

VI Encuentro Nacional de Investigación Formativa Ingeniería Industrial Medellín

Memorias

Grupo de Investigación en Sistemas Aplicados
en la Industria (GISAI)



© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana

VI Encuentro Nacional de Investigación Formativa - Memorias

ISSN: 2322-7672

Primera edición, 2015

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández

Decana Escuela de Ingenierías: Piedad Gañán Rojo

Directora Facultad de Ingeniería Industrial: Diana Rocío Roldán Medina

Editora (e): Natalia Uribe Angarita

Coordinación de producción: Ana Milena Gómez Correa

Diagramación: María Isabel Arango Franco

Corrector de estilo: Fernando Aquiles Arango Navarro

Dirección editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2015

Email: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57) (4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1377-27-07-15

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Máquina didáctica de impacto

Universidad Pontificia

Bolivariana - Seccional Palmira

María Angélica Barrera Certuche

III Semestre Ingeniería Industrial
313 703 82 67
maangelik92@hotmail.com

Jhon Eduar Correa Arce

III Semestre Ingeniería Industrial
318 753 77 22
edu_ar96@hotmail.com

Soraya Echeverry Pantoja

III Semestre Ingeniería Industrial
315 400 92 74
sora_echeverry94@hotmail.com

Johan Felipe Martínez Ramírez

III Semestre Ingeniería Industrial
318 367 69 09
pipe1094@hotmail.com

Christian Ricardo Martínez Rojas

III Semestre Ingeniería Industrial
310 433 63 69
Christian.m93@hotmail.com

Jenny Velásquez Riascos

Docente – Ingeniera Química
316 582 42 15
calipso910@hotmail.com

Resumen

Este proyecto es basado en lo visto en el curso Ciencia de los Materiales y consta de construir una máquina didáctica para pruebas de impacto, teniendo en cuenta la estructuras y propiedades del material utilizado, para así obtener resultados satisfactorios.

La máquina de impacto cuenta de una base de 120*40 cm y de dos soportes perpendiculares a dicha base con una longitud de 120 cm, llevando un eje perpendicular en la parte superior de nuestro soporte, el cual conlleva un péndulo que es la parte fundamental de la máquina, para desarrollar ensayos tipo Charpy que consisten en medir la energía absorbida por la probeta.

Palabras clave

Máquina de impacto, Ciencia de los Materiales, péndulo, ensayos tipo Charpy

Abstract

This project is based on seen on the course materials science and consists of building a learning machine for impact tests, considering the structures and properties of the material used, to obtain satisfactory results. The Impact machine has a pendulum to develop type Charpy tests which involve measuring the energy absorbed by the specimen.

Keywords

Impact machine, materials science, Pendulum Charpy test type

Introducción

El curso Ciencia de los Materiales nos abrió las puertas a la investigación de la relación que se encuentra entre la estructura y las propiedades de los materiales. Paralelamente, conviene matizar que la ingeniería de los materiales se fundamenta en esta, las relaciones, propiedades, estructura, procesamiento, funcionamiento; y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades.

A la hora de manipular ciertos materiales como aceros, madera, entre otros, es muy importante conocer e identificar las características y propiedades mecánicas que poseen. Para este caso específico, se manipularán ciertos materiales vistos en clase y se desarrollará la parte práctica del curso Ciencia de los Materiales, para así lograr ejecutar una máquina de impacto.

Justificación

Se ha escogido como proyecto una máquina de impacto para así poner en práctica los conocimientos vistos en clase.

La máquina de impacto se hace con el fin de que determine ensayos tipo Charpy, que consisten en ejercer una determinada fuerza a un material sólido y así comprobar la fragilidad y la capacidad de ciertos materiales de absorber cargas instantáneas.

El objeto del ensayo de choque es el de comprobar si una máquina o estructura fallará por fragilidad bajo las condiciones que le impone su empleo, muy especialmente cuando las piezas experimentan concentración de tensiones, por cambios bruscos de sección, mecanizados incorrectos, entre otros, o bien verificar el correcto tratamiento térmico del material ensayado.

De esta manera podemos hallar la resistencia de un material sólido.

Objetivos

Objetivos generales

- Fabricar una máquina didáctica para realizar pruebas de impacto a probetas de materiales metálicos, poliméricos y compuestos.

Objetivos específicos

- Realizar una máquina didáctica para ensayos de impacto tipo Charpy a metales no ferrosos.
- Identificar las variables requeridas para la energía de absorción en un ensayo de impacto.
- Reconocer la aplicación a nivel industrial de este tipo de equipos didácticos.

Marco teórico

A menudo el ingeniero se ve en la necesidad de diseñar o sustituir componentes de máquinas sometidos a cargas repentinas, requiriendo que soporten estas condiciones sin fallar. La cuantificación de esta propiedad junto con otras como: resistencia a la cedencia, resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, módulo de tenacidad y de resiliencia, ductilidad, etc., son datos que se requieren a la hora de seleccionar (o procesar) un material a ser empleado para la fabricación de piezas que serán sometidas a diferentes condiciones de carga al estar en servicio. (Boscós, 2012)

Las propiedades mecánicas antes mencionadas frecuentemente se encuentran en las cartas técnicas de cada material y estas corresponden a ensayos realizados en condiciones ideales, que precisamente no reflejan las condiciones de servicio variables a las que un material se verá sometido, como cambios de temperatura, carga mecánica, ambiente corrosivo, desgaste, etc.; pues bien, la mayoría de los datos de las propiedades son obtenidos por medio de ensayos de tensión, de dureza, de termofluencia, de impacto, por mencionar algunos. Como los ensayos miden propiedades

y características de un mismo material, la información obtenida de varios de ellos generalmente es complementaria. (Trijillo, 2009)

Propiedades y características del material

Hierro

El hierro o fierro (en muchos países hispanohablantes se prefiere esta segunda forma) es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe (del latín *fĕrrum*) y tiene una masa atómica de 55,6 u. (Anónimo, 2014)

Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5 % y, entre los metales, solo el aluminio es más abundante; y es el primero más abundante en masa planetaria, debido a que el planeta en su núcleo concentra la mayor masa de hierro nativo equivalente a un 70 %. El núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel en forma metálica, generando al moverse un campo magnético. Ha sido históricamente muy importante, y un período de la historia recibe el nombre de Hierro. Ver tabla 1. (Salas, 2014)

Tabla 1. Propiedades del hierro

Hierro	
Nombre, símbolo y número	Hierro, Fe, 26
Serie química	Metales de transición
Masa atómica	55,845 u
Densidad	7874kg/m ³
Cunductividad eléctrica	9,93 * 10 ⁶ S/m
Estrutura cristalina	Cúbica centrada en el cuerpo
Resistencia máxima	540 Mpa

Normas aplicadas al ensayo de impacto

Normas Charpy (ISO 179-1, ASTM D 6110), Izod (ISO 180, ASTM D 256, ASTM D 4508) y 'unnotchedcantileverbeamimpact' (ASTM D 4812), Ensayo tracción por impacto (ISO 8256 und ASTM D 1822), Dynstat ensayo flexión por impacto (DIN 53435)

Dentro de la norma ISO 10350-1 para valores característicos de punto único, el método de ensayo preferido es Charpy acorde a ISO 179-1. Para ello, el ensayo se realiza en probetas no entalladas con impacto en el canto (1eU). Si la probeta no se rompe en esta configuración, el ensayo se realizará con probetas entalladas, aunque en este caso, los resultados no son directamente comparables. De no producirse la rotura de la probeta, se empleará el método de tracción por impacto.

Dentro de las normas ASTM, el método Izod acorde a ASTM D 256 es el más corriente. En él se emplean siempre probetas entalladas. Un método de aplicación menos común es el "unnotchedcantileverbeamimpact" descrito en la norma ASTM D 4812. Este método es parecido al procedimiento Izod, pero con probetas no entalladas. En el caso de que sólo se puedan producir probetas pequeñas, se puede proceder por el método "Chip-impact" acorde a ASTM D 4508. (Zwick, 2009)

Norma empleada para el ensayo de impacto: ASTM E23-72

El estándar ASTM E23-72 presenta las siguientes exigencias para los martillos de péndulo:

La máquina debe de ser de construcción rígida y con capacidad energética suficiente para romper la probeta con un solo golpe. La máquina no debe ser usada para valores mayores al 80 % del rango de la escala. La velocidad no debe de ser menor de 3m/s ni menor de 6m/s. El error en la escala en cualquier punto no debe exceder el 0.2% del rango o 0.40% de lectura. El plano del movimiento del péndulo debe ser perpendicular al eje transversal del la muestra y no debe desviarse más de 3:1000 (unidad de longitud). El dispositivo de liberación del péndulo desde su punto inicial debe operar libremente y no impulsar, retardar o hacer vibrar el péndulo. Se debe proveer un dispositivo (ensayo Charpy) para situar la probeta de manera que el plano de simetría no quede desviado más de 0.1 mm con respecto al punto medio entre los apoyos. (Trijillo, 2009).

Generalidades de la prueba de impacto

Las pruebas de impacto se utilizan en ingeniería de polímeros para estudiar la tenacidad de un material. Este material puede ser un polímero, un copolímero o un polímero reforzado.

Las pruebas mecánicas pertenecen al grupo de pruebas mecánicas dinámicas.

Según el método Charpy existen dos tipos de prueba de impacto:

- Prueba de impacto con flexión
- Prueba de impacto con flexión y muesca

Ambas pruebas pueden realizarse con instrumentos o sin ellos, es decir, con una computadora que mide los diferentes parámetros implicados en la prueba.

Otras pruebas de impacto no incluidas en Charpy incluyen

- Prueba a la caída
- Pruebas de impacto a alta velocidad

La tenacidad al impacto se mide en kJ/m^2 (kilojulio (unidad) por metro cuadrado).

Debido a las características termoplásticas de los polímeros, las pruebas de impacto requieren cierta velocidad en su actuación, velocidades lentas producen más bien movimientos de deformación plástica o *creep*, permitiendo a los segmentos de las macromoléculas la relajación de esfuerzos. Las velocidades para impacto incluyen el rango de $10^{-1} - 10^0 \text{ s}^{-1}$. (Segovia, 2014)

El ensayo de impacto consiste en dejar caer un péndulo pesado, el cual a su paso golpea una probeta que tiene forma de paralelepípedo, ubicada en unos soportes en la base de la máquina. Se debe dejar caer el péndulo desde un ángulo $\alpha = +/-$, para que la velocidad del péndulo, en el momento del golpe y en el punto de la nariz de golpeo sea de cierta velocidad y de esta manera cumpla con los requerimientos de

la norma que especifica que la velocidad del péndulo en el momento del impacto debe estar entre 3 m/s y 6 m/s. La probeta posee una muesca (entalle) estándar para facilitar el inicio de la fisura.

Luego de golpear la probeta, el péndulo sigue su camino alcanzando cierta altura que depende de la cantidad de energía absorbida por la probeta durante el impacto. Las probetas que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad (baja fragilidad) se doblan sin romperse.

Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química, lo cual obliga a realizar el ensayo con probetas a distinta temperatura, para evaluar y encontrar la "temperatura de transición dúctil-frágil". (Gaviria, 2009)

Propiedades del ensayo de impacto

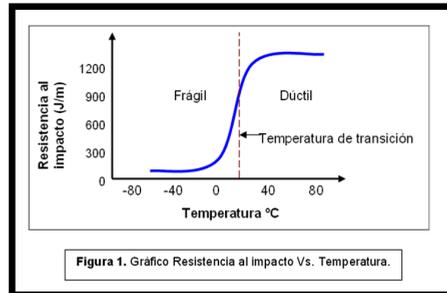
Propiedades (Pereira, 2005)

- Condición del ensayo:
 - Puede ser realizado en diferentes temperaturas.
 - Alta velocidad de aplicación de carga.
- Magnitudes medias:
 - Energía absorbida por el material.
- Propiedades determinadas:
 - Resistente al impacto.
 - Temperatura de transición dúctil – frágil.

Temperatura de transición dúctil – frágil

Es la temperatura debajo de la cual un material se comporta de forma frágil en un ensayo de impacto. El cambio de dúctil a frágil también depende de la velocidad de deformación. Un material que se somete a un golpe de impacto en servicio debe tener una temperatura de transición menor que la temperatura del entorno. (Ver Figura No. 1)

Gráfica 1. Resistencia al impacto vs temperatura

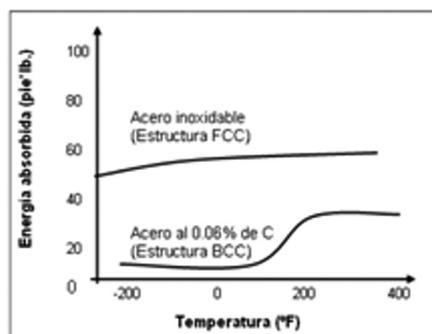


Esta temperatura sirve además como referencia en la selección de materiales, debido a que asegura que la temperatura más baja a la que el material estará expuesto esté muy por encima de la temperatura de transición de dúctil a frágil.

Sensibilidad a la muesca

Las muescas que son maquinadas, de fabricación deficiente, o diseñadas, concentran esfuerzos y reducen la tenacidad de los materiales. La sensibilidad de la muesca mide su efecto sobre las propiedades de un material, como tenacidad o vida de fatiga. Las energías absorbidas son mucho menores en las probetas con muesca. (Ver Figura No.2)

Gráfica 2. Propiedades de una muesca en V de Charpy para un acero al carbono BCC y un acero inoxidable FCC



(La estructura cristalina FCC normalmente conduce a mayores energías absorbidas, sin mostrar temperatura de transición).

Relación con el diagrama esfuerzo deformación

La energía necesaria para romper un material durante un ensayo de impacto, no siempre se relaciona con la resistencia a la tensión. En general, los metales que tienen alta resistencia y a la vez gran ductilidad, tienen buena tenacidad a la tensión. Sin embargo, este comportamiento cambia cuando las velocidades de deformación son altas. Así, dicha velocidad puede desplazar la transición de dúctil a frágil.

Partes principales de máquina

Estructura: la estructura o todo el soporte de la máquina consiste en dos canales de hierro que están paralelos entre sí, perpendiculares a la base. La máquina debe ser anclada 15 cm al piso como especifica la norma. En el momento de realizar el anclaje debe tener especial cuidado, para no alterar las condiciones de paralelismo y perpendicularidad, sobre las cuales se diseñó la máquina. Para anclar la estructura al piso se utilizan cuatro tornillos en cada una de las esquinas. Uno de los tornillos es el de nivelación y el otro es el de anclaje. La estructura se nivela utilizando los tornillos de nivelación, y cuando se encuentra totalmente nivelada, se ajustan en el piso los tornillos de anclaje.

Péndulo: esta parte de la máquina es la más delicada, pesa aproximadamente 20 lb, y debe ser accionada solamente al liberar el sistema de freno, a través del mecanismo proporcionado para ello. El péndulo al igual que el resto de la máquina cumple con la norma ASTM E-23; su diseño debe cumplir con características de: velocidad, centro de percusión y punto de golpeo.

Soporte de las probetas

La máquina está diseñada de manera tal para realizar un tipo de ensayo que es el Charpy, que sostiene utilizando dos puntos de apoyo, uno en cada extremo.

Para poder ubicar este soporte, y por consiguiente la probeta, a la altura adecuada, es necesario utilizar unos bloques que actúan a manera de suplemento, y que permanecerán fijos en la base de la máquina.

Ensayo de impacto

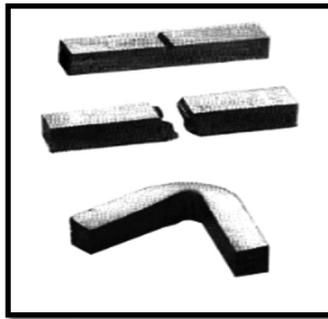
Propiedades, ensayos y fallas de los metales.
Tenacidad y prueba de impacto

La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturarse.

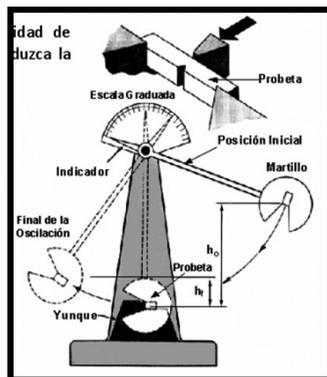
Su importancia se da cuando se considera la capacidad de un material para soportar un impacto sin que se produzca la fractura.

Conocidas la masa del péndulo y la diferencia entre las alturas inicial y final se determina la energía presente en el proceso de fractura. Ver gráficas 3 y 4.

Gráfica 3. Probetas



Gráfica 4. Actividad de la máquina de impacto



Metodología

Materiales

- 4 Tubos rectangulares de hierro de (4*2) in, calibre 18
- 1 tubo de hierro macizo de 40 cm diámetro 1 in $\frac{3}{4}$
- 1 Tubo de hierro de 1mt calibre $\frac{3}{32}$ diámetro 1 in $\frac{3}{8}$
- 1 tubo de hierro macizo de un 1m diámetro 1 in
- 2 tubos rectangulares de hierro de (2 $\frac{1}{2}$ * 2) in calibre 18
- 5 m de cable numero 22
- Cable dúplex 2 x 18 polarizado
- Lija
- 1/16 vinilo rojo
- 1/16vinilo negro
- 1/16 amarillo
- 1 botella de tiner
- 1 disco pulik
- 2 Bom/Agua
- 2 Fococeldas
- Un cronómetro
- Un transportador de acrílico
- 1/8 masilla
- un cincel de hierro 2.5 cm
- 2 soportes para la probeta de hierro
- 4 soportes de hierro de un metro de largo y 1" x 1" de espesor.

Herramientas

Soldador, pulidora, compresor, escuadra, nivel de mano, flexo-metro, tiza industrial, un libra de soldadura 6011 blanca, pulidora con guarda y disco de corte metal de 4 in, y careta para pulidora, pinturas aerosol.

Normas de seguridad

Botas industriales, guantes de carnaza hasta la altura de los codos, gafas de seguridad, careta de soldadura y overol.

Procedimiento

1. Se selecciona el diseño a realizar y medidas acorde con la bibliografía empleada en el Curso.
2. Selección de material y corte de las piezas, acorde con el diseño. Se crea una probeta para la realización de pruebas.
3. Se unen las piezas por medio de soldadura 6011.
4. Se verifica funcionamiento de la máquina y se hace un ensayo utilizando una probeta de medidas 18 cm de largo y 10*10 mm de espesor que se ajusta el equipo.
5. Adición de cronómetro y sistema de medición.
6. Se liján las superficies a pintar, se aplica anticorrosivo.
7. Empacado de la máquina.

Cálculos y resultados

1. Ensayo tipo Charpy
 - Tener las medidas correspondientes :
 - $H_o = \text{¿?}$

- $H_f = 6.5 \text{ cm}$
 - Masa de péndulo = 20 libras, constante
 - Gravedad = 10 m/s^2 , constante
2. Ubicar la probeta a la que se le va hacer el ensayo correspondiente.
 3. Ubicar el péndulo en los grados que se indican (en este caso fue de 90°). Dimensiones 18.5 cm largo, 1x1 cm de espesor, material hierro
 4. Medir la distancia del péndulo con respecto al suelo.
 5. Hallar E_p , E_c , V , ΔE

Desarrollo del ensayo (valores experimentales)

$$\Theta = 90^\circ$$

$$\Theta_{\text{barrido}} = 90^\circ$$

$$\Theta_o + \Theta_f = \Theta_{\text{barrido}}$$

$$90^\circ + 0 = 90^\circ$$

$$h_o = 118 \text{ cm} \rightarrow 1.18 \text{ m}$$

$$118 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 1.18 \text{ m}$$

$$20 \text{ lb} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ lb}} = 0.02 \text{ Kg}$$

$$\text{Gravedad} = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$h_f = 6.5 \text{ cm} \rightarrow 0.065 \text{ m}$$

$$6.50 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.065 \text{ m}$$

Radio

$$105 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 1.05 \text{ m}$$

Velocidad

$$V = \sqrt{2 (g) * (ho)}$$

$$V = \sqrt{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) * (1.18m)} = 4.81 \frac{m}{s}$$

La velocidad del péndulo antes del impacto es de $4.81 \frac{m}{s}$

Energía potencial

$$Ep = m * g * ho$$

$$Ep1 = (0.02Kg) \left(10 \frac{m}{s^2}\right) (1.18m) = 0.236 J$$

Esta energía potencial es la que está disponible en el punto inicial, la cual es llamada Ep_1 .

$$Ep = m * g * hf$$

$$Ep2 = (0.02Kg) \left(10 \frac{m}{s^2}\right) (0.065m) = 0.013J$$

Esta energía potencial es la final, es la que se obtiene después del impacto, la cual es llamada $Ep2$.

Cambio de energía ΔE

$$Ep12 = Ep1 - Ep2$$

$$Ep12 = 0.236J - 0.013J = 0.223J$$

ó

$$\Delta E = m * g * (ho - hf)$$

$$\Delta E = (0.02Kg) \left(10 \frac{m}{s^2}\right) (1.18m - 0.065m) = 0.223 J$$

Lo que quiere decir que la probeta absorbe una energía potencial de 0.223J a una velocidad de $4.81 m/s^2$

Energía cinética

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

$$E_c = \frac{0.02Kg (4.81)^2}{2} = 0.231 J$$

La energía cinética que mide el impacto, el desplazamiento de las fracciones de la probeta después de la ruptura es de 0.231J

Esta práctica se realizó con una probeta de 1*1*1 cm con una ruptura leve de 0.8 cm por la mitad, para facilitar el impacto del péndulo.

Los resultados de esta práctica son satisfactorios, lo cual comprueba que la máquina sí funciona a pesar de ser didáctica.

Se puede usar para prácticas de laboratorios de la Universidad y optimizará gastos tanto como a los estudiantes de desplazamiento.

Cálculo de la velocidad angular

Asemejando el evento a uno de movimiento circular uniformemente acelerado podremos obtener el tiempo que dura el evento hasta que el brazo pendular hace contacto con la probeta de la siguiente manera:

a) Velocidad angular

$$v = \omega * r \rightarrow \omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{4.81 \frac{m}{s}}{1.05m} = \frac{4.580rad}{s}$$

$$4.580 \frac{rad}{s} * \frac{1rev}{2\pi rad} * \frac{60s}{1m} = 43.74RPM$$

(antes del impacto)

La velocidad angular sería de 43.74 RPM

b) Calculo de la aceleración angular

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta \rightarrow \alpha = \frac{\omega^2}{2\theta}$$

θ , es el que barre el péndulo desde la posición inicial hasta el momento del impacto, donde el ángulo tomado en este caso es de 90° para hallar su aceleración se pasa a radianes.

$$90^\circ * \frac{\pi \text{rad}}{180^\circ} = 1.570 \text{rad}$$

$$\alpha = \frac{(4.580 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2}{2 * 1.570 \text{rad}} = 6.7 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

La aceleración angular sería de $6.7 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

c) Calculo del tiempo del evento:

$$T = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{4.580 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{6.7 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}} = 0.684 \text{ s}$$

El tiempo que demora en caer el péndulo dirigido a la probeta es de **0.684 s**

Tomando como referencia el documento Análisis y similitud de la prueba de impacto tipo Charpy (Chacon, 2009), se extraen los datos teóricos para mirar su % de error.

Tabla 2. Recopilación de datos

Categorías	Datos teóricos	Datos experimentales	% Error
Velocidad	6,52m/s	4,81m/s	26,33%
Tiempo	0,86s	0,684s	17,59%
Ángulo barrido	265°	90°	66.03%

Cálculo del porcentaje de error

Se realizará el cálculo de los porcentajes de error comparando los datos del modelo analizado por los teóricos, es decir experimentales con teóricos.

% De error con respecto a la velocidad

$$\% Er = \frac{IV_{\text{terico}} - V_{\text{experimental}}}{V_{\text{terico}}} * 100$$

$$\% Er = \frac{16.52 - 4.81}{6.52} * 100 = 26.22\%$$

% De error con respecto al tiempo

$$\% Er = \frac{IT_{\text{terico}} - T_{\text{experimental}}}{T_{\text{terico}}} * 100$$

$$\% Er = \frac{10.83 - 0.684}{0.83} * 100 = 17.59\%$$

% De error con respecto al ángulo barrido

$$\% Er = \frac{I\Theta_{\text{terico}} - \Theta_{\text{experimental}}}{\Theta_{\text{terico}}} * 100$$

$$\% Er = \frac{1265 - 90}{265} * 100 = 66.03\%$$

Se registra un error de 36.6% total, para la velocidad es de 26.33%, para tiempo de 17.59%, y en el ángulo de barrido un error del 66.03%. Presenta una buena relación debido a que el equipo de referencia utiliza software para la precisión, generando cambios en los ángulos y alturas.

Tabla 3. Recopilación de datos extraídos

Datos teóricos	
Velocidad	$6,52 \frac{m}{s}$
Tiempo	0,83s
Ángulo barrido	265°

Tabla de presupuesto

El presupuesto para este proyecto está para una máquina didáctica de impacto tipo Charpy.

Tabla 4. Presupuesto del proyecto

Materiales	Cantidad (unidad)	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Tubo rectangular de hierro 4*2 calibre 18	4	7.000	28.000
Tubo de hierro macizo de 40 cm diámetro 1 in ¾	1		2.000
Tubo de hierro de 1 m calibre 3/32 diámetro 1 in 3/8	1		1.250
Tubo rectangular de hierro 2 (1/2) * 2 in calibre 18	2	1.500	3.000
Lija No. 320	1		850
Lija No. 150	1		850
Hojas de segueta	1		8.900
Hojas metálicas	1		4.900
Flexómetro 5m ¾ p	1		4.900
Cronómetro	1		11.000
Un transportador de madera	1		20.000
Cable 2x22 1 m piola	5m		3.400
Abrazaderas	6	800	4.800
Un cincel	1		14.000
Soportes de 1 m de largo y 1x1 de espesor	4	1.250	5.000
Soportes	2	500	1.000
Soldadura 6011	1 lb		5.000
Un tubo de hierro de un metro diámetro 1 in	1		10.000
CD	1		6.000
Pinturas aerosol	2	12.400	24.800
Cable dúplex 2 x 18 polarizado negro	2m	560.50	1.921
1/16 pintura (amarilla, negra, roja)	3	2500	7.500
Alinamiento del pendulo			10.000
1/8 masilla	1		7.000
Dicopulit	1		4.500
Soldadura en el eje			15.000
Fotoceldas	2	1250	2.500
Bom/agua	2	10817	21.634
Botella de tiner	1		2.800
Lija 80	2	517	1.940
Tornilleras	1		2.800
Viáticos	4		50.000
Total			\$ 221.995

¿Que comparación tiene este prototipo con uno que funciona en laboratorios, cuando le puede ahorrar esta máquina acorde con la medición de datos?

La máquina didáctica elaborada durante el curso de Ciencias de los Materiales, salió en un costo aproximado de \$222.000, mientras que una maquina de impacto esta en un costo de alrededor de \$5.355.830.00, el cual hay un ahorro realmente notable, claro esta que la máquina de impacto viene con porcentaje de error baja, con un software adecuado y muy sofisticada, sin embargo, la máquina didáctica de impacto arroja datos satisfactorios, por lo que se puede emplear en una muy buena práctica de laboratorio.

En el ensayo de prueba y error la máquina por ser didáctica tiene un 30% de falla, sin embargo arroja datos con los que se puede realizar un laboratorio de la asignatura Resistencia de los Materiales, el cual consiste en tener medición concreta y resultados satisfactorios.

Se obtendrán resultados como la resistencia del material, el cual será sometido a la prueba, la velocidad del péndulo y el cambio de energía.

Así que se puede decir que la máquina sí funciona ya que cumple con las normas requeridas, la velocidad del péndulo está dentro del rango a cumplir y a pesar de que tiene un porcentaje de error alto, los datos son útiles.

Los tipos de materiales que se deben usar en esta máquina son:

- Acero 1020
- Madera
- Hierro

Recordando que el ensayo es tipo Charpy.

Causas de error

Las posibles causas de error se debieron a problemas de medición.

- Causas de error humanas
 - A la hora de hacer los ensayos, la ubicación de la probeta no estuvo correcta.
 - El péndulo no se encuentra totalmente equilibrado con la estructura de la máquina.
 - La mediciones tomadas erróneamente por el ojo humano.

Conclusiones

- Como resultado de este proceso, se logró desenvolver las habilidades necesarias para crear una máquina didáctica de impacto, donde el desarrollo de sus pruebas es satisfactorio, ya que los cálculos son acoplados a los de una máquina de impacto realizada por expertos.
- En la prueba realizada a la máquina didáctica de impacto para verificar su funcionamiento, se utilizó como probeta el hierro, lo que arroja que el péndulo va a la velocidad requerida en el promedio de las normas que es entre 3 y 6 m/s².
- Se lograron identificar las variables requeridas para la energía de absorción del ensayo de impacto, donde el ensayo arroja que la probeta absorbe una energía de 0.446J.

Nomenclatura

- EP** → Energía potencial.
EC → Energía cinética.
ΔE → Cambio de energía.
m → Masa.
g → Gravedad.
h → Altura.
v → Velocidad.
r → Radio.
Θ → Desplazamiento angular.
ω → Velocidad angular.
α → Aceleración angular.
T → Tiempo.

Glosario

Ensayo Charpy

Este ensayo consiste en romper una probeta simplemente apoyada en posición horizontal, por medio de un golpe en su punto medio, en donde previamente se le ha hecho una muesca. El martillo golpea en dirección opuesta a la muesca. El goniómetro de máximos permite conocer los ángulos de salida y llegada para establecer cuanta energía absorbe la probeta antes y durante la ruptura.

Ensayo Izod

Este ensayo consiste en romper la probeta sostenida en voladizo en posición horizontal, por medio de un golpe en su extremo libre. En su base, a esta probeta también se le hace una muesca, sin embargo, esta es realizada a toda una sección transversal de la probeta. El goniómetro de máximos marca los ángulos de salida y llegada con los cuales se establece la energía absorbida por la probeta de determinado material.

Resiliencia

En ingeniería, energía de deformación (por unidad de volumen) que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que causa la deformación.

Anexos

Evidencias

Anexo 1 Probeta después del impacto



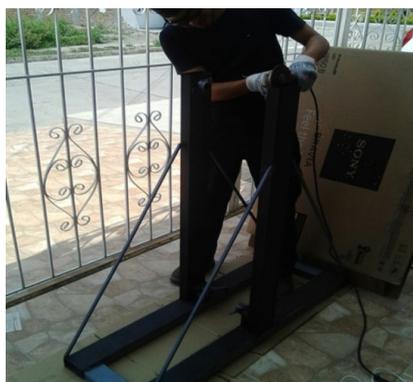
Anexo 2. Caída del péndulo a la probeta después del impacto



Anexo 3. Posición del péndulo a 118 cm de altura y 90°



Anexo 4. Fabricación de la máquina



Agradecimientos

Especialmente a la familia quien apoya el esfuerzo de nosotros como estudiantes, y a los docentes, quienes se interesan por el aprendizaje autónomo y la socialización de conceptos por medio de estos eventos, como el docente Rubén Parra.

Referencias

1. Anónimo. (24 de octubre de 2014). *MTTEC*. [En línea] Disponible en: http://www.mttec.net/es/minerai_fer.php
2. Boscos, U. D. (01 de junio de 2012). *Manual de laboratorios*. [En línea] Disponible en: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-ingenieria/ciencia-de-los-materiales/2012/ii/guia-2.pdf>
3. Chacón, A. R. (2 de junio de 2009). *Análisis y similitud de una prueba tipo Charpy mediante elementos finitos*. [En línea] Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4847290.pdf>
4. Gaviria, J. (23 de abril de 2009). *Máquina de impacto. pdf*. [En línea] Disponible en: <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/MATE/PROTOCOLO%20IMPACTO.pdf>
5. Instron. (6 de marzo de 2015). *Instron*. [En línea] Disponible en: www.instron.com.es/wa/solutions/ISO-179-1-Determination-of-Charpy-Impact.aspx
6. Pereira, U. d. (15 de marzo de 2005). *Propiedades de los materiales. pdf*. [En línea] Disponible en: http://www.utp.edu.co/~publio17/temas_pdf/prop_mecanicas_2.pdf
7. Salas, R. L. (24 de octubre de 2014). *Características y clasificación de los materiales*. [En línea] Disponible en: <http://es.slideshare.net/minatopro102/tecnologia-43711877>
8. Segovia, S. A. (Septiembre de 3 de 2014). *Iqmann*. [En línea] Disponible en: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Prueba_de_impacto&oldid=76756369.
9. Trijillo, G. C. (15 de octubre de 2009). *Laboratorio resistencia de los materiales. pdf*. [En línea] Disponible en: <http://www.utp.edu.co/~gcalles/Impacto.pdf>
10. Zwick. (20 de abril de 2009). *Zwick*. [En línea] Disponible en: <http://www.zwick.com/en/applications/plastics/thermosetting-thermoplastic-materials/impact-test.html>