



## Design of impact test machine type Charpy of 50 J

César A. Chagoyén-Méndez<sup>1</sup>, Leandro Fernandes Monteiro Barros<sup>1</sup>, Jorge L. Moya-Rodríguez<sup>2</sup>, Ángel S. Machado-Rodríguez<sup>3</sup>; Yamill S. Campos-Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Amazonas (UEA), Escola Superior de Tecnologia (EST). Av. Darcy Vargas 1200, Parque Dez, Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69050-020

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Av. Joaquim Nabuco Nº 1950. Centro. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69005-080

<sup>3</sup>Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Carretera a Camajuani km 5.5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 52830  
Email: [cachagoyen@uclv.edu.cu](mailto:cachagoyen@uclv.edu.cu), [jorgemoyar@gmail.com](mailto:jorgemoyar@gmail.com), [ycampos2525@gmail.com](mailto:ycampos2525@gmail.com), [asilviomr@gmail.com](mailto:asilviomr@gmail.com)

Received: July 19<sup>th</sup>, 2016

Accepted: September 12<sup>th</sup>, 2016

Published: December 22<sup>th</sup>, 2016

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### ABSTRACT

There are a number of properties that allow characterize materials when subjected to external stresses. To determine the mechanical properties of different materials testing machines are used. Among them, the machine Charpy impact test, with which can establish the impact resistance or resilience. This is a simple machine that can analyze samples of materials with different chemical composition. Currently the mechanical testing laboratory of the Universidade do Estado do Amazonas (UEA) is working on three research prototypes constructions, which are: BAJA, Urutau Aerodesign and Jaraqui. One of its tasks is to choose the right materials for their prototypes. However, the UEA has limitations of machines for testing of fracture due to lack of resources, beside the prices of these commercial machines are becoming higher day. This situation can have it other universities, companies and research centers. In this paper the design of a machine of the Charpy type which reaches an energy of 50 J, at a relatively low cost of its components is presented. For the design of the same the rules governing such trials as NBR NM 281-2 and ASTM E-23 were taken into account.

**Keywords:** Charpy test machine; Impact test; Dimensioning.

### Diseño de una máquina de ensayo de impacto tipo Charpy de 50 J

#### RESUMEN

Existen una serie de propiedades que permiten caracterizar los materiales cuando estos son sometidos a esfuerzos externos. Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales se utilizan diferentes máquinas de ensayos. Entre ellas, la máquina de ensayo de impacto Charpy, con la cual se puede establecer la resistencia al impacto o resiliencia. Esta es una máquina simple que permite analizar probetas de materiales con diversa composición química. Actualmente el laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidade do Estado do Amazonas (UEA) trabaja en tres líneas de investigación de construcciones de prototipos, que son: BAJA, Urutau Aerodesign e Jaraqui. Una de sus tareas es escoger los materiales adecuados para sus prototipos. Sin embargo, la UEA tiene limitaciones de máquinas para la realización de ensayos de fractura por falta de recursos, además de que los precios de estas máquinas comerciales son cada día más elevados. Esta situación pueden tenerla otras universidades, empresas o centros de investigación. En este trabajo se presenta el dimensionamiento de una máquina del tipo Charpy la cual alcanza una energía de 50 J con un costo relativamente bajo de sus componentes. Para el diseño de la misma se tuvieron en cuenta las normas que reglamentan tales ensayos como la NBR NM 281-2 y la ASTM E-23.

**Palabras Claves:** Máquina de Ensayo Charpy; Prueba de impacto; Dimensionamiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de prototipos didácticos en entornos educativos de ingeniería mecánica es una práctica recomendada, tanto desde el punto de vista pedagógico, al llevar una formación más consistente de los estudiantes, como desde el punto de vista de la investigación [1].

Los principales materiales compuestos con que trabajan las industrias son las resinas de polímero reforzado con fibra de vidrio, madera y plástico. Estos nuevos materiales han permitido cambiar tanto los materiales como los procesos de fabricación tradicionales, permitiendo disminuir los costos sin disminuir las propiedades.

Por lo tanto, es esencial tener un buen control de calidad de las piezas producidas por no contar con información suficiente sobre el comportamiento mecánico de estos materiales. Esto se logra mediante la medición directa de diferentes propiedades por medio de ensayos, por ejemplo, dureza, tracción, impacto, entre otros.

Entre las pruebas mencionadas, el ensayo de impacto Charpy se exige como un requisito normado para el desarrollo de materiales para fabricar estructuras importantes de ingeniería. Durante años, los ingenieros y diseñadores sabían que los materiales se comportan de manera diferente cuando se cargan de forma estática o dinámica o cuando hay variaciones de temperatura que pueden alterar su comportamiento.

De esta manera, el ensayo de impacto Charpy es un método fácil y rentable para evaluar el comportamiento de una pieza antes de someterla a impacto.

En este trabajo se presenta el diseño de una máquina de ensayo de impacto Charpy con todos sus componentes, cumpliendo las especificaciones de diseño tanto de una pieza individual como a la hora de estimar la resistencia al impacto de 50J en materiales como polímeros y madera.

En la investigación y desarrollo de materiales como la madera, el plástico, los metales y otros, es fundamental conocer su comportamiento ante esfuerzos mecánicos, tanto las propiedades físicas (densidad, punto de fusión, etc.) como mecánicas (tenacidad, plasticidad, ductilidad, etc.).

Las condiciones de uso involucran temperaturas, tipos de cargas y su frecuencia de aplicación, desgaste, deformabilidad, impacto, entre otros.

El estudio de la composición de los materiales es de suma importancia para el diseñador pues puede predecir el comportamiento del material en las condiciones de trabajo. Como resultado de esta prueba se registra el valor de la energía absorbida.

Una base rígida, un par de soportes para sujetar la muestra, un péndulo simple tipo martillo, un indicador de la energía absorbida, la cuchilla que golpea, un mecanismo de retención y liberación del péndulo, son los componentes principales que constituyen la máquina.

Actualmente el laboratorio de ensayos mecánicos de la Escola Superior de Tecnologia de la Universidade do Estado do Amazonas (UEA) trabaja en tres líneas de investigación de construcciones de prototipos, que son: BAJA, Urutau Aerodesign e Jaraqui. Una de sus tareas es escoger los materiales adecuados

para sus prototipos. Sin embargo, la UEA tiene limitaciones de máquinas para la realización de ensayos de fractura por falta de recursos además de que los precios de estas máquinas comerciales son cada día más elevados. Esta situación pueden tenerla otras universidades, empresas o centros de investigación.

En este trabajo se presenta el dimensionamiento completo de una máquina tipo Charpy que alcanza una energía de 50 J para realizar el ensayo de impacto de materiales como polímeros e maderas. El costo de sus componentes es relativamente bajo y de fácil fabricación, lo cual puede ser útil para centros de educación superior con recursos limitados.

Para el diseño de la misma se tuvieron en cuenta las normas que reglamentan tales ensayos como la ASTM E-23 [2] y la NBR NM 281-2 [3].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), gran cantidad de navíos e tanques se fracturaban al ser sometidos a bajas temperaturas. Debido a esto surgió la necesidad de evaluar el comportamiento de los materiales con baja aplicación de cargas dinámicas a diferentes temperaturas.

Muchos estudios asumen que el material es perfectamente homogéneo e isótropo y por lo tanto libre de defectos tales como grietas, poros o inclusiones que podrían actuar como un concentrador de tensiones.

Muchos eventos asociados con fallas de componentes sometidos a cargas estáticas muestran que esto no es cierto para los materiales reales.

En fallas catastróficas renombradas como el buque Liberty, las tensiones nominales han estado muy por debajo del límite de elasticidad del material, sin embargo, se fracturaron en dos antes de ser puesto en servicio [4].

El péndulo Charpy es un dispositivo creado por Gerges Charpy (1865-1945) que se utiliza para determinar la tenacidad de un material. Se generalizó primero en los Estados Unidos y luego en el mundo. Una de las empresas pioneras en su uso fue la SATEC System, que realizó pruebas de choque a flexión y tracción con dos posiciones del martillo, alcanzando 325,4 Joule (32,54 kgf-m) o 135,6 Joule (13,56 kgf-m) según el método empleado.

Con la finalidad de que el material esté bajo las condiciones más severas, se utilizan probetas con entallas (estado triaxial de tensión) y velocidades de deformación de 3 a 6 m/s. En la actualidad hay varios tipos de ensayos de impacto para las más variadas situaciones y aplicaciones, desde impacto a baja velocidad hasta impacto a velocidades supersónicas. Dentro de estos, algunos de los más antiguos son el Charpy y el Izod [5].

En la figura 1 se presenta el diseño esquemático de un dispositivo Charpy con los principales componentes. En la tabla 1 se pueden apreciar las dimensiones de algunos componentes del péndulo Charpy según la norma ASTM E-23 [2].

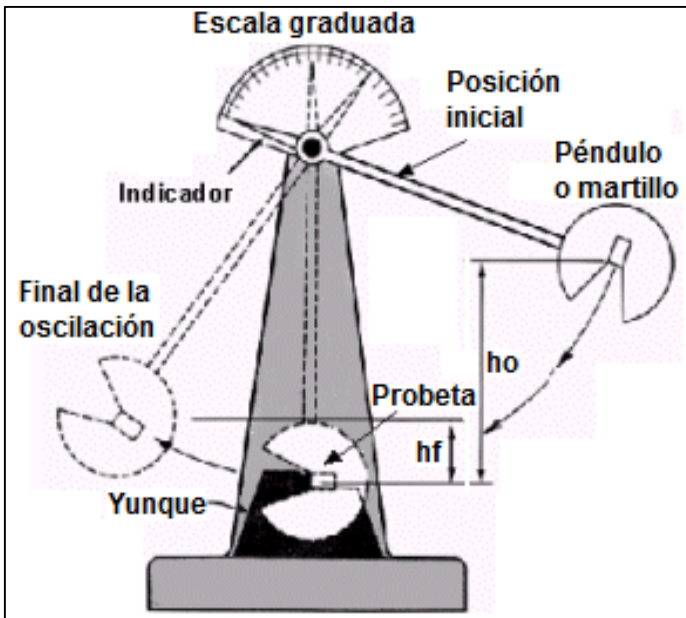


Figura 1: Máquina de ensayo de impacto Charpy.  
Fuente: [5].

**Tabla 1:** Dimensiones de algunos componentes del péndulo Charpy.

Descripción	Magnitud
Distancia entre apoyos	55±0,5 mm
Radio de curvatura soportes	de 1 a 1,5 mm
Inclinación de los soportes	1:05
Martillo	Tipo U y C
Velocidad de impacto	3 a 6 m/s
Capacidad de energía	30±1 kgf·m - 294±10 J

Fuente: Norma ASTM E-23 [2].

La masa y las dimensiones del péndulo permitirán aplicar energías de impacto a la probeta que van desde 30J para polímeros hasta 360J para metales y aleaciones. La masa que cae tiene una arista cortante de forma y dimensiones normalizadas situada de modo tal que la mitad de su borde coincide con el centro de gravedad de la masa del péndulo. Esta masa impacta el centro de la probeta que también es de forma y dimensiones normalizadas, se apoya en sus extremos y sufre una flexión de tres puntos que finalmente produce su fractura. Como la fractura se produce después de la flexión de la probeta, la prueba se conoce como ensayo de flexión por choque [6].

Los principales aspectos de una máquina de impacto, pendular y de un sólo impacto son:

- Una masa móvil cuya energía cinética es suficiente para provocar la ruptura de una muestra colocada en su camino;
- Un yunque y un soporte sobre el que se coloca la probeta para recibir el impacto;
- Un medio para medir la energía residual de la masa en movimiento después de la fractura de la probeta.

Según la ley de conservación de la energía, cuando el péndulo se encuentra en la posición inicial ( $\theta$ ), tiene el máximo de la energía potencial, la cual se transforma en energía cinética. La energía potencial va disminuyendo hasta que el péndulo pasa por la posición de equilibrio en B (se admite cero como referencia en B), como indica en la figura 2.

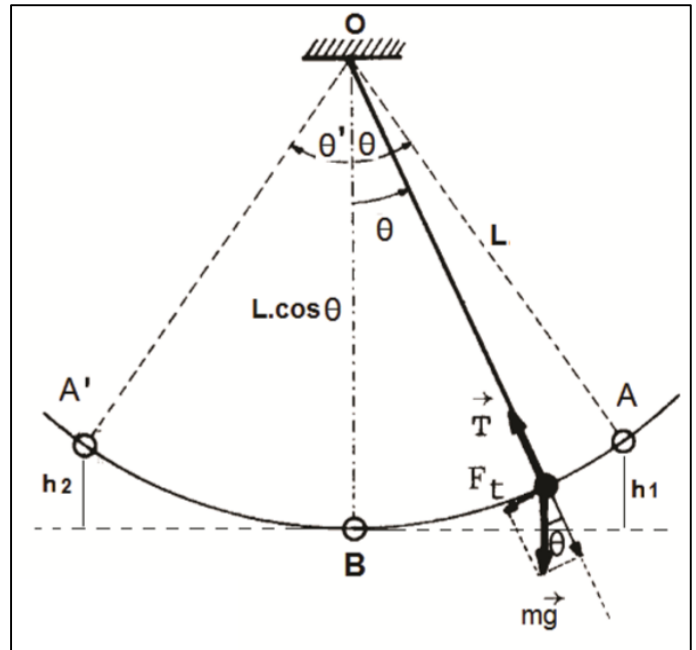


Figura 2: Análisis del péndulo simple.  
Fuente: [7].

Según Vallejo [8] la ecuación de la energía potencial se establece de la siguiente manera:

$$E_{c2} = E_{p1} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_2^2 = m \cdot g \cdot h_1 \quad (2)$$

De acuerdo a Ortega [9] y a la figura 2, la altura ( $h_1$ ) se determina como:

$$h_1 = L \cdot (1 - \cos \theta) \quad (3)$$

La altura ( $h_2$ ) se calcula de forma similar que  $h_1$ , es decir:

$$h_2 = L \cdot (1 - \cos \theta') \quad (4)$$

Se puede concluir por la ley de conservación de la energía, que la energía perdida por el péndulo es la energía que tiene la masa antes de soltarla (en  $h_1$ ) menos la energía que tiene la masa cuando llega a la altura  $h_2$ , que no es más que la energía absorbida por la probeta para que ocurra la fractura:

$$E_f = W \cdot (h_1 - h_2) \quad (5)$$

Sustituyendo  $h_1$  y  $h_2$  se tiene:

$$E_f = W.L.(\cos \theta' - \cos \theta) \quad (6)$$

Hay otros conceptos importantes como “Temperatura de transición de dúctil a frágil [10], Resiliencia [11] y las dimensiones de las probetas de ensayo [12][2] que son ampliamente referenciadas en la literatura de este tema.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales componentes de la máquina diseñada se presentan en la figura 3, la misma está constituida por 15 componentes, ellos son:

- ① Eje: responsable de la sustentación del péndulo.
- ② Soporte: apoyo para los rodamientos y el eje.
- ③ Rodamientos: permiten disminuir las pérdidas de fricción.
- ④ Indicador: regla graduada que indica la energía absorbida.
- ⑤ Brazo: medio de conexión entre el eje y el martillo.
- ⑥ Peso: masa a añadir en el martillo.
- ⑦ Martillo: masa responsable por la fuerza del péndulo, la cual es fijada con dos tornillos al brazo y posee la cuchilla en su centro quien entra en contacto con la probeta.
- ⑧ Traba: apoyo del péndulo en la posición inicial.
- ⑨ Puntero: indica el valor de la energía absorbida.
- ⑩ Punta: soldada al conjunto eje-brazo-martillo que arrastra el puntero.
- ⑪ Base: sustentación de todo el dispositivo.
- ⑫ Apoyos: soportes para la probeta.
- ⑬ Columna: sustentación del conjunto péndulo, traba y escala.
- ⑭ Sistema de Protección: responsable de la protección del operador.

A maneira pela qual o robô compreende o ambiente em sua volta é através da aquisição de dados. Estes são provenientes dos sensores meteorológicos, conforme a figura 3, sensores ultrassônicos e o módulo GPS. Assim, a participação de cada um desses componentes está diretamente ligada ao seu modo de funcionamento.

A especificação dos componentes usados é:

- Um sensor BMP180 (pressão barométrica);
- Um sensor DHT11 (temperatura e umidade);
- Dois sensores HC-SR04 (distância);
- Um sensor SRF02 (distância);
- Um Módulo GPS SIM39EA.

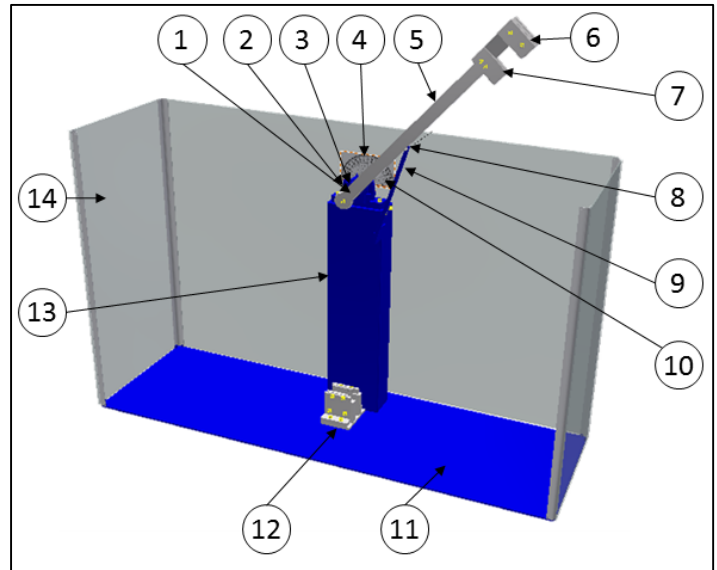


Figura 3: Componentes de la Máquina de Ensayo Charpy. Fuente: Los autores, (2015).

Teniendo en cuenta la fórmula de la energía para el cálculo de la masa utilizada por Halliday, Resnick y Krane [7], se dimensionó la masa del martillo.

A partir de las recomendaciones de Popov [10] y de la norma NBR NM 281-2 [3] en la cual aparecen establecidas algunas dimensiones para la cuchilla como por ejemplo el ángulo de curvatura ( $180^\circ$ ) y el ángulo interno ( $15^\circ$ ), se calculó el área y demás dimensiones de la misma, como aparece en la figura 4. El material escogido fue el acero al carbono AISI 1040 con una resistencia a la tracción de 415MPa y una resistencia al impacto Izod de 49J.

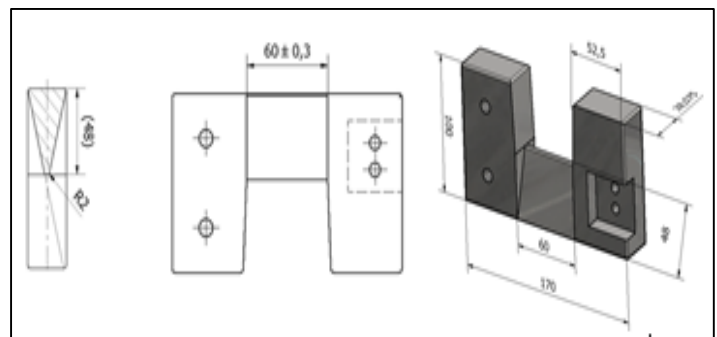


Figura 4: Dimensionamiento del martillo y la cuchilla. Fuente: Los autores, (2015).

De acuerdo a la norma NBR NM 281-2 [3], se realizó el dimensionamiento del centro de percusión del péndulo considerando una velocidad de 5 m/s, un ángulo de caída de  $140^\circ$  y una altura de 718 mm como se puede apreciar en la figura 5. Se determinó también el período de oscilación del péndulo.

Con las dimensiones descritas anteriormente la masa del martillo no llega a 4 kg que es la masa necesaria para alcanzar la energía de 50J. Por ello fue necesario adicionar un peso pero que no violara la NBR NM 281-2 [3] que plantea que el espesor del

martillo no puede ser superior a 28,575 mm en el área de contacto con la probeta (figura 6).

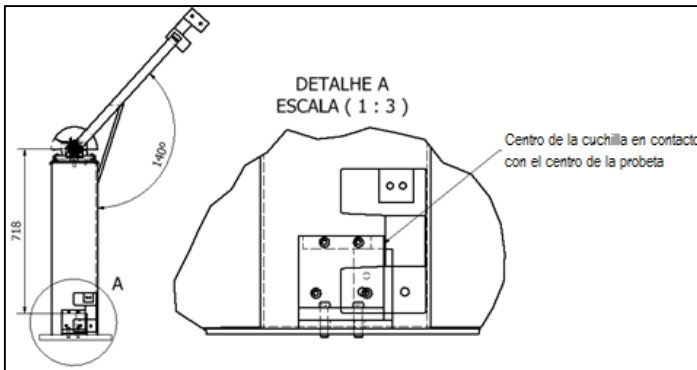


Figura 5: Centro de percusión del martillo.  
Fuente: Los autores, (2015).

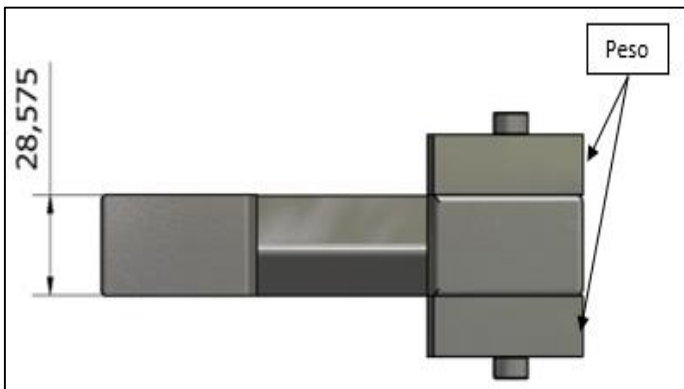


Figura 6: Conjunto martillo-cuchilla-peso.  
Fuente: Los autores, (2015).

De acuerdo a Collins [13] se determinó la deflexión debida al impacto y se realizó el dimensionamiento de los cordones de soldadura [14].

Para el brazo se empleó una barra plana comercial NBR 5915 1008–1012 de 40 x 12,7 mm con 686 mm de longitud y una masa de 2.714 kg (figura 7). Se verificó su deflexión y la misma no superó 0.05 mm, lo cual es un valor aceptable para estas aplicaciones.

La forma geométrica de cajón de la columna fue dada en base a la colocación del soporte-rodamiento para el eje. En la figura 8 se puede apreciar las dimensiones que fueron determinadas para la condición más crítica que sería aplicando a la columna la misma fuerza que soporta el péndulo en el momento del impacto.

Conociendo que la masa del martillo es de 4 kg y la del brazo de 2.092 kg, fue posible determinar el diámetro mínimo que debe tener el eje para soportar ambas masas. Ese valor fue de 10.12 mm, sin embargo se optó por utilizar un eje de 20 mm debido a la variedad de rodamientos disponibles para este diámetro. El soporte-rodamiento comercial seleccionado fue el SKF SNL 605 TA. En la figura 9 se puede apreciar el conjunto eje, soporte-rodamiento.

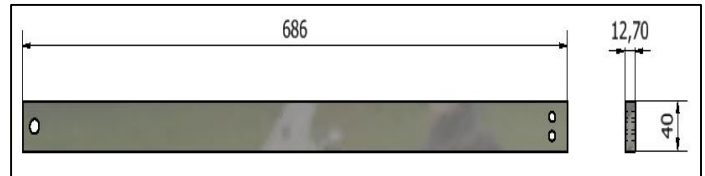


Figura 7: Brazo del martillo.  
Fuente: Los autores, (2015).

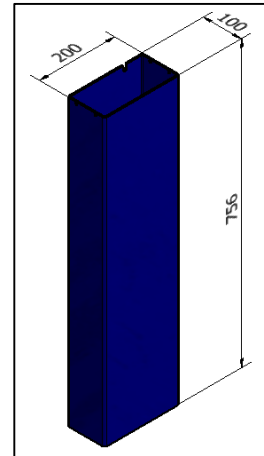


Figura 8: Columna.  
Fuente: Los autores, (2015).

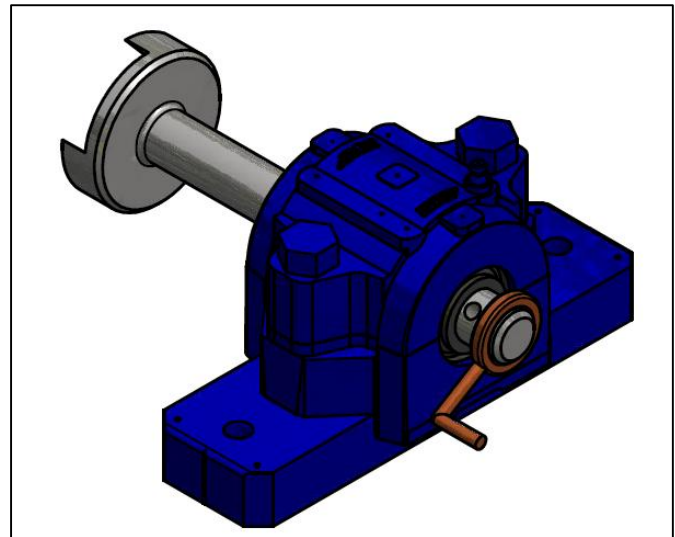


Figura 9: Conjunto eje, soporte-rodamiento.  
Fuente: Los autores, (2015).

Se dimensionaron los apoyos para la probeta previstos en la NBR NM 281-2 [3], la cual limita la perpendicularidad a 0.1 mm y plantea que el ángulo entre el plano del apoyo y la columna debe ser  $90^\circ \pm 0,1^\circ$ . En la figura 10 se pueden apreciar los apoyos.

De acuerdo con la misma norma, la base debe tener 12 veces el peso del martillo. Para cumplir esta exigencia se optó por una base rectangular de 1650X500X6.35 mm. Se colocaron también chapas de protección de PMMA Acrílico. En la figura 11 se puede apreciar la base y las placas de protección diseñadas.

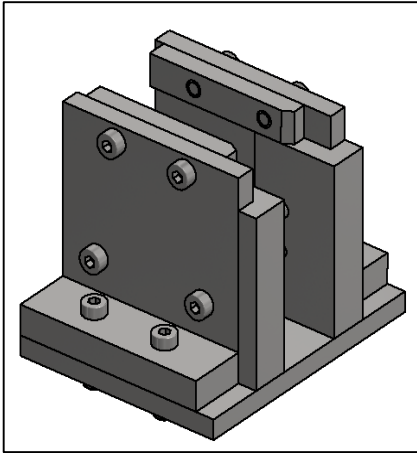


Figura 10: Apoyos para la probeta.  
Fuente: Los autores, (2015).

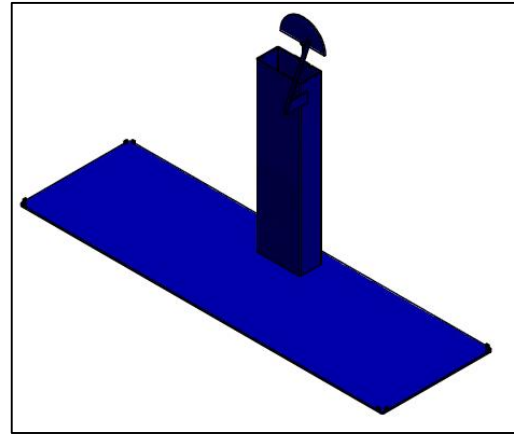


Figura 12: Primer montaje.  
Fuente: Los autores, (2015).

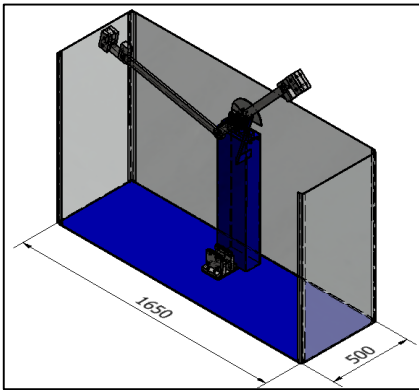


Figura 11: Base y placas de protección.  
Fuente: Los autores, (2015).

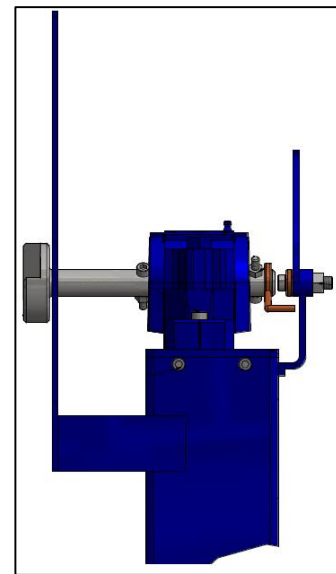


Figura 13: Segundo montaje.  
Fuente: Los autores, (2015).

La unión de los elementos siempre es una parte crítica en la construcción de una máquina. Para la unión de estos componentes se emplearon básicamente tornillos de cabeza Allen. Se realizaron 4 montajes:

Primer montaje: soldadura MIG de los componentes fijos de la máquina (base, columna, soporte del péndulo (Traba) y sistema de medición). La longitud del cordón de soldadura fue de 751 mm. Después del montaje se pintaron estos elementos (figura 12).

Segundo montaje: montaje del eje en el soporte-rodamiento, soldadura y montaje del puntero de arrastre así como de los elementos limitadores del movimiento del eje (figura 13).

Tercer montaje: montaje del brazo junto con el martillo y los pesos (figura 14).

Cuarto montaje: colocación de los componentes de seguridad de la máquina, lo cual se puede apreciar en la figura 11.

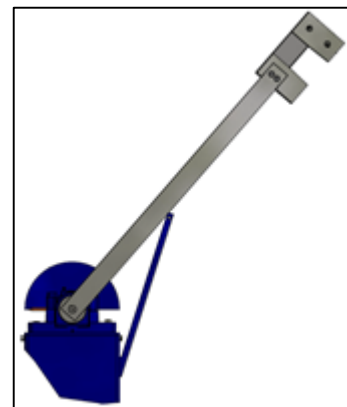


Figura 14: Tercer montaje.  
Fuente: Los autores, (2015).

Para garantizar seguridad en la manipulación del equipo se utiliza un sistema de bloqueo del brazo (figura 15) donde el accionador interrumpe su caída, la cual es solo posible después del desbloqueo a través del cable que cuando es alado libera el accionador y se produce la caída libre del martillo.

El sistema de medición está compuesto por una placa metálica con una escala graduada adhesiva en la cual se puede obtener la energía absorbida para que ocurra la fractura de la probeta. Posee un tornillo soldado en su contorno y un puntero de 5 mm de diámetro como se puede apreciar en la figura 16.

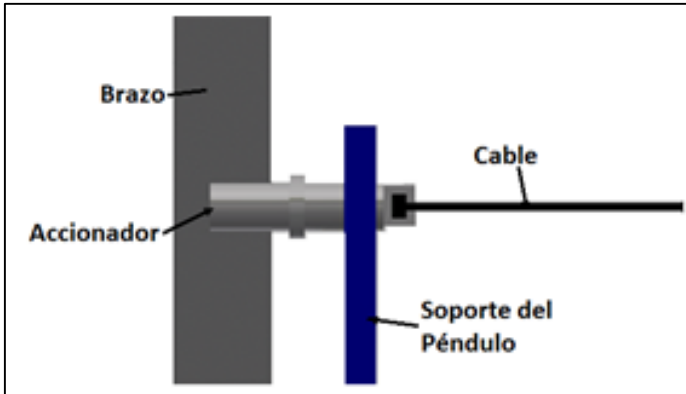


Figura 15: Sistema de seguridad.  
Fuente: Los autores, (2015).

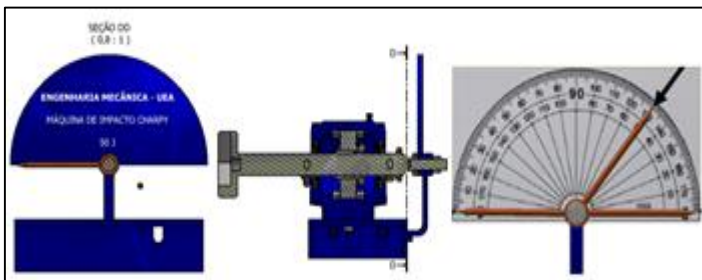


Figura 16: Sistema de medición.  
Fuente: Los autores, (2015).

Teniendo todos los componentes de la máquina Charpy atendiendo a las normas y especificaciones para la misma se puede calcular un costo aproximado teniendo en cuenta el costo de los materiales pero despreciando el costo de su fabricación debido a las variaciones del mercado.

El acero laminado SAE 1040-1050 se encuentra en el mercado a un valor de R\$ 8,19 / kg. La chapa laminada NBR 5915 1008-1012 a R\$ 3,01 / kg. El aluminio HD2G a R\$ 1,77 / kg. y el acrílico a R\$ 2,17 / kg.

En el gráfico de la figura 17 se puede apreciar las cantidades de materiales empleados en la máquina de ensayo Charpy proyectada.

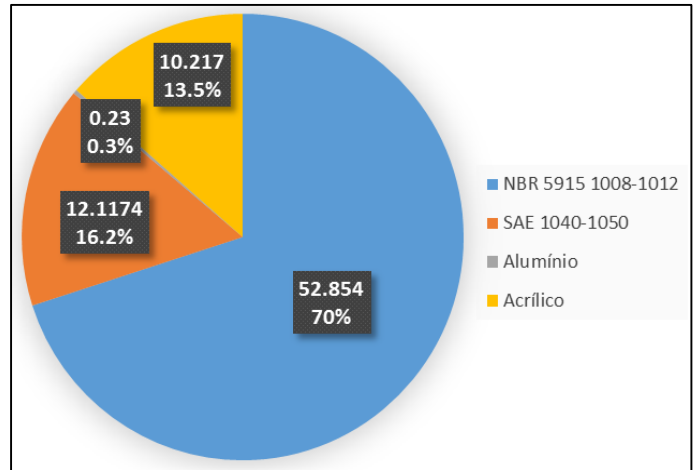


Figura 17: Materiales empleados en la máquina Charpy.  
Fuente: Los autores, (2015).

El costo aproximado de la máquina de ensayo sin tener en cuenta el costo de fabricación ni los costos unitarios de tornillos y tuercas es de R\$ 281,37.

#### IV. CONCLUSIONES

Se realizó el dimensionamiento de una máquina de ensayo de impacto tipo Charpy de 50 J para la verificación de la tenacidad y la ductilidad de materiales como polímeros y maderas, basada en el principio de conservación de la energía y la norma ASTM E-23.

Para la construcción de la máquina se propone utilizar materiales de amplia comercialización y con la utilización de tratamientos superficiales simples y pintura posterior.

Se tuvo en cuenta la seguridad del operario al colocar protecciones y un sistema de bloqueo que impide el inicio del ensayo de forma imprevista.

Se prevé que cuando la máquina diseñada sea construida ésta será capaz de realizar mediciones alcanzando los mismos resultados que una máquina comercial, a un costo muy inferior.

#### V. AGRADECIMIENTOS

A Escuela Superior del Tecnología da Universidad del Estado do Amazonas (EST-UEA) e la Fundación de Amparo de la Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM).

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Silva, O. F.; Rothe-Neves, M.; Alves, J. B. da. **Metodologia para a construção de protótipos didáticos: um estudo de caso.** In: ICECE'2000 – Conferência Internacional de Ensino de Engenharia e Computação. 2000, São Paulo. Anais. São Paulo: SENAC, 2000. CD-ROM.

[2] American Society for Testing and Materials - ASTM. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. **ASTM E-23**, São Paulo, 2007.

[3] **Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT**. Materiais metálicos. Parte 2: Calibração de máquinas de ensaios de impacto por pêndulo Charpy. **NBR NM 281-2**. Rio de Janeiro, 2003.

[4] Norton, R. L. Projeto de máquinas. 2ª Edição. São Paulo, ARTMED EDITORA S.A., 2004.

[5] Callister, W. D. J. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

[6] Núñez, C., Roca, A. Y Jorba, J. 2004. **Comportamiento Mecánico de los Materiales**. España : Gráficas Rey S.L., 2004.

[7] Halliday, D. Resnick, R. Krane, Kenneth S. **Fundamentos de Física**. Vol. 1. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

[8] Vallejo, Zambrano. 2006. **Física Vectorial 2**. Quito: RODIN León, 2006.

[9] Ortega, Manuel R. (1989-2006). Monytext, ed. Lecciones de Física (4 volumes) (en español). ISBN 84-404-4290-4.

[10] Popov, E. P. **Introdução à mecânica dos sólidos**. São Paulo: Blucher, 1978. Reimpr. 2009.

[11] Hibbeler, R.C. **Resistência dos Materiais**, 7ª Edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2010.

[12] Souza, Sérgio A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. 5ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1982.

[13] Collins, J. A. Projeto mecânico de elementos de máquinas: Uma perspectiva de prevenção da Falha. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2006.

[14] Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G. **Projetos de engenharia mecânica**. 7ª Edição. São Paulo 2005: ARTMED EDITORA S.A., 2004.