrantes proporcionando material gráfico a los alumnos.

Este material gráfico podría bien ser una grabación en la que se puedan ver en detalle todos los pasos de la realización del ensayo y sus distintos puntos críticos, por ejemplo, la aplicación del penetrante, y su posterior interpretación de los resultados. O una retransmisión en la que los alumnos, en directo, puedan plantear sus dudas durante la realización del ensayo y realizar las preguntas que consideren.

Los alumnos deberán realizar un informe explicando el procedimiento seguido durante la practica aludiendo a los puntos importantes que considere el profesor. Por último, como herramienta de retransmisión/grabación se puede utilizar “Microsoft Teams” (Figura 31) debido a que permite realizar ambas cosas a la vez, pudiendo grabar la retransmisión en la que el profesor muestre lo anteriormente descrito para la posterior revisión por los alumnos si fuese necesario.



Ilustración 31. Microsoft Teams (Fuente: <https://sumamoos.com/blog/consejos-para-el-uso-de-microsoft-teams/>)

5.5 LIMITACIONES QUE PRESENTA LA UTILIZACIÓN DE TINKERCAD

Pese a todas las ventajas que presenta Tinkercad, debido a que es un entorno de simulación sin posibilidad de subir o diseñar tus propias herramientas, puede ocurrir que no se encuentren las necesarias, esto, en un principio es un problema, pero puede ser solucionado si tenemos en cuenta que es de código abierto, pudiendo encontrar en línea soluciones a nuestro problema, y Tinkercad nos provee las herramientas para poder construir los componentes que falten de forma manual. Claro que esto tiene restricciones y si el elemento que nos falta es demasiado complicado no se podrá realizar.

Como en la plataforma no aparece en el apartado de elementos utilizables no se encuentra, por ejemplo, un LLC, utilizado en el ensayo por termografía, que se encarga de transformar la corriente a un voltaje menor, tenemos que construirlo con elementos básicos que si se encuentran en la plataforma. En la Figura 32 se puede ver la construcción del LLC mediante estos componentes.

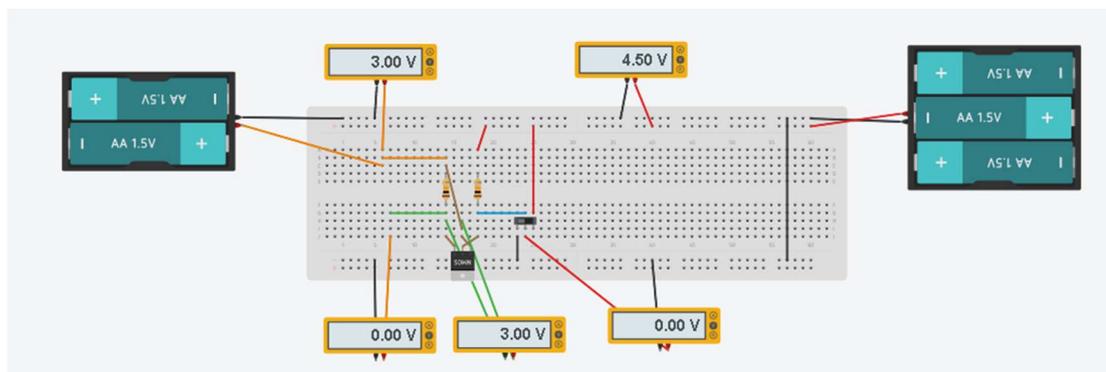


Ilustración 32. Construcción de un LLC con Tinkercad (Fuente: Propia)

En cuanto a los otros 2 ensayos (Ultrasonidos y Partículas Magnéticas) en los que también se utiliza Tinkercad para la simulación el único inconveniente que surge es que no hay una interfaz real para la recogida de datos por lo que la simulación será únicamente constructiva, la parte de recogida de datos debe de ser explicada por el profesor mediante una demostración real de cómo se realizaría el ensayo. Esta demostración puede ser realizada con herramientas de retransmisión o grabación si no puede ser en persona.

6.0 REALIZACION DE LOS ENSAYOS IN SITU

Debido a que mediante la simulación con Tinkercad presenta restricciones y no se pueden llevar a cabo algunos aspectos de los ensayos es muy recomendable que se realice una experiencia a distancia si no es posible en persona donde el alumno adquiera los conocimientos restantes que no ha podido ser aprendidos a través de Tinkercad. Para ello el profesor deberá de facilitar un material didáctico que el alumno pueda consultar.

Proponemos la realización de los ensayos in situ, realizados por el profesor, que deben de ser retransmitidos o grabados para que el alumno pueda verlos y utilizarles como material de referencia.

Como los ensayos in situ no tienen una interfaz de interpretación grafica para los resultados y medidas, hay que programarla y prepararla, que es la principal diferencia con los ensayos simulados. De forma breve se van a explicar lo necesario para ello.

6.1 ENSAYO DE ULTRASONIDOS

Para el ensayo por Ultrasonidos es necesario una interfaz de interpretación para las medidas recogidas por el sensor HC-SR04. Se ha escogido LabVIEW MakerHub debido a su fácil uso y programación para el desarrollo de aplicaciones de adquisición de datos, además de ser gratuito y ser un estándar a nivel industrial.

Lo primero que se ha de hacer es definir los puertos COM (Interfaz de Entrada/Salida) para que el programa sepa donde se han conectado las placas de Arduino. [20]

Una vez definidos los puertos se tienen que seleccionar los pines Trigger y Echo, los cuales corresponden a la emisión de las ondas y a la recepción de estas, respectivamente.

A continuación, se debe de configurar el Firmware LINX. En esta operación esencialmente se carga el código descrito en el Anexo A a la placa de Arduino en el

COM correspondiente. Esta operación puede fallar por error en la selección de los puertos, si ocurre se debe de repetir.[20]

Si todo ha salido satisfactoriamente el programa estará preparado para la calibración. Aparecerá una ventana en la que se nos mostraran dos botones y dos valores de calibración.

El botón Empezar “calibración” calibrará el sistema, y el botón “calcular distancia” lo calculará mostrando un gráfico en el que se representara a tiempo real las distancias que miden los sensores, dibujando así el perfil de la pieza. Al haber recorrido la pieza en su totalidad de deberá de pulsar el botón “stop” con lo que concluirá el ensayo. Código de LabVIEW en el Anexo A



Ilustración 33. LabView MakerHub (Fuente: Propia)

Como ya se había explicado antes debido a que Tinkercad no puede proveer de una interfaz en la que se pueden conseguir mediciones se debe de enseñar al alumno cómo funciona el ensayo demostrando la recogida de datos mediante la interfaz de LabVIEW MakerHub. Así mismo, debe de realizar una explicación del funcionamiento del programa y el método para recoger los datos y hacer una correcta interpretación de estos.

Por ello el profesor debe hacer una demostración del funcionamiento del sensor y el calculo que hace el programa para que se comparen los resultados con una medida “a mano” de la distancia real del objeto y el sensor.

6.2 ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS

En este ensayo se vuelve a utilizar LabVIEW debido a su interfaz gráfica que facilita el uso y la realización de la recogida de datos.

El primer paso es subir el código realizado a la placa desde la aplicación de Arduino, para que este pueda responder a los comandos de LabVIEW.

A continuación, usando la interfaz de LabVIEW se deben de configurar los puertos COM definiendo las entradas y salidas en función de las conexiones de los sensores y la placa. También se debe definir el tiempo de muestreo, el cual define cada cuanto el sensor realizara una medida. [20]

Al tener las variables definidas se debe ejecutar el programa y cuando se quieran adquirir datos se debe de pulsar el botón de “Adquirir datos”. Una vez adquiridos se ha acabado el ensayo.

Código de LabVIEW en el Anexo B

Debido a la limitación que posee Tinkercad a la hora de interpretar los voltajes del sensor y el no poder hacer una magnetización de una pieza con el simulador el profesor debe de realizar este ensayo haciendo hincapié en el aprendizaje de los alumnos sobre la parte final del ensayo en la que se magnetiza la pieza y se interpretan los resultados mediante una inspección visual, así mismo debe demostrar el funcionamiento del sensor Hall variando la intensidad del campo magnético con el yugo para que vean cómo afecta esto a las lecturas del sensor y a las líneas de fuerza de la pieza.

Por último, se debe de enseñar como se realiza la interpretación de resultados.

El profesor debe demostrar como las líneas de fuerza son alteradas por las discontinuidades internas del objeto de estudio (es recomendable utilizar distintas piezas para que se vea la diferencia con más claridad), de esta manera el alumno puede sacar en claro como estas afectan al ensayo y como poder interpretarlas.

6.3 ENSAYO POR TERMOGRAFÍA

El programa usado pertenece a “George Rothern” y “Max Ritter”, el cual esta implementado con Java. En el Anexo C-2 se puede encontrar para descargar el código completo.

El primer paso es seleccionar la cámara a utilizar, en nuestro caso la cámara web, la cual está conectada a un puerto COM. El programa se encargará de detectarla de forma automática.[20]

Una vez seleccionada, se debe de calibrar el punto medio mediante un menú que nos ofrece el programa, en pantalla aparecerá un punto amarillo, el cual se moverá al usar el menú. Al acabar de alinear se presiona el botón fijar.

A continuación, habiendo fijado el punto central se debe de calibrar las esquinas de la imagen siguiendo el mismo método. Una vez acabado esto ya se ha acabado el encuadre de la termografía.

Por último, se debe elegir la resolución a la cual se realizará el ensayo, puede ser de 64x48 (con una duración de 6 minutos y 45 segundos) o de 32x24 (con una duración de 1 minuto y 30 segundos).

Al dar al botón “Empezar” solo queda esperar a que se realice la termografía y nos salgan los resultados de la termografía al acabar el proceso.

A continuación, Se les muestra un menú completo del programa descrito hasta el momento:

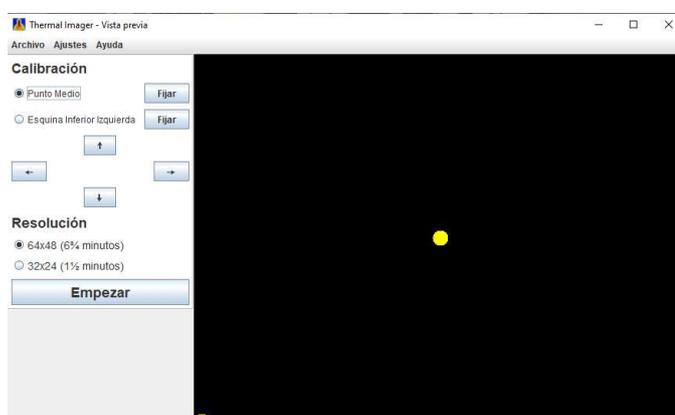


Ilustración 34. Programa Termografía (Fuente: Propia)

Código de Arduino en el Anexo C

En el entorno Tinkercad no existe una interfaz a través de la que podamos sacar unas conclusiones y unos resultados, por lo que utilizando la interfaz explicada antes se debe de realizar el ensayo haciendo hincapié en el funcionamiento de la interfaz y como se utiliza.

Al final del ensayo el alumno debe de ser capaz de comprender como funciona el programa y cuál es su función en el ensayo, la interpretación de lo que recoge el sensor termográfico y que se muestra a través de la cámara, es decir, hacer un análisis de las partes de la termografía que son de interés, partes calientes y frías que puedan demostrar al alumno el estado del objeto de estudio. Como en el apartado anterior, es recomendable que se utilicen varios objetos de distinto nivel entálpico para que se vea como es interpretado por el programa y así el alumno poder tener un mejor entendimiento del funcionamiento del ensayo.

6.4 ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

Utilizando una o varias piezas con imperfecciones superficiales se realizará el ensayo según la Norma Europea EN ISO 3452-1:2013 [14]:

- 1- Limpieza previa: Se utiliza disolvente para limpiar la pieza y posteriormente se seca para que no quede ni restos de agua ni de disolvente en las discontinuidades que pueda haber presentes.
- 2- Temperatura: Como indica la norma, la superficie del material y la temperatura ambiente deben estar entre 10 y 50°C para que actúe de forma efectiva
- 3- Aplicación del penetrante: utilizando una brocha o pincel se aplica el penetrante. Cuando se ha aplicado se espera entre 5 y 60 minutos a que el líquido penetre. El tiempo de penetración DEBE ser superior a 5 minutos para que se maximice la efectividad.
- 4- Eliminación del Exceso: Utilizando un trozo de papel limpio se debe de eliminar el exceso del penetrante. Usando inspección visual, se comprueba que no haya restos del penetrante.
- 5- Aplicación del revelador: El revelador se aplica de forma uniforme y se espera entre 10 y 30 minutos.
- 6- Aspecto de las indicaciones: Después del revelado pueden aparecer distinto tipo de indicaciones, las cuales pueden ser entre otras grietas, poros o falta de uniones.
- 7- Limpieza Final

El alumno debe de tener claro al acabar el ensayo, el proceso de aplicación de los productos reveladores y su correcto uso e interpretación. Para ello, el profesor debe de asegurarse de utilizar varios elementos distintos con diferentes discontinuidades para que la diferencia de interpretación sea clara para el alumno.

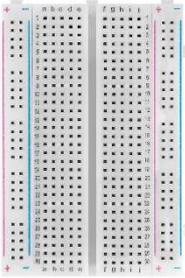
7.0 COMPONENTES NECESARIOS PARA EL ENSAYO REAL

En este capítulo se indican todos los componentes necesarios para la realización del ensayo para la realización a distancia por parte del profesor, indicando la cantidad de cada componente y su descripción.

Si se quisiese realizar de forma real el procedimiento y preparación del ensayo sería muy parecida al entorno de simulación con la salvedad de la necesidad de programar el Arduino, sus entradas y salidas, de forma acorde con lo especificado en las descripciones previas.

7.1 TABLA 1: COMPONENTES ENSAYO POR ULTRASONIDOS

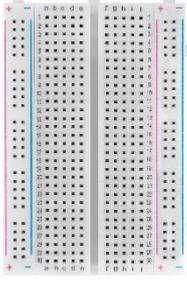
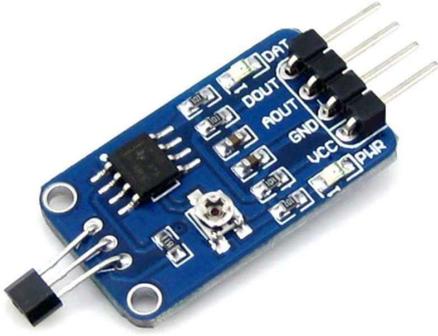
COMPONENTE	DESCRIPCION
<p>2x Placa Arduino UNO</p> 	<p>Arduino Uno es una placa de microcontroladores basada en el "datasheet ATmega328P". Tiene 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Se puede conectar al ordenador con un cable USB o con un adaptador de CA a CC a la corriente.</p>
<p>2 x Sensores de ultrasonidos HC-SR04</p> 	<p>El sensor de ultrasonidos es un dispositivo para medir distancias. Su funcionamiento se basa en el envío de un pulso de alta frecuencia (mediante el Trigger), no audible por el ser humano. Este pulso rebota en los objetos cercanos y es reflejado hacia el sensor, que dispone de un micrófono (Echo) adecuado para esa frecuencia (40kHz).</p>
<p>2 x Protoboards</p>	<p>Una protoboard es una placa que contiene unos orificios conectados</p>

	<p>eléctricamente entre sí siguiendo un patrón horizontal o vertical. Se ha utilizado para realizar las conexiones de los circuitos electrónicos precisados, insertando en ella los componentes electrónicos necesitados y usando cables como puente.</p>
<p>8 x Cables Macho-Macho</p> 	<p>Los cables macho/macho se han utilizado para conectar las placas Arduino Uno con los sensores de ultrasonidos HC-SR04.</p>

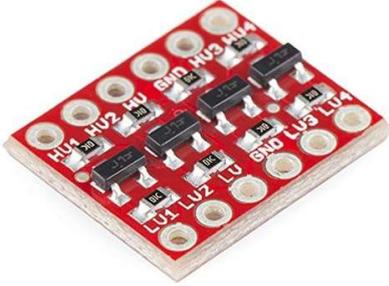
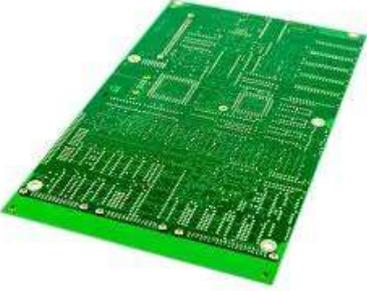
7.2 TABLA 2: COMPONENTES ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS

Componente	Descripción
<p>1 x Placa Arduino UNO</p> 	<p>Arduino Uno es una placa de microcontroladores basada en el "datasheet ATmega328P". Tiene 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Se puede conectar al ordenador con un cable USB o con un adaptador de CA a CC a la corriente.</p>
<p>1 x Protoboard</p>	<p>Una protoboard es una placa que contiene unos orificios conectados eléctricamente entre sí siguiendo un patrón horizontal o vertical. Se ha utilizado para realizar las conexiones de los circuitos electrónicos</p>

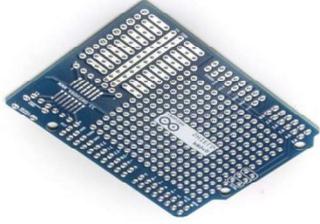
ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

	<p>precisados, insertando en ella los componentes electrónicos necesitados y usando cables como puente.</p>
<p>1 x Sensor de efecto Hall 49E</p> 	<p>El sensor de efecto Hall es el encargado de obtener una señal de inducción magnética y transformarla en una señal de voltaje (mV).</p>
<p>3 x Cables macho/macho</p> 	<p>Los cables macho/macho se han utilizado para conectar las placas Arduino Uno con el sensor Hall a través de la protoboard.</p>

7.3 TABLA 3: COMPONENTES DE ENSAYO POR TERMOGRAFIA

Componentes	Descripción
<p data-bbox="432 329 703 360">Logic level converter</p> 	<p data-bbox="852 329 1385 680">Para conectar un dispositivo de por ejemplo 3,3 V a una alimentación de 5 V se necesita un “logic level converter”. Este dispositivo tiene como función disminuir o aumentar una señal de alimentación para poder conectar un receptor que opera con un voltaje distinto. La importancia de usar este convertidor es que permite hacer el aumento o la disminución de señal en el mismo canal y de forma segura.</p>
<p data-bbox="416 687 719 719">Sensor de temperatura</p> 	<p data-bbox="852 723 1385 931">El sensor de temperatura utilizado en este proyecto es el MLX90614ESF-DCI. Es un termómetro infrarrojo que mide temperaturas a distancia con el objeto a medir. Tiene un rango de funcionamiento de -20°C a 120°C.</p>
<p data-bbox="499 963 636 994">PCB Board</p> 	<p data-bbox="852 963 1385 1352">Una PCB board (Printed Circuit Board) es una placa que contiene un circuito impreso que conecta líneas y “pads” entre sí. El circuito está compuesto de soldaduras de metal que facilitan las conexiones eléctricas entre la superficie de la PCB y sus componentes electrónicos. Al ser un metal, la soldadura tiene una propiedad de adhesión mecánica muy fuerte. En el proyecto la PCB se ha utilizado para hacer la conexión entre el láser y la cámara termográfica.</p>
<p data-bbox="368 1370 767 1402">Soportes para la rotación (X,Y)</p> 	<p data-bbox="852 1370 1385 1688">Estos soportes se han utilizado para montar la estructura de la cámara. Gracias a estas piezas, se puede colocar encima de ellas la cámara termográfica y el puntero laser. Al montarlos encima, se les permite hacer un movimiento a la cámara y al puntero para poder hacer tanto la calibración como la propia termografía de la zona u objeto a ensayar</p>

ARDUINO Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

<p style="text-align: center;">2 x Micro servos</p> 	<p>Los servomotores tienen engranajes integrados y un eje controlable. Los servos permiten que el eje se posicione en varios ángulos, generalmente de 0 a 180 grados, y también permiten controlar la velocidad de giro.</p>
<p style="text-align: center;">1 x Placa Arduino UNO</p> 	<p>Arduino Uno es una placa de microcontroladores basada en el “datasheet ATmega328P”. Tiene 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Se puede conectar al ordenador con un cable USB o con un adaptador de CA a CC a la corriente.</p>
<p style="text-align: center;">Protoshield PCB</p> 	<p>Una “Protoshield” es una placa diseñada para facilitar la creación de prototipos. Permite hacer conexiones fáciles entre una placa de prueba y una placa Arduino.</p>
<p style="text-align: center;">Webcam</p> 	<p>La webcam se ha utilizado para poder tener una visión del objeto a ensayar. Gracias a ella, se puede ver dónde está el objeto y es una gran ayuda para poder calibrar la cámara termográfica mediante los puntos de calibración del programa</p>

7.4 TABLA 4: COMPONENTES ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES

Componentes	Descripción
<p data-bbox="416 315 740 344">Kit de líquidos Penetrantes</p> 	<p data-bbox="871 315 1385 501">CRICK 110 Limpiador Detector de micro fisuras y grietas. Limpiador de secado rápido para eliminar todo tipo de suciedades de la zona a inspeccionar, antes de la aplicación de Crick 120.</p> <p data-bbox="871 551 1385 775">CRICK 120 Penetrante de color rojo, eliminable con Crick 110 o con agua para pruebas no destructivas de soldadura. Detección de microgrietas y fallos en la superficie mediante prueba con líquidos penetrantes.</p> <p data-bbox="871 824 1385 1010">CRICK 130 Revelador Producto revelador, debe aplicarse después de eliminar el exceso de penetrante rojo Crick 120. Puede realizarse entonces la inspección visual de la superficie.</p>
<p data-bbox="523 1055 632 1084">Webcam</p> 	<p data-bbox="871 1055 1385 1167">Con la videocámara podremos grabar y comprobar que se está realizando los pasos adecuadamente</p>

8.0 ESCANDALLO DE COMPONENTES PARA LOS ENSAYOS

Aunque en el presente proyecto se han propuesto una serie de prácticas para su desarrollo en su entorno de simulación, en este apartado se recogerán el coste de los materiales necesarios para su realización de las prácticas in situ del apartado 6.

Esta descripción de precios vendrá hecha en tablas para cada apartado, con todos los objetos y precios del ensayo.

8.1 TABLA 5: ESCANDALLO ENSAYO POR ULTRASONIDOS

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Total
Placa Arduino UNO	2	9,99€	19,98€
Protoboard	2	5,49€	10,98€
Sensor UT HC-SR04	2	2,70€	5,40€
Cables macho/macho	1	3,99€	3,99€
TOTAL			40,35€

8.2 TABLA 6: ESCANDALLO ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Total
Placa Arduino UNO	1	9,99€	9,99€
Sensor Hall	1	0,53€	0,53€
Yugo Electromagnético	1	200€	200€
Cables macho/macho	1	3,99€	3,99€
Protoboard	1	5,49€	5,49€
TOTAL			220€

8.3 TABLA 7: ESCANDALLO ENSAYO POR TERMOGRAFIA

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Total
Logic level converter	1	6,09€	6,09€
Sensor de temperatura	1	0,75€	0,75€
PCB Board	1	6,99€	6,99€
Soportes para la rotación (X,Y)	1	5,01€	5,01€
Micro servos	2	7,99€	15,98€
Placa Arduino UNO	1	9,99€	9,99€
Protoshield PCB	1	6,29€	6,29€
Webcam	1	25,75€	25,75€
TOTAL			76.85€

8.4 TABLA 8: ESCANDALLO ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Total
Kit de liquidos Penetrantes	1	36,77€	35,77€
Webcam	1	25,75€	25,75€
TOTAL			62,52€

8.5 TABLA 9: ESCANDALLO TOTAL

ENSAYO	COSTE
Ensayo por Ultrasonidos	40,35€
Ensayo de Partículas Electromagnéticas	220€
Ensayo de Termografía	76,85€
Ensayo de Líquidos Penetrantes	62,52€
Presupuesto Software	0€
TOTAL	399,72€

Todos los precios han sido recogidos en la fecha 1/05/2021.

9.0 CONCLUSIONES

En primer lugar, en cuanto al primer objetivo, se han descrito los aspectos teóricos de los ensayos necesarios para que el estudiante logre una comprensión suficiente como para comprender su funcionamiento y que se necesita para realizarles.

En segundo lugar, se ha indicado el marco legislativo detrás de los ensayos para conocer el marco legal que hay detrás de cada ensayo y conocer metodologías para su segura realización. Este apartado se ha hecho referencia a las normas UNE correspondientes.

Se han propuesto una serie de prácticas de ensayos no destructivos para su implementación en un entorno de simulación con Arduino. En estas prácticas, le permiten al estudiante asimilar los fundamentos básicos sobre los ensayos previamente descritos a la memoria de este proyecto y además se pueden realizar a distancia sin necesidad de que el estudiante esté presente en el aula. Además, se han propuesto una serie de experiencias a distancia por parte del profesor para completar los conocimientos adquiridos en simulación con Tinkercad de las limitaciones de esta plataforma.

REFERENCIAS

- [1]Yúbal Fernandez; Xataka. 3/08/2020. “Que es Arduino, como funciona y que puedes hacer con uno”; [En Línea]; <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- [2]Sketch; 5/02/2018; “Arduino Tutorials”; [En Línea]; <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Sketch>
- [3]Aprendiendo Arduino; 23/01/2017; “Programación Arduino; Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad”; [En Línea]; <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>
- [4]Aprendiendo Arduino, “Arduino en la Educación”; [En Línea]; <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/05/06/arduino-en-la-educacion/>
- [5]Comité CTN 130 -Ensayos no Destructivos, “Terminología, características de los equipos y principios generales de los métodos de ensayo no destructivos”; [En Línea]; <https://www.une.org/Paginas/Normalizacion/Ficha-CTN.aspx?n=6&c=CTN%20130>
- [6]Oposinet; “Tema 10 -Ensayos no Destructivos. Finalidad. Fundamentación. Técnicas Operativas e interpretación de los resultados de los distintos ensayos”; [En Línea]; <https://www.oposinet.com/temario-de-fabricacion-mecanica-secundaria/temario-2-fabricacion-mecanica/tema-10-ensayos-no-destructivos-finalidad-fundamentacin-tcnicas-operativas-e-interpretacin-de-los-resultados-de-los-distintos-ensayos-tipos-inspeccion-visual-li-2/>
- [7]Jorge Luis Calderón Cáceres, Gian Carlo Scarpatti Gálvez; Revista Campus; 2018; “Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria; [En Línea]; <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1342/1644>
- [8]Ricardo Ferrer-Dalmau, responsable comercial y técnico de FD NDT; Interempresas. 29/07/2019;” Ensayos no destructivos, ¿Qué Son?” [En Línea]; [https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/252588-Ensayos-no-Destructivos-\(END\)-Que-son.html](https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/252588-Ensayos-no-Destructivos-(END)-Que-son.html)
- [9]Aerio Ingenieria: “Ensayo no destructivo por emtodo de Ultrasonido”; [En Línea]; <http://www.aerio.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf>
- [10]Ipunto; Ensayos no destructivos; Partículas Magnéticas (MT); [En Línea]; <https://ipend.es/ensayos-no-destructivos/particulas-magneticas>

[11]Laboratorioensmateriales; Laboratorio de ensayos de los materiales; “Partículas Magnéticas”; [En Línea];

<https://sites.google.com/site/laboratorioensmateriales/particulas-magneticas>

[12]Fluke; 09/05/2021; “Como afecta la emisividad a las cámaras termográficas”;

[En Línea]; <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/termografia/como-afecta-la-emisividad-a-las-camaras-termograficas>

[13]Scisa; “¿En que consisten los ensayos por líquidos penetrantes (END)?” [En

Línea]; <https://scisa.es/inspeccion-liquidos-penetrantes/>

[14]Raquel serrano; “Ensayos no destructivos: Líquidos penetrantes”; [En Línea];

http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.3_liq_penetrantes.pdf

[15]HardwareLibre; “Sensor de efecto Hall: todo lo que necesitas saber para tus

proyectos con Arduino”; [En Línea]; <https://www.hwlibre.com/sensor-de-efecto-hall/>

[16]Academia Online; “Emisión reflexión y transmisión”; [En Línea];

<http://www.academiatesto.com.ar/cms/emision-reflexion-y-transmision>

[17]AEND(Asociación Española de Ensayos No Destructivos). 2009. Partículas Magnéticas. Nivel II. FC EDITORIAL. 177 pg. [Consulta: 02/08/2021]. ISBN: 978-84-92735-04-4

[18]AEND(Asociación Española de Ensayos No Destructivos). 2009. Ultrasonidos. Nivel II. FC EDITORIAL. 205 pg. [Consulta: 02/08/2021]. ISBN: 978-84-92735-06-8

[19]AEND(Asociación Española de Ensayos No Destructivos). 2009. Líquidos Penetrantes. Nivel II. FC EDITORIAL. 153 pg. [Consulta: 02/08/2021]. ISBN: 978-84-92735-03-7

[20]Arduino y los ensayos no destructivos. 2018. Victor Abad Gibert. [En Línea].

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/120348/136827_TFG_VictorAbad.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo A : Ensayo de Ultrasonidos

Anexo B : Ensayo de partículas magneticas

Anexo C: Ensayo por termografia

Anexo A

```
// C code //Escrito en lenguaje C

#define trigger 4
#define echo 7

void setup() {

    // Ajustes necesarios, generacion de onda.

    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    int duracion, distancia; // Variables necesarias
    digitalWrite(trigger, HIGH); // Ponemos en 1 el trigger del HC-SR04
    delayMicroseconds(10); // Esperamos 10 microsegundos según las
                             // especificaciones del sensor
    digitalWrite(trigger, LOW); // Ponemos en 0 el trigger del HC-SR04

    duracion = pulseIn(echo, HIGH); // Empezamos a medir el tiempo cuando se
                                     // pone en 1 el puerto y terminamos cuando
                                     // se pone en 0
    distancia = duracion / 58; // 58 según especificación del sensor.

    // Mostramos la información al Usuario.

    Serial.print("Distancia: ");
    Serial.print(distancia);
    Serial.println(" cm");

    delay(1000); // Esperamos un Segundo para que vuelva
                 // a leer.
}

```

Anexo B

Código de la sonda Hall: <https://desensores.com/sensores-arduino/proyectos-basicos-con-arduino-para-principiantes/sensor-de-efecto-hall-arduino/>

Salida Analógica

```
int sensorPin = A0;    // select the input pin for the potentiometer

int ledPin = 13;     // select the pin for the LED

int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor

void setup()

{

pinMode(ledPin,OUTPUT);

Serial.begin(9600);

}

void loop()

{

sensorValue = analogRead(sensorPin);

digitalWrite(ledPin, HIGH);

delay(sensorValue);

digitalWrite(ledPin, LOW);

delay(sensorValue);

Serial.println(sensorValue, DEC);

}
```

Salida Digital

```

int Led=13;          //define LED port

int buttonpin=3; //define switch port

;int  val;//define digital variable val

void  setup()

{

pinMode(Led,OUTPUT);//define LED as a output port

pinMode(buttonpin,INPUT);//define switch as a output port

}

void  loop()

{ val=digitalRead(buttonpin);//read the value of the digital interface 3 a
signed to val

if(val==HIGH)//when the switch sensor have signal, LED blink

{

digitalWrite(Led,HIGH);

}

else

{

digitalWrite(Led,LOW);

}

}

```

Anexo C

Código Ensayo por Termografía encontrado en la página para la construcción in situ:

<http://www.centralnexus.com/thermal/>

Link válido a 15-07-2021

Código Arduino:

```

const int pinHall = A0;

void setup() {
  pinMode(pinHall, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  //media de 10 medidas para filtrar ruido
  long measure = 0;
  for(int i = 0; i < 10; i++){
    int value =
      measure += analogRead(pinHall);
  }
  measure /= 10;

  //calculo del voltaje en mV
  float outputV = measure * 5000.0 / 1023;
  Serial.print("Voltaje de salida = ");
  Serial.print(outputV);
  Serial.println(" mV ");

  //interpolacion a densidad de flujo magnético
  float magneticFlux = (outputV * 53.33 - 133.3)/10000;
  Serial.print("Densidad de flujo magnetico = ");
  Serial.print(magneticFlux);
  Serial.print(" mT ");

  if(Serial.available())//obte bytes disponibles per lectura en el port serie( dades del buffer-->
  64 bytes max.)
  {
    char MODE = Serial.read();
  }
}

```

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”

