

TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

VIDA NUEVA

SEDE MATRIZ



**TECNOLOGÍA SUPERIOR UNIVERSITARIA EN AUTOMATIZACIÓN E
INSTRUMENTACIÓN**

TEMA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CHARPY PARA EVALUAR LA
TENACIDAD DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS PRODUCTOS DE LA IMPRESIÓN**

3D

PRESENTADO POR

VAZQUES TACURI STALIN JAVIER

TUTOR

Mg. MACHAY GOMEZ EDWIN VINICIO

FECHA

MARZO 2024

QUITO – ECUADOR

Certificación del Tutor

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema: “Diseño y construcción de una máquina de Charpy para evaluar la tenacidad de los materiales poliméricos productos de la impresión 3d”, presentado por el ciudadano Vasquez Tacuri Stalin Javier, para optar por el título de Tecnólogo Superior en Automatización E Instrumentación, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de marzo de 2024

Tutor: Mg. Machay Gomez Edwin Vinicio

C.I.: 0503646275

Aprobación del Tribunal

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema: “Diseño y construcción de una máquina de Charpy para evaluar la tenacidad de los materiales poliméricos productos de la impresión 3d”, presentado por el ciudadano Vasquez Tacuri Stalin Javier, facultado en la carrera Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación.

Para constancia firman:

C.I.:

DOCENTE TUVN

C.I.:

DOCENTE TUVN

C.I.:

DOCENTE TUVN

Cesión de Derechos de Autor

Yo, Vasquez Tacuri Stalin Javier portador de la cédula de ciudadanía 1751597053, facultado en la carrera Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación, autor de esta obra, certifico y proveo al Tecnológico Universitario Vida Nueva usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema “Diseño y construcción de una máquina de Charpy para evaluar la tenacidad de los materiales poliméricos productos de la impresión 3d”, con el objeto de aportar y promover la cultura investigativa, autorizando la publicación de mi proyecto en la colección digital del repositorio institucional, bajo la licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de marzo de 2024.

Vasquez Tacuri Stalin Javier

C.I.: 1751597053

Dedicatoria

Mi dedicatoria en primer lugar a Dios por haberme acompañado y guiado en el transcurso de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes, alegrías, y sobre todo momentos únicos y especiales.

Le doy gracias a mis padres Galo y Magdalena por apoyarme en todo momento por inculcarme valores, por haberme dado la oportunidad de seguirme preparando, sobre todo por poder siempre contar con su apoyo incondicional y por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

Agradecimiento

Un agradecimiento a Marlon Vidal futuro ingeniero de la universidad de la ESPE, por haber sido un excelente compañero y amigo, que me brindo un apoyo incondicional en todo momento.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a todos mis profesores de la carrera de Electromecánica por haber compartido su conocimiento y sobre todo por su amistad.

Tabla de Contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Planteamiento del Problema	13
Descripción de la Situación Problemática	13
Formulación del Problema	14
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Justificación	16
Antecedentes	17
Marco Teórico	18
Máquina de Charpy	18
Máquina de Charpy Ensamblada	19
Péndulo	20
Martillo	21
Bastidor	22
Sistema de Control Electrónico	23
Pantalla	24
Propiedades Mecánicas	25
Resistencia Mecánica	26
Ductilidad	27

	8
Curva Esfuerzo Deformación	28
Aplicaciones Industriales	29
Industria Mecánica	29
Industria de la Construcción	30
Industria Automotriz	31
Industria de la Manufactura Aditiva	32
Metodología y Desarrollo del Proyecto	33
Diseño	34
Construcción	35
Conexión Electrónica	36
Programación	37
Medición de Tenacidad	38
Materiales para la Implementación del Proyecto	39
Propuesta	40
Estructura y Marco	40
Péndulo y Martillo	40
Sensores y Actuadores	42
Sistema de Control Electrónico	42
Pantalla y Visualización de Datos	43
Sistema de Seguridad	43
Sistema de Prueba y Verificación	44
Encuestas y Resultados	45
Propuesta	46

	9
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Referencias	49
Anexos	50

Resumen

El diseño y construcción de una máquina Charpy utilizando Arduino como controlador y materiales de acero al carbono para conformar las partes del bastidor, junto con muestras impresas en 3D para evaluación de resistencia, es un método innovador y fácil de usar para caracterizar materiales poliméricos impresos en 3D. El dispositivo se basa en el principio de la prueba de impacto Charpy y evalúa la dureza del material midiendo la energía absorbida por la muestra durante la fractura durante el impacto. La estructura principal del dispositivo está fabricada en acero al carbono y proporciona la rigidez y estabilidad necesarias durante las pruebas de impacto. El Arduino UNO se utiliza como plataforma de control para automatizar el proceso de prueba, controlar la liberación de energía cinética del martillo de impacto y registrar los datos de manera precisa y confiable. Las muestras impresas en 3D están diseñadas para geometrías específicas de acuerdo con las reglas de prueba Charpy y se someten a pruebas de impacto en la máquina. El dispositivo realiza golpes controlados sobre la muestra y registra la energía absorbida durante el proceso de fractura. Esta energía absorbida puede medir directamente la resistencia del material polimérico impreso en 3D, lo que permite una evaluación precisa de su resistencia al impacto.

Palabras Clave: TENACIDAD, CHARPY, PROBETAS POLIMÉRICAS, ARDUINO UNO, IMPRESIÓN 3D.

Abstract

The design and construction of a Charpy machine using Arduino as a controller and carbon steel materials to form the frame parts, along with 3D printed samples for strength evaluation, is an innovative and easy-to-use method for characterizing 3D printed polymer materials. The device is based on the principle of the Charpy impact test and evaluates the hardness of the material by measuring the energy absorbed by the sample during fracture during impact. The main structure of the device is made of carbon steel and provides the necessary rigidity and stability during impact tests. The Arduino UNO is used as a control platform to automate the testing process, control the release of kinetic energy from the impact hammer, and record the data accurately and reliably. The 3D printed samples are designed for specific geometries according to the Charpy test rules and are impact tested on the machine. The device performs controlled blows on the sample and records the energy absorbed during the fracturing process. This absorbed energy can directly measure the strength of the 3D-printed polymer material, allowing for an accurate assessment of its impact resistance.

Keywords: TOUGHNESS, CHARPY, POLYMER SPECIMENS, ARDUINO UNO, 3D PRINTING.

Introducción

La impresión 3D se ha convertido en una tecnología disruptiva en la fabricación, que permite la creación de componentes poliméricos altamente personalizados con una variedad de aplicaciones en una variedad de industrias. Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas, la impresión 3D también presenta desafíos a la hora de evaluar y garantizar la calidad de los materiales producidos. Una de las propiedades más importantes a evaluar es la rigidez, que es fundamental para determinar la capacidad de un material para resistir la fractura bajo cargas de impacto.

En este contexto, existe una necesidad urgente de desarrollar y establecer equipos de prueba Charpy diseñados específicamente para evaluar la resistencia de los materiales poliméricos impresos en 3D. Basado en el método de prueba estándar de tenacidad, el dispositivo permite a ingenieros y fabricantes caracterizar de manera precisa y confiable la resistencia al impacto de los materiales poliméricos de impresión 3D, proporcionando datos esenciales para el diseño, la construcción y la selección de materiales en una amplia gama de aplicaciones.

En esta introducción, exploraremos los conceptos básicos de la impresión 3D y la importancia de evaluar la rigidez de los materiales poliméricos, enfatizando la necesidad de diseñar y construir máquinas Charpy específicamente para este propósito. Además, se discutirá información sobre los equipos de prueba y cómo afecta el diseño y la construcción de los equipos utilizados para evaluar materiales poliméricos impresos en 3D.

Planteamiento del Problema

Descripción de la Situación Problemática

Actualmente, la impresión 3D está revolucionando la producción de piezas poliméricas en diversas industrias, desde la automoción hasta la aeroespacial, uno de los principales desafíos que enfrentan los ingenieros es estimar con precisión la rigidez de estos materiales, especialmente cuando se utilizan en aplicaciones críticas donde se requiere resistencia al impacto. El diseño y construcción de la máquina Charpy, que se utiliza específicamente para evaluar la resistencia de materiales poliméricos impresos en 3D, presenta varios desafíos. Estos desafíos pueden incluir la necesidad de diseñar un impactador capaz de replicar las condiciones de carga y deformación típicas de las aplicaciones del mundo real, dadas las propiedades únicas de los polímeros impresos en 3D. Además, es necesaria una selección cuidadosa de materiales y procesos de fabricación para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados de las pruebas. Se deben considerar factores como la repetibilidad del impacto, la resistencia a la fatiga del dispositivo y las capacidades de calibración adecuadas para garantizar mediciones precisas. Otro desafío importante es la necesidad de desarrollar métodos de preparación de muestras que sean compatibles con la amplia gama de geometrías y estructuras complejas que se pueden crear con la impresión 3D. Esto puede incluir el desarrollo de protocolos específicos de preparación de muestras para minimizar el riesgo de defectos o irregularidades que podrían afectar los resultados de las pruebas. La variabilidad de problemas que se generan en los materiales de acuerdo al diseño es de importante consideración debido a que son utilizados para la construcción de puentes, edificios e infraestructura de interés por lo que evaluar las propiedades mecánicas de los materiales es un tema de seria consideración.

Formulación del Problema

¿La construcción de la máquina de Charpy permitirá evaluar la tenacidad de los materiales poliméricos para una selección adecuada del material en un diseño en impresión 3D?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir una máquina de Charpy que permita evaluar la tenacidad de los materiales productos de la impresión 3D.

Objetivos Específicos

- Diseñar el bastidor y partes mecánicas usando un software de diseño asistido por computador.
- Construir el péndulo de Charpy mediante la mecanización de los elementos sujetos a procesos de fabricación industrial.
- Medir la tenacidad de las probetas tipo Charpy e Izod para cuantificar los valores en distintos tipos de materiales poliméricos que se derivan de la impresión 3D.

Justificación

Las pruebas de propiedades mecánicas son una consideración importante en el diseño y construcción de máquinas de impacto, ya que la impresión 3D permite la producción de componentes con geometrías y estructuras hechas a medida que pueden afectar significativamente sus propiedades mecánicas, incluida la resistencia mecánica. La instalación de un péndulo Charpy garantizará que estas propiedades críticas al exponerse bajo un ensayo destructivo se prueben de manera precisa y confiable, proporcionando datos críticos para el diseño y la construcción de componentes impresos en 3D utilizados en aplicaciones donde la resistencia es crítica, como dispositivos médicos que se implantan, repuestos aeroespaciales y piezas de automóviles. La calidad y durabilidad de los materiales poliméricos para la impresión 3D pueden variar mucho, lo que puede suponer riesgos potenciales para la seguridad y durabilidad del producto final. Al probar la resistencia de estos materiales utilizando equipos Charpy especializados, los fabricantes pueden identificar y mitigar posibles fallas por impacto y garantizar la seguridad e integridad de los productos del usuario final. Se comprende la relación entre los parámetros de impresión 3D y las propiedades mecánicas resultantes es fundamental y necesario para optimizar los procesos de fabricación y garantizar una calidad constante de los componentes. Proporcionará datos cuantitativos sobre la rigidez de los materiales de impresión 3D en diferentes condiciones de fabricación, lo que permitirá a los fabricantes ajustar y mejorar sus procesos para lograr resultados óptimos de manera eficiente y rentable. Los estándares de conformidad y calidad son estándares que deben seguir diferentes industrias. Las industrias particularmente reguladas, como la medicina y la aeroespacial, tienen estándares y regulaciones de calidad estrictos que requieren que se evalúen y documenten las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la fabricación.

Antecedentes

El desarrollo de la máquina de Charpy fue descrito por primera vez a principios del siglo XX por el científico francés Georges-Augustin Albert Charpy para evaluar la dureza de materiales metálicos. Impacto en el diseño de materiales: este desarrollo histórico sentó las bases para la evaluación sistemática de la resistencia de los materiales, influyendo en el diseño y la selección de materiales en una amplia gama de aplicaciones industriales (Charpy, 1901, p. 389)

De acuerdo a ASTM International (2015) “El avance en la tecnología es otra manera de las que ha influido el desarrollo de la máquina de Charpy” (p. 2), con el tiempo, la tecnología mecánica de esta prueba de ensayo ha mejorado significativamente, incluida la automatización y la instrumentación electrónica para proporcionar mediciones más precisas. Hay algunas pautas en los avances tecnológicos ya que pueden evaluar con mayor precisión la resistencia de los materiales, lo que influye en un diseño de materiales más seguro y eficiente para una variedad de aplicaciones industriales.

Inmediatamente se ha visto que ya no solamente estas pruebas se han aplicado a los materiales de acero sino también tiene incidencia en los materiales poliméricos. Estas máquinas se han adaptado para realizar pruebas de resistencia de materiales no metálicos como polímeros y compuestos, existen implicaciones para el diseño de materiales pues esta adaptación es esencial para el desarrollo de materiales avanzados en industrias como la automotriz, aeroespacial y de dispositivos médicos, donde la resistencia de los materiales poliméricos es crítica. (ISO, 2018, p. 243)

Marco Teórico

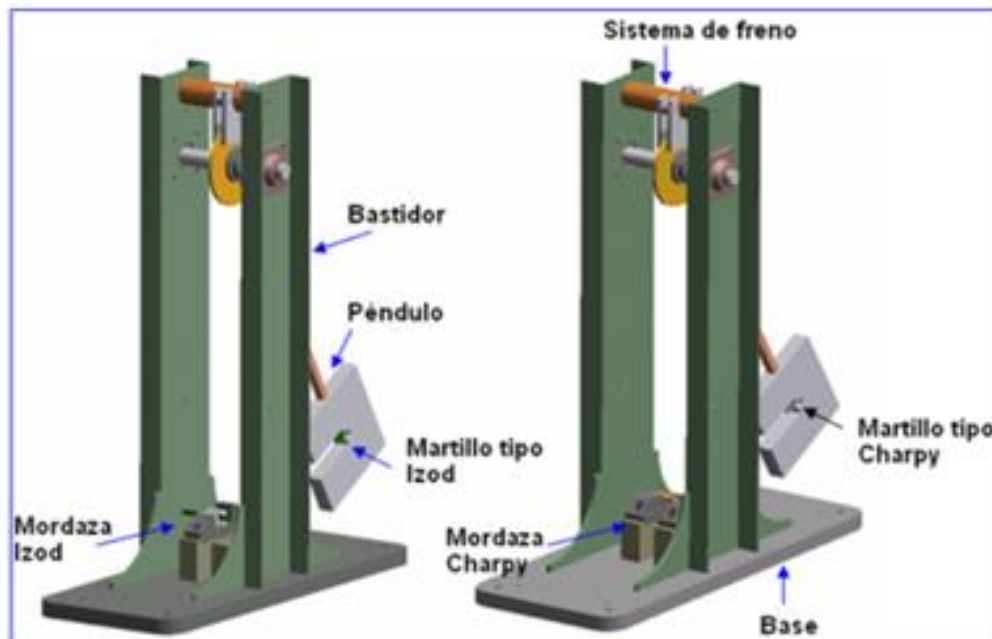
Máquina de Charpy

Se menciona en el estándar ASTM que una máquina de Charpy influye en la medición de la tenacidad de los objetos.

Una máquina de Charpy es un dispositivo utilizado para realizar pruebas de impacto en materiales, evaluando su tenacidad bajo cargas controladas. Esta máquina sigue el estándar de ensayo destructivo, que especifica el procedimiento para la prueba de impacto mediante el uso de un péndulo oscilante que golpea una probeta en una muesca específica. La energía absorbida por la probeta durante la fractura se registra, proporcionando una medida de la tenacidad del material (ASTM International, 2018)

Figura 1

Maquina Charpy



Nota. Péndulo de Charpy y elementos. Tomado de

https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/7124_impacto.pdf

Máquina de Charpy Ensamblada

Una máquina de Charpy representa las propiedades mecánicas que pueden ser medidas a través del impacto que otorga el martillo, esta puede trabajar en forma de péndulo y la ventaja es que es muy fácil de usar, pues los sistemas mecánicos de Charpy están desarrollados para que puedan asimilar los impactos de manera que absorben energía en el trayecto de su desplazamiento angular. La mayoría de impactadores se rige bajo normativas de uso una de ellas esta enfocadas en los materiales de acero al carbono como probetas de prueba pues estas son los materiales que exigen un uso en el diseño de la máquina, la normativa por la que se establece parámetros para medir la tenacidad en los materiales se puede encontrar en la AWS D1.1 que es un código para ensayos destructivos y no destructivos. Esto implica que los diseños de las placas de prueba estén asociados con la normativa.

Figura 2

Maquina Charpy con Protección Acrílica



Nota. Maquina Charpy con protección. Tomado de

[https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9ndulo_de_Charpy#/media/Archivo:Pendulo_de_charpy.](https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9ndulo_de_Charpy#/media/Archivo:Pendulo_de_charpy.jpg)

.jpg

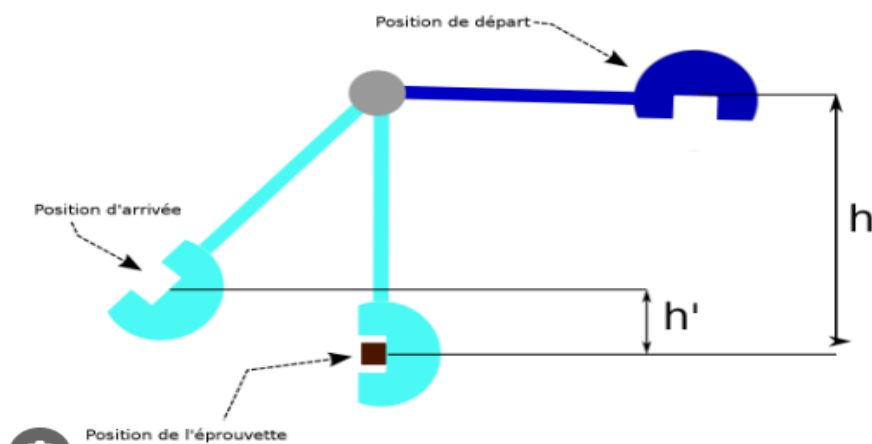
Péndulo

“En el contexto de una máquina Charpy, un péndulo es un mecanismo oscilante con un martillo en un extremo que se utiliza para aplicar cargas de impacto controladas a las muestras durante las pruebas de resistencia” (ASTM E23-16, 2016).

Un péndulo es aquel elemento que puede oscilar de acuerdo a la naturaleza de su material, debido a la masa que posee, en ello se tiene en cuenta dentro de la física que un péndulo puede ser clasificado de acuerdo a la amplitud que llega a alcanzar durante su oscilación, en ello se encuentra el péndulo simple donde el desplazamiento angular es igual a la fuerza restauradora, de igual forma se observa un péndulo compuesto por lo que el periodo varía con la amplitud. El tipo de suspensión que manejan estos dos tipos de péndulos son de acuerdo a la oscilación que maneja cada uno de ellos pues la masa se encuentra suspendida por un punto fijo a un hilo en el primer caso, mientras que en el segundo se encuentra suspendida por una varilla que permite la creación de momentos.

Figura 3

Movimiento de un péndulo



Nota. Altura inicial y final de un péndulo. Tomado de

https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9ndulo_de_Charpy

Martillo

“El martillo es una masa liberada desde una altura controlada, que golpea la muestra en una muesca específica y aplica una carga de impacto para evaluar la dureza del material” (ASTM International, 2016)

El martillo corresponde a la parte más pesada que es sostenida por el eje o varilla que mantiene un movimiento oscilatorio, la finalidad que tiene esta pieza es la de proporcionar la energía cinética para dar empuje al péndulo, pues al soltarlo se produce un cambio de fuerza debido a que la masa hace que se mueva por inercia, es primordial que la masa del martillo constituya una base sólida para la consistencia de las pruebas.

El martillo puede tener diferentes diseños en cuanto a geometría pues algunos pueden ser rectangulares y otros pueden ser circulares, esto depende mucho de la facilidad de mecanización que tenga el fabricante, lo importante en ello es cumplir con el peso adecuado para brindar la estandarización de las pruebas y regulación de acuerdo a la normativa establecida por las organizaciones técnicas.

Figura 4

Martillo de golpeo



Nota. Se observa las diferentes geometrías del martillo de Charpy. Tomado de <https://www.directindustry.es/prod/jinan-liangong-testing-technology-co-ltd/product-180963-1879559.html>

Bastidor

“El bastidor es la estructura principal de la máquina Charpy que proporciona soporte y estabilidad a los componentes mecánicos durante la prueba de impacto” (ASTM International, 2016).

El bastidor del equipo presenta características importantes aparte de el sostén que puede brindar al sistema para dar comienzo a las pruebas, una de ellas tiene que ver con las características mecánicas con las que puede ser construida, esta propiedad mecánica resulta primordial pues permite que se pueda conocer el peso del ensamble, la mayoría de veces se utiliza como material el acero al carbono, la forma geométrica que presenta este tipo de diseños radica en el gusto del fabricante pues existe una gama de tipos en cuanto a las máquinas de Charpy. Este puede contener los respectivos dispositivos de seguridad para función del equipo en condiciones de prueba, este también da la posibilidad de dar rigidez al sistema dinámico para el desplazamiento angular del péndulo y golpeo del martillo contra la probeta plástica.

Figura 5

Bastidor



Nota. Bastidor de una máquina de Charpy. Tomado de

<https://www.machinio.es/anuncios/82146891-norma-internacional-iso-de-calidad-de-la-maquina-de-ensayo-de-impacto-charpy-pendolo-en-shandong-china>

Sistema de Control Electrónico

“El sistema de control electrónico de la máquina Charpy es responsable de automatizar y regular los parámetros de prueba, como subir y bajar el péndulo y capturar y mostrar datos”

(Gramo, 2012)

El sistema electrónico de Charpy consta de diversos mecanismos para el control y manejo del proceso, en primera instancia el sistema electrónico puede ser considerada una opción en la construcción de estos sistemas pues existen equipos que cuentan con medición analógica y no se requiere de instrumentos electrónicos que puedan realizar esa función, ahora los sistemas electrónicos pueden ser implementados para la medición de las características mecánicas de resiliencia del impacto mecánico, el sistema electrónico puede ser enfocado a obtener resultados más precisos en la medición de la tenacidad de los materiales pues incluyen dispositivos de pequeña sensibilidad como lo puede ser el uso de un potenciómetro y a su vez ofrece la ventaja de poder ser calibrados manualmente para corroborar valores tomados durante las mediciones pues se conoce que en el trayecto de las mediciones siempre va a existir des calibración del equipo.

Figura 6

Sistemas electrónicos usados en las pruebas de tenacidad



Nota. Variadores de resistencia en los circuitos. Tomado de

<https://grupestrore.com/shop/sensores/encoders/modulo-encoder-rotatorio-ky-040/>

Pantalla

“Una pantalla Charpy es un dispositivo que muestra información relevante durante una prueba de impacto, como la energía absorbida por la muestra y otras variables controladas por un sistema de control electrónico” (Begley, 2007).

Las pantallas de Charpy son usadas para mostrar los resultados de los valores obtenidos en las pruebas de tenacidad, generalmente existen pantallas para distintas finalidades; una de ellas es la pantalla de seguridad donde se puede evidenciar los textos que hacen alusión al uso de equipos de seguridad para el inicio de la prueba ya que es un ensayo destructivo, un segundo tipo de pantalla es la de visualización donde se muestran las mediciones realizadas para medir la tenacidad, las pantallas de control son indicadores importantes también para conocer cómo se ejecuta el proceso, sin embargo estas pantallas son menos usadas ya que involucra mucha inversión en el sistema desarrollado, algo que las máquinas actuales contienen son protectores de las pantallas mencionadas pues las pruebas se realizan en laboratorios donde es frecuente encontrar polvo y partículas originarias del ámbito de trabajo.

Figura 7

Pantallas para los equipos de Charpy



Nota. Pantallas para obtención de datos y valores en las pruebas mecánicas. Tomado de

<https://codisin.com/automatizacion/display/>

Propiedades Mecánicas

La importancia de las propiedades mecánicas lo destaca Askeland (2016) y menciona que “para construir soportes de cargas, se seleccionan los materiales de ingeniería, luego de comparar sus propiedades mecánicas con las especificaciones de diseño y las condiciones de servicio que requiere el componente” (p. 183).

Tenacidad

La rigidez es la capacidad de un material para absorber energía antes de romperse bajo una carga de impacto. Generalmente se mide en julios por metro cuadrado (Callister, 2018).

La tenacidad por lo tanto representa una variable importante en la resiliencia de un material en especial pues se determinará cuan fuerte soportara un golpe, en las pruebas de impacto se manejan máquinas de diferentes unidades de energía y para ello se utilizan distintos martillos que varían de acuerdo al peso involucrado, por lo que las unidades manejadas para evaluar la tenacidad son de energía como julios.

Figura 8

Tenacidad de los materiales de acuerdo a la curva de esfuerzo-deformación



Nota. Diagrama de Esfuerzo Deformación. Tomado de

https://www.prontubeam.com/articulos/12_2015_PROP_MAT/12_2015_PROP_MAT.php

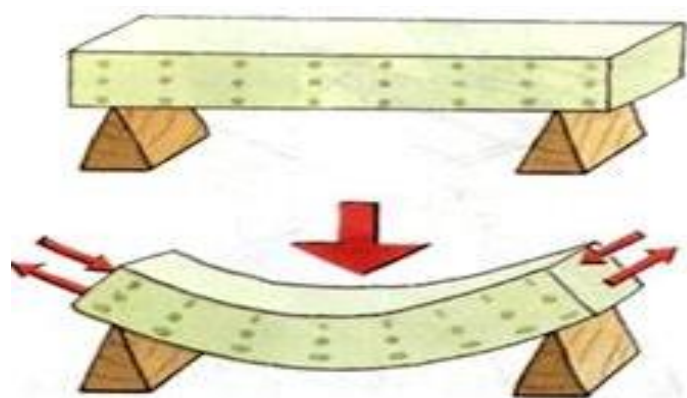
Resistencia Mecánica

La resistencia mecánica es la capacidad de un material para soportar una carga sin deformación o fractura permanente. Generalmente se mide en unidades de presión como MPa (megapascuales) o psi (libras por pulgada cuadrada) (Elsevier, 2012).

Por lo tanto la resistencia mecánica de un material representa la capacidad del mismo para soportar fuerzas, cargas o tensiones en su estructura geométrica, esta resistencia puede influir de acuerdo a la composición química, a su estructura cristalina de los materiales, esto se revisa en las propiedades tecnológicas de los materiales, las unidades medidas en la resistencia mecánica son en Newton y representa la firmeza del material a varios esfuerzos como pueden ser de tracción, compresión, torsión y a distintos tipos de fatiga. En la propagación de grietas es muy común hablar de síntomas como las fisuras en un material, la resistencia por un lado es aquella que hace que estas grietas se minimicen en la estructura cristalina de un material. Es primordial por ello establecer las características ideales para la resistencia a la fatiga que puede presentar un material en especial.

Figura 9

Resistencia mecánica de un objeto



Nota. Un material más resistente presenta propiedades de ductilidad. Tomado de <https://normadera.tknika.eus/es/content/propiedades-mec%C3%A1nicas.html>

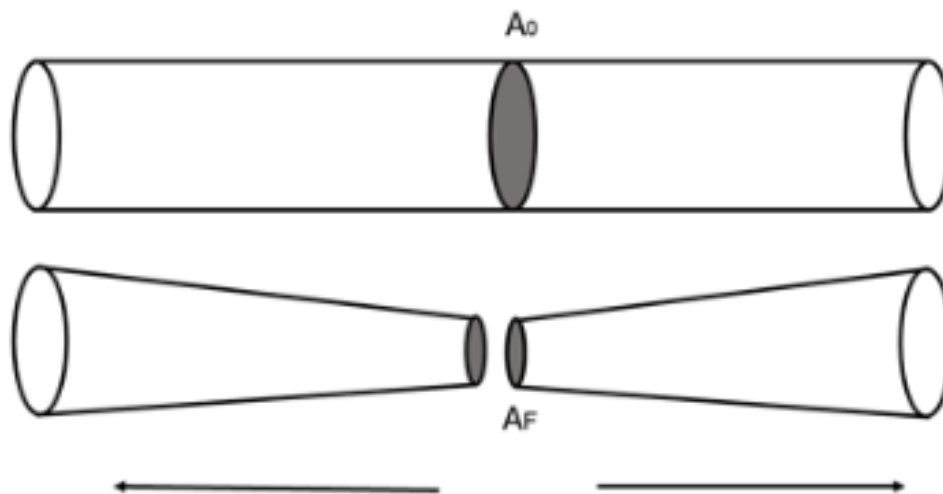
Ductilidad

La ductilidad es la capacidad de un material de deformarse plásticamente antes de romperse bajo tensión. Se expresa como el porcentaje de alargamiento o reducción del área de la muestra durante el ensayo de tracción (Dieter, 1986)

La ductilidad de un material puede ser definida como la capacidad de poder deformarse antes de romperse, una varilla de acero puede ser puesta de ejemplo para dar a entender que es un material dúctil, cuando se someten a esfuerzos estos se comportan de manera plástica, se define también como la variabilidad de alargamiento que tienen los elementos antes de romperse o llegar al esfuerzo último. Es expresada como el porcentaje de variabilidad de elongación del material. Las aplicaciones de los materiales dúctiles son aquellas donde se desea flexibilidad de los mismos para la ejecución de esfuerzos que tendrán como agentes externos a su composición y provenientes de las cargas que maneje el sistema que se esté implementando.

Figura 10

Ductilidad de un material cilíndrico antes y después de la fractura



Nota. Objeto cilíndrico en pruebas de ductilidad. Tomado de <https://www.ejemplos.co/10-ejemplos-de-materiales-ductiles/>

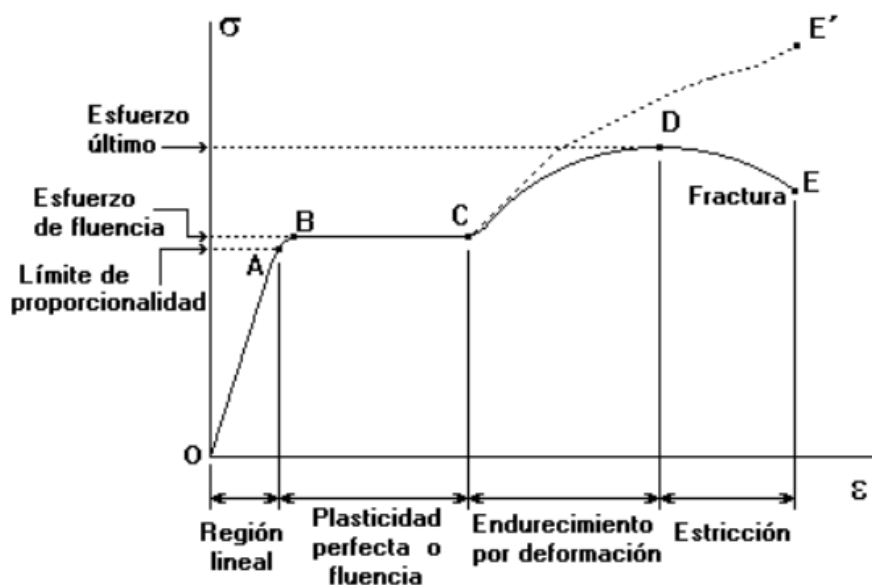
Curva Esfuerzo Deformación

Una curva tensión-deformación es una representación gráfica de la relación entre la tensión sobre un material y la deformación resultante. Proporciona información sobre las propiedades mecánicas de un material, incluido su comportamiento elástico y plástico y su resistencia última (Geer, 2018).

Un diagrama de esfuerzo deformación demuestra características mecánicas de los materiales donde se puede observar de manera general la región plástica y la región de estricción, se ven ciertos valores medibles que son el módulo de Young el esfuerzo ultimo para observar el valor al que la pieza se quiebra de acuerdo al esfuerzo aplicado. En ingeniería se habla de curvas de ingeniería y curvas de operación que constituye una diferencia en el esfuerzo último.

Figura 10

Curva Tensión – Deformación de un material



Nota. Diagrama Esfuerzo - Deformación. Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Curva-de-esfuerzo-deformacion-idealizada-para-materiales-ductiles_fig1_331310495

Aplicaciones Industriales

El uso industrial se refiere a las diversas formas en que se utilizan materiales y tecnologías para producir productos y realizar procesos de fabricación en entornos industriales

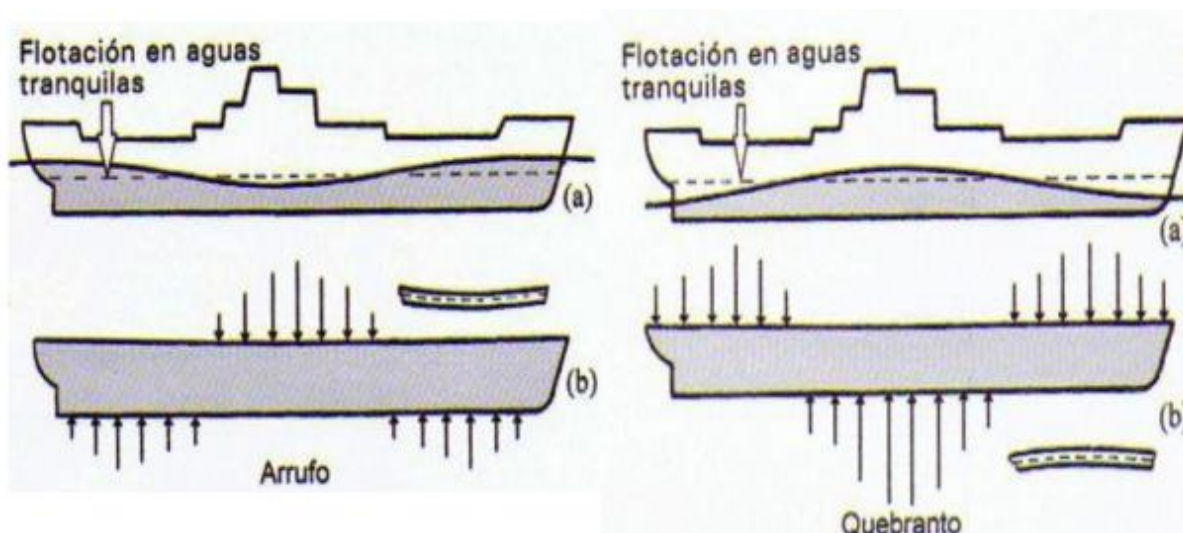
Industria Mecánica

La industria de la ingeniería mecánica se ocupa del diseño, fabricación, montaje y mantenimiento de máquinas y equipos mecánicos utilizados en diversos sectores industriales (Wiley, 2002).

La industria mecánica representa una de las mayorías donde representa las capacidades de diseño de un material por lo que es necesario en este tipo de industrias tener las justificaciones debidas de acuerdo al diseño a construir.

Figura 10

Esfuerzos variables en la construcción de un barco en la industria mecánica



Nota. Las tensiones que se originan en los barcos son analizadas cuidadosamente mediante pruebas destructivas en la industria mecánica. Tomado de Diagrama Esfuerzo - Deformación.

Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Curva-de-esfuerzo-deformacion-idealizada-para-materiales-ductiles_fig1_331310495

Industria de la Construcción

La industria de la construcción incluye la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de estructuras y edificios civiles, así como infraestructura y obras públicas (Groover, 2018).

La industria de la construcción tiene que ver con efectos de planeación, gestión, construcción y verificación de la infraestructura la cual ha sido diseñada. Los efectos prácticos que toma este tipo de industria dentro de las actividades de organización son más de tipo civil, y dentro las obras civiles se analiza los efectos de los materiales de acero como son las varillas de acero usadas en la construcción de columnas pues estas adoptan flexibilidad de los elementos que lo constituyen. Ciertos materiales dúctiles que encajan en este tipo de industrias son el cobre, aluminio y el acero.

Figura 11

Industria de la construcción



Nota. Industria de la construcción. Tomado de <https://es.linkedin.com/pulse/tipos-de-empresas-constructoras-un-panorama-la-industria-construccion>

Industria Automotriz

La industria automotriz se dedica al diseño, fabricación, venta y mantenimiento de vehículos de motor, incluidos automóviles, camiones, autobuses y motocicletas (Heitener, 2004)

La industria Automotriz representa uno de los sectores económicos y técnicos donde se desarrollan pruebas de impacto para la evaluación de los vehículos que son puestos en el mercado internacional, estos esfuerzos a los que se enfrentan los vehículos están orientadas al análisis de los materiales debido a los choques que podría presentar dicha estructura como la carrocería de un auto, en su mayoría las pruebas a vehículos son realizadas para determinar los impactos por choques frontales y cuantificar el peligro en función de la velocidad y tipo de impacto que tendrá el automotor.

La industria automotriz para ello emplea diferentes procesos de reforzamiento de materiales para incluir ductilidad y resistencia mecánica a la microestructura con las que se elaboran.

Figura 12

Industria automotriz



Nota. Industria automotriz. Tomado de

<https://thelogisticsworld.com/manufactura/caracteristicas-de-la-industria-automotriz-un-sector-en-evolucion-constante/>

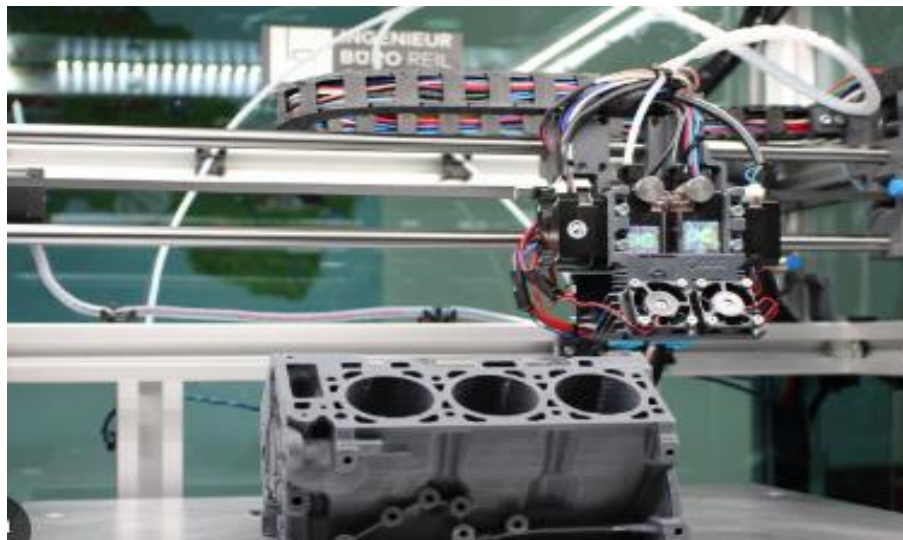
Industria de la Manufactura Aditiva

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, utiliza la tecnología de agregar materiales para crear objetos tridimensionales capa por capa a partir de datos digitales (Gibson, 2014)

Por una parte, la industria manufacturera enfocada en la impresión tridimensional ha crecido el último siglo debido a las tecnologías emergentes que han sido implementadas por los investigadores, por ello se han podido plasmar en la vida real diseños complejos a través de una impresora. El uso de materiales varía de acuerdo a la aplicación del objeto diseñado, por lo general se tiene en cuenta que un diseño realizado por una impresora es solo para prototipado sin embargo los diversos filamentos ofrecen diferentes tipos de características y propiedades mecánicas por lo que conviene encarecidamente analizar cada uno de ellos por medio de pruebas destructivas.

Figura 13

Industria de la manufactura aditiva



Nota. Impresión de un Block Motor. Tomado de <https://www.icamcyl.com/es/division-de-manufactura-aditiva-y-componentes>

Metodología y Desarrollo del Proyecto

Según estudio de Bryman (2015) hace mención de que “los métodos cuantitativos son un conjunto de métodos y procedimientos de investigación que se centran en la recopilación y análisis de datos numéricos para comprender fenómenos sociales, económicos o científicos” (p. 25). Este enfoque tiene como objetivo utilizar métodos estadísticos y matemáticos para medir variables y determinar relaciones causales o correlacionales entre ellas. El método cuantitativo se caracteriza por un énfasis en la objetividad y precisión en la recopilación y análisis de datos. Utiliza instrumentos de medición estandarizados y métodos estadísticos rigurosos para cuantificar fenómenos y relaciones entre variables. Este enfoque permite la generalización de los resultados a una población más amplia y el análisis numérico para identificar patrones y tendencias. Utilizando un enfoque sistemático y estructurado, los métodos cuantitativos también proporcionan una base sólida para la replicación y verificación de los resultados de la investigación, lo que ayuda a aumentar la credibilidad y confiabilidad del estudio.

Por otro lado, los métodos cuantitativos también tienen algunas limitaciones, como la dificultad de captar la complejidad y riqueza de los fenómenos sociales o humanos con la ayuda de datos numéricos. Además, puede haber problemas a la hora de seleccionar variables e interpretar con precisión los resultados estadísticos. Por ello, los métodos cuantitativos suelen complementarse con métodos cualitativos con el fin de lograr una comprensión más completa y profunda del fenómeno en estudio, lo que se denomina investigación mixta o triangulación metodológica. En el desarrollo del proyecto de la máquina de Charpy se desea implementar un diseño cuantitativo para medir las variables de ductilidad y tenacidad que permitirá la comparación de las curvas de resistencia mecánica en diferentes materiales impresos por los filamentos como el PLA, PETG y el TPU.

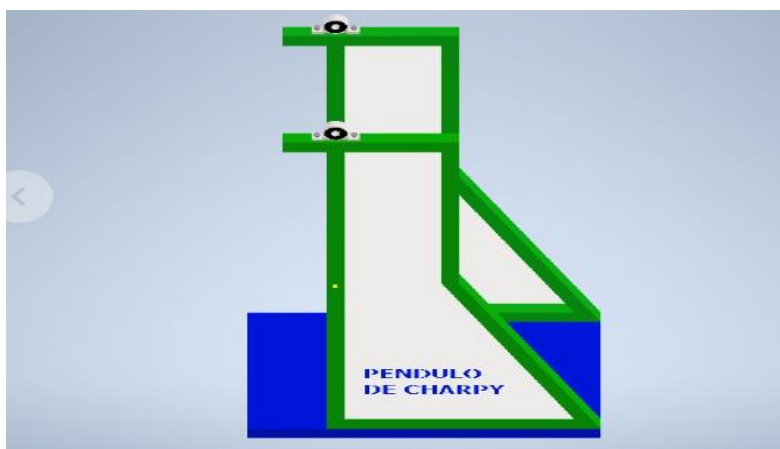
Diseño

Se crea un boceto inicial con las herramientas de boceto de Inventor, puede crear un boceto inicial de una máquina Charpy, incluidos péndulos, martillos, marcos, sistemas de sujeción de muestras y más. Este boceto servirá como base para el diseño tridimensional. Ya desde los bocetos iniciales, se utilizan las herramientas de modelado de Inventor para modelar en 3D cada parte de la máquina, se deben considerar detalles como tolerancias, ajustes y conexiones entre piezas. Se agrega información adicional a cada componente, como orificios, roscas, ranuras, soldaduras, etc. Además, también se pueden integrar funciones como mangos, portaherramientas e indicadores.

Una vez modelados todos los componentes, se ensamblan en una configuración completa de la máquina Charpy. Se definen relaciones de ensamblaje entre diferentes componentes para asegurar su correcto funcionamiento. Se pueden realizar pruebas y simulación en Inventor para verificar el rendimiento y la durabilidad de las máquinas Charpy. Esto puede incluir análisis de tensiones, simulación de movimiento y análisis de perturbaciones.

Figura 14

Diseño CAD



Nota. Diseño de la máquina de Charpy en un software asistido por computador.

Construcción

La construcción de una máquina Charpy implica varios pasos críticos para ensamblar los componentes necesarios para realizar pruebas de impacto de manera eficiente y precisa.

Comenzando con la fabricación o compra de componentes clave como péndulos, martillos, marcos y sistemas de sujeción de prueba, estos elementos se ensamblan según especificaciones previamente desarrolladas. Garantiza la alineación y fijación adecuadas de cada componente y garantiza la estabilidad y precisión durante las pruebas. Además, se integran sistemas de control electrónico para gestionar el proceso de prueba y registrar datos relevantes. Antes de su uso, se debe realizar una prueba funcional y un ajuste para garantizar que el equipo esté funcionando correctamente. Finalmente, se realizan pruebas de calibración y verificación para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados de las pruebas de impacto.

Figura 15

Soldadura a filete en los tubos y la base metálica



Nota. Se puede apreciar la colocación de ángulos magnéticos para la soldadura a filete.

Conexión Electrónica

Para implementar conexiones electrónicas en la máquina de ensayo de tenacidad usando Arduino, el sistema debe estar diseñado para controlar el movimiento del péndulo y registrar con precisión los datos de la prueba de impacto. Los sensores se utilizarán para detectar la posición del péndulo y su efecto en un tubo de ensayo que se conectará a un puerto de entrada/salida digital o analógico en la placa. Utilizando un programa desarrollado en el entorno de programación, se creará la lógica de control necesaria para controlar el movimiento del péndulo desde su altura hasta la liberación de los choques y registrar los datos de la prueba. Además, se pueden utilizar actuadores como motores o solenoides controlados por la placa para realizar las acciones mecánicas requeridas en la máquina Charpy. Se debe incorporar un esquema de protección y filtrado para garantizar la seguridad e integridad de los datos durante las pruebas. Con estas conexiones electrónicas y el control proporcionado por Arduino, se puede lograr un funcionamiento automatizado y preciso de la máquina Charpy, asegurando pruebas de impacto eficientes y confiables.

Figura 16

Muestra de la pantalla LCD e información relacionada a la medición de la tenacidad



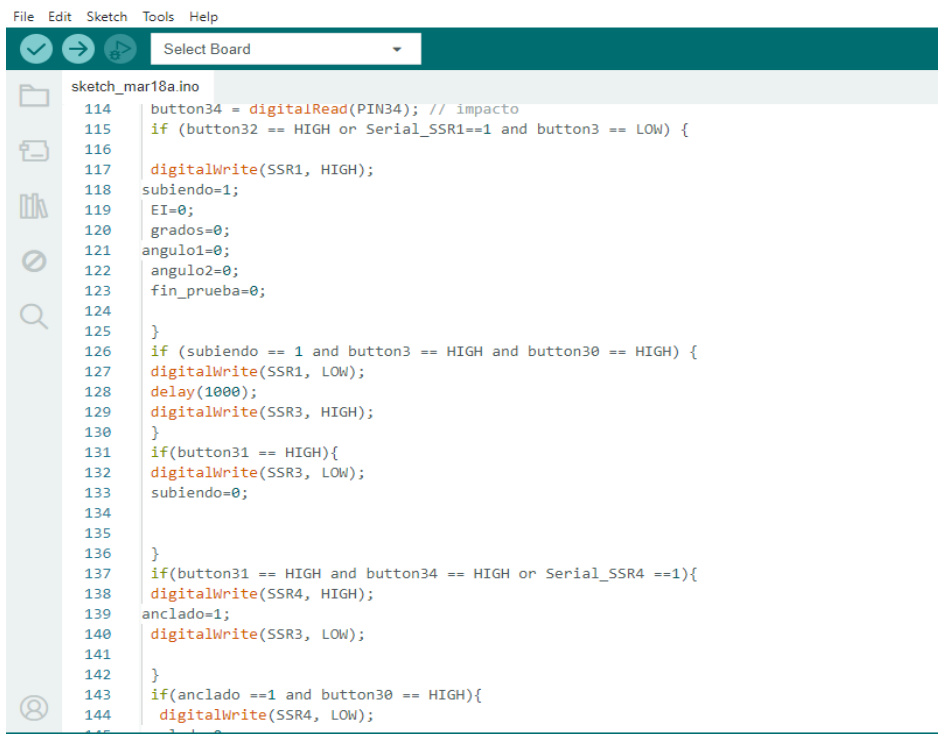
Nota. Conexiones electrónicas.

Programación

La programación utilizando Arduino IDE para controlar la máquina Charpy requiere desarrollar código para coordinar el movimiento del péndulo, controlar la liberación del martillo para el impacto y registrar los datos de la prueba. Las funciones se utilizarán para inicializar y configurar los pines de entrada/salida para conectar los sensores y actuadores necesarios, como los que detectan la posición del péndulo y controlan el mecanismo de liberación del martillo. Se implementarán algoritmos para controlar el proceso de prueba, incluido el control de cómo se eleva el péndulo a la altura deseada, la liberación del martillo en el momento preciso para impactar la muestra y la captura de datos del impacto, como la energía absorbida.

Figura 17

Código en Arduino IDE



```

File Edit Sketch Tools Help
Select Board
sketch_mar18a.ino
114 button34 = digitalRead(PIN34); // impacto
115 if (button32 == HIGH or Serial_SSR1==1 and button3 == LOW) {
116
117     digitalWrite(SSR1, HIGH);
118     subiendo=1;
119     EI=0;
120     grados=0;
121     angulo1=0;
122     angulo2=0;
123     fin_prueba=0;
124
125 }
126 if (subiendo == 1 and button3 == HIGH and button30 == HIGH) {
127     digitalWrite(SSR1, LOW);
128     delay(1000);
129     digitalWrite(SSR3, HIGH);
130 }
131 if(button31 == HIGH){
132     digitalWrite(SSR3, LOW);
133     subiendo=0;
134
135 }
136 }
137 if(button31 == HIGH and button34 == HIGH or Serial_SSR4 ==1){
138     digitalWrite(SSR4, HIGH);
139     anclado=1;
140     digitalWrite(SSR3, LOW);
141
142 }
143 if(anclado ==1 and button30 == HIGH){
144     digitalWrite(SSR4, LOW);

```

Nota. Código de ejecución en Arduino IDE.

Medición de Tenacidad

Esto incluye seguir los procedimientos estándar establecidos para las pruebas de impacto. En primer lugar, se elabora una muestra del material polimérico producido mediante impresión 3D según las especificaciones requeridas. Las muestras se colocan cuidadosamente en el sistema de sujeción de la máquina Charpy. Luego ajuste los parámetros de la máquina, como la altura de elevación del péndulo y la posición de la muesca en la muestra de acuerdo con los estándares de prueba. Una vez fijado, el proceso de prueba comienza elevando el péndulo a una cierta altura y soltándolo para impactar la muestra. El dispositivo registra la energía absorbida por la muestra en el momento de la fractura y, mediante la realización de los cálculos adecuados, determina la rigidez del material. Este proceso se repite para varias muestras y los resultados se promedian para proporcionar una medida representativa de la resistencia del material polimérico impreso en 3D. Además, se pueden incluir procedimientos de calibración para ajustar la precisión y sensibilidad del sensor, así como funciones de manejo de errores para garantizar la seguridad durante las pruebas.

Figura 18

Prueba de tenacidad



Nota. Pruebas de tenacidad a materiales poliméricos.

Materiales para la Implementación del Proyecto

En la empresa CONSTRINSE se requería de la implementación de un sistema que pueda medir la tenacidad de los materiales poliméricos debido a la rotura de ciertos objetos aplicados a diferentes esfuerzos.

Tabla 1

Presupuesto del proyecto

Ítem	Rubro	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Estructura	c	\$40	\$40
2	Varilla	1	\$10	\$10
3	Tubo cuadrado 4x4	1	\$15	\$15
4	Arduino	1	\$15	\$15
5	Potenciometro	2	\$1	\$1
6	Cables	1	\$5	\$5
7	Display de 7 segmentos	1	\$6	\$6
8	Fuente de alimentación	1	\$10	\$10
9	Mecanizados Acero	1	\$150	\$150
13	Imprevistos			\$25.30
Inversión Total				\$277.3

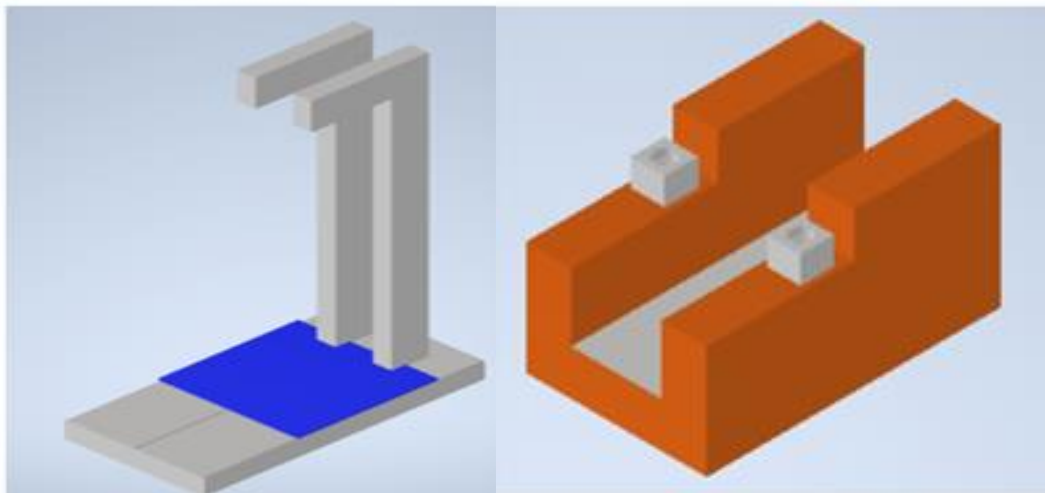
Propuesta

Estructura y Marco

La estructura y bastidor es la base de la máquina, proporcionando estabilidad y soporte a las partes mecánicas y electrónicas. Debe ser lo suficientemente fuerte y duradero para soportar las fuerzas generadas durante las pruebas de impacto. Se Utiliza materiales de alta resistencia como acero al carbono para construir la estructura y el marco. Se diseñan estructuras para facilitar el montaje y mantenimiento de componentes internos.

Figura 19

Maquina Charpy



Nota. Bastidor y armazón de sujeción para probetas.

Péndulo y Martillo

El péndulo y el martillo son los componentes principales que aplican la carga de impacto a la muestra durante la prueba Charpy. El mecanismo pendular está diseñado para permitir elevarlo de forma controlada hasta una determinada altura y luego soltarlo para producir un impacto. El martillo debe diseñarse adecuadamente para garantizar un contacto preciso con la muestra. Un ejemplo de sistema de fijación es el sistema de compresión asegura que la muestra

se mantenga en su lugar durante la prueba de impacto y asegure un contacto suave con el martillo. Se diseña un sistema de sujeción ajustable para acomodar diferentes tipos y tamaños de tubos de ensayo. Hay un mecanismo de sujeción para una liberación rápida y segura de las muestras después de la prueba.

Figura 20

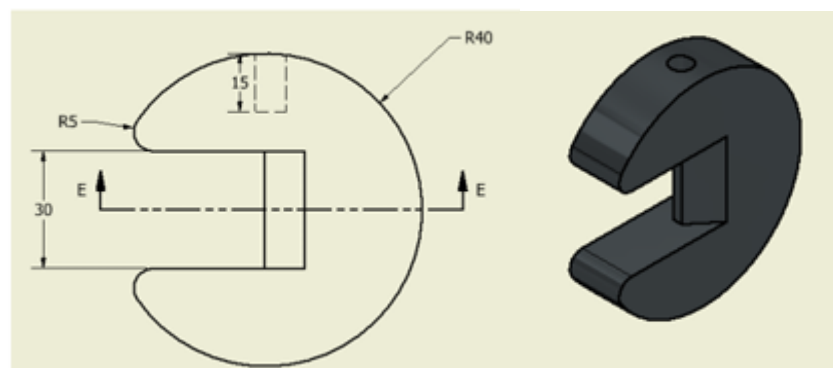
Péndulo De Charpy



Nota. Péndulo de Charpy.

Figura 21

Martillo de Charpy



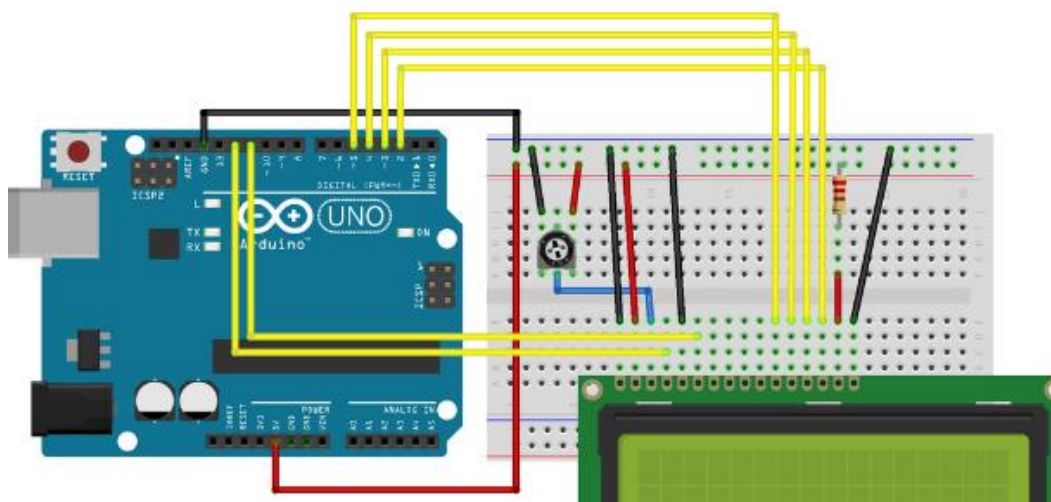
Nota. Martillo para percusión de probeta.

Sensores y Actuadores

Los sensores y actuadores se encargan de detectar el movimiento del péndulo, registrar la energía absorbida por la muestra y controlar el proceso de prueba. Se utiliza un sensor de posición y un acelerómetro para medir el movimiento del péndulo y la velocidad del impacto. Esto contiene un actuador controlado por un sistema electrónico para subir y soltar el péndulo.

Figura 22

Elementos electrónicos usados



Nota. Elementos electrónicos usados, arduino, display, potenciómetro.

Sistema de Control Electrónico

Un sistema de control electrónico controla el funcionamiento del equipo, incluido el control de sensores y actuadores y el registro de datos de prueba. Información técnica: Utilice un microcontrolador como un Arduino para programar y controlar las operaciones de la máquina. Cree una interfaz de usuario intuitiva para configurar los parámetros de prueba y ver los resultados.

Pantalla y Visualización de Datos

La pantalla proporciona información visual durante la prueba y muestra los resultados de rigidez del material. Información técnica: la pantalla LCD o LED se utiliza para mostrar información relevante, como datos de prueba, como la energía absorbida de la muestra, la velocidad del impacto, etc. Interfaz de usuario integrada para navegar por los resultados y configurar los ajustes de la máquina.

Sistema de Seguridad

El sistema de seguridad garantiza el funcionamiento seguro de la máquina y protege al usuario de posibles riesgos durante la prueba de impacto. Se utiliza sensores de seguridad y dispositivos de parada de emergencia para detener la máquina cuando se detecten condiciones anormales o peligrosas. Ahora se crea una funda o cubierta protectora para evitar el acceso a las piezas móviles durante la operación.

Figura 23

Sistema de rodamientos para seguridad del péndulo



Nota. Rodamientos de giro para péndulo simple.

Sistema de Prueba y Verificación

Las pruebas de verificación se realizaron usando las probetas tipo Izod y tipo Charpy para los ensayos destructivos que se van a aplicar de acuerdo a las normas establecidas por la ASTM E8. Se verificará la tenacidad de los materiales como el PLA para determinar una comparación y calibrar la máquina.

Figura 24

Péndulo de Charpy y conexiones electrónicas



Nota. Funcionamiento de la máquina de Charpy.

Encuestas y Resultados

Una vez ensamblada la unidad, se procedió a realizar pruebas funcionales. Se observó que el equipo memorizó el material fácilmente. Para realizar esta prueba, mueva manualmente el péndulo y observe que la fricción es mínima posible y el péndulo puede alcanzar todas las posiciones que puede alcanzar durante la prueba afecta. Además, se observó la respuesta de rodamientos y ejes ya que necesitan mantenimiento.

Corregido durante la prueba de impacto (no pueden moverse horizontalmente, el péndulo no puede girar). También se comprobó que el cable del sensor no interfiere con la prueba y puede llegar al lugar Posición inicial comprobada y posición final ideal (sin fricción si el péndulo se deja caer en un ángulo de 30 grados).

Los grados por encima del plano horizontal deben alcanzar este valor en el otro lado) Se coloca polímero sobre la viga en niveles iguales, y está roto por un círculo de péndulo a mitad de camino y entre las líneas estrictas. Apoyado y directamente opuesto a la muesca. Los sensores también fueron probados para detectar pérdidas por fricción. en estas pruebas.

Procedimiento de Operación

Se deja caer el péndulo desde 0 grados (horizontal),

Existe una pérdida mínima de ángulo (y por tanto de altura) debido a la fricción, pero no sólo a la fricción del eje;

Efecto del aire en la nariz. Realizando la prueba en un ángulo menor (más cerca de la posición). La pérdida del ángulo vertical es menor. Para la prueba de impacto, ignoramos el valor de la pérdida. Energía de fricción del eje y el aire.

Propuesta

La propuesta de un sistema integrado para la evaluación de propiedades mecánicas como la de Charpy consistió en el registro de datos de la absorción de energía de la probeta polimérica de acuerdo al ensayo de impacto.

Tabla 2

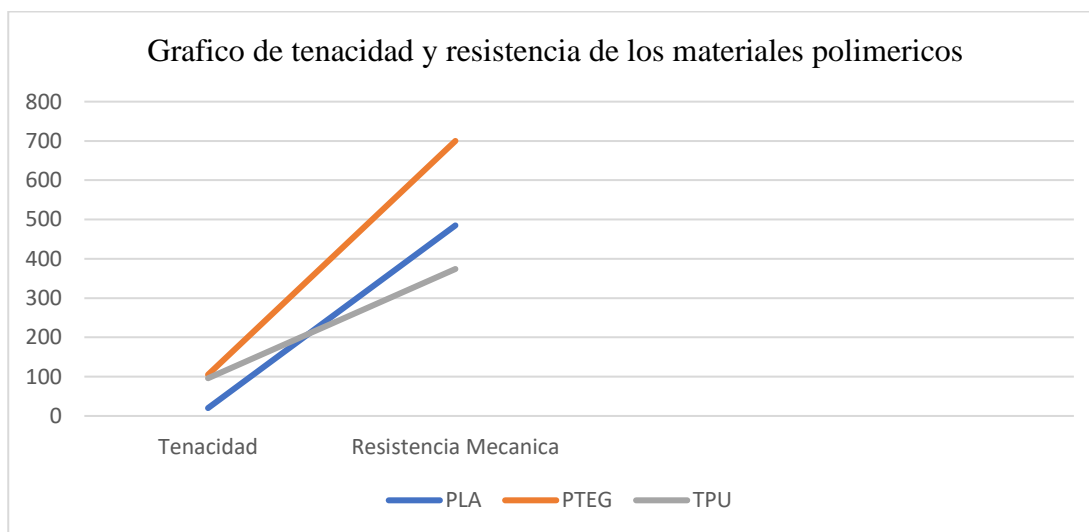
Valores de tenacidad de los materiales poliméricos

Material	Magnitud medible (kJ/m ²)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
PLA	20	485
PTEG	105	700
TPU	96	347

Nota. Elaboración de datos de las magnitudes de resistencia y tenacidad.

Figura 25

Curvas lineales que indican el grado de tenacidad y resistencia mecánica de los materiales



Nota. Curvas con pendientes crecientes de tenacidad y resistencia mecánica.

Conclusiones

El proceso de diseño asistido por computadora (CAD) del marco y los componentes mecánicos de la máquina Charpy permitió un diseño preciso y detallado de la estructura, asegurando su resistencia y funcionalidad durante las pruebas de impacto. Este enfoque ayuda a crear modelos tridimensionales que sirven como referencia para fabricar los componentes necesarios.

La mecanización del elemento del péndulo Charpy mediante procesos de fabricación industrial asegura la calidad y precisión requerida para su correcto funcionamiento durante la prueba de durabilidad. El uso de materiales de alta resistencia y la aplicación de métodos de procesamiento avanzados garantizan la durabilidad y confiabilidad del péndulo, lo cual es esencial para lograr resultados precisos y consistentes durante las pruebas de impacto.

La capacidad de medir la dureza Charpy e Izod de diferentes tipos de materiales poliméricos obtenidos mediante impresión 3D proporciona información valiosa sobre sus propiedades mecánicas. Estos resultados son esenciales para la evaluación y selección adecuada de materiales en aplicaciones industriales, permitiendo identificar materiales con propiedades óptimas de resistencia y rigidez para cada aplicación específica.

Recomendaciones

Continuar utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD) para futuros proyectos de diseño y fabricación. Esto permitirá una planificación precisa y detallada de los componentes mecánicos, garantizando una fabricación y montaje más eficiente de la maquinaria Charpy. También es importante explorar nuevas herramientas y técnicas en software CAD para optimizar el diseño y la funcionalidad de su máquina.

En el procesamiento de piezas de péndulo se mantienen altos estándares de calidad, garantizando el uso de materiales de alta resistencia y el cumplimiento de procedimientos de fabricación precisos. Además, es importante realizar controles de calidad durante todo el proceso productivo para identificar posibles defectos o no conformidades y eliminarlos de forma inmediata. La investigación de nuevas tecnologías de procesamiento, como la fabricación aditiva o el procesamiento de alta velocidad, puede mejorar aún más la calidad y la eficiencia del proceso.

Las pruebas de dureza de diversos materiales poliméricos derivados de la impresión 3D continúan ampliando el conocimiento de sus propiedades mecánicas. Además, es importante registrar y analizar cuidadosamente los resultados de las pruebas para identificar tendencias y patrones en el comportamiento del material. Esto proporcionará información valiosa para la correcta selección de materiales en aplicaciones industriales y ayudará a optimizar el proceso de diseño y fabricación de componentes impresos en 3D.

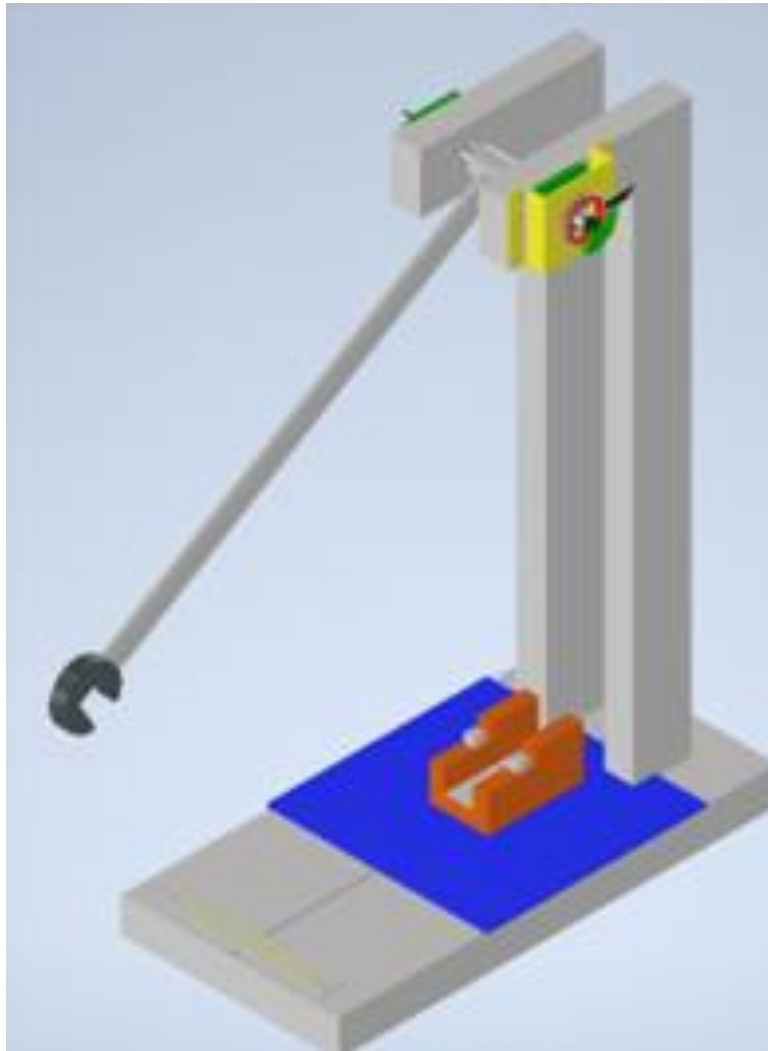
Referencias

- ASTM E23-16. (2015). Método de prueba estándar para pruebas de barras de impacto de materiales metálico
- Bryman, A. (2015). *Social Research Methods*. Oxford University Press.
- Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM). (2016). “ASTM E23-16: Método de prueba estándar para pruebas de barras de impacto de materiales metálicos”, ASTM International
- GRAMO. L. Mullen, "Examen de los efectos de las transmisiones de caracteres", Springer Science & Business Media, 2012.
- Begley, J. (2007) "Manual de pruebas y análisis de fallas de plásticos"
- Callister Jr., William D., and David G. Rethwisch. "Materials Science and Engineering: An Introduction." John Wiley & Sons, 2018.
- Ashby, Michael F., and David R. H. Jones. "Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design." Elsevier, 2012.
- Dieter, George E. "Mechanical Metallurgy." McGraw Hill, 1986.
- Gere, James M., and Barry J. Goodno. "Mechanics of Materials." Cengage Learning, 2018.
- Handbook of Materials Selection." John Wiley & Sons, 2002.
- Groover, Mikell P. "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems." John Wiley & Sons, 2018.
- Heitner, Kevin L. "Automotive Engineering Fundamentals." SAE International, 2004.
- Gibson, Ian, David W. Rosen, and Brent Stucker. "Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing." Springer, 2014.

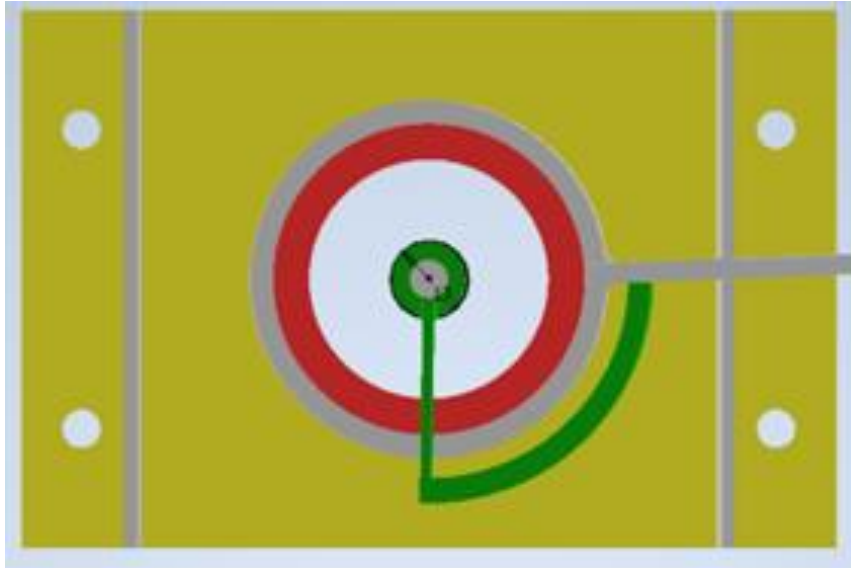
Anexos

Anexo 1

Diseño de la máquina de Charpy en 3D



Nota. Implementación de la maquina 3D en software de diseño asistido por computador.

Anexo 2*Sistema de medición para maquina Charpy*

Nota. Implementación de un potenciómetro para la medición de la resistencia de acuerdo al movimiento del péndulo.

Anexo 3

Algoritmo de programación

```

#include <basicGLCD.h>
// definicion de salidas digitales
#define SSR 40 // habilitar placa
SSR
#define SSR1 41 // Subir martillo
#define SSR2 42 // Bajar martillo
#define SSR3 43 // Anclar martillo
#define SSR4 44 // impacto
// definicion de entradas digitales
#define PIN3 3 // Martillo arriba
#define PIN2 2 // Arduino uno
conectado
#define PIN30 30 // martillo
desanclado
#define PIN31 31 // martillo anclado
#define PIN32 32 // subir martillo
#define PIN33 33 // Bajar martillo
#define PIN34 34 // impacto
//String A1;
//String A2;
//String EPS;
int button2 = 0;
int button3 = 0;
int button30 = 0;
int button31 = 0;
int button32 = 0;
int button33 = 0;
int button34 = 0;
int anclado= 0;
int subiendolo= 0;
int dato= 0;
int Serial_SSR1= 0;

int Serial_SSR2= 0;
int Serial_SSR3= 0;
int Serial_SSR4= 0;
int estado_pendulo= 0;
int contador= 0;
int inicio_prueba = 0;
int fin_prueba = 0;
float voltaje = 0;
float voltaje2 = 0;
float angulo1 = 0;
float angulo2 = 0;
float L = 0.76;
float W = 30;
float grados =0;
float EI =0;
basicGLCD GLCD;
void setup() {
Serial.begin(9600); // velocidad de
transmision
pinMode(PIN3, INPUT);
pinMode(PIN2, INPUT);
pinMode(PIN30, INPUT);
pinMode(PIN31, INPUT);
pinMode(PIN32, INPUT);
pinMode(PIN33, INPUT);
pinMode(PIN34, INPUT);
pinMode(SSR, OUTPUT);
pinMode(SSR1, OUTPUT);
pinMode(SSR2, OUTPUT);
pinMode(SSR3, OUTPUT);
pinMode(SSR4, OUTPUT);

GLCD.setDataPins(4,5,6,7,8,9,10,11
);
GLCD.setRSPin(20);
GLCD.setCSPins(21, 22);
GLCD.setENPin(23);
GLCD.setRWPin(24);
GLCD.setRSTPin(25);
while(GLCD.init() != 1) {
Serial.println("You have to set all
pins");
return 0;
}
// Pantalla principal de LCD
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(0, 0);
GLCD.sendString("Digitales:");
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(0, 1);
GLCD.sendString("_____");
GLCD.setCursor(0, 2);
GLCD.sendString("PM:");
GLCD.setCursor(0, 3);
GLCD.sendString("MA:");
GLCD.setCursor(0, 4);
GLCD.sendString("MD:");
GLCD.setCursor(0, 6);
GLCD.sendString("1: Act");
GLCD.setCursor(0, 7);
GLCD.sendString("0: Des");
GLCD.setPage(RIGHT);
GLCD.setCursor(0, 0);

```

```

GLCD.sendString("Analogas");
GLCD.setPage(RIGHT);
GLCD.setCursor(0, 1);
GLCD.sendString("_____");
GLCD.setCursor(0, 2);
GLCD.sendString("A1:");
GLCD.setCursor(0, 3);
GLCD.sendString("A2:");
GLCD.setCursor(0, 4);
GLCD.sendString("E1:");
GLCD.setCursor(0, 6);
GLCD.sendString("RST: Aut"); // El
reset se realiza de forma automatica
cuando el martillo
vuelve a alcanzar la posicion
superior.
}
void loop() {
button2 = digitalRead(PIN2);
button3 = digitalRead(PIN3);
button30 = digitalRead(PIN30); //
martillo desanclado
button31 = digitalRead(PIN31); //
MArtillo anclado
button32 = digitalRead(PIN32); //
subir martilo
button33 = digitalRead(PIN33); //
bajar martillo
button34 = digitalRead(PIN34); //
impacto
if (button32 == HIGH or
Serial_SSR1==1 and button3 ==
LOW) {
digitalWrite(SSR1, HIGH);
subiendo=1;
EI=0;
grados=0;
angulo1=0;
angulo2=0;
fin_prueba=0;
}
if (subiendo == 1 and button3 ==
HIGH and button30 == HIGH) {
digitalWrite(SSR1, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(SSR3, HIGH);
}
if(button31 == HIGH){
digitalWrite(SSR3, LOW);
subiendo=0;
}
if(button31 == HIGH and button34
== HIGH or Serial_SSR4 ==1){
digitalWrite(SSR4, HIGH);
anclado=1;
digitalWrite(SSR3, LOW);
}
if(anclado ==1 and button30 ==
HIGH){
digitalWrite(SSR4, LOW);
anclado=0;
Serial_SSR1 =0;
Serial_SSR2 =0;
Serial_SSR3 =0;
Serial_SSR4 =0;
}
}
if(button31 == HIGH){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 3);
GLCD.sendString("1");
}
if(button31 == LOW){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 3);
GLCD.sendString("0");
}
if(button30 == HIGH){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 4);
GLCD.sendString("1");
}
if(button30 == LOW){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 4);
GLCD.sendString("0");
}
if(button3 == LOW){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 2);
GLCD.sendString("0");
}
if(button3 == HIGH){
GLCD.setPage(LEFT);
GLCD.setCursor(4, 2);
GLCD.sendString("1");
}

```

