



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

“PUESTA EN MARCHA DE DISPOSITIVO DE
PRUEBAS DE IMPACTO EN POLÍMEROS”

TESINA

PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIATURA EN INGENIERIA EN MATERIALES

PRESENTA

JOSÉ FRANCISCO HUERTA MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESINA

DR. JOSÉ HUMBERTO CAMACHO GARCÍA

Contenido

INTRODUCCIÓN	10
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
Hipótesis.....	12
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.....	13
1.1 Marco teórico	14
1.1.1 Propiedades mecánicas de los materiales y su importancia	14
1.1.2 Importancia de la mecánica de fractura	15
1.1.3 Péndulo de Charpy.....	15
1.1.4 Elementos del equipo.....	16
1.1.5 Fórmulas	16
1.1.6 Geometría del percutor	18
1.1.7 Probetas.....	19
1.1.8 Unidades	20
1.1.9 Importancia de la muesca.....	20
2. Manual de procedimiento	22
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	26
2.1 Puesta en marcha del péndulo de Charpy	27
2.1.1 Preparación de elementos faltantes.....	27
2.1.2 Prueba piloto con probetas de Nylon.....	28
2.1.3 Criterios de Evaluación.....	31
2.2 Manual de usuario	31
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1 Verificación de la puesta en marcha.....	34
3.2 Criterios de evaluación	34
3.2.1 Precisión.....	34
3.2.2 Repetibilidad y reproducibilidad	42
3.2.3 Durabilidad y resistencia.....	43
3.2.4 montaje	43
3.3 Manual de usuario	45
3.3.1 Presentación física	45

3.3.2 Presentación en digital	48
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXO A: Demostración matemática para obtener ecuación de velocidad del péndulo en pruebas destructivas	57
ANEXO B Código creado para tabla interactiva	58

Índice de Tablas

Tabla 1: Criterios de evaluación para la puesta en marcha	31
Tabla 2: Dimensiones de las probetas	34
Tabla 3: Media y desviación estándar de las dimensiones de las probetas	36
Tabla 4: Ángulo inicial y final de pruebas de impacto	36
Tabla 5: Energías absorbidas de probetas	38
Tabla 6: Dimensiones de nueva versión de probetas	41
Tabla 7: Datos finales	41
Tabla 8: Tiempo de preparación y herramientas empleadas	43
Tabla 9: Comandos básicos para crear blog HTML	48

Índice de Figuras

Fig1. Péndulo de Charpy [5].	16
Fig2. Placa circular	27
Fig3. Goniómetro con ángulos equidistantes	27
Fig4. Martillo de peña	28
Fig5. Barra de Nylon	28
Fig6. Trazo de corte para el largo de dimensiones de 55 mm	29
Fig7. Segmento después de corte	29
Fig8. Trazo de corte para obtener segmentos de 1 cm x 1cm x 5.5 cm	29
Fig9. Trazo de corte para obtener probetas grosor de 4 mm	29
Fig10. Dimensiones de la muesca al tener probetas de anchura 10 mm	30
Fig11. Molde de corte para muesca de probetas	30
Fig12. Corte de muesca con Dremel	30
Fig13. Resultado final de corte	30
Fig14. Lista de parámetros a tomar en cuenta	49
Fig15. Lista de responsabilidades del usuario	50
Fig16. Tabla de fórmulas a emplear durante y después de la actividad experimental	50
Fig17. Tabla interactiva para calcular energías absorbida de impacto	50
Fig18. Código QR que contiene la página web realizada	51

CTRT01



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Dr. Ruben Jomatan Aranda Garcia
Secretario Académico de la
Materiales
Facultad de Ing. Química BUAP.
Presente.

Asunto:

Registro de Tema de Tesina de la
Licenciatura en Ingeniería en

El (La) que suscribe:

José Francisco Huerta Martínez

Me permito solicitar a usted el Registro de Tema de Tesina Profesional, denominado:

Puesta en Marcha de dispositivo de pruebas de impacto en polímeros

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN
CAPITULO 1 ANTECEDENTES
CAPITULO 2 METODOLOGÍA
CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesina: Dr. José Humberto Camacho García

ATENTAMENTE

H. Puebla de Z.; a 3 de Diciembre de 2025

Nombre y matrícula: José Francisco Huerta Martínez 201833162
Dirección: C. Amozoc #2611, Amozoc de Mota
e-mail y teléfono: francisco.gaofthr@gmail.com, 22-28-30-76-77

Vo. Bo.
COMISIÓN DE TITULACIÓN

M.I. Juan Carlos Pichardo Macías
M. Carlos Hernández Maceda

Vo. Bo. DIRECTOR DE TESINA
INTERNO
NOMBRE COMPLETO:

Dr. José Humberto Camacho García
Dependencia: Facultad de Ingeniería Química

CTAI01



**Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



CIUDAD UNIVERSITARIA

Dr. Rubén Jonatan Aranda García

**Secretaría Académica de la
Facultad de Ing. Química BUAP
Presente**

**ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESINA**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería en
Materiales

José Francisco Huerta Martínez

Quién presenta como tema de tesina:

Puesta en Marcha de Dispositivo de pruebas de impacto en Polímeros

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

“Pensar Bien, para Vivir Mejor”

H. Puebla de Z., a 3 de Diciembre de 2025

Director de Tesina
Dr. José Humberto Camacho García



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CTPT05

Examen profesional

Asignación de jurado

Ingeniería Química	()
Ingeniería Ambiental	()
Ingeniería en Alimentos	()
Ingeniería en Materiales	(x)

Nombre del sustentante: José Francisco Huerta Martínez

Matrícula: 201833162 **Generación:** 2018

Tema de tesina profesional denominado: Puesta en Marcha de dispositivo de pruebas de impacto en polímeros.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. María de Lourdes Ruiz Peralta

Secretario: M.I Carolina Osnaya Gamboa

Vocal: Dr. José Humberto Camacho García

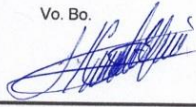
Modalidad: Presencial

Hora 10:00 AM día 5 Fecha Febrero 2026

COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

M. CARLOS HERNANDEZ MACEDA
M.I. JUAN CARLOS PICHARDO MACÍAS

Vo. Bo.


Dr. José Humberto Camacho García
Director de Tesis



BUAP

Oficio No. FIQ/AC/217/2025
Asunto: Registro de Tema de Tesina

C. JOSÉ FRANCISCO HUERTA MARTÍNEZ
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA EN MATERIALES
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesina de la Licenciatura en Ingeniería en Materiales cuyo título es el siguiente:

"Puesta en Marcha de dispositivo de pruebas de impacto en polímeros"

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesina: Dr. José Humberto Camacho García.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 5 de diciembre de 2025


Dr. Rubén Jonatan Aranda García
Secretario Académico



C.c.p. Director de Tesina: Dr. José Humberto Camacho García.
C.c.p. Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C. P. 72590
(222) 229 55 00
Exts. 7250 y 7251

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente al apoyo y la confianza que se me depositó para completar esta etapa de mi vida que forma parte de un logro mío como de mi familia. También a mi asesor y sinodales por la dedicación de tiempo para que este trabajo se haya concretado.

Y en agradecimiento y reconocimiento a mi mismo por no rendirme y decidir seguir continuando en el camino que me he propuesto a lograr en los próximos años por venir.

INTRODUCCIÓN

El enfoque principal de muchas de las tecnologías emergentes actuales se concentra en las propiedades mecánicas de los materiales que se usan [1]. Comúnmente los materiales suelen estar diseñados para soportar ciertos niveles de carga y corrosión; no obstante, los fallos estructurales suelen originarse a partir de microgrietas que se propagan con el tiempo. Para poder comprender este fenómeno, es necesario contar con un equipo que permita evaluar la resistencia de los materiales cuando cuentan con un defecto de este tipo.

Uno de los dispositivos empleados para evaluar este comportamiento es el *Péndulo de Charpy*. En el cual se desarrollan pruebas de impacto, en esta prueba, se evalúa la *resistencia al impacto* de los materiales y se define como la resistencia al impacto cuando existen cargas dinámicas en intervalos de tiempo reducidos [2]. El péndulo a una altura inicial oscila en caída libre impactando una probeta de plástico o metal en reposo. En esta prueba se estima la energía potencial antes y después del impacto, y a este valor se le conoce como *energía de absorción*.

Gracias a este tipo de ensayos, es como es como se pueden diseñar o seleccionar materiales adecuados para soportar cargas a la que estarán sometidos en servicio. [1]. Sin embargo, la Facultad de Ingeniería Química no contaba con este equipo, para solventar esta carencia, la comunidad estudiantil del colegio de Ingeniería en Materiales diseñó y construyó un equipo para realizar pruebas de impacto en polímeros. No obstante, faltó la puesta en marcha con pruebas de un material pertinente, para poder utilizarlo en prácticas de laboratorio de los estudiantes.

Para ello, el proceso conocido como *Puesta en marcha* es aplicado durante la fase inicial de operación de un equipo, de esta manera puede asegurar la funcionalidad y desempeño sin tener que tomar patrones de referencia ya establecidos bajo una norma [3].

Bajo este contexto, el presente trabajo se centra en resolver el desafío de este equipo, pues una vez aplicado la puesta en marcha, se pueda dar uso seguro y completo para el cual fue diseñado, permitiendo a los alumnos poder tener una actividad experimental extra que complementa el resto de pruebas que buscan estudiar y entender las propiedades mecánicas de los materiales.

Objetivo general

- Realizar la puesta en marcha utilizando como material de ensayo probetas de nylon.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión teoría sobre el funcionamiento del péndulo de Charpy y de los principios del ensayo de impacto.
- Plantear mejoras en el dispositivo de impacto desarrollado previamente por estudiantes.
- Efectuar la puesta en marcha del equipo para comprobar su funcionalidad.
- Definir y organizar el contenido del manual de apoyo técnico.
- Elaborar dos versiones del Manual de apoyo (físico y digital).

Hipótesis

Es posible la puesta en marcha de la máquina de impacto Charpy para que sea utilizada con fines pedagógicos.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Marco teórico

1.1.1 Propiedades mecánicas de los materiales y su importancia

Las propiedades mecánicas de los materiales muestran ser un factor importante al momento de diseñar cualquier equipo o material para efectuar una aplicación en específico, por lo que se le realizan pruebas de: tensión, compresión, flexión y tenacidad para comprobar que es útil para su propósito [4].

Entonces, para diseñar una pieza que cumplirá una función, se debe partir desde la selección del material del que estará hecho, pues se debe contemplar las fuerzas que experimentará o estará expuesto, de ahí el por qué se le realizan pruebas que puedan determinar de manera cuantitativa las energías que puede soportar antes de llegar a un fallo.

Las propiedades mecánicas son el foco central de las nuevas tecnologías, pues su importancia se puede observar en diferentes áreas como lo son la aeronáutica, drenaje, estructuras, deportes, etc. Pero no se centra en la tenacidad y resistencia, sino también en cómo se presentan estos valores cuando se aplican en ambientes donde se presenten temperaturas altas o bajas [1].

A menudo se contemplan propiedades como el esfuerzo mecánico, torsión y flexión de los materiales, pero la historia nos dice que incluso se debe tomar en cuenta la resistencia al impacto y su relación con la temperatura en la que están empleados. Como ejemplos se encuentran los recabados por Ortega [5], reporta 3 casos donde existieron accidentes por no comprender y conocer la importancia de la mecánica de fractura y su relación con los cambios de temperatura. El primero es acerca de los barcos “Liberty” donde el fallo se debió a las bajas temperaturas de invierno que redujeron la tenacidad del acero, lo que provocó un cambio abrupto de ductilidad a fragilidad; el segundo caso es el ya conocido *Titanic*, que al entrar impacto con un iceberg también provoco el fallo del acero del que estaba hecho su coraza y el tercer caso es el del transbordador *Challenger* donde la falla se encontró en los anillos poliméricos conocidos como Anillo tórico ó O-ring que se usaron para sellar las zonas seccionadas de los cohetes, donde las bajas temperaturas causaron la perdida de elasticidad, impidiendo un sellado adecuado.

1.1.2 Importancia de la mecánica de fractura

Se entiende como fractura a la separación de un cuerpo en dos partes, causadas por una tensión aplicada a una temperatura. Acorde a la capacidad del material para deformarse antes de romperse, las roturas se pueden clasificar en dúctiles y frágiles [5].

Cuando un material es sometido a esfuerzos rápidos de deformación presenta un comportamiento del tipo frágil, pues esta energía al ser repentina representa ser una absorción de energía a causa de un impacto [1]. Caso contrario a la fractura dúctil, donde el material presenta una deformación plástica antes de la fractura [6].

Es por lo que el incremento de la velocidad de una aplicación de una carga, como lo sería en una prueba de impacto, es capaz de reducir la tenacidad a la fractura del material [1]. Además, se sabe que todo material tiene una transición de dúctil a frágil, que es provocado por un cambio en su temperatura. Como pasa en metales y plásticos, donde se contempla un valor llamado “Temperatura de transición de dúctil a frágil” [1].

Es por ello que las pruebas de impacto permiten evaluar y cuantificar la capacidad que tienen los materiales para resistir golpes o esfuerzos con deformaciones rápidas, ya que este es un factor clave al momento de diseñar piezas o estructuras que podrían fallar, por lo que es importante elegir de manera correcta el más adecuado.

Para un ámbito escolar de grado superior, contar con uno de estos equipos, puede llegar a ofrecer una herramienta práctica para familiarizarse con los conceptos de tenacidad y el comportamiento mecánico de los materiales como también el continuo desarrollo de habilidades en la evaluación experimental, análisis comparativo con otros materiales y por supuesto la calibración de equipos.

Así que, para observar este comportamiento, se necesita de un equipo que pueda evaluar este fenómeno, del cual se le conoce como péndulo de Charpy.

1.1.3 Péndulo de Charpy

El nombre de este ensayo debe a su creador, Augustin Georges Albert Charpy. El propósito de este ensayo es conocer el comportamiento que presentan los materiales al impacto y consiste en golpear con una masa una probeta sujeta en un soporte [5].

Este es un ensayo dinámico, en el cual la probeta se rompe por un único impacto. Dicha probeta previamente habría sido maquinada, pulida y usualmente se ranura en el punto donde debe fracturarse. Al medir la energía absorbida durante el impacto, se tiene un valor de la resistencia al impacto, con una medida de tenacidad del material, definida como la capacidad de absorción de energía en la zona plástica antes de una fractura [7].

1.1.4 Elementos del equipo

Todo péndulo de Charpy este compuesto de una cabeza de masa M la cual estará unida al extremo del brazo de longitud L , donde se dejará caer a una altura H , con una aceleración de gravedad. Del resultado de esta caída libre se obtendrá una energía absorbida E_a dada por la probeta. Este valor se determinará de la diferencia de energías potenciales del péndulo antes y después del impacto. Conociendo el ángulo inicial (α) y el ángulo final (β) al que se elevó el péndulo se puede calcular la energía absorbida mediante la Ec.1 [5]:

$$Ec.1: E_a = MgL(\cos(\beta) - \cos(\alpha))$$

Los elementos restantes son los soportes o andamios y el goniómetro. Los andamios son las piezas en donde se coloca la probeta, mientras que el goniómetro funge como instrumento de medición para estimar el ángulo final después del impacto de la prueba. Todos estos elementos se pueden ver en la Fig1.

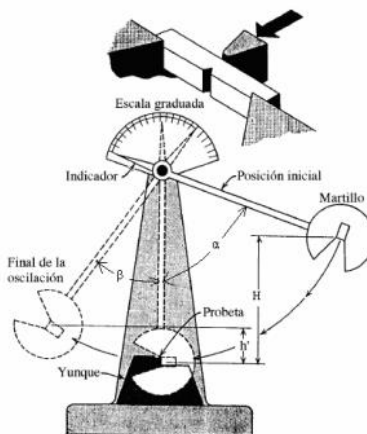


Fig1. Péndulo de Charpy [5].

1.1.5 Fórmulas

Para el diseño y fabricación de este equipo, este debe consistir en una base sólida y fija, en donde están fijos los andamios que sostendrán la probeta. La base deberá tener una masa lo

suficientemente pesada como para resistir la fuerza ejercida por el impacto que provocaría un deslizamiento [8]. Con esto, el peso se debe considerar acorde a las especificaciones a las cuales un péndulo estaría trabajando.

Para muestras de polímeros (tomando como referencia los parámetros establecidos por la Norma ASTM), el péndulo debe ser capaz de suministrar una energía de $2.7 \pm 0.14 \text{ J}$ [8] y para péndulos más pesados, la energía puede tener un máximo de 21.6 J [9]. Toda esta energía estará dada por el brazo y el martillo de la máquina. Por lo que, la longitud del brazo debe estar entre 0.3205 y 0.4060 m de manera que la elevación máxima se obtenga a un ángulo entre 60 y 30° por encima de la inclinación horizontal (90°) [10].

De esta manera, alcanzará una altura vertical estimada de $610 \pm 2 \text{ mm}$, que será capaz de alcanzar una velocidad de 3.46 m/s [8]. Cabe mencionar que esta velocidad puede variar dependiendo de la altura a la cual este colocada antes de realizarse la prueba, y para calcular la velocidad se usa la siguiente formula.

$$\text{Ec.2: } v = \sqrt{2gh}$$

Para mayor información acerca de cómo se obtiene esta ecuación, en el ANEXO A se encuentra la demostración matemática.

Continuando, para así poder estimar la masa que deberá contener el péndulo, incluyendo el brazo que estará unida al martillo de golpe. Al aplicar la siguiente formula se puede obtener la masa que deberá tener.

$$\text{Ec.3: } E_p = m * g * h$$

Donde: E_p es la energía potencial, m es la masa en kilogramos, g la aceleración de la gravedad en unidades de m/s^2 y h la altura en metros. Despejando m , se encuentra que la masa sería de 0.4511 Kg .

Cabe mencionar que esta masa solo está sujeta a la energía mínima que indica la norma, ya si se busca suministrar una mayor cantidad de energía, la masa puede llegar a aumentar para que se ajuste al tipo de materiales con los que se estén trabajando.

Como complemento de la *Ec.3*, para equipos ya modernos, estos ya pueden estimar la altura a la que están trabajando, pero para el caso del equipo en el cual no cuenta con un sensor que permita medir esta altura, se puede emplear la siguiente ecuación:

$$\text{Ec.4: } h = L(1 - \cos \beta)$$

Donde L es la longitud del péndulo y β es el ángulo inicial, al que se posiciona el mazo antes de la prueba.

Como dato final de este subtema, la norma ASTM estipula que todo mazo debe trabajar bajo cierto rango de energía, y dicho valor estipula que el mazo no debe ser empleado al sobrepasar el 85% de la energía máxima que este suministra. Para estimar dicho valor se hace uso de esta ecuación:

$$\text{Ec.5: } \%_{\text{utilizado}} = \left(\frac{E_a}{E_p} \right) * 100$$

Donde E_a es la energía absorbida (*Ec.1*) de la prueba de impacto del material y E_p es la energía potencial inicial que se puede calcular de la *Ec.3*. Si al realizar el cálculo se observa que sobrepasa el límite, se recomienda ciertas acciones, como lo sería cambiar el mazo por uno de mayor energía o cambiar el ángulo de posición inicial al que se colocó el percutor. Ya que, si se excede este intervalo, el péndulo estaría propenso a fallar o “rebotar” después del impacto, lo que comprometería la durabilidad del dispositivo.

1.1.6 Geometría del percutor

La geometría está determinada por la cabeza de martillo de un mazo de herrero, este cuenta con dos cabezas opuestas, una de forma plana y otra cónica, de este último resulta ser adecuado para realizar la prueba, pues cumple con las especificaciones que menciona la norma ASTM. Estas características están dadas por una cabeza en forma cónica con un ángulo de 45° y ser de acero endurecido, pero para el mazo de martillo, el ángulo es de 30°. El ángulo de 45° y 30° tiene una razón, la cual es la de concentrar la fuerza de impacto en un área pequeña sumado al hecho de que es capaz de distribuirla en una sola dirección, caso contrario a la cabeza de martillo plana, pues la fuerza se concentra en un área más grande.

1.1.7 Probetas

Las probetas estarán en reposo sobre dos soportes rígidos unidos a la base del dispositivo, de manera en que la probeta este alineada con la cabeza cónica del martillo. De esa manera, los soportes deberán tener una separación de $101.6 \pm 0.5 \text{ mm}$ [8].

Las dimensiones de las probetas serán de 127 mm de largo, con un ancho de 12.7 mm . En donde la muesca se hará justo a la mitad de las probetas, justo a 63.5 mm como máximo y mínimo de 61 mm [8]. Ahora, si bien la norma especifica las dimensiones, en equipos más recientes, las probetas deben tener unas medidas de 55 mm de largo, 10 mm de ancho, 4 mm de espesor y una muesca de 2 mm de profundidad.

También, se establece que en ensayos realizados con muestras de menos de 6.35 mm de ancho absorben más energía debido al aplastamiento, flexión y torsión que en muestras más anchas [8].

Entonces, se debe explicar también que pasa cuando las dimensiones de las probetas se ven alteradas, ya que el péndulo de Charpy utiliza dos parámetros principales: energía absorbida y temperatura, de estos dos valores se forman los diagramas de “temperatura de transición dúctil a frágil”. Estos dos parámetros se obtienen de las probetas sometidas al ensayo.

Por lo que, la ventaja de este ensayo es su sencillez y economía, pero el inconveniente se presenta cuando los resultados son de difícil aplicación para el diseño, ya que los valores obtenidos dependen del espesor y longitud de la entalladura de la probeta [6].

Como ejemplo, Benzerga, et al. [10] realizó experimentos variando el grosor y el largo de las probetas, comparándolas con una probeta bajo la norma ASTM. Las medidas eran: Largo= 55 mm , Ancho= 10 mm , Profundidad de la muesca= 2 mm , inclinación de la muesca= 0.25 , distancia entre los soportes= 40 mm y un ángulo de 45° .

Este experimento optó por variar las dimensiones de las probetas: ancho, largo, muesca, radio de la muesca y velocidad de impacto en 10 m/s y 5 m/s . Como resultado, observaron un aumento en la temperatura de transición dúctil-frágil aproximadamente de 40° C , este aumento lo presentaron las probetas con dimensiones dobles respecto al tamaño normalizado [10].

En un experimento diferente Benzerga, et al. [10], manipularon la anchura y profundidad de la muesca donde la relación de medidas de ancho/profundidad eran de 5. Las medidas de las muestras tuvieron dos valores diferentes: 5 mm y 20 mm de ancho mientras que de profundidad eran de 1 mm y 4 mm. Los resultados indicaron que no se produjo una variación significativa en la temperatura de transición dúctil-frágil; sin embargo, sí se observaron cambios en la energía absorbida por unidad de área. En particular, la probeta con el doble de anchura mostró mayor energía absorbida en comparación con las probetas con dimensiones normalizadas y las de ancho reducido.

Esto demuestra que el variar las dimensiones de la probeta, puede generar una variación respecto a valores reportados. A pesar del uso de probetas metálicas, esto puede ser un indicador de que también puede variar en probetas poliméricas. Además de que no solo la geometría de la probeta juega un papel, sino de la estructura interna del material.

1.1.8 Unidades

Para el cálculo de los valores, estos se pueden presentar en unidades de J/m (ASTM) ó kJ/m^2 (ISO), para los valores de J/m , estos se deben calcular al dividir la energía absorbida entre la anchura remanente en la base de la entalla [5]. Es decir, dependiendo de la profundidad de la muesca, la anchura remanente será la diferencia de la anchura inicial menos la profundidad de la muesca. Como ejemplo, si la profundidad de una muesca es de 3 mm y un ancho de 10 mm, el remanente será de 7 mm, y ese valor será por el cual se usará para estimar los valores en J/m .

1.1.9 Importancia de la muesca

Acorde a la norma ASTM, toda probeta deberá ser dentada al formarle una muesca, que deberá tener un ángulo interno de $45^\circ \pm 1$ mas un radio de curvatura de 0.25 ± 0.05 mm, también debe tener una profundidad de 10.16 ± 0.05 mm [8].

El motivo por el que se le debe hacer una muesca a la probeta es para generar una concentración de estrés que promueva un fallo dúctil en las muestras. La muesca reducirá la energía de impacto, pues dará un camino para que la fractura tenga una sola dirección. Es importante aclarar que la profundidad y el radio de la muesca afectan directamente al comportamiento del impacto [11].

En cuanto a los efectos que provoca la muesca, si tiene un radio de curvatura mayor, este tendrá una menor concentración de esfuerzo, generado así, una mayor energía de impacto. Es por lo que, la tolerancia está marcada en una variación de 0.1 *mm* [11].

En un experimento de Ortega [5], donde se usaron muestras de polímeros, tanto de PVC como de Nylon, se experimentó con la variación de los radios de la muesca, teniendo dimensiones de 0.5, 1 y 3 *mm*. Los resultados arrojaron que entre más grande sea el radio, se requerirá mayor energía para generar una fractura frágil, mientras que, con un radio menor, la energía requerida llega a ser de menor cantidad.

Pero no solo importa la profundidad y el radio de la curvatura, sino también del tipo de superficie con que quede una muesca después del maquinado que se le haya realizado. Porque la superficie de la muesca también tiene importancia, si no está lisa requerirá de mayor fuerza para generar el fallo en las muestras en comparación con datos ya reportados [10].

Otro factor importante es el uso de los discos de corte que genera un aumento de temperatura sobre los materiales durante el proceso de seccionado. En el caso de los polímeros, esta elevación térmica puede inducir cambios en su estructura interna comprometiendo los valores finales al generar una dispersión respecto a los reportados [11].

Como ejemplo de lo anterior, la mayoría de los materiales son sensibles a la presencia de imperfecciones y/o defectos, más en específico, con la fatiga. Entonces, si hay presencia de un defecto en un material (en este caso de una muesca), este reduciría el valor del esfuerzo máximo, que a su vez disminuye la vida útil de un material [1].

Si se opta por realizar esta prueba sin la presencia de una muesca, lo que se observará, es que las muestras tendrán un comportamiento de flexión o el martillo podría ser “rebotado” causando vibraciones en el brazo del equipo, lo último ocurriría si el material requiere de mayor energía para generar, aunque sea, un fallo dúctil. Para corroborar esto, Ortega [5] realizó pruebas con probetas de PVC, donde encontró que, al no tener la muesca, lo único que se presentó fue un comportamiento de flexión que aumentaba conforme el ángulo inicial de prueba lo hacía.

Si se logra un fallo frágil en las pruebas, la apariencia del fallo nos puede indicar si se trata de una fractura frágil o dúctil, y para saberlo, el fallo dúctil presentará una textura fibrosa u

opaca, caso contrario tendrá una textura granular, siempre y cuando se trate de probetas metálicas [12].

Para ejemplos de pruebas en polímeros, Ortega [5] realizó pruebas para determinar la temperatura de transición, los materiales a usar fueron Nylon, PVC y Metacrilato. Para las muestras de Nylon y PVC se observaron comportamientos dúctiles, pero al ser sumergidos en nitrógeno líquido, estos tuvieron una fractura frágil.

Al comparar estos casos, tanto para metales como polímeros, esta prueba presenta el comportamiento de la falla por medio de pruebas de impacto, ya que tiene importancia al momento de diseñar equipos o parte de equipos que vayan a ser operados a cierto rango de temperatura. Para asegurar esto, se debe tener en claro que clase de material es adecuado para cumplir con los requisitos en tanto a la resistencia de la ductilidad cuando se le aplica una deformación a velocidad rápida.

2. Manual de procedimiento

Se entiende como manual de procedimiento al conjunto de documentos que de forma detallada describen cada paso de una determinada actividad [13]. Bajo esta premisa, se puede deducir que, de estos documentos, es como uno puede seguir una serie de instrucciones para así realizar cualquier tarea.

Los manuales tienen como propósito: servir de medio de orientación e integración al personal para que así se le pueda facilitar su incorporación, generar el desarrollo de actividades de manera sistemática y ordenada, proporcionar información básica para el desarrollo de actividades, la reducción de tiempos y permitir la retroalimentación al proceso.

Para lograr estas metas, estos documentos deben contar con los siguientes requisitos que Gutiérrez y González [13] enlista a continuación:

- Ser útiles.
- Uso de lenguaje sencillo, comprensible y claro
- Debe contener información actualizada
- Debe hacerse lo más sencillo posible

Con estos requisitos es necesario tomar en cuenta la importante que es el lograr escribir un documento que cumpla con todos estos puntos. Ya que, de no lograr ser un texto atractivo, correrá el riesgo de ser ignorado por cualquier usuario.

Tal como comentan Kennedy y Whittaker [14], donde realizaron una encuesta dirigida a ingenieros, con el propósito de saber acerca de cómo es el uso de sus manuales que emplean en su trabajo y de su contenido, donde como primer dato importante fue el de la frecuencia de consulta y la cantidad de hojas que estos tenían. Respecto a la continuidad de consulta, la mayoría de los entrevistados dijo que solo la habían usado una única vez, además de la cantidad de páginas llega a variar dependiendo de la empresa, porque se había encontrado el uso de un manual de más de 1000 páginas.

Entonces, es importante tener en cuenta, tanto de la voz de la experiencia de las personas que han leído manuales como también de aquellos que han llegado a escribir uno. Con estas dos perspectivas se puede crear un panorama mayor acerca de lo que sería la tarea de redactar un buen manual de procedimiento que estaría dirigido a una comunidad estudiantil que está encaminado al desarrollo profesional.

Para Cohen [15] los manuales son un código de prácticas donde se menciona la participación del imperativo moral (persona que realiza la tarea) y la combinación de las actividades técnicas (lo que la persona debe hacer), como también del elemento acerca de la actitud que se debe adoptar. Al tomar como punto de partida estos tres elementos, es el cómo todo autor de un manual, se da a la tarea de hacer funcionar estos componentes, de tal manera que se garantice un buen desempeño por parte de la persona que lo consulte.

Por lo que para asegurar una combinación de los tres puntos es necesario recopilar algunos puntos que menciona Cohen [15], donde recalca el estilo de redacción que se usa para describir los procedimientos, el cual se puede usar el imperativo (Hazlo así, sigue la indicación) o el presente indicativo (él/ella lo realiza así"). Este estilo de narrativa provoca que los lectores no lleguen a hacer comentarios, pues se les está mostrando un texto lineal que no invita a la reflexión/intervención por parte del usuario.

Del anterior, se podría interpretar como una ventaja y desventaja al mismo tiempo, pues la información se da a conocer para que las personas la cuestionen y sean capaz de sugerir

cambios, esto debido a que se trata de un documento lineal y lógico, como lo menciona Cohen [15].

Entonces, ¿qué pasa cuando tienes un documento que no provoca dudas o sugerencias? Pues pasan sucesos, donde se registra que de los ingenieros a los que se les realizó la entrevista, ciertos temas salieron en común, como lo serían: 1) A pesar de que los manuales tienden hacia mucho detalle, no siempre cubren los escenarios posibles. 2) Si el documento es muy largo, se creará uno más corto, haciendo que el documento original se vuelva obsoleto. 3) Se podría especular que un cierto grupo de ingenieros rechazarían de inmediato el utilizar el documento. 4) Los manuales serán más útiles en entornos regulados. 5) El éxito potencial de cualquier documento depende de las capacidades y la experiencia del autor del documento.

Al enlistar estos inconvenientes encontrados, el estilo de redacción podría parecer no tener alternativa y estar encaminada a volverse un manual que contenga “lagunas” entre la descripción de los pasos a seguir. De estos espacios que generan incoherencia o ideas incompletas, se sabe que cada autor de manuales trata de evitar estos espacios, y para cubrir los espacios Cohen [15] recomienda que cada autor debiese usar “su propia creatividad” para complementar las ideas de los procedimientos.

Por consiguiente, al saber que cosas hay que tomar en cuenta al momento de redactar un manual, también se debe aclarar que elementos pueden ser de ayuda para mejorar la comprensión de estos documentos. Es por lo que tanto Kennedy y Whittaker [14] y Cohen [15] llegan a la misma sugerencia, la cual es la representación del proceso mediante un diagrama de flujo, ya que le dará una sensación de estética como también de poder reemplazar fácilmente al texto.

Siendo así que, para lograr crear un buen manual de procedimiento, se debe realizar bajo puntos importantes que señala Cohen [15], los cuales son: 1) Un almacenamiento electrónico de los manuales garantizara el acceso a copias más recientes facilitando así su distribución. 2) La documentación de los procedimientos de cualquier proceso tiene el potencial de reducir explicaciones que llegan a ser reinventadas y repetitivas para los ingenieros más jóvenes. 3) Antes de realizar un manual, se debe investigar acerca de la necesidad que este documento implique en la comunidad a la que estaría dirigida, si la investigación sugiere que un manual llegaría a ser beneficioso, habría que tomar en cuenta otros puntos.

Relacionado al punto 3, Cohen [15] hace mención de que los puntos a tomar en cuenta durante el desarrollo del manual serian: 1) Los documentos deberían ser cortos, pues eso reduciría su costo de producción. 2) Los esbozos generales son más eficaces que los detalles muy específicos. 3) Algunos usuarios pueden llegar a nunca ver el manual. 4) Valga la redundancia, llegarlo a publicar de manera electrónica como también el uso de diagrama de flujo.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

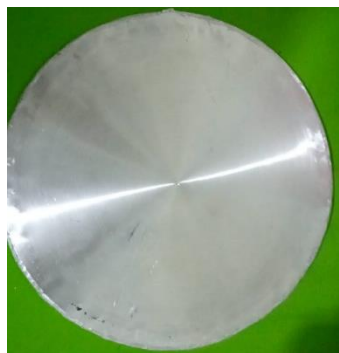
2.1 Puesta en marcha del péndulo de Charpy

2.1.1 Preparación de elementos faltantes

El dispositivo de impacto que fue diseñado y ensamblado por estudiantes esta considerado como un prototipo que funge como base para cuando se busque optimizar o rediseñar el equipo con dimensiones y formas diferentes. Como fue un proyecto escolar, este se vio limitado por tiempo y posiblemente por economía, por lo que solo contaba con la base, los soportes además del mazo de masa aproximada 0.7 Kg.

Al contar con estas partes, el equipo no podía ser empleado. En este trabajo se buscó complementar este equipo con un goniómetro y un mazo de mayor peso, además de añadir el manual del usuario para que futuros usuarios lo consultaran.

El primer elemento con el que se comenzó este trabajo fue el goniómetro. La elección final fue utilizar una placa circular de aluminio con un diámetro de 0.23 m (Fig2.), sobre la cual se trazaron marcas angulares. Esto permitió obtener una escala de medición confiable, así como se muestra en la Fig3.



2Fig2. Placa circular



3Fig3. Goniómetro con ángulos equidistantes

El dispositivo de impacto ya contaba con un mazo de longitud total de 0.69 m y con un percutor de masa 0.485 Kg mas el peso del brazo. A su máxima altura permisible de trabajo (60° por encima del eje horizontal, es decir, 150°), el cálculo (utilizando Ec.3 y Ec.4) estima que el máximo de energía que puede suministrar es de 6.09 J.

Este valor condiciona el equipo a trabajar con materiales poco resistentes limitando explotar sus capacidades máximas para sus dimensiones, por eso, al igual que con los equipos calibrados, el contar con un mazo extra de mayor masa es como ampliara su rango energético como también la accesibilidad a más especímenes.

Para ampliar el rango de energía, el nuevo percutor provendría de la misma marca comercial del otro, ya que ambos contaban con una etiqueta de norma OSCA 1000 DIN 1041, donde OSCA 1000 se refiere al tipo de martillo y la masa mientras que DIN 1041 es proveniente del acrónimo Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización). Este martillo (*Fig4.*) está compuesto por acero 1041, que es un acero al carbono de porcentaje 0.36%-0.44%, *Mn* de 1.35%-1.65%, *P* a 0.44% y *S* de 0.05%, que es un acero utilizado para trabajos de impacto, por lo que lo vuelve un material adecuado para el dispositivo de impacto.



4Fig4. Martillo de peña

Una vez separada la cabeza del mazo, el registro de su masa fue de 0.870 Kg, esta fue soldado con una varilla de acero con diámetro de 1 cm, a la cual se le añadió una argolla, como el que cuenta el otro mazo, para obtener un nuevo mazo con la misma longitud del otro.

Este nuevo mazo, al efectuar el cálculo de la *Ec.3*, indica que puede suministrar un máximo de 10.924 J.

2.1.2 Prueba piloto con probetas de Nylon

Las probetas de Nylon fueron preparadas a través de una barra de dimensiones 2.5 cm x 2.5 cm x 60 cm (*Fig5.*).



5Fig5. Barra de Nylon

Acorde a las dimensiones del dispositivo de impacto, este cuenta con dos andamios. El espacio que existe entre cada andamio es de 50 mm, lo cual indica que fue diseñado para

trabajar con probetas en las que se toma como referencia medidas comúnmente usadas en ensayos de impacto, las cuales son: 55 mm de largo, 4 mm de grosor y 10 mm de ancho.

Para obtener estas dimensiones, primero se hicieron trazos de 55 mm a lo largo de la barra completa dejando un espacio de corte de 2 mm, ya que la esmeriladora generaba este ancho de corte (Fig6. y Fig7.), el resultado, fueron bloques de 25 mm x 25 mm x 55 mm. A estos bloques, de nuevo se hicieron trazos para obtener barras con dimensiones de 10 mm x 10 mm x 55 mm, por lo que de un solo segmento se podrían obtener un total de 4 barras (Fig8.).

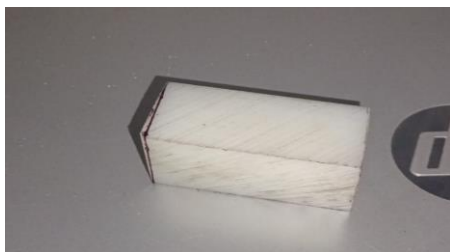
Para generar un espesor de 4 mm, de igual manera se realizaron los trazos de corte, pero con la diferencia de dejar un espacio de corte de solo 1 mm, ya que se utilizó un Dremel con disco de corte de diamante junto a una segueta, tal como se muestra en la Fig9. Finalmente, las piezas se lijaron para dejar lisas sus superficies.



6Fig6. Trazo de corte para el largo de dimensiones de 55 mm



8Fig8. Trazo de corte para obtener segmentos de 1 cm x 1 cm x 5.5 cm



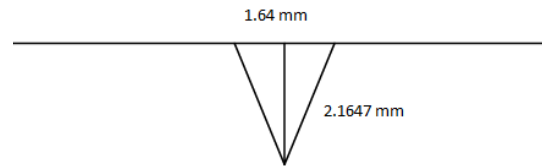
7Fig7. Segmento después de corte



9Fig9. Trazo de corte para obtener probetas grosor de 4 mm

El último elemento correspondía a la muesca, de nuevo, tomando como base lo establecido por la norma ASTM D-6110, esta indica que la muesca debe tener una profundidad de 2 mm junto a un ángulo interno de 45°.

Efectuando un cálculo trigonométrico, se encontró que las diagonales debían medir 2.1647 mm y la base del triángulo de 1.64 mm (Fig10.). Para facilitar su trazo, se fabricó una plantilla que permitió marcar los cortes y de esa manera, al utilizar un Dremel, se lograba la muesca (Fig11., Fig12, Fig13).



10Fig10. Dimensiones de la muesca al tener probetas de anchura 10 mm



11Fig11. Molde de corte para muesca de probetas



12Fig12. Corte de muesca con Dremel



13Fig13. Resultado final de corte

2.1.3 Criterios de Evaluación

Para comprobar la funcionalidad del equipo, se estipularon los siguientes puntos, a los cuales se les asignó actividades clave a realizar una vez este completado el ensamblaje de las piezas y también durante la prueba piloto.

Tabla 1: Criterios de evaluación para la puesta en marcha

Criterio	Método de evaluación	Forma de validación
Precisión	Comparación de los valores obtenidos	Realizar un análisis estadístico empleando la media y desviación estándar los resultados obtenidos de los ensayos.
Repetibilidad y reproducibilidad	Realizar las pruebas repetidas con las mismas condiciones	Ejecutar el mismo método al mismo tipo de muestras y comparar si los resultados son similares. En caso de haber variaciones, calcular el coeficiente de variación
Durabilidad y resistencia	Pruebas de uso continuo	Observación de desgaste o desajustes.
Montaje	Simulación de desmontaje	Medición de tiempo y herramientas requeridas.

2.2 Manual de usuario

Este documento se va a presentar en dos formatos, físico y digital, donde el manual en su presentación en físico estará compuesto por los siguientes puntos:

- **Identificación.** Se colocará el nombre de la institución académica en donde se ubica el equipo, como lo es también el escudo de la universidad y el logo de la facultad.
- **Título.** Nombre principal por el cual podrá ser identificado este manual.

- Procedimientos. Apartado más extenso del documento, escrito de manera clara y sencilla acerca de cómo es la preparación del dispositivo. También se menciona los pasos a seguir para emplear el dispositivo de manera apropiada y segura. Como complemento de las instrucciones, se hará uso de imágenes/figuras que sean de apoyo visual para el usuario, donde se ilustrará los componentes del equipo. Además de contar con recomendaciones para preparar las muestras, ya que, si se quiere tener datos a comparar, es importante aclarar los métodos y las condiciones en las cuales deben ser preparadas las muestras. Para finalizar, es importante recalcar el tiempo que puede llegar a durar el uso del equipo, quienes lo llevan a cabo y quienes lo supervisan.
- Diagrama de flujo. Esquema que mostrara los pasos del procedimiento previamente explicado en el apartado de Procedimiento.

Para su presentación se toma como base el formato de los manuales de los equipos que se encuentran en las instalaciones de los laboratorios del colegio de Ingeniería en Materiales.

Para el manual digital, este cuenta con los mismos elementos que el anterior, pero presentara los siguientes puntos para enriquecer el contenido, los cuales serían;

- Objetivos. Metas por cumplir al aplicar las indicaciones que detalle el manual.
- Términos o Glosario. Apartado en donde se brindará un listado de definiciones que servirán de apoyo para entender más el contenido del documento.
- Responsabilidades. Indicaciones dirigidas hacia las personas que estarán involucradas en los procedimientos a seguir al momento de hacer uso del péndulo.
- Formularios. Reúne las fórmulas matemáticas que son usadas al momento de estimar las energías de impacto, energía absorbida, etc.

Este manual se hará a base de la creación de un blog usando el código de página HTML, el cual será compartido como enlace QR en el manual físico donde se podrá acceder a la página.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Verificación de la puesta en marcha

Durante el ensamblaje de los elementos faltantes del dispositivo de impacto, se comprobó su funcionalidad montándolo inicialmente sobre una de las mesas de trabajo del laboratorio de Materiales (FIQ9/101). Al efectuar la prueba se identificó la pérdida de balance de la base debido a la fuerza ejercida por el péndulo en caída libre.

Para solucionar esto, se decidió fijarlo al suelo y aprovechando que el equipo ya contaba con dos orificios en sus extremos para ese propósito. Tras realizar las perforaciones a una profundidad de 63.5 mm del piso y usar taquetes de anclaje, el equipo quedo completamente estable para su operación.

3.2 Criterios de evaluación

Acorde a la Tabla 1, los puntos de evaluación que validan la funcionalidad del dispositivo se discuten a continuación.

3.2.1 Precisión

En esta sección, el término “precisión” está centrado en la capacidad del dispositivo de entregar resultados de absorción de energía sin tener variación notable en sus datos, con este contexto, el punto de partida está en las dimensiones de las probetas preparadas. Las dimensiones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2: Dimensiones de las probetas

No de probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Profundidad de muesca (mm)
1	4.8	10	55.6	2.9
2	4.9	10.3	55.3	2.3
3	4.3	10.2	55.9	2.2
4	4.5	10	55	1.7
5	4.1	10.5	55.4	2
6	5	10.5	54	2
7	4.6	10.5	55	1.9
8	4.8	10.2	55.1	2
9	4.8	10.1	55.7	1.5

10	4.7	10.2	53.7	2
11	4.5	10.5	54.8	2.5
12	4.6	9.5	55.3	2.1
13	4.1	10.9	54.8	1.9
14	4.8	10.3	55.2	2.3
15	3.7	10.5	54.6	2.1
16	4.6	10.4	55.6	2
17	4.9	9.8	55.2	1.9
18	4.9	10.1	55.3	1.7
19	4.7	10.5	54.8	2.3
20	4.1	10.5	55.8	2.2
21	4.9	10	55	1.9
22	4.7	10	54.7	2.1
23	4	10.1	55.4	2.3
24	4.3	9.9	54.7	2.1
25	3.8	10	55.7	1.9
26	4.5	10.3	55.9	2.2
27	4.5	10.3	55.5	2.2
28	4.2	10.5	55.4	2
29	4.6	10.3	55.9	2.5

Al preparar 29 probetas y registrar sus dimensiones, se identifica fácilmente la variabilidad de cada una. Durante su preparación con las herramientas de corte, hubo casos donde la línea de corte se llegaba a desviar del trazo porque el pulso y la manipulación de la esmeriladora requería destreza, pero pese a ser una primera experiencia, se priorizó la obtención de superficies lisas.

En este caso, las dimensiones que tenían más relevancia, eran el ancho y la profundidad de la muesca, pues la relación debe ser 1 a 5, esto para evitar resultados dispersos, errores de interpretación y sobre todo garantizar una evaluación controlada de la grieta.

Individualmente, ninguna probeta logra esta relación, ya que al no contar con equipos de corte precisos era predecible esta variación en cuanto a los datos.

A partir de la *Tabla 2*, los valores de media y desviación estándar que se calcularon fueron los siguientes:

Tabla 3: Media y desviación estándar de las dimensiones de las probetas

	Espesor	Ancho	Largo	Profundidad de muesca
Media	4.5137 mm	10.2379 mm	55.1931 mm	2.0931 mm
Desviación estándar	0.3502 mm	0.2821 mm	0.5411 mm	0.2737 mm

Como se observa en la *tabla 3*, donde se marca mayor variabilidad es en las dimensiones de *largo* de las probetas, pese a que durante en el proceso de su obtención se procuró cuidar las longitudes de cada probeta. Mientras que con Espesor, Ancho y Profundidad la variación no es tan significativa, lo que da a entender que no existe una gran variación.

Respecto a las pruebas de impacto, las observaciones se pueden ver a continuación:

Tabla 4: Ángulo inicial y final de pruebas de impacto

Probeta	Ángulo inicial	Ángulo Final	Observaciones
1	130	330	No presento fractura por completo
2	130	330	Fractura completa
3	130	330	No presento fractura por completo
4	130	330	Fractura completa
5	130	----	Al impactar el percutor con la probeta, esta se desmonto y por la fuerza del impacto obtuvo un impulso que impidió su recuperación.
6	130	320	Fractura completa
7	150	330	No presento fractura por completo

8	130	----	Al primer impacto no hubo respuesta porque la probeta se desmonto de los andamios. Posteriormente se extravió de igual manera por la fuerza de impulso que obtuvo.
9	130	-----	No fracturo porque la probeta se desmonto del andamio
10	130	350	No presento fractura por completo
11	130	-----	No fracturo porque la probeta se desmonto del andamio
12	130	330	Al primer impacto no reacciono nada. Al segundo intento no presento fractura por completo
13	150	340	En su primer intento no se presentó nada. Al segundo intento no presento fractura por completo
14	150	340	Fractura completa
15	130	330	Primer intento sin respuesta Al segundo intento hubo fractura completa
16	140	350	Al primer intento no se presentó nada Al segundo intento no presentó fractura por completo
17	140	-----	No fracturo porque la probeta se desmonto del andamio
18	150	340	Fractura completa
19	150	340	Fractura completa
20	150	340	No presento fractura por completo
21	150	340	Fractura completa
22	150	330	Fractura completa
23	150	340	No presento fractura por completo
24	130	340	Fractura completa
25	130	340	Fractura completa

26	130	----	Al primer impacto no hubo respuesta porque la probeta se desmonto de los andamios. Posteriormente se extravió de igual manera por la fuerza de impulso que obtuvo.
27	130	340	No presento fractura por completo
28	130	340	Fractura completa
29	130	-----	No fracturo porque la probeta se desmonto del andamio

La mayor problemática fue la separación de los andamios que sostienen las probetas, pues tal como se menciona en la Tabla 4, algunas probetas no se mantenían fijas. Esto comprometió el ensayo, pues indica que las dimensiones de “Largo” no son las más óptimas para este experimento.

Pese a esta observación, el experimento prosiguió y se pudo recabar datos que mostraron similitud, en su mayoría, permitiendo evaluar la *Energía de absorción*. Al Tomar como la masa del percutor como 0.87 Kg, la longitud del brazo de 0.64 m y la aceleración de la gravedad como 9.81 m/s^2 , las energías calculadas son las siguientes:

Tabla 5: Energías absorbidas de probetas

Probeta	Energía Absorbida (J)
1	8.2414
2	8.2414
3	8.2414
4	8.2414
5	0
6	7.6953
7	9.4608
8	0
9	0

10	8.8902
11	0
12	8.2414
13	9.8632
14	9.8632
15	8.2414
16	9.5635
17	0
18	9.8632
19	9.8632
20	9.8632
21	9.8632
22	9.4608
23	9.8632
24	9.8632
25	8.6438
26	0
27	8.6438
28	8.6438
29	0

Como se puede observar en la *tabla 5*, los cálculos de energía presentaban diferencia notable, pues al calcular la desviación estándar, este fue de un valor de 0.7442 J . Si bien puede ser una dispersión moderada, este se encuentra en un rango coherente con un comportamiento esperado al tratarse de un dispositivo fabricado por estudiantes.

Las posibles causas que se le pueden atribuir están centradas más en la relación de la profundidad de la muesca con la anchura de las piezas ya que, al momento de preparar las muestras, las medidas no fueron exactas a como se tenía planteado.

Al tener estos valores, es importante mencionar el tipo de material con el que se trabajó para poder comparar estos datos con ya reportados. El producto identificado como Nylomaq M es

un tipo de nylon sin aditivos con las características de tener buena resistencia mecánica, rigidez, dureza y resistencia al desgaste. Acorde a su tabla de propiedades que se encuentra disponible en el sitio web de lapaloma.com.mx, indica que tiene: resistencia a la tensión de 82.73 MPa, Modulo de elasticidad a la tensión de 2757.90 Mpa, Elongación a la ruptura del 20% y Resistencia a la flexión de 110 Mpa.

Estas características son similares al material conocido como Nylon 6, Poliamida 6 ó PA6 que es un termoplástico fabricado por vaciado, en el cual se pueden obtener placas, barras, bujes y perfiles semiterminados, también conocido como el plástico de ingeniería mas elemental, apropiado para una variedad de aplicaciones [16].

Como complemento, la comparación es crucial para corroborar la veracidad de los datos, en base a 3 diferentes fuentes Odrobina et.al. [17], la página web www.matweb.com y la página web [PA 6 C Bio - TECAST T EF | Ensinger](#) brindan valores respecto a pruebas de impacto Charpy con equipos calibrados.

En su artículo, Odrobina et.al. [17] trabajaron con probetas de *Nylon 6* catalizado con Magnesio bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, las medidas de sus probetas fueron de 4 mm x 10 mm x 80 mm y una profundidad de muesca de 2 mm, con un péndulo de 1 J, los valores de absorción de energía de impacto oscilaron entre los 15 KJ/m² y 20 KJ/m², mientras que los obtenidos en este trabajo estuvieron en un intervalo de 257 KJ/m² y 308 KJ/m². Mientras que en la página de *matweb*, su compendio de datos mostro intervalos desde 0.5 J/m² a 2000 J/m². Cabe recalcar que estos valores variaban según la composición del que estaba reforzado o fabricado el *Nylon 6*. Para la página de *Enginger*, su archivo descargable de las propiedades mecánicas del *Nylon 6*, muestra valores de pruebas de Charpy de 4 KJ/m² bajo la norma DIN EN ISO-179.

Con estos valores, es evidente la enorme diferencia de datos obtenidos, del cual el principal factor es la capacidad energética del martillo, pues a comparación del artículo de Odrobina et.al.[17], la energía que suministro el equipo de impacto de este trabajo alcanzaba un máximo de 10 J, ante esta diferencia se debe especificar el tipo de Nylon que se emplearon, ya que se está comparado un tipo específico de nylon con uno comercial identificado como Nylomaq M.

Al considerar el factor de velocidad Odrobina et.al. [17] empleó velocidades de 3 m/s manteniéndolo constante mientras que los de este trabajo oscilaron entre 4.54 m/s y 4.84 m/s, correspondientes a las dimensiones de los elementos del dispositivo. Esta variación explica el incremento de energía suministrada.

Mas que representar una discrepancia, esta condición experimental evidencia la capacidad del dispositivo para operar un rango de velocidades mayores, manteniendo resultados consistentes y coherentes con el comportamiento del material. Dichos resultados permiten confirmar la funcionalidad del equipo.

3.2.1.1 Ajuste técnico

Respecto a los valores obtenidos y el suceso de que las probetas no se mantenían fijas durante las pruebas, se realizó una nueva prueba, con la diferencia de aumentar la longitud de 55 mm a 60 mm, por lo que, siguiendo el mismo proceso, se obtuvieron solo 5 probetas, esto debido al material restante de la barra del material. De las cuales sus dimensiones, fueron las siguientes:

Tabla 6: Dimensiones de nueva versión de probetas

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Profundidad de muesca (mm)
1	4.1	10.5	61.6	2.6
2	4.6	10.8	60.8	2.2
3	4.7	10.7	61.2	3.5
4	3.9	10.8	61.7	1.8
5	4.2	10.1	61	2.3

Al efectuar las pruebas de impacto, se obtuvieron los siguientes valores

Tabla 7: Datos finales

# Probeta	Ángulo inicial	Ángulo final	Observaciones	Energía Absorbida (J)
1	120	330	Probeta fija sin desmontarse de los andamios.	7.46

			Fractura lisa sin muestra de desviación de fractura. Fractura casi completa	
2	130	300	Probeta fija sin desmontarse de los andamios. Fractura lisa sin muestra de desviación de fractura. Fractura casi completa	6.24
3	130	320	Probeta fija sin desmontarse de los andamios. Extraviada.	7.69
4	130	320	Probeta fija sin desmontarse de los andamios Fractura lisa sin muestra de desviación de fractura. Fractura completa	7.69
5	130	300	Probeta fija sin desmontarse de los andamios. Fractura lisa sin muestra de desviación de fractura. Fractura casi completa	6.24

Esta nueva variación en las dimensiones y los comportamientos que se registraron permiten la continuación de este trabajo al establecer un nuevo caso de estudio. Manteniendo este rango, se evita por completo la problemática de la separación de las probetas durante su ensayo de impacto. A su vez, también demuestra un nuevo factor a considerar, la energía absorbida, pues a mayor longitud menor energía requerida para generar una fractura frágil.

3.2.2 Repetibilidad y reproducibilidad

Al identificar una constante variación de las longitudes y absorción de energía, se tiene que calcular un coeficiente de variación (CV), ya que sí cuenta con un porcentaje menor del 30%, se puede interpretar que los datos son homogéneos. Para obtener CV, se emplea la siguiente ecuación.

$$\text{Ec.6: } CV = \frac{\text{Desviación estandar}}{\text{Promedio}} * 100$$

Al emplear la Ec.6 sobre los datos de absorción de energía, se obtiene un porcentaje de 8.26%, lo que en términos estadísticos indica una variabilidad moderada en relación con el promedio. En términos prácticos, si bien se puede dar mención a que existe dicha variación al leer los datos en las tablas estos no llegan a ser excesivos y puede llegar a ser considerados aceptables para un dispositivo en su fase de puesta en marcha y más aun sin un patrón de referencia.

Como punto final, esta variabilidad puede estar atribuida a las condiciones del montaje experimental, las propiedades no homogéneas del Nylon, la repetibilidad mecánica del equipo de impacto e incluso sobre las dimensiones de las probetas en sí.

3.2.3 Durabilidad y resistencia

Durante las pruebas que se estaban realizando, uno de los andamios se desoldó de la base. La falla se debió a la misma soldadura que se había hecho, comúnmente se realizan estas uniones a base de cordones, sin embargo, en esta ocasión la unión estaba dada por un “punto”. Esta solo estaba presente al frente y final de los andamios, por lo que era predecible un fallo.

Para repararlo, se volvió a soldar la pieza, la diferencia estaba en que la unión ahora fue de cordón.

Este imprevisto sirvió para evidenciar que el dispositivo, de haber sido puesto en marcha mucho más antes, presentaría un fallo evitando así su uso continuo.

3.2.4 montaje

La facilidad de mantenimiento está enfocada en su rapidez de preparación, tanto de las probetas como del dispositivo en sí, el cual se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 8: Tiempo de preparación y herramientas empleadas

Montaje y preparación	Herramientas empleadas	Tiempo de preparación
Probetas	Plumón permanente Regla Esmeriladora de 11.43 cm --Disco de corte	1. Trazado de líneas de corte (Longitud de 55 mm). 1 min por sección. Corte de

	Dremel --Disco de corte Segueta Lijas Vernier	sección de 55 mm. 3 min. 2. Trazado de líneas de corte (obtención de probetas de 1 cm x 1 cm x 5.5 cm). 5 min. Corte de sección. 5-10 min 3. Trazado de corte de probetas con dimensiones requeridas (4 mm x 10 mm x 55 mm). 5 min. Corte de probetas. 12-15 min, tomar en cuenta tiempo de carga de Dremel. 4. Lijado. 5-10 min 5. Corte de muesca. 30 s por probeta. Tomar en cuenta batería de Dremel y tiempo de carga. 6. Registro de dimensiones con vernier
Dispositivo de impacto	Pinza de punta deslizante o Llave de 1.27 cm.	1. Montaje del equipo con su péndulo y goniómetro. 7 min

		2. Pruebas de impacto. 25-30 <i>min</i> (30 probetas). 3. Desmontaje del dispositivo y limpieza de área. 15-20 <i>min</i>
--	--	---

En términos de preparación, el enfoque de las probetas es donde se requiere de mayor tiempo, pues lo que amplifica su tiempo es el uso de Dremel, ya que el uso de su potencia de trabajo reduce su energía. Por lo que en promedio se pueden realizar 16 probetas en 6 horas, de las cuales, la mitad esta por el tiempo de carga.

3.3 Manual de usuario

3.3.1 Presentación física

Como propuesta, se plantea un formato de doble cara, es decir, en una cara estará descrito paso a paso, mientras que del otro lado se encontrara un diagrama de flujo para aquellos usuarios que están más acostumbrados. Así como se muestra a continuación.



Manual.

Dispositivo para pruebas de impacto tipo Charpy



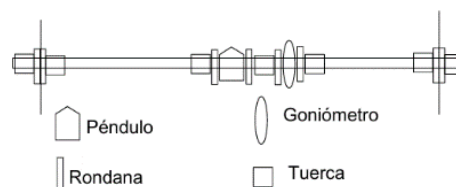
Procedimiento

1. Al estar la base fija, arme el péndulo y goniómetro en el bastidor.
2. Elija el intervalo de valores con los que va a trabajar, el martillo de 0.470 Kg, suministra un máximo de energía de 6.09 J, el martillo de 0.870 Kg suministra un máximo de 10.924 J
3. Prepare las muestras de los polímeros, con lo que va a trabajar. Las medidas de las probetas deben ser de 4 mm x 10 mm x 55 mm, identifique y registre las medidas de sus probetas.
4. Realice la muesca, con los parámetros recomendados, los cuales son 2 mm de profundidad y un radio de 45° haciendo uso de rotatory tool, cuidando que esta lisa y no sobrepase la profundidad recomendada, igual, registre la profundidad.
5. Tome una probeta y emplee la como prueba preliminar, para asegurar que el péndulo funciona de manera correcta, además de estimar una elevación que genere un fallo dúctil.
6. Una vez haya confirmado el funcionamiento del dispositivo, proceda a realizar su experimento, empezando por colocar la probeta en los andamios, procurando que la muesca este a contra cara del percutor, así como se muestra en la imagen.
7. Eleve el péndulo a la inclinación con la que va a trabajar, sin olvidar registrar el ángulo inicial.
8. Suelte el péndulo, deje caerlo de manera libre y registre el ángulo final, así como sus observaciones.
9. Repita los pasos 6 a 8 hasta haber concluido con su actividad.
10. Limpie y recoja los sobrantes de sus materiales.
11. Limpie y desmonte el dispositivo para reubicarlo en su lugar de almacén asignado.

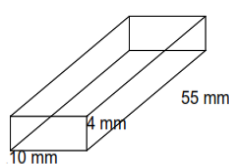
Para mayor información y contenido, escanee el siguiente código:



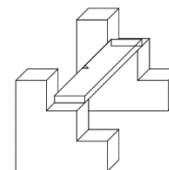
Dispositivo de impacto



Orden de piezas del bastidor



Medidas de probeta



Posición de probeta en los andamios

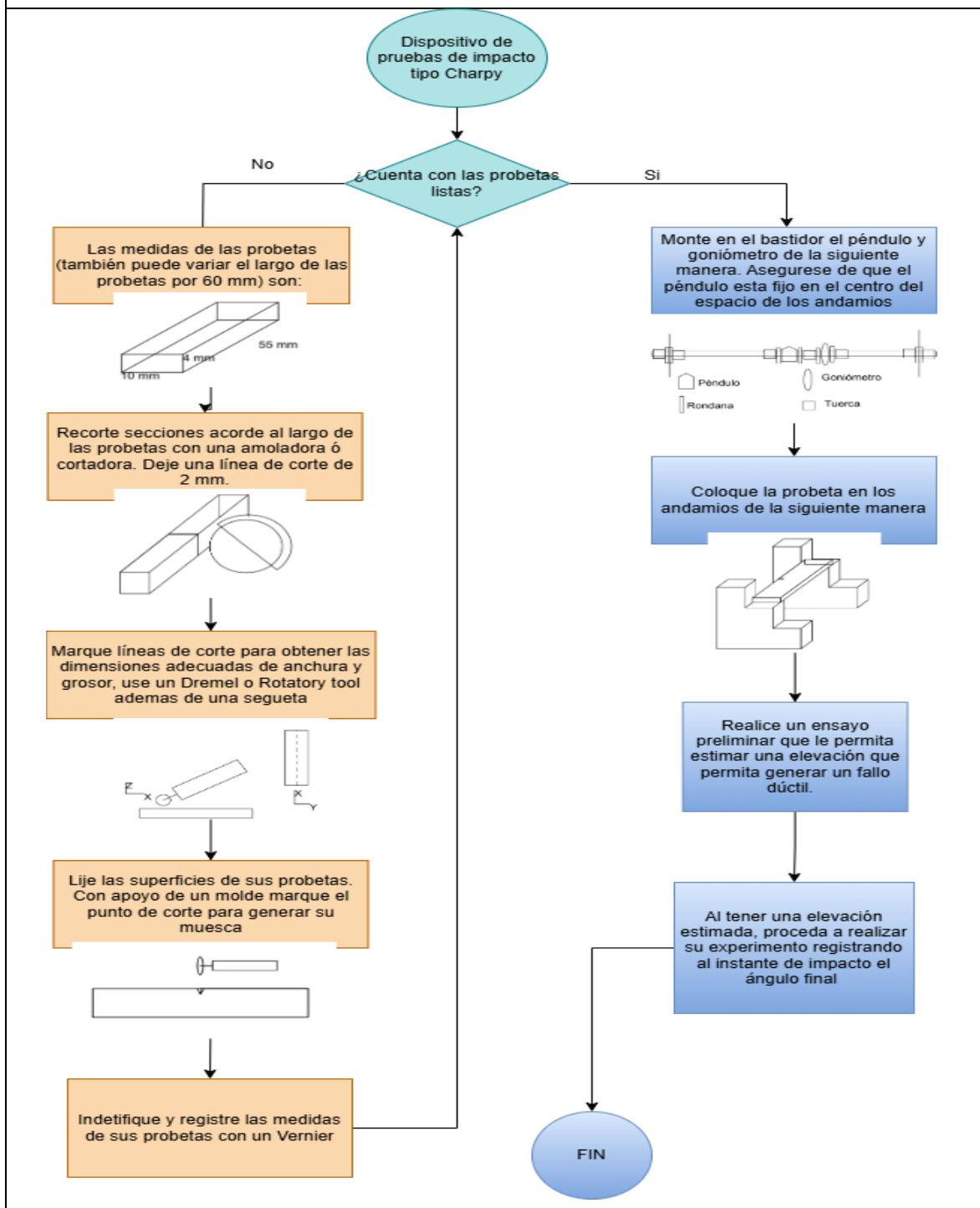




Manual.

Dispositivo para pruebas de impacto tipo

Charpy



3.3.2 Presentación en digital

El desarrollo de un manual en este formato está basado en la necesidad de mejorar el acceso, comprensión y actualización del contenido por parte de la comunidad estudiantil. Acorde a como se menciona en el trabajo de Kennedy y Whittaker [14], los manuales extensos no llegan a ser consultados por completos, además de que quedan obsoletos apenas son revisados. Por ello, al contar con esta presentación, la consulta se facilita y puede ser recurrente, como también puede ser actualizado con información nueva o incluso se pueden añadir nuevas herramientas.

Para su desarrollo, se empleó el uso de código para paginas HTML, en donde su estructura es:

Tabla 9: Comandos básicos para crear blog HTML

Comando	Utilidad
<code><html></code>	Etiqueta que envuelve todo el código de la pagina
<code><head></code>	Contiene información de la página como el titulo (<code><title></code>)
<code><body></code>	Contiene el contenido visible: texto, imagen, enlaces, tablas.
<code><h1></code> a <code><h6></code>	Define encabezados
<code><p></code>	Define un párrafo de texto
<code></code>	Inserta una imagen
<code></code> , <code></code> , <code></code>	Listas desordenadas, Listas ordenadas (números), y elementos de listas

En base a estos comandos, el contenido de la página fue de la siguiente manera:

- Título principal: “Manual de usuario. Dispositivo de impacto tipo Charpy”
- Índice
- Objetivos
- Términos o Glosario

- Fundamentos Teóricos
 - Péndulo de Charpy
 - Parámetros de uso
 - Importancia de la muesca
 - Importancia de las pruebas de impacto
- Responsabilidades
- Procedimientos
- Formularios
- Diagrama de flujo
- Hoja de calculo
 - Cálculo de energía absorbida
- Bibliografía

Para los temas importantes como lo eran: Parámetros de uso, Responsabilidades, Formularios y Hoja de cálculo, fue que su contenido quedo de la siguiente manera.

- Parámetros de uso

Para asegurar la funcionalidad correcta del dispositivo, haga énfasis en las siguientes indicaciones:

1. La base del equipo se encuentra fija, gracias a dos tornillos de anclaje, por lo que no será necesario desmontarlo.
2. El péndulo puede ser empleado desde una inclinación de 50° hasta un máximo de 150° .
3. Las probetas deben estar fijas, lisas y posicionadas correctamente antes de realizar el ensayo, de lo contrario la probeta podría no recibir el impacto, dificultando el experimento.
4. Asegurese que el percutor este alineado con la muesca, de lo contrario no logrará generar el fallo dúctil.
5. Las dimensiones recomendadas son las siguientes: 4 mm x 10 mm x 55 mm y 4 mm x 10 mm x 60 mm. Tome en cuenta que la variación de las dimensiones pueden crear variaciones de absorción de energía, por lo que no debe pasar por alto los efectos de sus medidas.
6. Considere que puede emplear materiales que van desde la madera, nylon, PET y plásticos de baja densidad, caso contrario a esta indicación puede provocar el fallo estructural y funcional del equipo.
7. No sujetar la probeta manualmente.
8. Registrar el ángulo final al instante del impacto, esto para evitar desviaciones en sus datos, ya que el equipo no cuenta con un sistema computarizado para dar un dato exacto.

14Fig14. Lista de parámetros a tomar en cuenta

- Responsabilidades

1. El usuario que consulte este manual previo a usar el dispositivo, se comprometerá a leer este documento por completo y así tener los fundamentos que le serán de utilidad al momento de hacer uso del pendulo.
2. El usuario se comprometerá a hacer uso correcto del dispositivo, manteniendo el funcionamiento de este lo mejor posible, pues debe saber que antes de él así como después de él, hubo y habrá gente que también lo usará, de ahí porque debe ser eficiente al momento de utilizarlo.
3. El usuario tendrá que conocer los límites relacionados con la clase de materiales en los que podrá hacer uso del dispositivo, pues debe estar informado acerca de las escalas de energía con las que se trabaja.
4. El usuario no excederá el uso de energía potencial máxima con la que está establecida este dispositivo, ya que de caso contrario, podría comprometer el rendimiento que ya tiene determinado.
5. El usuario recogerá y limpiará el área de trabajo donde realizó su actividad, así como también de limpiar y dejar ordenado el pendulo que habrá usado para llevar a cabo sus análisis.

15Fig15. Lista de responsabilidades del usuario

- Formularios

Energía absorbida	Velocidad de caída	Energía potencial	Altura de caída	Porcentaje de energía usada
$E = M \cdot g \cdot L \cdot (\cos(y) - \cos(x))$	$V = \text{Raiz}(2 \cdot g \cdot h)$	$E_p = m \cdot g \cdot h$	$h = L(1 - \cos(x))$	$\% = (E_a/E_p) \cdot 100$
Ea=Energía Absorbida (Joules)				
M=Masa del martillo (Kg)	V=Velocidad de caída (m/s)	Ep= Energía potencial (Joules)	h= Altura (m)	Ea=Energía Absorbida (Joules)
g=Aceleración de la gravedad (m/s ²)	g=Aceleración de la gravedad (m/s ²)	m= masa del pendulo completo	L=Longitud del brazo (m)	Ep= Energía potencial (Joules)
L=Longitud del brazo (m)	h=Altura del pendulo antes de soltarla (m)	g=Aceleración de la gravedad (m/s ²)	Cos(x)= Ángulo inicial (°)	
cos(y)= Ángulo final(°)		h=Altura del pendulo antes de soltarla (m)		
cos(x)= Ángulo inicial(°)				

16Fig16. Tabla de fórmulas a emplear durante y después de la actividad experimental

- Hoja de calculo

Cálculo de energía absorbida

Ingresa la masa del percutor (Kg) :	
Ingresa la aceleración de la gravedad (m/s ²):	
Ingresa la longitud del brazo (m):	
Ingresa un ángulo final(en grados):	
Ingresa un ángulo inicial (en grados):	
Calcular Reiniciar	
Energía absorbida en Joules:	

17Fig17. Tabla interactiva para calcular energías absorbida de impacto

Para mayor información acerca de los comandos utilizados, en el Anexo B, se muestra la estructura en que se creó esta tabla interactiva.

Para volver este blog en página web que sería accesible a todos, se hizo uso de la pagina Nefly.com, esto debido a la facilidad en que puede cargar el código y compartir un link que cualquier persona puede consultar, el link que se obtuvo fue: <https://manual-dispositivo-de-impacto.netlify.app/>

Como complemento y volver el link como código QR, en el se encontraría dentro del manual en físico, se empleó la página de <https://www.qr-code-generator.com/> , el cual genero el siguiente QR:



18Fig18. Código QR que contiene la página web realizada

Las ventajas que presenta este formato es que es de fácil acceso, puede ser actualizado y cuenta con secciones interactivas. Lo que lo vuelve un complemento ante su presentación física que cuenta con la desventaja de que puede dañarse o incluso perderse.

Se espera que esta versión al estar disponible en línea sea consultada con mayor frecuencia y pueda facilitar el aprendizaje de los estudiantes que la consulten. Al contar con formularios, diagrama de flujo y la tabla interactiva, se busca reforzar la comprensión acerca del dispositivo de impacto y la importancia que aporta en la comprensión de la resistencia de los materiales al impacto

No obstante, el impacto real que llegue a generar este manual no ha sido medido mediante la consulta a estudiantes. Por lo que, como trabajo futuro, se sugiere implementar una evaluación por medio de encuestas dirigidas a estudiantes para determinar claridad, utilidad y frecuencia de este manual, ya que al recabar esta información es como se podrá validar su eficacia además de detectar áreas de mejora.

CONCLUSIONES

La puesta en marcha del dispositivo de impacto tipo Charpy, presento etapas durante su proceso, que abarcaron desde la adaptación del equipo hasta la preparación de las probetas. Durante este proceso se identificaron y solucionaron detalles técnicos, tanto en la fabricación de los componentes como en la ejecución de las pruebas piloto.

Desde un inicio, la fabricación de las probetas requirió de presupuesto que no se había tomado en consideración, como lo fue el equipo de corte. Dado que no se habían contemplado el uso de esmeriladora angular y Dremel, su pronta adquisición resultó fundamental para obtener las medidas deseadas. Con ayuda de estos equipos y pese a las limitaciones, se obtuvieron probetas con medidas esperadas, a pesar de contar con variaciones menores que fueron aceptables al momento de llevar a cabo la parte experimental.

La instalación del equipo también presento contratiempos, como lo fue el fijarlo al suelo para evitar desplazamientos durante la prueba experimental y también la desoldadura de uno de los andamios, situación que evidencio fallas durante su fabricación primaria. Al atender estas situaciones de manera oportuna, es como se pudo continuar con las pruebas sin llegar a comprometer la seguridad y funcionalidad del equipo.

En cuanto a los resultados, la validación estuvo determinada por los criterios de precisión, repetibilidad, reproducibilidad y montaje. Los datos obtenidos de la energía de absorción, mostraron una variabilidad permisible para un equipo construido con materiales comunes y sin patrón de referencia certificado. Lo que permite considerar el equipo como funcional y útil para actividades académicas posteriores.

También deja el camino abierto para continuar con este trabajo y campo de estudio, ya que al presentar el ajuste técnico respecto a las dimensiones de las probetas y su variación en cuanto a la E_a del material, es como el uso y desarrollo de este equipo puede ampliar más los conocimientos acerca de la mecánica de impacto en el desarrollo pedagógico de los estudiantes.

Con la creación del manual en sus dos formatos, es como permite facilitar el uso del equipo para futuros estudiantes. Cabe recalcar que al tener el manual digital accesible por medio de un código QR, demuestra ser una herramienta pedagógica que refuerza la comprensión del procedimiento y mejora la accesibilidad de la información.

Como conclusión, el objetivo principal de este trabajo se cumplió, ya que quedo demostrado su funcionalidad sin necesidad de calibración certificada. Este dispositivo constituye un aporte extra dentro de las prácticas de laboratorio donde se estudia el comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales, además ser una base sólida para futuras mejoras, como lo sería la automatización del equipo o la implementación de sensores que incrementen la precisión de las mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. R. Askeland y W. J. Wright, Ciencia e Ingeniería de Materiales. Ciudad de México: CENGAGE, 2022.
- [2] Todo en Polimeros. “LA RESISTENCIA AL IMPACTO”. todopolimeros.com. Accedido el 8 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: <https://todoenpolimeros.com/2017/01/04/la-resistencia-al-impacto/>
- [3] SafetyCulture. “¿Qué es la puesta en marcha? Una guía completa”. safetyculture.com. Accedido el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible: <https://safetyculture.com/es/temas/puesta-en-marcha/>
- [4] “Mechanical Properties of Materials – EngineeringTechnology.org”. EngineeringTechnology.org. Accedido el 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://engineeringtechnology.org/engineering-materials/mechanical-properties-of-materials/#:~:text=Mechanical%20properties%20are%20a%20fundamental%20aspect%20of%20engineering,forces,%20such%20as%20tension,%20compression,%20bending,%20or%20twistin>
- [5] Y. Ortega, «Prueba de Impacto: ensayo Charpy», REVISTA MEXICANA DE FÍSICA, vol. 52, n° 1, pp. 51-57, 2006.
- [6] J. A. L. L. A. M. M. S. MJ Andala, «Books Google,» 2002. [En línea]. Disponible: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=06rrtvkTTd8C&oi=fnd&pg=PA15&dq=mec*////anica+de+la+fractura+de+los+materiales&ots=A660urPbUb&sig=FVmMhsPh9g0asHDjPUjunubEkCk#v=onepage&q=mecanica%20de%20la%20fractura%20de%20los%20materiales&f=false. [Último acceso: 8 Julio 2024].
- [7] M. M. C. Y. S. B. Brenda Reyes Ballesta, «ResearchGate,» 3 Octubre 2018. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/328051292_Ensayo_de_Tenacidad_o_Impacto_Prueba_Charpy. [Último acceso: 9 Julio 2024].

- [8] A. INTERNATIONAL, 2004. [En línea]. Disponible: <https://pdfstandards.net/wp-content/uploads/2019/03/D-6110.pdf> . [Último acceso: 9 Julio 2024].
- [9] Brusil Andrade, María José Cifuentes Muñoz, Alexis Germán, “*Diseño, Construcción e Implementación de un péndulo de Charpy para analizar la resistencia al impacto en polímeros de acuerdo a la Norma ASTM D6110-02*”, Tesis de Grado, Univ. Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2017
- [10] A. T. V. B. A. Needleman, «*Size Effects in the Charpy V-Notch Test*» International Journal of Fracture, vol. 116, pp. 275-296, 2002.
- [11] INSTRON, «INSTRON,» [En línea]. Disponible: <https://www.instron.com/en-US/-/media/literature-library/products/2021/03/impact-handbook.pdf> . [Último acceso: 11 Julio 2024].
- [12] W. D. C. J. David G. Rethwisch, “*Materialas Science and Engineering an Introduction*”, United States: Wiley, 2018.
- [13] J. L. P. Gutiérrez y E. B. Lanza González, “MANUALES DE PROCEDIMIENTOS Y EL CONTROL INTERNO: UNA NECESARIA INTERRELACIÓN”, Obs. Econ. Latinoamericaca, n.º 201, 2014.
- [14] D. Kennedy y J. Whittaker, “Engineering Procedures Manuals—Benefit or Liability?”, Eng. Manage. J., vol. 12, n.º 01, pp. 9-14, 2000.
- [15] C. Cohen, “Procedures manuals as a tool for organizational control”, Pers. Rev., vol. 24, n.º 4, pp. 50–57, 1995.
- [16] TECNOQUIM. “PA6 (Poliamida6)”. tecnoquim.com.mx. Accedido el 27 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible: <https://tecnoquim.com.mx/wp-content/uploads/2020/07/NYLTEC-NAT.pdf#:~:text=Ingeniería%20mecánica%20Partes%20deslizantes,%20rodillos,%20bujes> .
- [17] M. Odrobina, T. Deák, L. Székely, T. Mankovits, R. Z. Keresztes y G. Kalácska, “*The effect of Crystallinity on the Toughness of Cast Polyamide 6 Rods with Different Diameters*”, polymers, vol. 12, n.º 293, pp. 2–16, 2020.

ANEXO A:

Demostración matemática para obtener ecuación de velocidad del péndulo en pruebas destructivas

A partir del principio de conservación de energía mecánica, donde se asume que la energía potencial se convierte por completo en energía cinética al momento de impacto, tomando en cuenta que no existen pérdidas de fricción ni resistencia del aire, se obtiene la siguiente ecuación:

$$E_p = E_c \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde:

- m = masa del péndulo (Kg)
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2)
- h = altura en la que se encuentra el percutor antes de su caída
- v = velocidad del péndulo antes de impactar (m/s)

Para obtener la velocidad, se despeja v , de la siguiente manera:

$$2(mgh) = mv^2$$

$$\frac{2(mgh)}{m} = v^2$$

Se eliminan términos similares y la potencia pasa a ser raíz

$$\sqrt{2gh} = v$$

En caso de no conocer h , también se puede emplear la Ec4 del texto principal

$$v = \sqrt{2gL(1 - \cos \beta)}$$

Para ambas versiones, son aceptadas.

ANEXO B

Código creado para tabla interactiva

```

<center> <h2>Hoja de cálculo</h2> </center>
<center><h3 style="text-align: center;">Cálculo de energía absorbida</h3>
<table border="1">
  <tr>
    <td>Ingresa la masa del percutor (Kg) :</td>
    <td><input type="number" id="numero1"></td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Ingresa la aceleración de la gravedad (m/s^2):</td>
    <td><input type="number" id="numero2"></td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Ingresa la longitud del brazo (m):</td>
    <td><input type="number" id="numero3"></td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Ingresa un ángulo final(en grados):</td>
    <td><input type="number" id="angulo"></td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Ingresa un ángulo inicial (en grados): </td>
    <td><input type="number" id="angulo2"></td>
  </tr>
  <tr>
    <td colspan="2">
      <button onclick="calcularOperacion()">Calcular</button>
      <button onclick="reiniciarFormulario()">Reiniciar</button>
    </td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Energia absorbida en Joules:</td>
    <td><input type="text" id="resultado" readonly></td>
  </tr>
</table>
<script>
function calcularOperacion() {
  var num1 = parseFloat(document.getElementById("numero1").value);
  var num2 = parseFloat(document.getElementById("numero2").value);
  var num3 = parseFloat(document.getElementById("numero3").value);

  var productoNumeros = num1 * num2 * num3;

  var anguloGrados = parseFloat(document.getElementById("angulo").value);
  var anguloGrados2 = parseFloat(document.getElementById("angulo2").value);

  var anguloRadianes = anguloGrados * (Math.PI / 180);
  var anguloRadianes2 = anguloGrados2 * (Math.PI / 180);

  var coseno = Math.cos(anguloRadianes);
  var Coseno = Math.cos(anguloRadianes2);

  var resultadoFinal = productoNumeros * (coseno - Coseno);

  document.getElementById("resultado").value = resultadoFinal.toFixed(4);
}

function reiniciarFormulario() {
  document.getElementById("numero1").value= "";
  document.getElementById("numero2").value= "";
  document.getElementById("numero3").value= "";
  document.getElementById("angulo").value= "";
  document.getElementById("angulo2").value= "";
  document.getElementById("resultado").value= "";
}
</script></center>

```