



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

## **AREA DE LA ENERGIA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**TECNOLOGIA EN MECÁNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO DE TESIS:

### **“DISEÑO Y COSTRUCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TITULO DE  
TECNOLOGO MECÁNICO

INTEGRANTES: **Ayora Vinicio**  
**Pesántez Patricio**

DIRECTOR: **Ing. Milton León**

ASESORES: **Ing. Marco Rojas**  
**Ing. Stalin Paladines**

**LOJA – ECUADOR**

**2005**

Ing. Milton León

CERTIFICA:

Obtención del título de tecnólogo, en la especialidad de Mecánica Industrial, presentada por los señores: Vinicio Ayora, Patricio Pesantez, fue dirigida, supervisada y revisada en todas sus partes por suscritos; por tal razón, nos permitimos autorizar la presentación del mismo para su defensa y sustentación.

Loja, Octubre de 2005

-----  
Ing. Milton León  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos dejar constancia, al prestigioso cuerpo de Ingenieros Mecánicos de la Universidad Nacional de Loja, que por su desinteresada entrega nos ayudaron en la conducción del presente trabajo de tesis; y, a todos y cada uno de los distinguidos catedráticos del Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, que nos brindaron su apoyo y alta calidad humana.

De igual forma expresamos nuestra gratitud con la Universidad Nacional de Loja, que nos ha permitido nuestra formación cultural y profesional.

Los Autores.

## **DEDICATORIA**

Con profundo cariño quiero dedicar el presente Trabajo de Tesis, en Mecánica Industrial, a mis Padres queridos y familiares que con su apoyo moral y económico me supieron ayudar para la culminación de mi carrera.

Vinicio Ayora T.

## **DEDICATORIA**

Con profundo cariño quiero dedicar el presente Trabajo de Tesis, en Mecánica Industrial, a mis Padres queridos y familiares que con su apoyo moral y económico me supieron ayudar para la culminación de mi carrera.

Patricio Pesántez L.

## AUTORIA

Las ideas y conceptos, así como el tratamiento formal y científico de la metodología empleada en la presente tesis, son exclusivamente de nuestra responsabilidad.

-----  
Patricio Pesántez L.

-----  
Vinicio Ayora T.

# INDICE

## CAPITULO I

INTRODUCCIÓN .....	10
--------------------	----

## CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	12
Hierro y Acero .....	12
Clasificación de hierros y aceros .....	12
El Hierro: hierro comercialmente puro; hierro forjado; hierro en lingotes .....	13
El Acero: aceros comerciales; aceros para herramientas; aceros inoxidables; acero de aleaciones especiales .....	14
Fundiciones de hierro y acero .....	16
Ensayos de Materiales .....	19
Ensayo de Tracción .....	19
Ensayo de Torsión .....	22
Ensayo de Dureza .....	23
Ensayo de Impacto .....	23
Resistencia de Materiales .....	24
Tensión .....	24
Torsión .....	25
Corte .....	26
Combinación de esfuerzos .....	26

## CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS .....	29
Cálculo y diseño de la máquina para ensayos de impacto.....	29
Hipótesis básicas.....	29
Masa del balancín y altura de caída.....	29

Cálculo del centroide del balancín.....	34
Cálculo de la velocidad de impacto.....	37
Cálculo de la fuerza de impacto.....	38
Calculo del pasador del balancín (péndulo) .....	39
Fuerzas que actúan sobre el pasador.....	39
Dimensionamiento del pasador.....	41

## **CAPITULO IV**

PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	45
------------------------------	----

## **CAPITULO V**

RESULTADOS .....	53
------------------	----

## **CAPITULO VI**

DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	57
-------------------------------	----

## **CAPITULO VII**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
--------------------------------------	----

## **CAPITULO VIII**

RESUMEN .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	68
1. Diseños de montaje y despiece de la máquina .....	69

# **CAPITULO I**

## 1. INTRODUCCIÓN

En la máquina para ensayos de impacto se puede comprobar la resiliencia de los materiales mediante una prueba que consiste en romper de un solo golpe, con un mazo de caída pendular, una probeta de forma y dimensiones prefijadas apoyada por sus extremos y con una entalla o muesca en su parte central. El mazo se mantiene a una determinada altura ya establecida, por medio de un dispositivo de enganche.

La probeta va dispuesta en la base, puede estar apoyada por ambos extremos o fijada por uno y libre en el otro; en el primer caso se tendrá una rotura por flexión, y en el segundo por flexión y tracción.

La energía gastada por la rotura de la probeta se determina según los datos de la tabla, en la cual el valor de esta energía viene dado en función del ángulo de ascenso del péndulo después del golpe. El péndulo arrastra la aguja sobre el eje de articulación, de tal manera que cuando este retrocede después de haber roto la probeta, la aguja permanece inmóvil en la escala del aparato, determinando el ángulo de ascenso e indicando la energía absorbida por la probeta.

Las máquinas para la prueba de resiliencia disponen de un trabajo de choque ligeramente superior al necesario para romper la probeta; en consecuencia, después de su rotura, aún le queda al mazo cierta energía cinética que le permite subir hasta una determinada altura.

La diferencia entre la energía de choque disponible aplicada a la probeta y la residual, representa el trabajo absorbido por la rotura; dividiendo este trabajo por la sección recta de la probeta se obtiene el valor de resiliencia, el cual viene dado por la relación entre el trabajo en kilográmetros absorbido por la rotura y el área de la sección recta de la probeta en el plano de simetría de la muesca.

A fin de que la energía perdida en la máquina a causa de movimiento, giros y vibraciones sea despreciable, su construcción debe ser rígida y estable.

# **CAPITULO II**

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. HIERRO Y ACERO.

#### 2.1.1 CLASIFICACIÓN DE HIERROS Y ACEROS.

**Hierro**.- (Fe) no es comercialmente un metal de alta pureza, sino que contiene otros elementos químicos que tienen un gran efecto sobre sus propiedades físicas y mecánicas. La magnitud y distribución de estos elementos dependen del método de fabricación. A continuación anotamos las formas comerciales del hierro:

**Arrabio o lingote de primera fusión**.- Es el producto de altos hornos que resulta de la reducción del mineral de hierro.

**Fundición**.- Es una aleación de hierro que contiene tanto carbono que, después de moldeada, no es apreciablemente maleable a ninguna temperatura.

**Fundición Blanca**.- Contiene carbono en forma combinada. La presencia de la cementina o carburo de hierro ( $Fe_3C$ ) hace que este metal sea duro y frágil, y la ausencia de grafito da a su fractura un color blanco.

**Fundición Maleable**.- Es una aleación en la que todo el carbono combinado de una fundición blanca especial se ha transformado en carbono libre o de temple por un tratamiento térmico adecuado.

**Fundición Gris**.- Es una fundición de hierro que al ser fundida o vaciada no tiene carbono combinado. El término fundición gris se deriva de la fractura gris característica de este metal.

**Hierro Modular (dúctil)**.- Se produce por la adición de aleaciones de magnesio o cerio al hierro fundido. Estas aleaciones hacen que el grafito forme pequeños módulos, dando como resultado un hierro dúctil con mayor resistencia mecánica.

**Hierro en Lingotes.**- También llamado hierro siemens, es el que se obtiene en esta clase de horno, con muy bajo contenido de carbono, manganeso y otras impurezas.

**Hierro Dulce o Forjado.**- Es un material ferroso formado por la adición de una masa en solidificación de partículas pastosas de hierro metálico altamente refinado con las cuales se incorpora, sin fusión subsecuente, en una cantidad pequeñísima y uniformemente distribuida de escoria.

**Acero.**- Es una aleación maleable de hierro (Fe) y Carbono (C), que contiene ciertas cantidades de Manganeso (Mn); se produce a partir del arrabio, mediante la eliminación de impurezas en un horno básico de oxígeno, en un horno de hogar abierto o en un horno eléctrico.

**Acero al carbono.**- Las propiedades distintivas de este acero son debidas al carbono que contienen.

**Acero aleado o especial.**- Es un acero que debe principalmente sus propiedades distintivas a algún elemento o elementos distintos del carbono, o juntamente a tales elementos y al carbono. Algunos de los aceros aleados contienen necesariamente un porcentaje importante de carbono, aun hasta 1,25 %.

**Acero básico al oxígeno, acero de hogar abierto y acero de horno eléctrico.**- Son aceros que se obtienen por medio de los procesos de horno básico de oxígeno, de hogar abierto y eléctrico, sin importar el contenido de carbono.

**Acero Bessemer.**- Actualmente ya no se produce, anteriormente se lo hacía en los hornos llamados convertidores.

### **2.1.2 EL HIERRO: HIERRO COMERCIALMENTE PURO; HIERRO FORJADO; HIERRO EN LINGOTES.**

**Hierro Comercialmente Puro.**- Desde 1904 se han producido cantidades comerciales de hierro electrolítico; pero por razones económicas, la mayoría de los procesos se utilizaron poco. El hierro electrolítico es quebradizo al depositarlo, a fin de poder pulverizarlo con

facilidad y producir un polvo de hierro de alta pureza. Los polvos de hierro comercialmente puro también se producen con procesos de reducción directa.

**Hierro Forjado**.- El hierro forjado es la forma más antigua de hierro elaborado por el hombre. El hierro forjado normal contenía una cantidad considerable de escoria que le daba una estructura fibrosa característica. Podía trabajarse y soldarse con facilidad a temperaturas cercanas a su punto de fusión. Podía obtenerse en forma de planchas, láminas, formas estructurales, barras y varillas, tubos y tramos de tubería. El hierro forjado se utilizaba sobre todo en tuberías para condiciones de corrosión moderada.

**Hierro en Lingotes**.- El hierro en lingotes (hierro Armco) es un hierro de relativa pureza, que se produce en forma similar al acero normal al carbono en cantidades comerciales en un horno básico de hogar abierto. La refinación se lleva hasta un grado muy avanzado añadiendo un mineral de hierro muy puro, el cual oxida las impurezas hasta reducirlas a un porcentaje muy bajo. Para esta operación se requiere una elevada temperatura del horno, debido al alto punto de fusión del hierro puro.

### **2.1.3 EL ACERO: ACEROS COMERCIALES; ACEROS INOXIDABLES ACEROS PARA HERRAMIENTAS; ACEROS DE ALEACIONES ESPECIALES.**

**Aceros Comerciales**.- La variedad de aplicaciones del acero para fines de ingeniería se debe al amplio intervalo de propiedades físicas que se puede obtener por cambios en el contenido de carbono y el tratamiento térmico. Los aceros al carbono pueden subdividirse de manera general en tres grupos:

1. De bajo contenido de carbono; 0.05 a 0.25 % de carbono.
2. Aceros para maquinaria; 0.30 a 0.55 % de carbono.
3. Aceros para herramientas; 0.60 a 1.30 % de carbono, comprenden también los aceros para rieles y para resortes en este grupo.

**Aceros para herramientas**.- Las aplicaciones de los aceros para herramientas, por lo general son: corte, cizallamiento, forjado, estirado, extrusión, laminado y recalado. Cada una de estas operaciones requiere, en el acero para herramientas, una propiedad física particular o un conjunto de características metalúrgicas como dureza, resistencia, tenacidad, resistencia al

desgaste y resistencia al reblandecimiento por calor; para poder obtener un rendimiento óptimo. Estos aspectos son muy importantes para seleccionar las herramientas; no obstante, la templabilidad, deformación permisible, descarburización de la superficie durante el tratamiento térmico y la facilidad de maquinado del acero para herramientas son otros factores que se deben ponderar antes de tomar una decisión. En la práctica, al seleccionar un acero de este tipo, se debe tener en cuenta tanto las propiedades físicas más deseables como el máximo rendimiento en materia económica.

La SAE y la AISI han clasificado a los aceros para herramientas en seis grupos principales, con base en el método para enfriamiento por inmersión, aplicaciones, características especiales y su uso en industrias específicas. Estas seis clases son:

- Templado al agua
- Resistente al impacto
- Trabajo en frío (SAE) Society of Automotive Engineers
- Trabajo en caliente (AISI) Am. Iron and Steel Inst.
- Alta velocidad
- Usos especiales

**Aceros inoxidables.**- Aceros resistentes a la corrosión y al calor, ciertas aleaciones de hierro y cromo poseen alta resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas y mantienen una resistencia considerable a esas temperaturas. Estas aleaciones, a veces, contienen níquel y pequeños porcentajes de silicio, molibdeno, tungsteno, cobre y otros elementos. Este vasto y complejo grupo de aleaciones se conoce como aceros inoxidables, y normalmente, se clasifican en tres grupos:

- a) Aceros Austeníticos, que contienen níquel y cromo.
- b) Aceros Martensíticos, son aleaciones templables con contenido hasta de 18% de cromo y que al enfriarlos por inmersión, son martensíticos.
- c) Aceros Ferríticos, son aleaciones con bajo contenido de carbono; no se templean y contienen hasta 27 % de cromo.

Aceros de aleaciones especiales.

Aleaciones hierro-silicio, aceros para laminaciones eléctricas.

Aleaciones hierro-níquel, industria eléctrica.

Aleaciones hierro-cobalto, contienen diversos porcentajes de cobalto.

Aleaciones hierro-aluminio, tienen alta resistividad y buena permeabilidad.

#### **2.1.4 FUNDICIÓN DE HIERRO Y ACERO.**

##### **Fundición de Hierro.**

Composición.- Las propiedades de la fundición se regulan por el control de la cantidad, tipo, tamaño y distribución de las diversas formaciones de carbono. Los factores importantes son: 1) proyecto de la pieza fundida, 2) composición química, 3) tipo de la chatarra o pedacería empleada para fundir, 4) proceso de fusión, 5) velocidad de enfriamiento en el molde, 6) tratamiento térmico subsiguiente.

El método de producción de hierro y sus composiciones se deben dejar a discreción de la planta de fundición y su metalúrgica, quienes conocen las muchas variables de la composición para obtener las propiedades deseadas por el ingeniero.

Dado que las piezas de fundición se especifican sobre la base de su resistencia a la reacción, no se incluyen tablas de composiciones para las diversas clases de hierro fundido, ya que son de escasa utilidad.

En la fundición, el carbono es de dos tipos: 1) carbono combinado como carburo de hierro, y 2) grafito presente como una mezcla mecánica. El grafito está en forma de laminillas que ocupan de 6 a 10 % del volumen de las fundiciones grises típicas. El silicio tiene un poderoso efecto de ablandamiento. Su presencia en la fundición reduce la capacidad de esta para retener carbono en combinación química. Con muy poco silicio, el hierro retiene todo su carbono en combinación y produce hierro blanco. El manganeso, cromo, molibdeno, titanio y vanadio promueven la retención de carbono en la forma combinada y contrarrestan la acción del silicio.

El níquel y el cobre mejoran la matriz e incrementan la resistencia del hierro, pero no aminoran la cantidad de grafito presente y conservan la facilidad del hierro para trabajarse a máquina.

### **Propiedades Mecánicas.-**

La resistencia a la tracción de la fundición, que incluyen los hierros especiales, varía de 140 a 550 Mpa (20000 a 80000 lb/pulg<sup>2</sup>), la prueba o ensayo por tracción es la prueba normal de resistencia para la fundición. Las dimensiones de la barra utilizada en el ensayo dependen del espesor de las paredes de la sección de control de la fundición. Las barras de ensayo se funden con la forma deseada y se maquinan al tamaño requerido.

El límite de elasticidad del hierro fundido está próximo a su resistencia máxima a la ruptura. La fundición gris puede soportar por tiempo indefinido una carga estática que sea un poco menor que su resistencia a la tracción, sin deformación ni fractura.

La facilidad de maquinado de la fundición gris es inversamente proporcional a su resistencia. El enfriamiento por coquilla o aceración, el tratamiento térmico y las adiciones de aleaciones, reducen la maquinabilidad.

Resistencia a la corrosión, los tipos ordinarios de fundición presentan una resistencia considerable contra la corrosión subterránea; hay tubos para agua que han estado en servicio constante durante 100 años. Los hierros fundidos con alto contenido de aleación de cromo, níquel y silicio son especialmente resistentes al ácido sulfúrico y a la corrosión.

### **Fundición de acero.**

Composición.- hay cinco clases comerciales de acero fundido:

1. Aceros de bajo carbono (por debajo de 0.20 %)
2. Aceros de medio carbono (entre 0.20 y 0.50 %)
3. Aceros de alto carbono (por encima de 0.50 %)
4. Aceros de baja aleación (contenido total de aleación menor de 8 %)
5. Aceros de alta aleación (contenido total de aleación mayor de 8 %)

Acero aleado fundido, un acero fundido se considera como acero aleado fundido si los elementos de la aleación, ya sean residuales o agregados, están presentes en porcentajes mayores.

Acero al carbono fundido, el acero al carbono fundido contiene menos de 1.70 % de C, junto con otros elementos normalmente presentes. Las piezas de acero fundido varían por lo que respecta al peso, desde unos cuantos gramos hasta muchas toneladas. Los más grandes tuvieron ya acabados 210 toneladas. Las piezas de acero fundido se pueden fabricar de cualquier espesor no inferior a 6 mm ( $\frac{1}{4}$  de pulg.).

Propiedades Mecánicas.- Son propiedades sobresalientes su resistencia, su ductilidad y su resistencia al choque. Posee gran rigidez y soporta temperaturas elevadas y bajas; las piezas son soldables y tienen excelentes propiedades de durabilidad.

Resistencia a tracción y a fluencia, los aceros ferríticos de una dureza o templabilidad dada tienen la misma resistencia a tracción, ya sean fundidos, laminados, forjados o soldados, sin que importe el contenido de aleación. Para fines de proyectos en los que intervenga las propiedades de tracción y fluencia, se pueden intercambiar con la más plena confianza los aceros laminados, forjados, fundidos y soldados.

Ductilidad, si se comparan las propiedades de ductilidad de los aceros con sus valores de dureza, los aceros fundidos, forjados y laminados, y sus soldaduras son casi idénticas. Como en la mayoría de las condiciones de servicio intervienen varias direcciones de carga, algunas veces es particularmente ventajoso conseguir propiedades direccionales uniformes en el acero fundido.

Impacto o choque, con frecuencia se emplea el ensayo de choque con probeta ranurada como medida de la tenacidad de los materiales. Los aceros fundidos tienen excelente resistencia al choque a temperaturas normales y bajas. Generalmente, los aceros dulces son probados en la dirección del laminado y arrojan valores de choque más altos que los aceros fundidos de composición semejante. Los valores al choque transversal serán de 50 a 70 % de aquellos en la dirección del laminado. Los aceros fundidos no manifiestan estas propiedades direccionales. Si se promedian las propiedades direccionales de los dulces, los valores obtenidos son comparables con los que corresponden a los fundidos de composición semejante.

En el ensayo de resistencia al desgaste, los aceros fundidos reaccionan de manera semejante a los aceros laminados y dan valores correspondientes, que dependen de la composición, estructura y dureza.

Resistencia a la corrosión, el acero fundido y el acero dulce de composición y tratamiento térmico semejantes parecen ser igualmente resistentes a la corrosión cuando les rodea un mismo medio. Pequeñas cantidades de cobre en el acero fundido, aumentan su resistencia a la corrosión atmosférica. Los aceros fundidos de alto contenido de aleación, de los tipos al cromo y al cromo níquel, se emplean normalmente para resistir a la corrosión.

Resistencia al calor, aunque son comparables a los aceros de alto contenido de aleación al tipo níquel-cromo separados especialmente para resistir al calor, los aceros fundidos con 4.0 a 6.5 % Cr, particularmente con adiciones de 0.75 a 1.25 W o de 0.40 a 0.70 Mo y 0.75 a 1.00 Ti, manifiestan buena resistencia mecánica y considerable resistencia a la formación de costras o escamas.

Maquinabilidad, que presentan los aceros al carbono y aleados fundidos es comparable a la de los aceros dulces de resistencia, ductilidad y dureza equivalentes, y de microestructura similar. Los factores que influyen en la maquinabilidad son los siguientes:

- 1) La microestructura tiene un efecto concreto sobre la maquinabilidad; en algunos casos es posible mejorar las características relacionadas con dicho maquinado en el 100 a 200 % de tratamientos térmicos que modifican la microestructura.
- 2) Como regla general, la dureza sola no constituye un criterio para predecir la duración de una herramienta en el corte de aceros fundidos.
- 3) En general, para una estructura dada, los aceros corrientes al carbono poseen mejores propiedades para su maquinado que los aceros aleados o especiales.
- 4) La duración o vida de las herramientas para acero al carbono fundido, cuando se maquina con carburo, varía como la relación de la ferrita a la perlita en su microestructura, siendo la mejor relación para el maquinado de 60/40.
- 5) Para conseguir una vida de herramienta equivalente, la película superficial del acero fundido deberá maquinarse a una velocidad de corte recomendada para el metal base.

## **2.2 ENSAYOS DE MATERIALES**

### **2.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN.**

El ensayo de tracción convencional o tecnológico se emplea ampliamente para obtener una información básica sobre la resistencia mecánica de los materiales y como ensayo de

recepción para especificar los mismos. En este ensayo se somete la probeta a una fuerza de tracción monoaxial, que va aumentando progresivamente y se van midiendo simultáneamente los correspondientes alargamientos. Con los datos de cargas y alargamientos obtenidos se construye una curva tensiones-deformaciones convencional.

#### Deformación de rotura

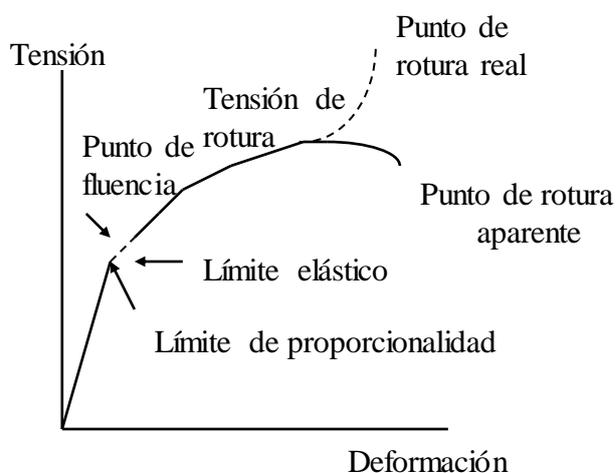


Diagrama tensión-deformación.

#### Deformación convencional

La tensión utilizada en la curva de tensiones deformaciones es la tensión media longitudinal producida en la probeta de tracción. Se obtiene dividiendo la carga por el área de la sección transversal inicial de la probeta:

$$P$$

$$\sigma = \frac{\delta}{A_0}$$

La deformación utilizada en la curva de tensiones deformaciones es la deformación lineal media, obtenida al dividir el alargamiento de la distancia entre puntos de la probeta por su longitud original:

$$e = \frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Los parámetros utilizados para describir la curva de tensiones-deformaciones de un metal son la resistencia a la tracción, el límite elástico convencional o el aparente, el alargamiento por ciento y la estricción. Los primeros dos son parámetros de resistencia mecánica; los dos últimos informan sobre la ductilidad.

El ensayo de tracción con probetas lisas no sirve para indicar la sensibilidad de los materiales a las entallas, pero si puede comprobar si un material es o no sensible a las entallas y propenso a la fractura frágil en presencia de concentraciones de tensiones, mediante un ensayo de tracción con probetas entalladas. La sensibilidad a la entalla puede estudiarse también mediante los ensayos de choque (ensayos de resiliencia) que se los utiliza para los aceros suaves y para estudiar la fragilidad de revenido; tienen la ventaja de que es fácil preparar la probetas y trabajar dentro de intervalos grandes de temperatura, pero le falta la información mas fundamental que puede proporcionar el ensayo de tracción con probeta entallada, en el que se define de mejor manera el estado de tensiones.

Resiliencia Elástica.- La capacidad de un material para absorber energía cuando es deformado elásticamente y devolverla cuando se elimina la carga se llama resiliencia. Esta se mide usualmente, por medio del **MODULO DE RESILIENCIA**, que es la energía de deformación, por unidad de volumen, requerida para llevar el material desde una tensión cero hasta el limite elástico  $\sigma_0$ . De la ecuación:

$U_0 = \frac{1}{2} \sigma_{\text{max}}$  el modulo de resiliencia será:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_{\text{oeso}} = \frac{1}{2} \sigma_0 \frac{\sigma_0}{E} = \frac{\sigma_0^2}{2E}$$

También se le llama resiliencia a la energía absorbida en la rotura por choque, tal como se determina en los ensayos Charpy o Izod.

Tenacidad.- La tenacidad de un material es su capacidad para absorber energía en el campo plástico. La capacidad para resistir tensiones ocasionales superiores al límite elástico, sin que se produzca fractura, es de gran valor en piezas como acoplamientos de vagones, engranajes, cadenas y ganchos de grúas. La tenacidad es un parámetro que comprende la resistencia mecánica y la ductilidad.

### 2.2.2 ENSAYO DE TORSION.

Este ensayo no ha tenido mucha aceptación y un empleo tan amplio como el ensayo de tracción. Sin embargo, es muy útil en muchas aplicaciones técnicas y en los estudios teóricos del flujo plástico. Los ensayos de torsión se realizan para determinar propiedades de los metales, tales como el modulo de elasticidad en cizallamiento, el limite elástico en torsión y el modulo de rotura. Se los verifica también en piezas enteras, como son: árboles, ejes y taladros helicoidales, que están sometidos a cargas de torsión durante el servicio. Este ensayo se realiza con un equipo de torsión que consta de una cabeza de torsión, con mordazas para sujetar la probeta y aplicar el momento torsor, y una cabeza de medida que sujeta el otro extremo de la probeta y mide el momento o par de torsión. La deformación se mide determinando el desplazamiento angular de un punto próximo a uno de los extremos de la probeta con respecto a otro punto cercano al otro extremo y situado en el mismo elemento longitudinal.

Las probetas de torsión, tienen una sección transversal circular, debido a que la forma cilíndrica es la que permite un cálculo más sencillo de las tensiones.

Relación entre los ensayos de torsión y tracción.- El ensayo de torsión proporciona una medida más exacta de la plasticidad de un metal que un ensayo de tracción. Por un lado, el ensayo de torsión conduce directamente a una curva de tensión cizallante en función de la deformación de cizallamiento. Este tipo de curva es una fase más exacta para caracterizar el comportamiento plástico que una curva tensión-deformación determinada en tracción. En torsión se puede obtener valores mucho mayores de la deformación, sin complicaciones como la estricción localizada en tracción, o el abarrilamiento debido a los efectos de fricción, en la compresión. Además, en la torsión se pueden realizar fácilmente ensayos a velocidades constantes o elevadas.

### **2.2.3 ENSAYO DE DUREZA.**

El término dureza de un material puede ser mal definido, depende de la experiencia de la persona que lo emplea. En general la dureza es una resistencia a la deformación y para los metales es una medida de su resistencia a la deformación permanente. Una persona que esta relacionada con la mecánica del ensayo de materiales, lo más probable es que la dureza signifique una resistencia a la penetración, mientras que un ingeniero proyectista diría que es una cantidad fácil de medir y especificar que esta relacionada con la resistencia y el tratamiento térmico de un metal.

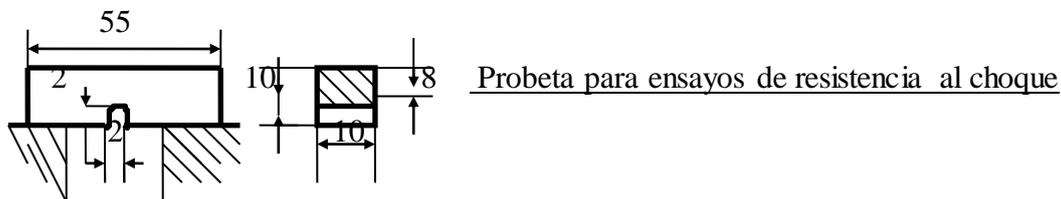
Existen tres tipos de medidas de dureza, que dependen de la forma de conducir el ensayo. Estos son:

- 1) Dureza de rayado; interesa a los mineralólogos
- 2) Dureza de penetración; interesa tecnológicamente para los metales
- 3) Dureza al rebote o dinámica; en las mediciones se deja caer un martillito sobre la superficie del metal y se mide la dureza por energía perdida en el impacto.

### **2.2.4 ENSAYO DE IMPACTO.**

Este ensayo es muy empleado en los ensayos de metales con carga dinámica, gracias a su sencillez y precisión e identidad de resultados obtenidos. Mediante este ensayo podemos determinar el grado de resistencia del material a la rotura cuando se aplica la carga dinámica. Los ensayos se realizan en un aparato especial denominado péndulo Charpy. La probeta se

rompe de un golpe por un péndulo pesado, que cae desde una altura determinada, las probetas a ensayar tienen en la mitad de un lado una entalladura y se preparan de una manera uniforme.



Para efectuar el ensayo, la probeta se coloca sobre los apoyos del aparato de tal manera, que la entalladura se encuentre en la dirección opuesta a la del golpe. Luego el péndulo de un peso  $Q$  se eleva a una altura dada  $H$  y se deja caer libremente. Al caer, el péndulo rompe la probeta y continúa su marcha ascendiendo a cierta altura  $h$ . La energía  $A$  gastada en la rotura de la probeta se determina como la diferencia de la energía acumulada por el péndulo antes de chocar  $QH$  y la energía que queda en este después de romper la probeta  $Qh$ , ósea:

$$A = QH - Qh = Q (H-h) \text{ Kgm}$$

La Resiliencia  $R$  del material se expresa como la relación entre la energía gastada en la rotura y el área  $F$  en  $\text{cm}^2$  de la sección transversal de la probeta en el lugar del choque.

$$R = \frac{Q(H-h)}{F} \text{ Kgm/cm}^2$$

La energía gastada para la rotura de la probeta se determina según los datos de la tabla, en la cual el valor de esta energía viene dado en función del ángulo del ascenso del péndulo después del golpe. El ángulo de ascenso se determina por la lectura que indica la aguja en la escala del aparato.

Para los materiales frágiles la magnitud  $R$  es muy pequeña ( $0,1 - 0,2 \text{ Kgm/cm}^2$ ), para los aceros varía dentro de un amplio rango, que generalmente está entre  $2 - 12 \text{ Kg/cm}^2$ .

## 2.3 RESISTENCIA DE MATERIALES

### 2.3.1 TENSIÓN.

Normal.- en lugar de hablar de la fuerza interna que actúa sobre un elemento de superficie, probablemente es más significativo y más útil para la comparación considerar la fuerza normal que actúa sobre una superficie unidad de la sección transversal. La intensidad de la fuerza normal por unidad de superficie,  $\text{Kg/cm}^2$ . A veces se usa la expresión tensión total para expresar la fuerza resultante axial total, en kilogramos. Si las fuerzas aplicadas a los extremos de la barra son tales que esta sometida a tracción, se establecen tensiones de tracción en la misma; si esta sometida a compresión tenemos tensiones de compresión. Es esencial que la línea de aplicación de las fuerzas pase por el centro de cada sección transversal de la barra.

De trabajo.- se pueden usar las características de resistencia que se acaban de mencionar para elegir la llamada tensión de trabajo. Frecuentemente, esta tensión se determina simplemente dividiendo la tensión en la fluencia o rotura por un número llamado coeficiente de seguridad.

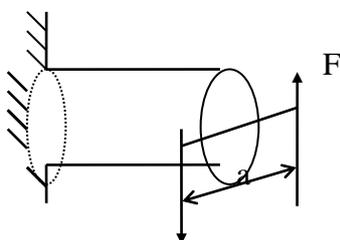
La elección del coeficiente de seguridad se basa en el buen juicio y la experiencia del proyectista. A veces se especifican en los reglamentos de la construcción valores de determinados coeficientes de seguridad.

La curva tensión-deformación no lineal de un material frágil, caracteriza otras varias medidas de la resistencia que no se pueden definir si la mencionada curva tiene una zona lineal. Estas son:

- Límite elástico convencional
- Modulo tangente
- Coeficiente de dilatación lineal
- Relación de Poisson
- Forma general de la ley de Hooke

### 2.3.2 TORSIÓN.

Definición.- consideremos una barra sujeta rígidamente en un extremo y sometida en el otro a un par  $T = (Fd)$  aplicada en un plano perpendicular al eje, se dice que esta barra esta sometida a torsión.



F

Efecto de la Torsión.- los efectos de la aplicación de una carga de torsión a una barra son:

- 1) producir un desplazamiento angular de la sección de un extremo respecto al otro y;
- 2) originar tensiones cortantes en cualquier sección de la barra perpendicular a su eje.

Torsión.- es un termino que se usa para indicar una condición en la cual un cuerpo sufre un efecto de torcedura. Las causas de esta torcedura se llaman momentos torsionales o pares motores. Los esfuerzos y deformaciones correspondientes se denominan esfuerzos torsionales y deformaciones torsionales o angulares, respectivamente.

### 2.3.3 CORTE.

Esfuerzo Cortante.- si la carga aplicada P esta constituida por dos fuerzas paralelas iguales y opuestas que no están alineadas (como en la figura A), hay entonces una tendencia de una parte del cuerpo a deslizarse o a cizallarse respecto a la otra parte, a lo largo de una sección tal como LM.

Si la sección transversal en LM medida paralelamente a la carga es A, entonces el esfuerzo cortante medido es  $T = P/A$ . Si el esfuerzo cortante varia, entonces en un punto  $T = \delta P/\delta A$ .

Obsérvese que el esfuerzo cortante es tangencial al área sobre la que actúa.

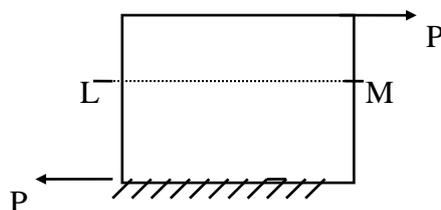


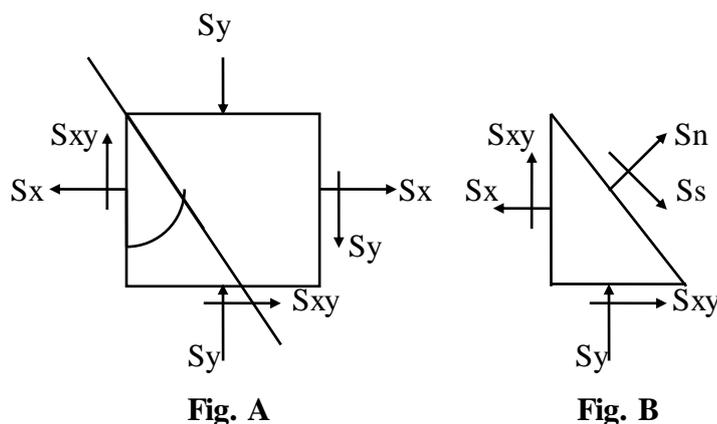
Fig. A

Por supuesto el esfuerzo cortante se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo normal, es decir, carga por unidad de área.

### 2.3.4 COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

Esfuerzos Combinados.- los esfuerzos simples, definidos en las teorías de flexión y torsión, se hallan en planos normales o paralelos a la línea de acción de las fuerzas. Sin embargo, los

esfuerzos normales, así como los de corte, pueden existir en otras direcciones. Una partícula de un miembro con carga contendrá esfuerzos normales y de corte, como se ilustra en la figura A. Obsérvese que los cuatro esfuerzos cortantes deben ser de la misma magnitud, si se va a satisfacer el equilibrio.



Con un “corte” sobre el plano A-A, el equilibrio revelará que, en general, los esfuerzos normales así como los de corte actúan sobre el plano AC (fig. B). El esfuerzo normal sobre el plano AC se identifica como  $S_n$  y el de corte como  $S_s$ .

La aplicación de equilibrio da:

$$S_n = \frac{S_x + S_y}{2} + \frac{S_x - S_y}{2} \cos 2\theta + S_{xy} \sin 2\theta$$

$$S_s = \frac{S_x - S_y}{2} \sin 2\theta - S_{xy} \cos 2\theta$$

Debe usarse una convención de signos. Un esfuerzo de tracción es positivo, mientras que uno de compresión es negativo.

# **CAPITULO III**

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO.

##### 3.1.1. HIPÓTESIS BÁSICAS.

Las máquinas para ensayos de impacto generalmente empleadas para ensayos de materiales, están diseñadas para entregar una energía de impacto, equivalente ha:

$$E = 30 \pm 1 \text{ [Kgf.m]} \text{ ó}$$

$$E = 294 \pm 10 \text{ [N.m]} = \text{[J]}$$

A través de su elemento principal que es el péndulo o balancín, el cual es construido de eje metálico, que tiene en un extremo una masa metálica o martillo de impacto, el cual al momento de golpear a la probeta, debe hacerlo con una velocidad estimada en:

$$V = 5 - 5.5 \text{ [m/s]}$$

##### 3.1.2. MASA DEL BALANCÍN Y ALTURA DE CAÍDA.

Con las hipótesis anteriores y algunas consideraciones prácticas, se estimará la masa requerida del balancín.

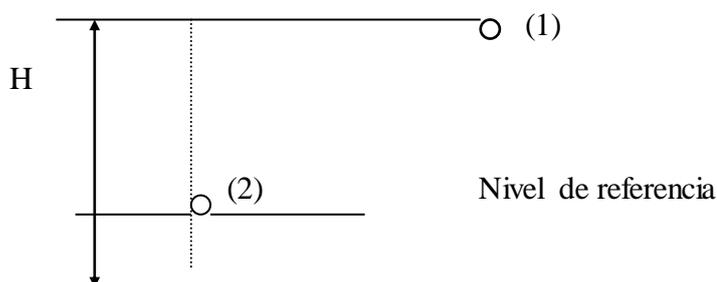


Fig. 1. Esquema de conservación de energía para el balancín.

Según el principio de conservación de la energía para el campo de fuerzas conservativo.

$$\Delta E + \Delta P = 0 \quad (1)$$

$\Delta E$  = Cambio en energía cinética.

$\Delta P$  = Cambio en energía potencial gravitatoria.

$$\Delta E = \frac{1}{2} m(V_2)^2 - \frac{1}{2} m(V_1)^2 = E_2 - E_1$$

$$\Delta P = mgh_2 - mgh_1 = P_2 - P_1$$

Siendo  $m$  = masa del balancín [Kg].

$V_1, h_1$  = velocidad y altura del balancín en la posición (1)

$V_2, h_2$  = velocidad y altura del balancín en la posición (2)

Reemplazando en (1).

$$E_2 - E_1 + P_2 - P_1 = 0$$

Por condiciones de frontera

$$E_1 = \frac{1}{2}m(v_1)^2 = 0; \text{ ya que } v_1 = 0$$

$$P_2 = mgh_2 = 0, \text{ ya que } h_2 = 0$$

$$h_1 = H$$

Luego, se tiene:

$$E_2 - P_1 = 0$$

$$E_2 = P_1$$

$$\frac{1}{2} m(V_1)^2 = mgH$$

De esta manera la energía es:

$$\frac{1}{2} m(V_1)^2 = 294 \pm 10 \text{ [J]} \quad (2).$$

$$\text{o también } mgH = 294 \pm 10 \text{ [J]} \quad (3).$$

Como  $mg = W$  = peso del balancín, (3) se transforma en.

$$WH = 294 \pm 10 \text{ [J]} \quad (4).$$

Analizando (4) se puede determinar por inspección que:

- Si la altura de caída o descenso del balancín es  $H = 1\text{m}$ ,

- El peso del balancín debe oscilar alrededor de:  $W = 294 \pm 10 \text{ [N]}$ .

O lo que es lo mismo, la masa del balancín, debe ser aproximadamente de:

$$m = 30 \pm 1 \text{ [Kg]}.$$

Por lo que se ha señalado, se puede ahora pre-dimensionar el balancín.

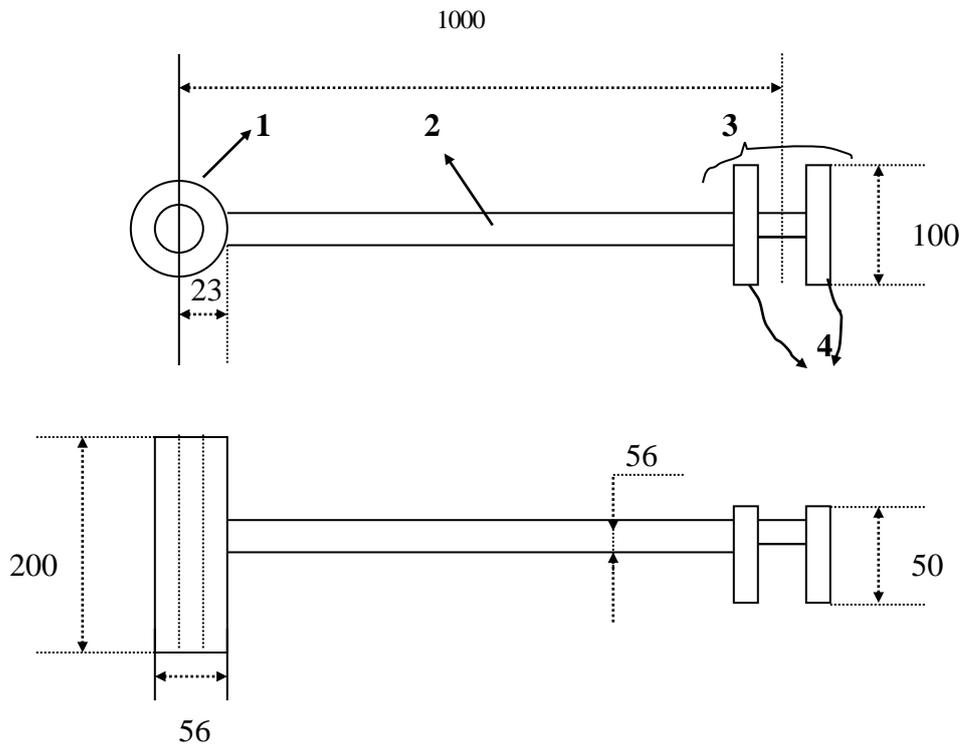


Fig. 2. Esquema de pre-diseño del Balancín 1) Bocín; 2) Vástago; 3) Martillo.

Por consideraciones de espacio y economía, se establece una longitud del balancín estimada en:

$$L = 1080 \text{ mm} = 108 \text{ cm.}$$

Los materiales a usarse son:

**1. Para el Bocín.**- se empleará acero dulce de dimensiones:

$l = \text{longitud} = 200 \text{ mm.}$

$d_e = \text{diámetro externo} = 560 \text{ mm.}$

$d_i = \text{diámetro interno} = \text{a determinarse según el cálculo.}$

**2. Vástago.**- de acero calibrado de transmisión.

$\phi = 560 \text{ mm.}$

**3. Martillo.**- de plancha metálica negra.

Tomando de tablas, la densidad promedio del acero es:

$\rho = \text{densidad} = 7.85 \text{ g/cm}^3 = 7850 \text{ Kg/m}^3.$

Se procede a calcular la masa del balancín, según sus componentes; Así,

**I. Masa del Vástago**

$$m_1 = \rho V_1$$

$V_1 =$  volumen del vástago [cm<sup>3</sup>]

$$V_1 = (\pi d_1^2/4)l_1$$

$d_1 =$  diámetro del vástago = 5.6 cm

$l_1 =$  longitud del vástago = 89.7 cm.

$$m_1 = \frac{7.86 \times \pi \times (5.6)^2 \times 89.7}{4} = 17635.2 \text{ g}$$

$$m_1 = 17.4 \text{ Kg.}$$

**II. Masa del Martillo.**

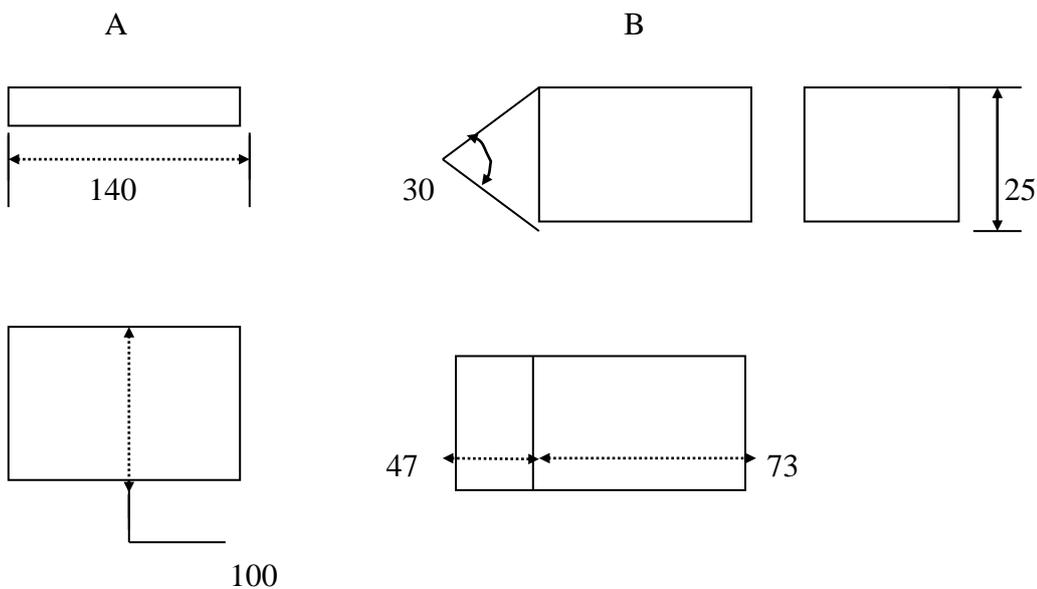


Fig. 5.- Elementos del martillo. A) Mazas del martillo. B) Cuña de impacto.

La masa de las mazas del martillo  $m_{21}$ , será:

$$m_{21} = 2 \times 10 \times 14 \times 5 \times \rho, \text{ donde:}$$

10; 14; 5, son las dimensiones de las mazas en cm.

$$m_{21} = 2 \times 10 \times 14 \times 5 \times 7.86 = 11.004 \text{ g.}$$

$$m_{21} = 11 \text{ Kg.}$$

La masa  $m_{22}$  de la cuña de impacto será:

$$m_{22} = \left( \frac{2.5 \times 4.7}{2} \times 6 + 2.3 \times 2.5 \times 6 \right) 7.86 = 548 \text{ g}$$

$$m_{22} = 0.55 \text{ Kg.}$$

La masa del martillo es entonces:

$$m_2 = m_{21} + m_{22} = 11 + 0.55 = 11.55 \text{ Kg.}$$

La masa total del balancín es:

$$m = m_1 + m_2 = 17.34 + 11.55 = 28.95 \text{ Kg.}$$

$$m = \mathbf{29 \text{ Kg.}}$$

Con lo cual la masa del balancín está dentro del rango previsto.

El peso del balancín será entonces:

$$W = mg$$

$$W = 29 \times 9.8 = 284.2 \text{ N.}$$

$$W = 284.2 \text{ N}$$

Para calcular la altura de caída del balancín, que asegure la entrega de la energía de impacto establecida en el rango:

$$E = 294 \pm 10 [J]$$

Es preciso determinar la posición del centro de masa o centroide del balancín.

### 3.1.2.1. CALCULO DEL CENTROIDE DEL BALANCIN

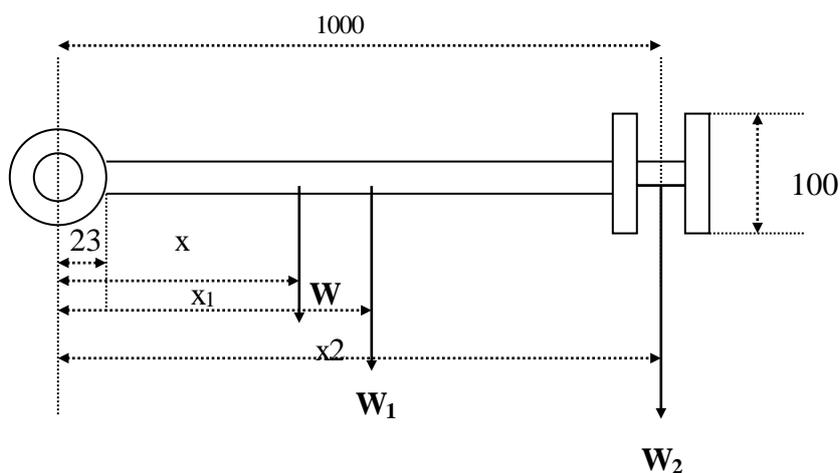


Fig. 4.- Esquema para el cálculo del centroide: W1 es el peso del vástago, W2 es el peso del martillo, W es el peso del conjunto.

En el cálculo del centroide, así como de la energía de impacto, no interviene la masa del bocín, puesto que su centro de masa coincide con el origen de coordenadas y su momento respecto a ese punto es nulo.

Los brazos de palanca son:

x1 que corresponde al centroide del cilindro, por tanto x1 se encuentra en su centro geométrico

$$x_1 = \frac{1}{2}(89.7) + 2.3, \text{ según la figura 2.}$$

$$x_1 = 47.15 \text{ cm.}$$

$x_2$ , corresponde al centroide del martillo, estando ubicado en su baricentro.

$$x_2 = 100 \text{ cm.}$$

$x_2$ , se fija en 100 cm., por condiciones de diseño.

Ahora según el teorema de Varignon, que establece:

**Momento de la fuerza resultante = Suma de momentos de las fuerzas componentes**

$$\mathbf{M_R = \Sigma M_C}$$

$$W_x = W_1x_1 + W_2x_2$$

Siendo  $x$  la posición del centroide, y  $W = W_1 + W_2$ .

$$x = \frac{W_1x_1 + W_2x_2}{W_1 + W_2}$$

Los pesos componentes son:

$$W_1 = m_1g = 17.4 \times 9.8 = 170.52 \text{ N}$$

$$W_2 = m_2g = 11.55 \times 9.8 = 113.19 \text{ N}$$

$$x = \frac{170.52 \times 47.15 + 113.19 \times 100}{284.2} = 68.12 \text{ cm.}$$

$$x = 68.12 \text{ cm.}$$

Es decir el centroide se encuentra a 68.12 cm., medidos a partir del centro de rotación.

Por tanto, si el balancín se hiciese descender desde su posición horizontal, la energía de impacto será:

$E = WH$ , donde:

$$W = 284.2 \text{ N}$$

$H = 68.12 \text{ cm.}$ ; correspondiente al descenso neto del centroide.

$$E = 284.2 \times 0.6812 \text{ [N.m]}$$

$$E = 193.6 \text{ [J].}$$

Energía que es menor que la establecida para las máquinas de impacto.

$$193.6 \text{ J} < 294 \pm 10 \text{ J}$$

En consecuencia, la altura que debe caer el centroide para entregar una energía de impacto dentro del rango de diseño es:

$$E = WH = 294 \pm 10 \text{ J.}$$

$$H = 294 \text{ J} / W$$

$$H = 294 / 284.2$$

$$H = 1.03 \text{ m.}$$

Lo cual indica que es necesario inclinar el balancín un cierto ángulo por sobre la posición horizontal, a efecto de lograr la energía de impacto requerida.

Es decir:

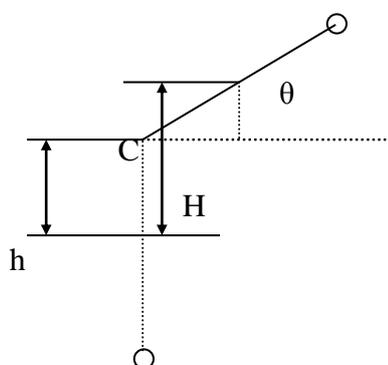


Fig. 6.- Angulo de inclinación del balancín, donde C es la posición del centroide.

En la figura 6:

$$H = 1.03 - 68.12 = 34.88 \text{ cm.}$$

$\theta$  = ángulo de inclinación del balancín.

$$\text{sen}\theta = h/C$$

$$\theta = \text{arcoseno}(h/C) = \text{arcoseno}(34.88/68.12) = 30.79 \text{ grados.}$$

Es decir inclinando el balancín un ángulo de 30 grados por sobre la posición horizontal, queda asegurada la dotación energética para el ensayo de impacto de metales ferrosos.

### 3.1.3. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE IMPACTO.

A partir de la ecuación (2) se tiene:

$$\frac{1}{2} mv^2 = 294 \pm 10 \text{ J, de donde:}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 294}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 294}{29}} = 4.5 \text{ m/s}$$

$$V = 4.5 \text{ m/s.}$$

Esta es la velocidad tangencial con la cual el martillo del balancín impactará a la probeta de ensayo.

### 3.1.4. CALCULO DE LA FUERZA DE IMPACTO

La fuerza de impacto es la fuerza tangencial con la cual el martillo impacta a la probeta.

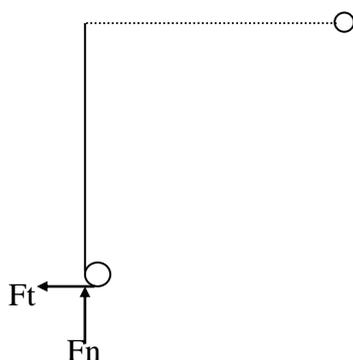


Fig. 7. Esquema para el cálculo de la fuerza de impacto: Ft es la fuerza de impacto; Fn es la fuerza normal.

De la segunda Ley de Newton:

$$\Sigma F_t = m a_t; \text{ siendo } a_t \text{ la aceleración tangencial.}$$

La aceleración tangencial está dada por:

$$a_t = r \alpha; \text{ siendo:}$$

$$r = \text{radio de giro} = 1 \text{ m.}$$

$$\alpha = \text{aceleración angular [rad/s]}$$

Se tiene que:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta ; \text{ donde:}$$

$$\theta = \text{desplazamiento angular} = \pi/2 \text{ rad.}$$

$$\omega_0 = \text{velocidad angular inicial} = 0$$

$$\omega = \text{velocidad angular final.}$$

$$\omega = V/r = (4.5 \text{ m/s})/(1\text{m}) = 4.5 \text{ rad/s.}$$

La aceleración angular será:

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\theta} = \frac{(4.5)^2 - (0)^2}{2(\pi/2)} = 6.45 \text{ rad} / \text{s}^2$$

Luego:

$$a_t = r\alpha = (1\text{m})(6.45\text{rad/s}^2) = 6.45 \text{ m/s}^2$$

En consecuencia la fuerza de impacto será:

$$F_t = m a_t = 29 \text{ Kg} \times 6.45 \text{ m/s}^2 = 187.05 \text{ N}$$

$$F_t = 187.05 \text{ N}$$

### 3.1.5. CALCULO DEL PASADOR DEL BALANCIN

#### 3.1.5.1. FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE EL PASADOR

El pasador del balancín es el eje sobre el cual rota el balancín; el sistema eje-balancín se esquematiza en la siguiente figura:

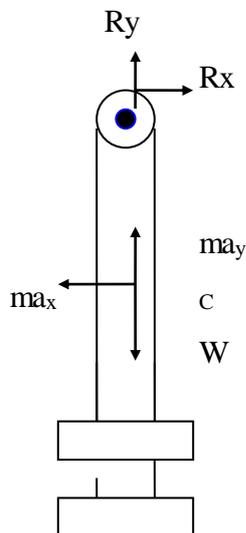


Fig. 8.- Esquema para el cálculo del pasador. C es la posición del centroide.

En la figura 8:

Rx, Ry son las fuerzas de reacción que actúan sobre el pasador.

max, may, son las fuerzas efectivas que actúan sobre el balancín.

W es el peso del balancín.

Según el principio de D'Alambert se tiene:

$$\Sigma F_{\text{externas}} = \Sigma F_{\text{efectivas}}$$

Es decir:

$$\Sigma F_x = ma_x \quad ; \quad \Sigma F_y = ma_y$$

Para las fuerzas horizontales:

$$R_x = ma_x = Ft = 187.05 \text{ N}$$

Para las fuerzas verticales:

$$R_y - W = ma_y = ma_n \quad ; \quad \text{donde:}$$

$a_y = a_n$  es la aceleración normal del centroide.

Se conoce que:

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(4.5 \text{ m/s})^2}{1 \text{ m}} = 20.25 \text{ m/s}^2$$

Luego:

$$R_y = ma_y + W = 29 \text{ Kg.} \times 20.25 \text{ m/s}^2 + 284.2 \text{ N}$$

$$R_y = 871.45 \text{ N.}$$

La fuerza total sobre el pasador es:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(187.05 \text{ N})^2 + (871.45 \text{ N})^2} = 891.3 \text{ N}$$

$$R = 891.3 \text{ N}$$

### 3.1.5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL PASADOR

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(4.5 \text{ m/s})^2}{1 \text{ m}} = 20.25 \text{ m/s}^2$$

Se calculará el pasador a flexión, considerándolo como un eje que no rota y sometido a una carga distribuida.

El cálculo es:

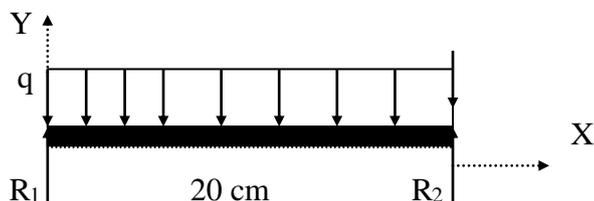
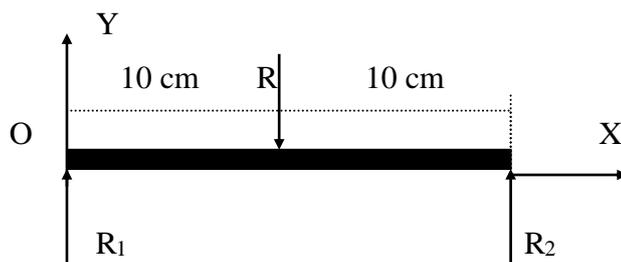


Fig. 9.- Diagrama de fuerzas para el pasador

En la figura 9:

$$q = \text{es la altura de carga} = q = R/(20 \text{ cm}) = (891.3 \text{ N})/(20 \text{ cm}) = 44.565 \text{ N/m.}$$

Calculando las reacciones se tiene:



$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - R = 0$$

$$R_1 + R_2 = R$$

$$\Sigma M_o = 0$$

$$R(10) - R_2(20) = 0$$

$$R_2 = \frac{10R}{20} = \frac{10 \times 891.3}{20} = 445.65 \text{ N}$$

$$R_2 = 445.65 \text{ Ng}$$

Obteniendo  $R_1$  se tiene:

$$R_1 = R - R_2 = 891.3 - 445.65 = 445.65 \text{ N}$$

$$R_1 = 445.64 \text{ N}$$

Usando el método de las secciones calculamos el máximo esfuerzo flector.

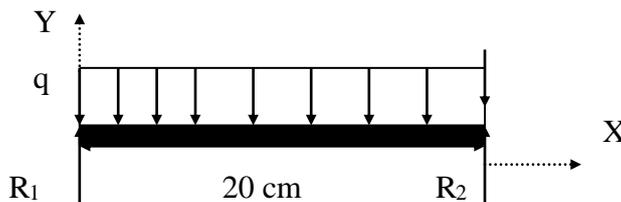
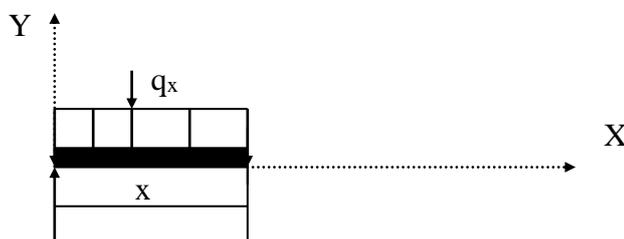


Fig. 9.- Repetida.

Para:  $0 \leq 10 \leq x$



$$M = R_1(x) - q(x)(x^2/2) = 0$$

$$M = R_1(x) - q(x^2/2) = 0$$

Evaluando algunos valores se tiene:

Para  $x = 0$ :

$$M = R_1(0) - q(0) = 0$$

Para  $x = 10$  cm.

$$M = R_1(10) - q(10)^2/2$$

$$M = 445.65(10) - 44.565(100)/2 = 2228.25 \text{ N.cm.}$$

Para  $x = 20$  cm.

$$M = 444.65(20) - 44.565(400)/2 = 0$$

De esta manera el momento flector máximo se presenta para  $x = 10$  cm. y tiene un valor de 2228.25 N.cm.

El diagrama de momentos flectores se muestra en la siguiente figura:

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

El esfuerzo de flexión es por definición:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{ad}$$

Siendo:

M = momento flector máximo.

Z = módulo resistente.

$\sigma_{ad}$  = esfuerzo de flexión admisible.

El módulo resistente para ejes circulares es:

Tomando de la tabla Z18 para acero dulce el valor de:

$$\sigma_{ad} = 70 \text{ N/mm}^2$$

Y aceptando un valor de:  $\sigma_{ad} = 75/1.5 = 35 \text{ N/mm}^2$ , con un factor de seguridad de 1.5.

De donde:

$$\frac{M}{\pi \frac{d^3}{32}} \leq \sigma_{ad}$$
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_{ad}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 2228.5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi (35) \text{ N/mm}^2}} = 18.65 \text{ mm}.$$

Para obtener un diámetro normalizado, aceptamos:

$$\mathbf{d = 19 \text{ mm}}$$

# **CAPITULO IV**

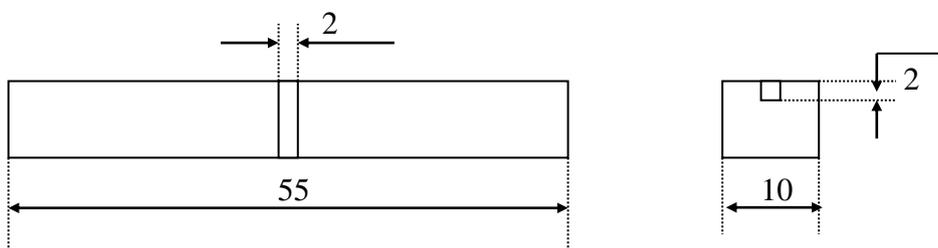
#### 4. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Ante la dificultad de conseguir en el mercado local los distintos tipos de fundición de hierro, las pruebas experimentales se realizaron ensayando probetas normalizadas construidas a partir de hierro comercial, esto es, a partir de varillas de perfil cuadrado de hierro comercial de 12 mm, y probetas construidas a partir de hierro corrugado comercial de 16 mm y probetas construidas en acero de transmisión.

La preparación de las probetas se efectuó como sigue:

- Se trozó la varilla cuadrada de hierro, hasta una longitud normalizada de 55 mm.
- Por un proceso de esmerilado se rebajó la sección de la probeta desde 12 mm. por lado hasta 10 mm. por lado, hasta conseguir la sección normalizada.
- Por un proceso de aserrado se mecanizó una entalla normalizada en la parte central de la probeta con dimensiones de 2 mm. de ancho por 2 mm. de profundidad.
- Luego se realizaron pruebas experimentales con la máquina funcionando en vacío, para determinar la pérdida de energía por efectos de la fricción de los cojinetes e introducir el correspondiente factor **K** de corrección en los cálculos.
- A continuación se ejecutaron los ensayos de las probetas, para diferentes ángulos de inclinación del balancín de la máquina de ensayos, los resultados se muestran en las tablas constantes más abajo.

A continuación se esquematiza sin escala, una probeta normalizada para ensayo de impacto.



**Tabla 1. DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR EL FACTOR DE CORRECCION K, POR FRICCION**

<b>ENSAYO</b>	<b>θ1 rad.</b>	<b>θ2 rad.</b>	<b>H m</b>	<b>h m</b>	<b>W(H-h)/F Kgm/cm<sup>2</sup></b>	<b>K Kgm/cm<sup>2</sup></b>
1	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
2	0,524	0,419	1,02	0,96	1,84	1,842
3	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
4	0,524	0,471	1,02	0,99	0,91	0,909
5	0,524	0,471	1,02	0,99	0,91	0,909
6	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
7	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
8	0,524	0,489	1,02	1,00	0,60	0,603
9	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
10	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
11	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
12	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
13	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
14	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
15	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
16	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
17	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
18	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
19	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
20	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
21	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
22	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
23	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
24	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
25	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
26	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
27	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
28	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
29	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
30	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
31	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
32	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
33	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
34	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
35	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
36	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
37	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
38	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
					<b>K (MEDIO)</b>	<b>2,046</b>

En la Tabla No. 1, se tiene:

$\theta_1$  Angulo de caída del balancín antes del impacto, en grados.

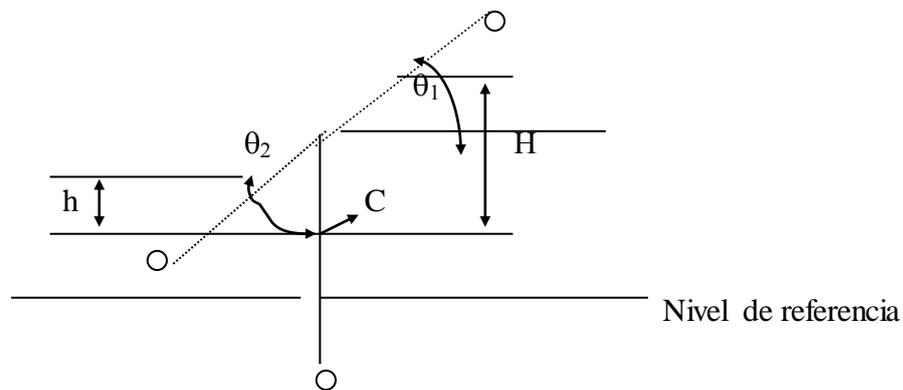
$\theta_2$  Angulo de salida del balancín luego del impacto, en grados.

**H** Altura de caída del centroide del balancín, en metros.

**h** Altura de salida del centroide del balancín luego del impacto, en metros.

Para el caso de que el ángulo de salida  $\theta_2$  sea menor a  $90^\circ$ , el esquema de parámetros y las ecuaciones de cálculo son las siguientes, donde C es la ubicación del centroide:

C = 68.12 cm. a partir del centro de rotación.



El valor de H se calcula con:

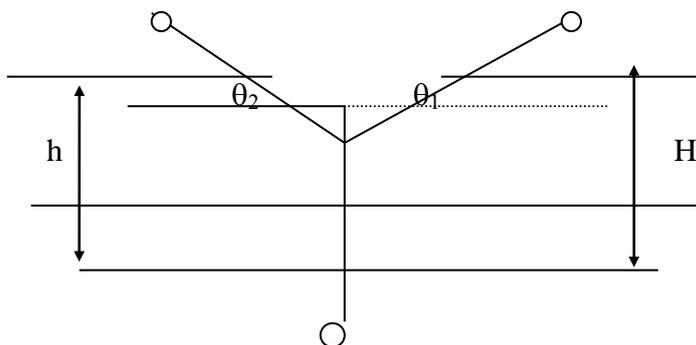
$$H = 0.6812 + 0.6812\text{sen}\theta_1; \text{ m.}$$

El valor de h se calcula con:

$$h = 0.6812 - 0.6812 \text{cos}\theta_2; \text{ m.}$$

Si el ángulo de salida  $\theta_2$  es mayor a  $90^\circ$ , el esquema de parámetros y las ecuaciones de cálculo son las siguientes, donde C es la ubicación del centroide:

C = 68.12 cm. a partir del centro de rotación.



El valor de H se calcula con:

$$H = 0.6812 + 0.6812\text{sen}\theta_1; \text{ m.}$$

El valor de h se calcula con:

$$h = 0.6812 + 0.6812 \text{ sen}\theta_2; \text{ m.}$$

El valor del Factor de corrección **K**, se define como:

$$\mathbf{K} = \frac{W(H-h)}{F}, \text{ en vacío. } \text{ Kg/cm}^2$$

Los datos experimentales para probetas construidas a partir de varilla comercial cuadrada de media pulgada se muestran en la Tabla 2; los datos para probetas construidas en varilla corrugada de hierro de 16 mm. En la Tabla 3; y, los datos para probetas construidas en varilla redonda lisa de acero de transmisión se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 1. DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR EL FACTOR DE CORRECCION K, POR FRICCION**

<b>ENSAYO</b>	<b><math>\theta_1</math> rad.</b>	<b><math>\theta_2</math> rad.</b>	<b>H m</b>	<b>h m</b>	<b>W(H-h)/F Kgm/cm<sup>2</sup></b>	<b>K Kgm/cm<sup>2</sup></b>
1	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
2	0,524	0,419	1,02	0,96	1,84	1,842
3	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
4	0,524	0,471	1,02	0,99	0,91	0,909
5	0,524	0,471	1,02	0,99	0,91	0,909
6	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
7	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
8	0,524	0,489	1,02	1,00	0,60	0,603
9	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
10	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
11	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
12	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
13	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
14	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
15	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
16	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
17	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
18	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
19	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
20	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
21	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
22	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
23	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
24	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
25	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
26	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
27	0,524	0,349	1,02	0,91	3,12	3,121
28	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
29	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
30	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
31	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
32	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
33	0,524	0,436	1,02	0,97	1,53	1,529
34	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
35	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
36	0,524	0,401	1,02	0,95	2,16	2,159
37	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
38	0,524	0,384	1,02	0,94	2,48	2,477
					<b>K (MEDIO)</b>	<b>2,046</b>

**Tabla 2. DATOS PARA PROBETAS CONSTRUIDAS EN VARILLA DE HIERRO CORRUGADO DE 16 mm.**

ENSAYO	$\theta 1$ grados	$\theta 2$ grados	$\theta 1$ rad.	$\theta 2$ rad.
1	30	78	0,5236	1,3614
2	30	70	0,5236	1,2217
3	30	75	0,5236	1,3090
4	30	78	0,5236	1,3614
5	30	75	0,5236	1,3090
6	30	90	0,5236	1,5708
7	30	88	0,5236	1,5359
8	30	88	0,5236	1,5359
9	30	88	0,5236	1,5359
10	30	87	0,5236	1,5184

**Tabla 3. DATOS PARA PROBETAS CONSTRUIDAS EN HIERRO COMERCIAL CUADRADO DE 12.5 mm.**

ENSAYO	$\theta 1$ grados	$\theta 2$ grados	$\theta 1$ rad.	$\theta 2$ rad.
1	30	80	0,5236	1,396
2	30	81	0,5236	1,414
3	30	77	0,5236	1,344
4	30	80	0,5236	1,396
5	30	84	0,5236	1,466
6	30	81	0,5236	1,414
7	30	85	0,5236	1,484
8	30	80	0,5236	1,396
9	30	80	0,5236	1,396
10	30	81	0,5236	1,414
11	30	73	0,5236	1,274
12	30	85	0,5236	1,484
13	30	80	0,5236	1,396
14	30	80	0,5236	1,396
15	30	90	0,5236	1,571
16	30	80	0,5236	1,396
17	30	75	0,5236	1,309
18	30	88	0,5236	1,536
19	30	92	0,5236	1,606
20	30	88	0,5236	1,536

**Tabla 4. DATOS PARA PROBETAS CONSTRUIDAS EN VARILLA REDONDA DE ACERO DE TRANSMISION.**

<b>ENSAYO</b>	<b>θ1 grados</b>	<b>θ2 grados</b>	<b>θ1 rad.</b>	<b>θ2 rad.</b>
1	30	20	0,5236	0,349
2	30	19	0,5236	0,332
3	30	24	0,5236	0,419
4	30	15	0,5236	0,262
5	30	42	0,5236	0,733
6	30	17	0,5236	0,297
7	30	35	0,5236	0,611
8	30	5	0,5236	0,087
9	30	65	0,5236	1,134
10	30	65	0,5236	1,134

# **CAPITULO V**

## 5. RESULTADOS

Para calcular el coeficiente de impacto o módulo de resiliencia (tenacidad) del material, teóricamente se usa:

$$R = \frac{W(H-h)}{F} \quad \text{Kgm/cm}^2$$

Siendo:

R = Módulo de resiliencia o impacto. Kgm/cm<sup>2</sup>

W = Peso del Balancín. Kg.

WH = Energía de impacto, en Kg.m

Wh = Energía de salida, en Kg.m

W(H - h) = Energía absorbida por la probeta durante el impacto, en Kg.m

Sin embargo, en la presente investigación, para corregir los valores por efectos de la pérdida por fricción, se usará un valor de Módulo de Resiliencia R, definido por:

$$R = \frac{W(H-h)}{F} - K ; \text{Kgm/cm}^2$$

De esta manera el módulo de resiliencia o impacto representa la energía absorbida por la probeta durante el impacto relacionada con el área de la sección transversal de la probeta.

Con los datos obtenidos se calculan los correspondientes módulos de resiliencia para los diferentes ensayos realizados, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5 RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA PROBETAS  
CONSTRUIDAS EN VARILLAS DE HIERRO CORRUGADO DE 16 mm.**

<b>ENSAYO</b>	<b>θ1 rad.</b>	<b>θ2 rad.</b>	<b>H m</b>	<b>h m</b>	<b>W Kg.</b>	<b>W(H-h)/F Kgm/cm<sup>2</sup></b>	<b>K Kgm/cm<sup>2</sup></b>	<b>R Kgm/cm<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	0,524	1,361	1,022	0,540	29,000	13,985	2,046	<b>11,94</b>
<b>2</b>	0,524	1,222	1,022	0,448	30,000	17,208	2,046	<b>15,16</b>
<b>3</b>	0,524	1,309	1,022	0,505	31,000	16,024	2,046	<b>13,98</b>
<b>4</b>	0,524	1,361	1,022	0,540	32,000	15,431	2,046	<b>13,39</b>
<b>5</b>	0,524	1,309	1,022	0,505	33,000	17,058	2,046	<b>15,01</b>
<b>6</b>	0,524	1,571	1,022	0,681	34,000	11,580	2,046	<b>9,53</b>
<b>7</b>	0,524	1,536	1,022	0,657	35,000	12,753	2,046	<b>10,71</b>
<b>8</b>	0,524	1,536	1,022	0,657	36,000	13,117	2,046	<b>11,07</b>
<b>9</b>	0,524	1,536	1,022	0,657	37,000	13,482	2,046	<b>11,44</b>
<b>10</b>	0,524	1,518	1,022	0,646	38,000	14,298	2,046	<b>12,25</b>
<b>R(MEDIO)</b>								<b>12,45</b>

**Tabla 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA PROBETAS  
CONSTRUIDAS EN HIERRO COMERCIAL CUADRADO DE 12 mm.**

ENSAYO	$\theta_1$ rad.	$\theta_2$ rad.	H m	h m	W Kg.	$W(H-h)/F$ Kgm/cm <sup>2</sup>	K Kgm/cm <sup>2</sup>	R Kgm/cm <sup>2</sup>
1	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
2	0,5236	1,414	1,022	0,575	29,000	12,968	2,046	10,92
3	0,5236	1,344	1,022	0,528	29,000	14,321	2,046	12,28
4	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
5	0,5236	1,466	1,022	0,610	29,000	11,942	2,046	9,90
6	0,5236	1,414	1,022	0,575	29,000	12,968	2,046	10,92
7	0,5236	1,484	1,022	0,622	29,000	11,599	2,046	9,55
8	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
9	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
10	0,5236	1,414	1,022	0,575	29,000	12,968	2,046	10,92
11	0,5236	1,274	1,022	0,482	29,000	15,653	2,046	13,61
12	0,5236	1,484	1,022	0,622	29,000	11,599	2,046	9,55
13	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
14	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
15	0,5236	1,571	1,022	0,681	29,000	9,877	2,046	7,83
16	0,5236	1,396	1,022	0,563	29,000	13,308	2,046	11,26
17	0,5236	1,309	1,022	0,505	29,000	14,990	2,046	12,94
18	0,5236	1,536	1,022	0,657	29,000	10,567	2,046	8,52
19	0,5236	1,606	1,022	0,705	29,000	9,188	2,046	7,14
20	0,5236	1,536	1,022	0,657	29,000	10,567	2,046	8,52
<b>R(MEDIO)</b>								<b>10,57</b>

**Tabla 7. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA PROBETAS  
CONSTRUIDAS EN VARILLA REDONDA DE ACERO DE TRANSMISION.**

ENSAYO	$\theta_1$ rad.	$\theta_2$ rad.	H m	h m	W Kg.	$W(H-h)/F$ Kgm/cm <sup>2</sup>	K Kgm/cm <sup>2</sup>	R Kgm/cm <sup>2</sup>
1	0,5236	0,349	1,022	0,041	29,000	28,441	2,046	26,39
2	0,5236	0,332	1,022	0,037	29,000	28,556	2,046	26,51
3	0,5236	0,419	1,022	0,059	29,000	27,924	2,046	25,88
4	0,5236	0,262	1,022	0,023	29,000	28,959	2,046	26,91
5	0,5236	0,733	1,022	0,175	29,000	24,558	2,046	22,51
6	0,5236	0,297	1,022	0,030	29,000	28,769	2,046	26,72
7	0,5236	0,611	1,022	0,123	29,000	26,060	2,046	24,01
8	0,5236	0,087	1,022	0,003	29,000	29,557	2,046	27,51
9	0,5236	1,134	1,022	0,393	29,000	18,226	2,046	16,18
10	0,5236	1,134	1,022	0,393	29,000	18,226	2,046	16,18
<b>R(MEDIO)</b>								<b>23,88</b>

# **CAPITULO VI**

## 6. DISCUSION DE RESULTADOS

En los ensayos se puede observar lo siguiente:

- ◆ Todas las probetas ensayadas rompen bajo la acción impactante del balancín, esto se debe a que la energía entregada por el balancín (la cual está relacionada con el ángulo de descenso o caída del mismo) es suficiente para producir la ruptura del material. En los elementos teóricos desarrollados en el presente trabajo, se establece como hipótesis para diseñar la máquina, que la energía de impacto debe alcanzar valores del orden de 30 Kg.m o de 294 Joules, y para el ángulo de caída ensayado que es de 120 grados, la energía que se desarrolla es la máxima de 30 Kg.m.
  
- ◆ Los resultados de los ensayos permitieron observar que se presentaron algunos problemas de naturaleza técnica en la construcción de la máquina, así, las mordazas de sujeción de las probetas de ensayo ejercían una excesiva presión contra la probeta, absorbiendo una parte considerable de la energía de impacto e impidiendo la ruptura de las mismas, así como una salida libre de la probetas ya rotas por el ensayo. Para corregir esta situación se procedió a un limado de las partes terminales de las mordazas.

Realizado lo anterior, en los siguientes ensayos se aprecia lo siguiente:

- ◆ Se logra romper todas las probetas ensayadas, lo que significa que se alcanzó a entregar la suficiente cantidad de energía para producir la falla de las probetas.
  
- ◆ La salida de las probetas rotas se efectúa sin dificultad.
  
- ◆ El valor medio del módulo de resiliencia  $R_m$  para las probetas se obtiene de:

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_i$$

Para el caso de las probetas construidas a partir de varilla corrugada de hierro, este valor es de:

$$R_m = 12.45$$

La desviación estándar se calcula de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (R_i - R_{m1})^2}$$

Así el valor calculado es de:

$$\sigma = 1.88$$

Entonces el valor del módulo de resiliencia oscilará entre:

$$R_m = 12.45 \pm \sigma$$

$$R_m = 12.45 \pm 1.88$$

O, lo que es lo mismo:

$$R_m = 10.57 - 14.33 \text{ Kg./cm}^2$$

Para el caso de probetas construidas en hierro comercial cuadrado, los valores son:

$$R_m = 10.57;$$

$$\sigma = 1.65$$

Por consiguiente:

$$R_m = 8.92 - 12.22 \text{ Kg./cm}^2$$

Finalmente para las probetas construidas en acero de transmisión, los valores son:

$$R_m = 23.88;$$

$$\sigma = 4.32$$

Por consiguiente:

$$R_m = 19.56 - 28.20 \text{ Kg./cm}^2$$

De esta manera y de acuerdo con las Tabla No 5 y Tabla No. 6, el 90 % de los valores del módulo de resiliencia encontrados en los ensayos, caen dentro de la banda de dispersión. En la Tabla 7, el 80 % están dentro de la banda de dispersión.

- ◆ Los valores del módulo de resiliencia para las probetas construidas a partir de los diferentes materiales ensayados alcanzan valores medios de 12.45; 10.57; y 23.88 Kg/cm<sup>2</sup>, para hierro corrugado, hierro comercial cuadrado y acero de transmisión. Algunos de esos valores están fuera de los rangos establecidos en los ensayos de impacto para el acero, el cual oscila entre 2 y 12 Kg/cm<sup>2</sup>, según se expresó en el apartado 2.2.4 del presente documento. Esta situación se debe posiblemente a que la escala de valores antes expresada para el módulo de resiliencia, es para aceros, que se han ensayado en máquinas de impacto cuya característica principal de construcción, es sujetar las piezas o probetas a romperse, en posición de voladizo; es decir con apoyo en un solo extremo. En nuestro caso la máquina ensayada, permite que las probetas tengan apoyo en los dos extremos. No se ha logrado encontrar tablas que permitan una comparación entre los valores encontrados en el presente trabajo y los desarrollados por otros experimentadores.
  
- ◆ Los valores de resiliencia para las probetas construidas a partir de hierro comercial corrugado y hierro comercial cuadrado que están en el orden de 12.45 y 10.57 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se enmarca dentro del rango de valores para el módulo de resiliencia para los aceros, que se ha señalado anteriormente; esta situación se debe con gran seguridad a que estos tipos de materiales, tienen en su composición un porcentaje de carbono estimado en aproximadamente un 0.1 %. Este porcentaje de carbono, nos permite concluir que el hierro corrugado comercial y el hierro comercial cuadrado, podrían ser catalogados de como un aceros de muy bajo contenido de carbono.

- ◆ En el caso del acero de transmisión, catalogado como acero ASAAB 705, tiene un mayor porcentaje de carbono en su composición química, porcentaje que ocasiona que este material sea muy tenaz (es decir tenga un alto módulo de resiliencia), o dicho de otro modo, su fragilidad alcance valores muy pequeños, lo cual implica que se le deba adicionar una energía considerablemente más alta para que se produzca su ruptura por impacto.

# **CAPITULO VII**

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber concluido las prácticas experimentales con la máquina de ensayos de impacto, se pueden resumir las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- La máquina cumple con los propósitos para los cuales fue diseñada, es decir permite estimar el módulo de resiliencia para los diferentes materiales metálicos más usados en la construcción mecánica y electromecánica.
- Los costos de construcción son inferiores a máquinas similares que se venden en la industria.
- La máquina permitirá incrementar la infraestructura de los talleres del Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, de forma que los futuros estudiantes cuenten con mejor implementación para contrastar en forma práctica los preceptos estudiados en forma teórica.
- La carrera de tecnología en Mecánica Industrial provee a los estudiantes los conocimientos teóricos y prácticos suficientes para incursionar en el diseño y construcción de pequeña maquinaria.
- La máquina de ensayos de impacto funciona satisfactoriamente, sin embargo para ejecutar los correspondientes ensayos de impacto se deben tomar en consideración las siguientes recomendaciones:
  - Verificar que el eje del balancín este cuidadosamente lubricado para reducir los efectos de la fricción, los cuales pueden introducir errores en el módulo de resiliencia de los materiales ensayados.
- La máquina debe estar cuidadosamente alineada verticalmente, antes de proceder a cada ensayo.

- Se debe cuidar de que la probeta de ensayo cumpla con las dimensiones normalizadas para ensayos de impacto.
- Antes de cada ensayo se debe verificar que el baricentro del martillo de impacto deba golpear exactamente alineado con respecto a la entalladura normalizada de la probeta de ensayo.
- Se debe vigilar de que el seguidor del medidor de los ángulos de caída y ascenso del balancín esté perfectamente lubricado de manera que se reduzcan los efectos de la fricción. Además el seguidor debe tener el suficiente ajuste respecto al eje del balancín, de forma tal que permita una correcta apreciación de los ángulos antes mencionados.
- La máquina de ensayos de impacto es susceptible de ser mejorada, por tanto en posteriores construcciones o investigaciones se recomienda diseñar una máquina de menor peso, especialmente en lo referente al diseño del bastidor soportante, de igual forma la máquina debería estar anclada al piso o a una estructura que elimine el problema del alineamiento previo a cada ensayo.
- Es recomendable además que se mejore el diseño del medidor de ángulos, ya que en la máquina actual dicho sistema origina problemas al tomar las medidas de los ángulos que marca el balancín, unas veces por problemas de una clara visibilidad, y otras por un desajuste que le provoca la inercia del movimiento del balancín, luego de ejecutado un ensayo.
- Asimismo se recomienda, que en futuras investigaciones, se proceda a ensayar y medir los módulos de resiliencia o impacto de las diferentes fundiciones de hierro y acero y luego compararlas con tablas obtenidas a partir de ensayos realizados con máquinas de alta calidad constructiva, de esta forma se tendrá una idea más cabal acerca de la calidad y bondades de la máquina objeto de la presente tesis de grado.
- Por el momento y hasta que se cumpla en algún momento con lo propuesto en el apartado anterior, podemos concluir diciendo que la máquina construida nos permite

tener una idea bastante clara acerca de los ensayos destructivos de materiales y de sus módulos de resiliencia, de manera especial del ensayo de materiales mediante impacto Gy será de gran ayuda en el estudio de la Mecánica de los Sólidos.

# **CAPITULO VIII**

## **8. RESUMEN**

En el capítulo I del presente trabajo se hace una descripción general de las potencialidades de las máquinas para ensayo de impacto y la factibilidad de la construcción para su uso en el laboratorio correspondiente del Area de la Energía.

En el capítulo II se presente el marco teórico con énfasis en los diferentes materiales que se utilizan tradicionalmente en la industria metalmecánica, se describen sintéticamente algunos tipos de ensayos de materiales que permiten definir algunas propiedades mecánicas de los materiales y se desarrollan los conceptos de los diferentes tipos de esfuerzos a los que regularmente son sometidos lo elementos metalmecánicos.

En el capítulo III se desarrollan las ecuaciones y se realizan los cálculos correspondientes a los elementos constitutivos de la máquina de ensayos de impacto a ser construida, su dimensionamiento y diseño.

En el capítulo IV, se describe la metodología usada para realizar las pruebas experimentales con la máquina y se recogen los datos experimentales de los materiales ensayados.

En el capítulo V, se realizan los cálculos respectivos para determinar los valores de los módulos de resiliencia o tenacidad de los materiales ensayados.

En el capítulo VI, se presenta un análisis en torno a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales y se ensaya una explicación acerca de la calidad de dichos resultados.

En el capítulo VII, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la construcción y funcionamiento de la máquina de ensayos de impacto.

## 8.1. BIBLIOGRAFIA

- Tecnología de los Metales

A. Malishev

G. Nikolarev

Yu . Shuvalov

- Metalurgia Mecánica

Dieter

- Introducción a la Metalurgia Física

Sydney H. Avner

- Ensayo e Inspección de Materiales en Ingeniería.

Harmer E. Davis

George Earl Troxell

Clement T. Wiskocil

- Ensayo de Materiales

Aarón Helfgot

# **ANEXOS**