



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE
LA NORMA ASTM E 23”**

AUTOR: Jackson Wilfrido Buenaño Barreno

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Guamanquispe Toasa

AMBATO - ECUADOR

2012

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE LA NORMA ASTM E 23”, desarrollado por el estudiante Jackson Wilfrido Buenaño Barreno, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considerando que dicho informe investigativo, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del jurado examinador designado por el Ilustre Consejo Directivo.

Ambato, Diciembre del 2012

EL TUTOR

.....
Ing. Mg. Jorge Guamanquispe Toasa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios emitidos en la investigación “ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE LA NORMA ASTM E 23”, así como las ideas contenidas, análisis, conclusiones, propuesta original, son auténticas y de exclusiva responsabilidad de su autor.

Ambato, Diciembre del 2012

AUTOR

.....
Jackson Wilfrido Buenaño Barreno

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a y mis Padres por darme las fuerzas necesarias y así poder cumplir las metas que he deseado con esfuerzo y sacrificio sobre toda mi etapa de estudiante con el apoyo suficiente ya que nunca perdieron la confianza depositada en mí para cumplir mis metas, que hoy es de ser un profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por bendecirme, para llegar hasta donde he llegado, quiero agradecer a mi padre que está en algún lugar cerca de Dios y que ha estado conmigo todo el tiempo, a mi madre y a mis hermanos por confiar a mí.

ÍNDICE

PÁGINAS PRELIMINÁRES

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	vi
TABLAS	xii
FIGURAS	xiii
RESUMEN	xviii
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Tema:	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis crítico	2
1.2.3 Prognosis	3
1.2.4 Formulación del problema	4
1.2.5 Preguntas directrices	4
1.2.6 Delimitación del problema	4
1.2.6.1 De Contenido:	4

1.2.6.2 Delimitación Espacial:	4
1.2.6.3 Delimitación Temporal:.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 General.....	5
1.4.2 Específicos	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes investigativos	6
2.1.2 Fundamentación teórica	7
2.1.2.1 Prueba de Impacto Charpy.....	7
2.1.2.2 Efectos Fragilizantes	10
2.1.2.3 Velocidad de deformaciones	11
2.1.2.4 Estado Triaxial de Tensiones	12
2.1.2.5 Nomenclatura.....	12
2.1.2.6 Energía de Impacto	15
2.1.2.7 Escala Graduada de la Máquina Charpy	18
2.1.2.8 Procedimiento para calcular las pérdidas en el sistema	20
2.1.2.9 Métodos de Ensayo.....	20
2.1.2.10 Flexión por choque sobre barras simplemente apoyadas Método Charpy	21

2.1.2.11 Flexión por choque de barras empotradas (método Izod)	26
2.1.2.12 Condiciones de ensayo para flexión por choque	27
2.2 Fundamentación filosófica	33
2.3 Fundamentación legal	33
2.4 Red de categorías fundamentales	34
2.5 Hipótesis	34
2.6 Señalamiento de variables	34
2.6.1 Variable Independiente	34
2.6.2 Variable Dependiente	34
CAPÍTULO III	35
METODOLOGÍA	35
3.1 Modalidad básica de la investigación	35
3.2 Nivel o tipo de investigación	35
3.3 Población y muestra	36
3.4 Operacionalización de variables	1
3.4.1 Variable Dependiente: Estudio de Impacto	1
3.4.2. Variable Independiente: Propiedades mecánicas del acero	47
3.5 Plan de recolección de información	39
3.6 Plan de procesamiento de la información	39
3.6.1 Plan de análisis e interpretación de resultados	40
CAPÍTULO IV	41

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1 Determinación del tamaño de muestra	41
4.2 Condición de resistencia	42
4.3 Parámetros del Comportamiento mecánico del Acero AISI 8620 ...	45
4.4 Interpretación de datos.....	47
4.4.1 Datos de impacto.....	47
4.5 Análisis estadísticos de los ensayos	47
4.6 Verificación de la hipótesis	50
4.7 Determinación de la fractura frágil-dúctil	54
CAPÍTULO V	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1 Conclusiones.....	56
5.2 Recomendaciones.....	57
CAPÍTULO VI	58
PROPUESTA	58
6.1 Datos informativos.....	58
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	60
6.3 Justificación.....	61
6.4 Objetivos	62
6.4.1 Objetivo general.....	62
6.4.2 Objetivos específicos	62

6.5 Análisis de factibilidad	62
6.6 Fundamentación	63
6.6.1 Parámetros de diseño	63
6.6.2 Funcionamiento de la Máquina	65
6.6.3 Diseño y selección de los elementos	66
El centro de gravedad del péndulo es:	67
6.6.3.2 Cargas en el eje del péndulo	69
6.6.4 Levantamiento de cargas	82
6.7 Metodología, modelo operativo	82
6.7.1 Base del péndulo	82
6.7.2 Yunque	83
6.7.3 Probeta	84
6.7.3 Soportes o Parantes	84
6.7.4 Eje del péndulo	85
6.7.5 Chumacera	85
6.7.6 Apoyo del brazo del péndulo.....	86
6.7.7 Brazo del péndulo.....	86
6.7.8 Martillo	87
6.7.9 Placa de impacto	87
6.7.10 Protector de la escala	88
6.7.11 Escala de energía de impacto.....	88

6.7.12 Pluma indicadora	89
6.7.13 Vidrio	89
6.7.14 Maquinaria y equipo utilizado.....	90
6.8 Administración.....	91
6.8.1 Costos directos	91
6.9 Previsión de la evaluación.....	93
BIBLIOGRAFÍA:.....	95
ANEXOS	97
1. Anexo A.....	97
Formato.....	97
2. Anexo B.....	99
Probeta	99
3. Anexo C.....	100
Propiedades y análisis metalográfico del material.....	100
Análisis metalográfico del acero AISI 8620	101
4. Anexo D.....	106
Catálogos.....	106
Tablas y Gráficas	110
6. Anexo F.....	130
Fotos.....	130
7. Anexo Planos	133

TABLAS

Tabla 2-1 Dimensiones de la probeta	24
Tabla 2-2 Composición química del acero AISI 8620.....	32
Tabla 4-1 Valores del tamaño de la muestra.....	41
Tabla 4-2 Datos obtenidos de los grados vs la energía	44
Tabla 4-3 Ensayos realizados en la ESPOCH	46
Tabla 4-4 Datos obtenidos de los ensayos realizados del acero AISI 8620	47
Tabla 4-5 Resultados de ensayos realizados.....	48
Tabla 4-6 Regresión lineal Energía vs # probetas	49
Tabla 4-7 Energías absorbidas y esperadas.....	50
Tabla 4-8 Cálculo de valores obtenidos	51
Tabla 4-9 Resultados estadísticos	53
Tabla 6-1 Costos directos	91
Tabla 6-2 Costo de mano de obra	92
Tabla 6-3 Costos materiales consumibles	92
Tabla 6-4 Costos material para ensayo	93
Tabla 6-5 Costo total	93

TABLA ANEXOS

Tabla 3-1 Propiedades del Acero AISI 8620	100
Tabla 4-1 Pernos de expansión.....	106

Tabla 4-2 Designación de acuerdo con ANSI/AWS A3.0:2001	107
Tabla 4-3 Tipo de electrodo utilizado	108
Tabla 4-4 Selección de chumaceras	109
Tabla 5-1 Puntos de porcentaje de la distribución t-Student.....	110
Tabla 5-2 Certificación de ensayos realizados.....	125
Tabla 5-3 Propiedades de las secciones transversales	126
Tabla 5-4 Diagrama de fuerza cortante, vigas simplemente apoyada	127
Tabla 5-5 Factores a y b para determinar el factor de acabado	127
Tabla 5-6 Factor Kb.....	128
Tabla 5-7 Factor de temperatura	128
Tabla 5-8 Factor de confiabilidad.....	129
Tabla 5-9 Factor de sensibilidad a las muescas	129

FIGURAS

Figura 2-1 Efecto de temperatura sobre el esfuerzo de fluencia	12
Figura 2-2 Principio de Funcionamiento de Máquina Charpy	17
Figura 2-3 Centrado de la probeta sobre el yunque de ensayo.	22
Figura 2-4 Tipos de probetas para ensayo Charpy en aceros..	23
Figura 2-5 Rangos de Temperatura de Transición Dúctil-Frágil.	26
Figura 2-6 Probeta Estándar para Método Izod.	27
Figura 2-7 Plano de fractura a lo largo de los ejes principales.	28
Figura 2-8 Influencia del tipo de entalla sobre la energía de rotura.....	29

Figura 2-9 Efectos del carbono en cuanto a la variación de su porcentaje y temperatura.	30
Figura 2-10 Aceros con manganeso de acuerdo a su temperatura de transición del acero.	31
Figura 2-11 Variación de Energía–Temperatura con el tratamiento Térmico.	32
Figura 2-12 Operacionalización de variables	34
Figura 4-1 Gráfica de la Energía vs el Ángulo. (Fuente: El autor)	45
Figura 4-2 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.	46
Figura 4-3 Número de probetas vs Energía	48
Figura 4-4 Curva de probabilidad a dos colas.	52
Figura 4-5 Diagrama de transición dúctil-frágil.	54
Figura 4-6 Incidencia del porcentaje de carbono con la energía.	55
Figura 4-7 Inspección visual de la probeta.	55
Figura 4-8 Probeta ensayada. (Fuente: El autor)	55
Figura 6-1 Partes de la máquina Charpy.	60
Figura 6-2 Probeta Tipo A para ensayo Charpy de Aceros.	60
Figura 6-3 Relaciones especiales para una máquina Charpy	63
Figura 6-4 Posición de funcionamiento.	66
Figura 6-5 Forma de colocar la probeta.	66
Figura 6-6 Péndulo.	67
Figura 6-7 Posición horizontal del péndulo.	67

Figura 6-8 Disposición del péndulo.	68
Figura 6-9 Diagrama de fuerzas del péndulo.	68
Figura 6-10 Cargas en el péndulo al momento del impacto.	69
Figura 6-11 Dimensiones del martillo.	71
Figura 6-12 Disposición de la probeta en el yunque.	72
Figura 6-13 Diagrama del yunque.	72
Figura 6-14 Placa con la cual se impacta a la probeta súbitamente.	73
Figura 6-15 Eje del péndulo.	74
Figura 6-16 Acople entre el eje horizontal del péndulo.	76
Figura 6-17 Estructura.	79
Figura 6-18 Análisis del soporte del material....	79
Figura 6-19 Deformación de la estructura.	80
Figura 6-20 Momentos presentes en el plano x.	80
Figura 6-21 Momento en el plano z.	81
Figura 6-22 Momento en el eje del péndulo.	81
Figura 6-23 Levantamiento de cargas.....	82
Figura 6-24 Base de la Máquina Charpy.....	83
Figura 6-25 Soporte de probetas.	83
Figura 6-26 Probetas.	84
Figura 6-27 Parante.....	84
Figura 6-28 Eje del péndulo.....	85

Figura 6-29 Eje del péndulo.	85
Figura 6-30 Soporte del péndulo.....	86
Figura 6-31 Eje del péndulo.	86
Figura 6-32 Martillo.	87
Figura 6-33 Soporte del péndulo.	87
Figura 6-34 Tapa protectora de la escala.	88
Figura 6-35 Indicador de energía.	88
Figura 6-36 Vidrio protector.	89
Figura 6-37 Vidrio protector.	89
Figura 6-38 Máquina Charpy.	90

FIGURA ANEXOS

Formato 1-1 Toma de datos para Ensayos de Impacto Charpy	98
Figura 2-1 Probeta Tipo A para ensayo Charpy de Aceros.	99
Figura 3-1 Toma de muestra del acero 8620.....	101
Figura 3-2 Muestra del acero 8620 en la prensa hidráulica.....	101
Figura 3-3 Colocación de la bakelita en la prensa hidráulica	102
Figura 3-4 Medidor de presión	102
Figura 3-5 Enfriamiento de la probeta.....	102
Figura 3-6 Probeta lista para el lijado.....	103
Figura 3-7 Lijado de la probeta	103
Figura 3-8 Pulido con paño de la probeta con Alúmina	103

Figura 3-9 Ataque Químico con Nital 4	104
Figura 3-10 Secado de la probeta.....	104
Figura 3-11 Análisis en el microscopio.....	104
Figura 6-1 Máquina Charpy.....	130
Figura 6-2 Posición de la probeta en el yunque	130
Figura 6-3 Posicionamiento del martillo antes del ensayo	131
Figura 6-4 Probeta.....	131
Figura 6-5 Rotura de la probeta	132

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE LA
NORMA ASTM E 23”

Autor: **Jackson Wilfrido Buenaño Barreno**

Tutor: **Ing. Mg. Jorge Guamanquispe Toasa**

Fecha: Ambato, Diciembre del 2012

RESUMEN

El ensayo de impacto es de suma importancia, ya que nos brinda la información adecuada a cerca de la ductilidad y fragilidad del material a ensayar, para lograr un mejor diseño y construcción al utilizar este material, teniendo en cuenta ciertas propiedades del material al momento de ejecutar pruebas de impacto como la resiliencia, tenacidad y fragilidad.

Un objetivo primordial en el cual se basa es en la determinación del Coeficiente de Resiliencia (K), el mismo que se ha obtenido de diferentes ensayos, de forma que se establezca una relación entre otros valores teniendo un error del 2% al 10% que puede producir por varias causas como es las impurezas de las probetas y condiciones externas a los ensayos (ambiente y temperatura); y su comportamiento ante cargas de impacto cuya energía se transfiere a la probeta ensayada, esta energía es la cinética que se almacena cuando se sube el péndulo para poder provocar su fractura, y de acuerdo a cada muestra se obtuvieron los resultados.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema:

“ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE LA NORMA ASTM E-23”

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

Cuando un técnico proyecta una estructura metálica, diseña una herramienta o una máquina, define la calidad y prestaciones que tienen los materiales constituyentes. Como hay muchos tipos de aceros diferentes y además se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos mecánicos para verificar principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos que pueda estar sometido, al grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material.

Para el presente trabajo estructurado de manera independiente se ha previsto la necesidad de investigar acerca del ensayo de resiliencia, también llamado de impacto o choque. El péndulo Charpy es un dispositivo ideado por Georges Charpy, se utiliza en ensayos para determinar la tenacidad de un material los cuales fueron muy difundidos en los Estados Unidos y una de las empresas pioneras fue la SATEC System, la cual realiza ensayos de flexión por choque según los métodos de Charpy e Izod y tracción por choque, con dos posiciones del martillo

para alcances de 325,4 Joule (32,54 Kg-m) o bien 135,6 Joule (13,56 Kg-m), según los métodos.

En el Ecuador se sabe que estas máquinas o dispositivos no son muy difundidos en el medio debido a la falta de investigación en esta área, pocas son las entidades e instituciones que realizan ensayos de este tipo, las más meritorias en este campo son la ESPOL (Escuela Politécnica de Litoral), la EPN (Escuela Politécnica Nacional) y la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), debido al tiempo de vigencia de sus escuelas de Ingeniería Mecánica.

En Ambato no contamos con este tipo de instrumentos en la actualidad, debido a la falta de información respecto al tema e interés por parte de las empresas relacionadas o inmiscuidas en el área pero sobre todo a la falta de interés de los estudiantes de las carreras afines.

La influencia que ejercen algunos elementos es muy variada, y empleados en proporciones convenientes, se obtienen aceros con ciertas características, que en cambio no se pueden alcanzar con los aceros ordinarios al carbono.

Utilizando aceros aleados como el acero AISI 8620 es posible fabricar piezas de gran espesor, con resistencias muy elevadas en el interior de las mismas. En elementos de máquinas y motores se llegan a alcanzar grandes durezas con gran tenacidad. Es posible fabricar mecanismos que mantengan elevadas resistencias, aún a altas temperaturas.

1.2.2 Análisis crítico

El presente proyecto está orientado a facilitar la apertura de nuevas fuentes de investigación.

Además la implementación de este sistema incentivará a los estudiantes a elaborar prácticas y comprender de una mejor manera el funcionamiento y accionamiento de los mismos. Es decir se pretende elevar el interés de

los estudiantes en cuanto a la importancia de los implementos dentro del laboratorio de ensayos.

Para obtener un excelente producto final, la máquina será construida con elementos idóneos para la misma.

El Laboratorio de ensayos de la carrera de Ingeniería Mecánica se ve en la necesidad de implementar herramientas didácticas, útiles y prácticas para el enriquecimiento intelectual de los estudiantes de la carrera, ya que toda la investigación concerniente a este proyecto se lo realiza de una forma estrictamente analítica y el objetivo principal de esta implementación es el que los análisis también sean de una forma práctica.

Finalmente se pondrá de manifiesto ciertas consideraciones en cuanto a relaciones de trabajo y funcionamiento del sistema, orientadas a brindar una herramienta de trabajo útil para quienes la utilicen, contando también con un alto rango de efectividad en cuanto a los resultados obtenidos en dichos análisis.

1.2.3 Prognosis

De no llevarse a cabo el presente estudio, se desconocería el efecto de los análisis de ensayo Charpy y a su vez los factores subsecuentes a esto, lo que sería cuánta energía puede absorber un material al ser impactado, la proporción de una medida de la tenacidad del material e indirectamente de su ductilidad ya que en general existe una correlación entre ambas características.

Se verían afectadas industrias en las cuales se necesitaría llevar a cabo dichos ensayos, las cuales principalmente serían los materiales de prueba de edificios, para analizar como las tormentas los afectarán, materiales usados en la construcción de recipientes de presión y puentes.

De llevarse a cabo el presente estudio se debe construir el equipo de pruebas para ensayos Charpy, el cual nos permitirá realizar ensayos, el

mismo que será de uso en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.4 Formulación del problema

¿Se puede determinar el comportamiento mecánico del acero AISI 8620 mediante la norma ASTM E 23?

1.2.5 Preguntas directrices

- ¿En qué grado influirá el ángulo de inclinación en la determinación de la energía consumida durante el ensayo?
- ¿Se puede determinar los parámetros del comportamiento del acero AISI 8620?
- ¿Qué tan confiable será la información obtenida de los ensayos al ser comparados con los calculados?
- ¿Se puede determinar los comportamientos frágiles y dúctiles en la fractura de los metales, mediante observación visual?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 De Contenido:

El estudio sobre el acero AISI 8620, se determinó mediante la norma ASTM E-23, para lo cual se requirió del apoyo de materias tales como: resistencia de materiales y diseño.

1.2.6.2 Delimitación Espacial:

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi Chico.

1.2.6.3 Delimitación Temporal:

Se realizará entre los meses de Febrero 2012 a Diciembre del 2012.

1.3 Justificación

Este proyecto tiene la finalidad de brindar a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, poder realizar ensayos de impacto Charpy y así determinar las propiedades de los materiales, físicas y mecánicas.

El desarrollo de esta investigación fue justificado por muchos aspectos, uno de ellos fue el grado de importancia, ya que al finalizar el mismo se podrá disponer de gran información sobre el comportamiento de la fractura frágil-dúctil del acero AISI 8620, es decir se dispondrá de datos muy necesarios para el diseño.

Con este proyecto se logró desarrollar la investigación científica y tecnológica como un aporte en la solución de los problemas; ahora se puede producir bienes y prestar servicios, para contribuir al mejoramiento académico que permitirá a los docentes tener una herramienta de enseñanza muy factible, segura y fácil de manipular.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Determinar el comportamiento mecánico del acero AISI 8620 mediante normas ASTM E-23.

1.4.2 Específicos

- Determinar experimentalmente mediante ensayo Charpy los valores dados tales como la energía y el ángulo.
- Establecer parámetros de comportamiento del acero AISI 8620.
- Analizar estadísticamente los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio.
- Evaluar los datos obtenidos para establecer el comportamiento frágil, dúctil en la fractura del acero AISI 8620.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

Al mismo tiempo que se fueron realizando avances tecnológicos en todos los campos, en dichos avances no se tuvieron en cuenta algunas variables a la hora del diseño de maquinaria y herramientas que al fallar causaron algunas catástrofes, estas son algunas de ellas:

Un ejemplo muy famoso llevado al cine. Fue el del gran monstruo de la época, “Titanic”, barco que estaba compuesto por Acero que tenía muchas impurezas que no permitían una homogeneidad del compuesto, por lo que la resistencia a la fractura disminuirá; además que no se analizó el comportamiento del Acero en bajas temperaturas. Todo esto permitió que el Iceberg que golpeó al barco, afectara la estructura de este y permitiera su hundimiento¹.

Los barcos “Liberty” usados en la segunda Guerra Mundial tuvieron fallas que causaron muchas muertes durante la temporada invernal de 1942, ya que no se realizaron estudios del acero a bajas temperaturas, en donde éste se comportaba de manera más frágil, siendo propicio para la propagación de grietas que a su vez se presentaron por la mala unión de las partes que conformaban dichos barcos (soldadura)².

En 1986, se le asignan fallas de tenacidad a los anillos que permitían sellar las zonas seccionadas de los cohetes propulsores del trasbordador espacial Challenger, lo que permitió que hubiera una fuga de los gases

¹ <http://disastercity.com/titanic/index.shtml>

² Y.ORTEGA. REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 52 Prueba de Impacto: ensayo Charpy.

producidos por la combustión que a su vez incidieron en el tanque de combustible principal y que llevaron al trágico episodio de la explosión de este en 1985. Como sucedió en los ejemplos anteriores, se debió a que se analizaron estos anillos en condiciones normales de temperatura, y a la hora de su uso, fueron expuestos a temperaturas muy bajas³.

2.1.2 Fundamentación teórica

2.1.2.1 Prueba de Impacto Charpy

Cuando un técnico proyecta una estructura metálica, diseña una herramienta o una máquina, define la calidad y prestaciones que tienen los materiales constituyentes. Como hay muchos tipos de aceros diferentes, y además se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos mecánicos para verificar principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos que pueda estar sometido, el grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material⁴.

Hay dos tipos de ensayos, unos que son destructivos y otros no destructivos, dentro de los destructivos se tiene el ensayo Charpy que se describe a continuación:

La prueba de impacto Charpy, también conocida como prueba de V-Notch, esta estandarizada dentro de pruebas de alta tensión, de la cual se determina la cantidad de energía absorbida por un material durante la fractura. Esta energía absorbida es una medida del material, como la dureza para estudiar la transición frágil-dúctil, la misma que depende de la temperatura.

³ <http://www.virtualschool.edu/mon/SocialConstruction/FeynmanChallengerRpt.html>

⁴ Ballesteros, M. N. (2005). *Tecnología de Proceso y Transformación de Materiales* (tercera ed.). Barcelona: UPC.

Se aplica extensamente en la industria puesto que es fácil preparar y manejar y los resultados, se pueden obtener de forma rápida y económica.

Pero una desventaja importante es que todos los resultados son solamente comparativos. La prueba fue desarrollada en 1905 por un científico francés, donde era necesario entender los problemas de la fractura de naves durante la segunda guerra mundial. Se lo utiliza hoy en muchas industrias para los materiales de pruebas de edificios en especial para tener una visión clara de la destrucción de los edificios durante las tormentas, es usado en la construcción de los recipientes de presión, puentes y otros.

Esta prueba consiste en impactar una probeta estándar mediante un péndulo que se deja caer desde cierta altura. La prueba de impacto se realiza a diferentes temperaturas de acuerdo a lo exigido por los estándares o como se lo requiera realizar. El resultado se mide en Joules o en Libra-Pie.

Si bien los ensayos estáticos de tracción permiten conocer la capacidad de resistencia y deformabilidad de un metal cuando se lo somete a un esfuerzo progresivo, aplicado lentamente estas propiedades pueden variar según la naturaleza de las cargas y condiciones de trabajo a la que se halle sometida.

Es por ello, que en muchos casos se deben considerar los factores que inciden en la destrucción de la pieza de acuerdo al empleo práctico del mecanismo o estructura a la que pertenece; ya veremos por ejemplo, que si el metal soporta tensiones dinámicas sucesivas (fatiga) o estáticas a elevadas temperaturas, la fractura se origina al disminuir su resistencia, en cambio en elementos sometidos a efectos exteriores instantáneos o variaciones bruscas de las cargas, su falla se produce generalmente al no aceptar deformaciones plásticas o por fragilidad, aún en aquellos metales

considerados como dúctiles. En estos casos, es conveniente analizar el comportamiento del material en experiencias de choque o impacto.

Siendo las sollicitaciones de choque o impacto de aplicación prácticamente instantánea, las ondas de tensión generadas pueden no propagarse, provocando la rotura por deformaciones localizadas. Por lo expuesto, las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a efectos dinámicos de choque se ven sensiblemente modificadas, aunque los mecanismos de deformación plástica presumiblemente no varían con el modo de aplicación de la carga.

Estos hechos nos dicen que, si bien el ensayo de tracción estático nos da valores correctos de la ductilidad de un metal, no resulta preciso para determinar su grado de tenacidad o fragilidad en condiciones variables de trabajo. Es por lo mismo que al calcular la Capacidad de Trabajo de Deformación, partiendo de un diagrama de tracción, aclaramos que su magnitud sólo es una medida comparativa y aproximada de la tenacidad y módulo de resiliencia del metal.

Los ensayos de choque determinan la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para producir la fractura de la probeta de un solo impacto. Este nuevo concepto tampoco nos ofrece una propiedad definida del material, sino que constituye un índice comparativo de su plasticidad, con respecto a las obtenidas en otros ensayos realizados en idénticas condiciones, dado que no admite otra condición de comparación o semejanza. Por lo tanto, deben tenerse muy en cuenta los distintos factores que producen el efecto fragilizante⁵.

Otra aplicación del ensayo dinámico de choque es la de comprobar los distintos grados de revenido que pueden alcanzarse en los aceros, como también verificar el correcto recocido o forjado de los mismos, lo que muchas veces no es posible deducir de ensayos estáticos, pues dan

⁵ F. R. Morral, E. J. (1985). *Metalurgia General* (Vol. II). Barcelona: Reverté, S.A.

valores similares hasta para aquellos mal tratados. En estos casos el tratamiento defectuoso se pone de manifiesto en las pruebas de impacto sobre probetas entalladas, al obtener valores muy inferiores de su resiliencia.

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

2.1.2.2 Efectos Fragilizantes

La falla por fragilidad resulta, ocasionada por diversos factores que, actuando juntos o separadamente, modifican las características mecánicas de los metales. De los muy variados estudios realizados pudo comprobarse que tres son las causales más importantes de aquellas variaciones: la variación en la velocidad de la deformación producida por la rapidez en la aplicación de la carga, la aparición de estados complejos de tensiones generados por el "efecto de forma", y las bajas temperaturas que disminuyen la tenacidad de los metales⁶.

Sabemos que las entallas generan picos de tensión, el estado crítico no se alcanza de manera uniforme en la sección de impacto, produciendo fisuras que pueden propagarse rápidamente en toda la sección.

Teniendo en cuenta que los mecanismos de deformación se desarrollan en el tiempo, es evidente que una variación brusca de la carga aplicada puede demorar el inicio de la deformación plástica y, aún más, limitarla a valores inferiores a los observados en sollicitaciones estáticas.

⁶ Ballesteros, M. N. (2005). *Tecnología de Proceso y Transformación de Materiales* (tercera ed.). Barcelona: UPC.

Por último, como experimentalmente comprobamos que los valores de trabajo o energía necesaria para producir la rotura varían con la temperatura, es necesario fijar lo que llamaremos temperatura de transición, es decir, aquella en la cual el material cambia su capacidad de deformación (dúctil a frágil).

2.1.2.3 Velocidad de deformaciones

Las cargas descritas, de variación brusca no podrán ser analizadas de la misma manera que en los ensayos estáticos, sino como ondas de tensión que al propagarse en el volumen de la probeta, generan deformaciones por los mismos mecanismos que en sollicitaciones estáticas, pero su propagación y acumulación serán función de la velocidad de variación de la amplitud de tensión⁷.

Existe una velocidad de transición en el comportamiento de los metales (velocidad crítica de rotura), superada la cual la rotura se produce por deformaciones localizadas próximas a la zona de impacto y para deformaciones totales considerablemente inferiores a las de velocidades menores que la crítica (efecto fragilizante).

A temperatura ambiente el efecto de la velocidad de deformación es casi despreciable que indica que la curva de fluencia es una buena representación del comportamiento del material.

A medida que aumenta la temperatura, la velocidad de deformación juega un papel más importante en la determinación del esfuerzo de fluencia, como se indica por las pendientes más grandes de las relaciones deformación-velocidad.

Podemos observar que en trabajo en frío la velocidad de deformación puede tener un efecto mínimo sobre el esfuerzo de fluencia. En el trabajo en caliente el efecto puede ser significativo.

⁷ Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas* (Primera ed.). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.

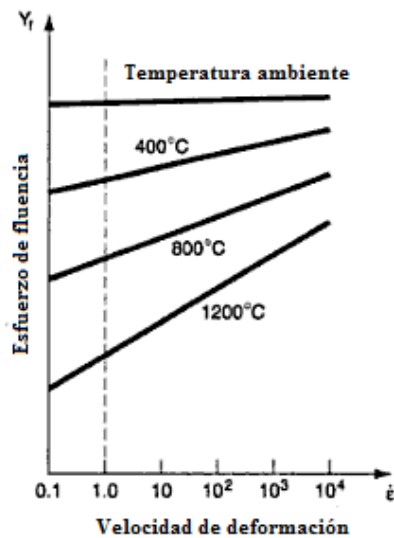


Figura 2-1 Efecto de temperatura sobre el esfuerzo de fluencia (Fuente: Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas* (Primera ed.). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.)

2.1.2.4 Estado Triaxial de Tensiones

Si son las tensiones normales las responsables de la propagación de las micro grietas de deformación, un aumento relativo de las tensiones principales de tracción, con respecto a la tensión tangencial máxima, aumenta la probabilidad de ocurrencia de las roturas por arrancamiento, como ocurre en los estados biaxiales y triaxiales de tensiones. El efecto de la entalla sobre las tensiones es la redistribución de las mismas alrededor de la entalla con la creación del campo multitensional alrededor de ella.

Un estado de tensión como el descrito, de tensiones principales positivas, se logra en la práctica entallando la probeta a ensayar⁸.

2.1.2.5 Nomenclatura

W = Peso del péndulo [kg]

⁸ Carlos Ferrer Giménez, V. A. (2003). *Tecnología de Materiales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

H = Altura de caída [m]

H' = Altura de elevación del centro de gravedad [m]

θ = Ángulo de caída [grados]

β = Ángulo de elevación [grados]

R = Distancia del centro de gravedad del péndulo respecto al eje de rotación [m]

E_0 = Energía inicial [kg-m]

E_d = Energía después de la rotura [kg-m]

E_f = Energía para fracturar la probeta [kg-m]

H_1 = Altura de caída y de elevación [m]

V_1 = Velocidad [m/seg]

g = Constante de gravedad [m/seg²]

m = Masa del péndulo [kg]

H = Altura de caída del péndulo [m]

W = Peso de la masa que va a golpear la probeta [kg]

L = Longitud de la probeta [mm]

E = Coeficiente de elasticidad del material

I = Momento de inercia de la sección de la probeta [m⁴]

F_d = Fuerza dinámica de impacto [N]

σ = Esfuerzo normal [kg/m²]

M_f = Momento flector máximo

Z = Módulo de la sección rectangular de la probeta [m^3]

S_y = Límite de fluencia [kg/m^2]

η = Factor de seguridad

Z_h = Módulo de sección circular hueca

S_y = Resistencia de fluencia del material [kg/m^2]

M_{max} = Momento máximo en el brazo del péndulo [$N\cdot m$]

F_p = Fuerza de impacto [N]

W_p = Peso total del péndulo [kg]

W_b = Peso del brazo del péndulo [kg]

W_m = Peso del martillo [kg]

L = Longitud total de la barra [m]

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo [N/m^2]

M_o = Momento de flexión [$N\cdot m$]

c = Distancia del eje neutro a la superficie más alejada [m]

τ_{maxd} = Esfuerzo cortante dinámico [N/m^2]

HB = Dureza Brinell

S_{ut} = Resistencia a la tensión

D = Diámetro del eje [m]

K_a = Factor de superficie

K_b = Factor de tamaño

K_c = Factor de confiabilidad

K_d = Factor de temperatura [$^{\circ}C$]

K_e = Factor de concentración de tensiones

K_f = Factor de efectos diversos

S'_e = Limite de resistencia a la fatiga

S_{ut} = Resistencia la tensión del material

F = Carga transversal [N]

P_o = Carga estática equivalente [N]

F_r = Carga radial [N]

F_a = Carga axial [N]

Y_o = Factor de carga axial del rodamiento

C_o = Capacidad de carga estática [N]

S_o = Factor de seguridad estático

2.1.2.6 Energía de Impacto

Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada, realizándose la mayoría de los casos, de dos maneras distintas según que la probeta rompa por flexionamiento (flexión por choque) o que su rotura se alcance por deformación longitudinal (tracción por choque). Para lo cual relazáremos el estudio de flexión por choque el mismo que se lo detalla más adelante.

Los valores obtenidos en este ensayo son únicamente comparables, en materiales con propiedades similares ya sean siempre dúctiles o frágiles,

cuando se realizan sobre el mismo tipo de probeta y en idénticas condiciones de ensayo⁹.

La máquina de ensayo determinará el trabajo absorbido por el material cuando éste es roto de un solo golpe por la masa pendular y su valor en kg-m o Joule, o relacionándolo con la sección o volumen de la probeta, según el método nos indicará la resistencia al choque o capacidad del material para absorber cargas dinámicas de impacto (resiliencia)¹⁰.

El principio de funcionamiento de las máquinas utilizadas es el que ilustra esquemáticamente la figura 2-2, en donde una masa o peso G asegurada a una barra que puede girar libremente sobre un eje O, es elevada a una altura h1, desde su posición vertical de reposo, la que también es posible indicar por el ángulo β .

Si en estas condiciones se la deja caer y en el punto P, ubicado sobre la vertical del desplazamiento del péndulo se coloca una barra de un material determinado, la masa al chocar con ella producirá su rotura, si la energía que posee el péndulo es mayor que la necesaria para alcanzarla, en cuyo caso continuará su trayectoria elevándose hasta una altura h2 indicada también por el ángulo θ ¹¹.

El valor numérico esta dado en kilogramos - metros o en Joule, del trabajo gastado para producir la rotura queda indicado sobre una escala convenientemente graduada que tiene la máquina, o bien resulta de la fórmula que se indicara más adelante, en donde los valores de los ángulos se miden sobre un cuadrante que se encuentra en la parte superior de la misma.

⁹ Ballesteros, M. N. (2005). *Tecnología de Proceso y Transformación de Materiales* (tercera ed.). Barcelona: UPC.

¹⁰ Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: Pearson Educación

¹¹ Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: Pearson Educación.

El trabajo empleado entonces en romper la barra será la diferencia entre la energía inicial del péndulo y la que posee al final de su carrera.

El trabajo o energía registrada será considerada aceptable cuando las pérdidas por fricción entre las partes metálicas de la máquina, para la marcha en vacío sean inferiores al 0,4 % de la energía máxima¹².

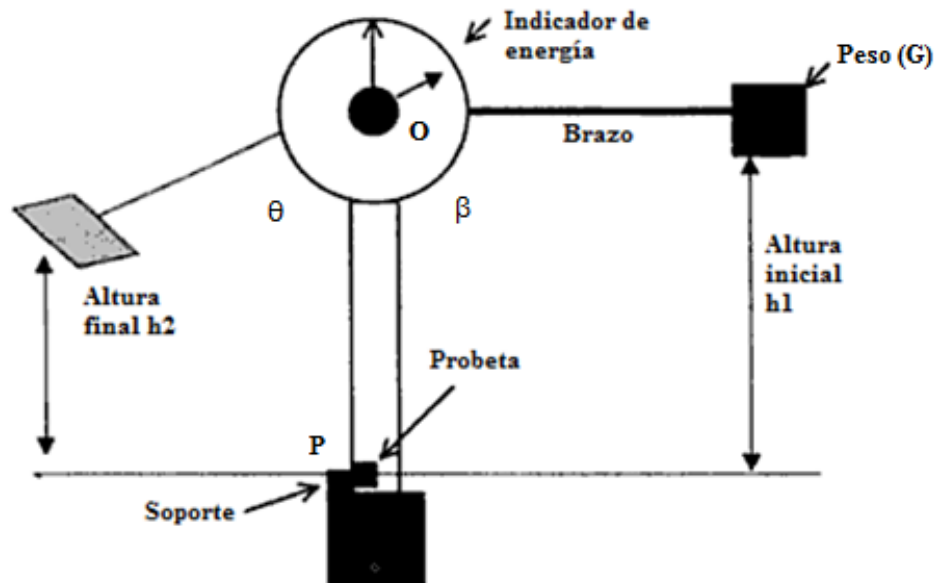


Figura 2-2 Principio de Funcionamiento de Máquina Charpy (Fuente: González, J. L. (2003). *Metalurgia Mecánica* (segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.)

Donde:

G = Peso del péndulo [kg].

O = Eje del centro del pendulo.

β = Ángulo inicial de partida [°].

θ = Ángulo luego del impacto [°].

¹² Norma ASTM E-23, 2001

2.1.2.7 Escala Graduada de la Máquina Charpy¹³

En la escala graduada de la máquina, se denota la fuerza de ruptura que sufren las probetas al momento del impacto, para llegar a esta conclusión, tenemos que:

W = Peso del péndulo => 34 [kg]

H = Altura de caída => 1.03 [m]

H' = Altura de elevación del centro de gravedad [m]

θ = Angulo de caída => 111°

β = Angulo de elevación [°]

R = Distancia del centro de gravedad del péndulo respecto al eje de rotación =>0.731[m]

E_o = Energía inicial [kg-m]

E_d = Energía después de la rotura [kg-m]

E_f = Energía para fracturar la probeta [kg]

e_p = Energía usada para romper la probeta [kg-m]

w_p =Peso de la probeta => 0.065 [kg]

En donde:

Energía inicial del péndulo es:

$$E_o = W \times H \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Si se sabe que la altura de caída es:

$$H = R(1 - \cos \theta) \quad \text{Ecuación 2-2}$$

¹³ Norma ASTM E-23, 2001

Entonces:

$$E_p = W \times R(1 - \cos \theta) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

La altura luego del impacto es:

$$H = R(1 - \cos \beta) \quad \text{Ecuación 2-4}$$

La energía luego del impacto es:

$$E_d = W \times H$$

$$E_d = W \times R(1 - \cos \beta) \quad \text{Ecuación 2-5}$$

La energía de fractura es:

$$E_f = W(H_2 - H_1)$$

$$E_f = W \times R(\cos \beta - \cos \theta) - \text{Pérdidas} \quad \text{Ecuación 2-6}$$

La fuerza de recuperación del péndulo es:

$$F = k * x$$

$$F = - W * \text{sen} \beta \quad \text{Ecuación 2-7}$$

La distancia del arco recorrido por el péndulo es:

$$S = \theta * R$$

Se asume que la probeta rota, deje el yunque a la velocidad del péndulo oscilante su magnitud se calcula con la siguiente fórmula:

$$e_p = w_p * R (1 - \cos \beta)$$

2.1.2.8 Procedimiento para calcular las pérdidas en el sistema

Sin colocar ninguna probeta sobre el yunque y con el indicador en cero se libera el péndulo de la manera normal regístrese la lectura del indicador resultante $\beta = 111^\circ$.

Se calcula la energía en el ángulo inicial de $\beta = 111^\circ$

$$E_{d1} = W * R (1 - \cos \beta)$$

$$E_{d1} = 34 * 0.75(1 - \cos 111^\circ)$$

$$E_{d1} = 34.64 \text{ kg} - \text{m}$$

Luego se calcula la energía con el ángulo final $\theta = 110^\circ$

$$E_{d2} = W * R (1 - \cos \theta)$$

$$E_{d2} = 34 * 0.75 (1 - \cos 110^\circ)$$

$$E_{d2} = 34.22 \text{ kg} - \text{m}$$

Pérdida de energía inicial será:

$$P_{\text{inicial}} = E_{d1} - E_{d2}$$

$$P_{\text{inicial}} = 34.64 - 34.22$$

$$P_{\text{inicial}} = 0.42 \text{ kg} - \text{m}$$

2.1.2.9 Métodos de Ensayo

El ensayo consiste en aplicar rápidamente un golpe a una probeta con entalladura, con una masa en movimiento, con la suficiente energía cinética para romper o deformar la barra: los resultados se expresan convenientemente en función de la energía absorbida por unidad de área de la sección transversal, que se mide por la pérdida de energía cinética de la

masa en movimiento, pero no es un ensayo del comportamiento al choque¹⁴.

Para el estado de tensión creado por la sollicitación dinámica de choque, la velocidad de aplicación de carga estandarizada es superior a la crítica de rotura, por lo que la deformación será localizada con epicentro en la entalla.

Dada la gran dificultad que existe en la evaluación del volumen deformado, es que el trabajo total de deformación no se define como la energía por unidad de volumen como lo hacíamos en tracción estática "Capacidad de Trabajo de Deformación", sino por la energía requerida para provocar la rotura por unidad de área de la sección transversal entallada o resiliencia, o directamente por la energía absorbida.

Las deformaciones en la entalla son entonces suficientes para causar la rotura total del material en la raíz y por tanto se desarrolla una grieta a partir de la entalla. Así, el material mostrará un cierto grado de sensibilidad a las entallas dependiendo de la profundidad de la entalla y del ancho de la muestra¹⁵.

2.1.2.10 Flexión por choque sobre barras simplemente apoyadas Método Charpy

Con la finalidad de que el material esté actuando en las más severas condiciones, el método Charpy utiliza probetas entalladas (estado triaxial de tensiones). La velocidad de impacto (velocidad tangencial) del péndulo es en el centro de la huelga no podrá ser inferior a 3 ni superado a 6 m/seg¹⁶.

Las probetas se colocan como muestra la figura 2.3, simplemente apoyadas sobre el yunque de la máquina de manera tal que la entalladura

¹⁴ F. R. Morral, E. J. (1985). *Metalurgia General* (Vol. II). Barcelona: Reverté, S.A.

¹⁵ Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Reverte S.A.

¹⁶ (Norma ASTM E-23. (2001)).

se encuentra del lado opuesto al que va a recibir el impacto. En la misma se puede observar la correcta posición del material como así también la forma y dimensiones de los apoyos.

La elección del tipo de probeta depende del material a ensayar, adoptándose para cada caso la que dé resultados más satisfactorios; en general se emplean las de entalladuras más profundas y de menor ancho para los metales más dúctiles. Las muescas serán bien lisas, pero su pulido se ha demostrado que pueden ser innecesarios.

Sin embargo, dado que las variaciones de dimensiones de primera clase tendrán graves repercusiones en los resultados de las pruebas, las tolerancias dadas se muestran en la siguiente figura 2-4. Que indica los efectos de las dimensiones de primera variable en muestras de tipo A.

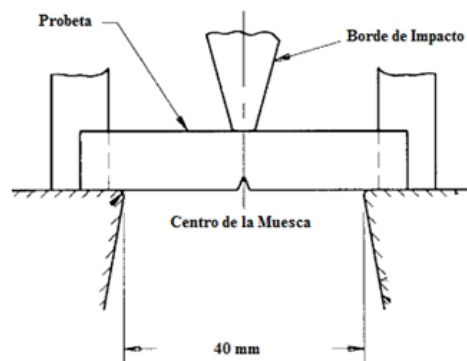


Figura 2-3 Centrado de la probeta sobre el yunque de ensayo. (Fuente: Norma ASTM E-23, (2001))

En las muestras de ojo de la cerradura, el agujero redondo deberá ser cuidadosamente perforado con una velocidad de avance lento. La ranura puede ser corte por cualquier método posible, pero se debe tener cuidado en el corte de la ranura para asegurarse de que la superficie del agujero este frente a la ranura no esté dañado.

Respecto al "filo" o extremo de la masa pendular, la norma ASTM E-23 indica que debe presentar un ancho de aproximadamente 4 mm, redondeado con un radio de 2.5 mm.

a) Probetas

En la Norma ASTM E-23, la probeta es una barra de unos 55 mm de largo y de sección cuadrada de 10 mm de lado, y se apoya horizontalmente por sus extremos.

Sin la entalladura, la probeta simplemente se doblaría sin poderse apreciar la energía necesaria para la rotura¹⁷.

La muesca constituye un concentrador o intensificador de esfuerzos e introduce un estado triaxial de esfuerzos en su base, de tal forma que el esfuerzo aplicado a la probeta se intensifica en la raíz de la muestra.

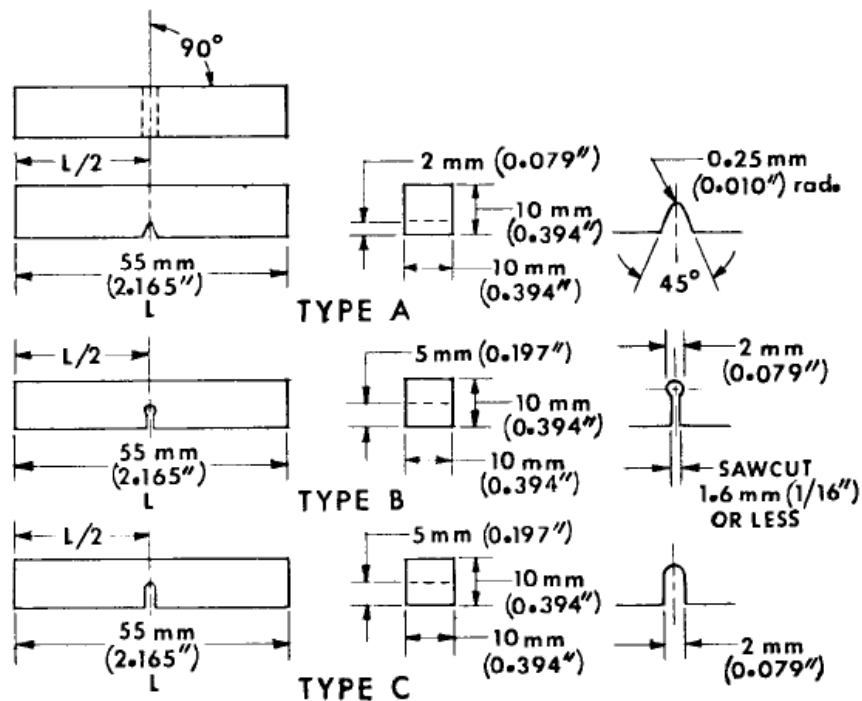


Figura 2-4 Tipos de probetas para ensayo Charpy en aceros. (Fuente: Normas ASTM E-23, (2001))

La probeta tiene una muesca en forma de V tipo A, maquinada a la mitad de su longitud, la cual tiene 2 mm de profundidad y 0,25 mm de radio.

¹⁷ F. R. Morral, E. J. (1985). *Metalurgia General* (Vol. II). Barcelona: Reverté, S.A.

Dicha ranura tiene el objeto de que la probeta se rompa de un solo impacto. Además la ranura garantiza el rompimiento de la probeta por una sección controlada. Las muescas serán bien lisas, pero su pulido se ha demostrado que pueden ser innecesarios.

Por otra parte, la fractura comienza en los sitios donde la concentración de tensiones es mayor. Es por ello que las muescas presentes en un material conllevan un aumento en la fragilidad.

La ranura puede ser corte por cualquier método posible, pero se debe tener cuidado en el corte de la ranura para asegurarse de que la superficie de la ranura no esté dañado¹⁸.

Tabla 2-1 Dimensiones de la probeta

DESIGNACIÓN	DIMENSIÓN NOMINAL	TOLERANCIA DE MAQUINADO
Longitud	55mm	± 0.075mm
Espesor	10mm	± 0.11mm
Ancho	10mm	± 0.11mm
Ángulo de la ranura	45°	± 1°
Profundidad de la ranura	2mm	± 0.08mm
Radio de curvatura en el fondo de la ranura	0.25mm	± 0.025mm
Distancia del centro de la ranura a los extremos de la probeta	27.5mm	± 0.42mm

Fuente: Normas ASTM E-23, (2001)

¹⁸ Norma ASTM E-23, (2001)

b) Superficie de Rotura

Las fracturas por flexión por choque se originan por acción de las tensiones normales máximas en el plano de la entalla, variando desde la completamente frágil cristalina brillante u opaca, hasta la completamente dúctil por deslizamiento o fibrosa.

Las deformaciones en la entalla son entonces suficientes para causar la rotura total del material en la raíz y por tanto se desarrolla una grieta a partir de la entalla. Así el material mostrará un cierto grado de sensibilidad a las entallas dependiendo de la profundidad de la entalla y del ancho de la muestra¹⁹.

c) Temperatura de Transición

Una de las funciones primarias de los ensayos de Charpy e Izod es determinar si el material experimenta una transición dúctil-frágil al disminuir la temperatura, y si es así en que intervalo de temperaturas ocurre. La transición dúctil-frágil está relacionada con la dependencia de la temperatura de la energía absorbida en el impacto. Para un acero, esta transición está representada en la figura 2.5 por la curva A.

A temperaturas altas, la energía es relativamente grande, lo cual está correlacionado con un modo de fractura dúctil.²⁰

¹⁹ González, J. L. (2003). *Metalurgia Mecánica*(segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.

²⁰ William D. Callister, J. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol. I). Barcelona, España: Reverté, S.A.

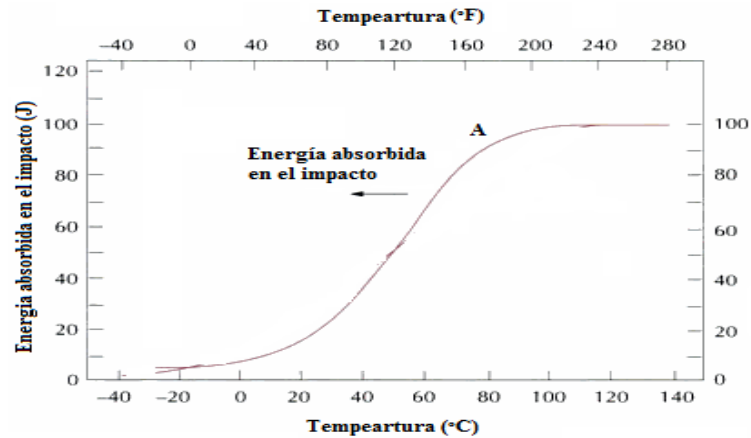


Figura 2-5 Rangos de Temperatura de Transición Dúctil-Frágil. (Fuente: William D. Callister, J. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol. I). Barcelona, España: Reverté, S.A.)

A medida que la temperatura disminuye, la energía de impacto disminuye rápidamente en un intervalo relativamente estrecho de temperaturas, por debajo del cual la energía tiene un valor constante pero pequeño; esto es el modo de fractura es frágil.

2.1.2.11 Flexión por choque de barras empotradas (método Izod)

En el método Izod, la probeta se coloca en voladizo y en posición vertical, siendo asegurada por la mesa de apoyo de modo tal que la entalladura quede en el plano de las mordazas; en estas condiciones el extremo del martillo golpea al material a 22 mm de las mismas, como indica la figura 2-6, pudiendo realizarse más de un ensayo sobre la misma probeta.²¹

En el ensayo Izod, la probeta es de 7,5 cm de longitud y de entalladura en forma de V a 45°, se diferencia del ensayo Charpy de la forma de la muesca y la manera de sujetarla, y golpearla.

²¹ Norma ASTM E -23 (2001)

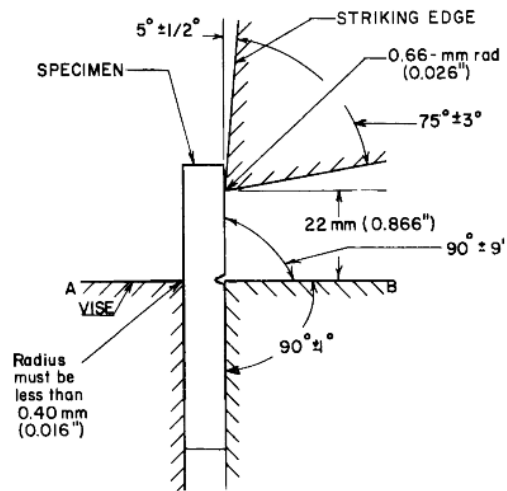


Figura 2-6 Probeta Estándar para Método Izod. (Fuente: Tomado de la Norma ASTM E -23, (2001)).

El espécimen se sujeta en una mordaza especial con las especificaciones de la norma ASTM D-256, con la muesca alineada con la orilla superior de la mordaza.

2.1.2.12 Condiciones de ensayo para flexión por choque

Para que los resultados sean coherentes y reproducibles, las probetas de flexión por choque deben prepararse con precisión esmerada. Extremadamente crítico es el perfil de la entalla, en especial el radio de la raíz de las entallas en V, ya que en el ensayo lo que se mide es la energía necesaria tanto para iniciar como para propagar una fractura²².

El cuidado adicional hay que poner en juego al aplicar los resultados de los ensayos de choque a los proyectos. Efectivamente, tales ensayos indican únicamente la resistencia al choque de materiales provistos de una entalla normalizada y las variaciones de esta, o leves cambios respecto a la configuración geométrica normalizada, pueden suponer alteraciones importantes de los resultados como se muestra en siguiente figura 2-7.

²² E.Paul DeGarmo, J. T. (2002). *Materiales y Procesos de Fabricación* (Segunda ed., Vol. 1). Barcelona: Reverté S.A.

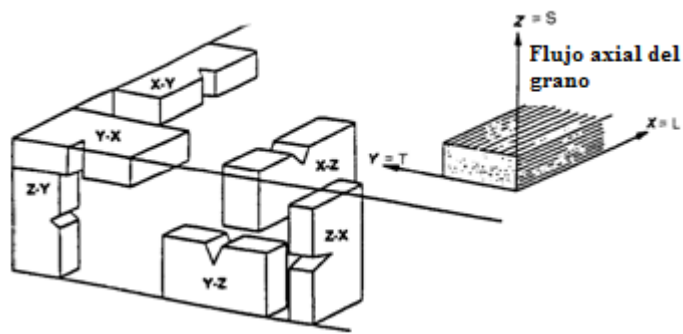


Figura 2-7 Plano de fractura a lo largo de los ejes principales. (Fuente: Tomado de la Normas ASTM-E23, (2001)).

Las entalladuras tienen gran influencia en los resultados del ensayo, especialmente por el radio de la curva de enlace, por lo que las mismas deben realizarse con gran exactitud mediante el empleo de mechas, presas o amoladoras, presentando sus caras sin ralladuras ni marcas y perfectamente paralelas según el tipo de probeta.

Definida la temperatura de transición en términos de la energía absorbida, el cambio de entalla provoca una variación de importancia no solo en la forma de la transición sino también en el valor de temperatura en la que se produce. Es de resaltar la gran dispersión obtenida para la probeta tipo B en el entorno de la transición dúctil-frágil, área rayada de la figura 2-8²³.

La velocidad de impacto modifica los valores de la energía de rotura: el aumento de la velocidad en la aplicación de la carga producirá un aumento en el valor del límite de fluencia, pero disminuirá ligeramente la ductilidad del material; de la misma manera, en los ensayos de choque el aumento de la velocidad de impacto produce un aumento en su fragilidad o en otras palabras una disminución en la energía de rotura.

²³ Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

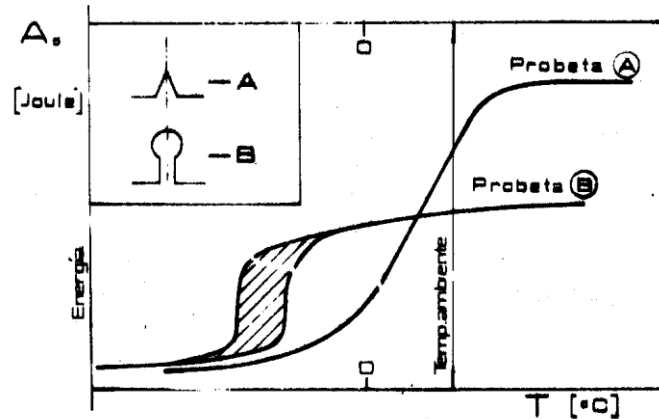


Figura 2-8 Influencia del tipo de entalla sobre la energía de rotura. (Fuente: Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

Se verificará la correcta posición del péndulo y de la probeta teniendo presente que cuando el mismo se encuentra suspendido, el extremo redondeado del martillo Charpy o el borde del Izod deberán tocar levemente el material a ensayar.

a) Efecto del Carbono y Agregados

Un aumento en el porcentaje de carbono, o lo que es lo mismo un incremento de la estructura perlítica, provoca una disminución de la tenacidad del material, que se manifiesta en los ensayos de flexión por choque como una disminución de la energía de rotura a temperatura ambiente (de aproximadamente 300 a 15 Joule) y un aumento en la temperatura de transición de aproximadamente - 70 a + 1000 C, para una variación del porcentaje de carbono de 0,01 a 0,67 %, como se indica en la siguiente figura 2-9.

Otro efecto observado es la variación del salto de temperatura que provoca la transición dúctil-frágil; así para aceros de 0,01% a 0,11% de C se pasa de una a otra fractura para pequeñas diferencias de temperaturas, las que aumentan considerablemente para los de 0,22% a 0,31%. A partir de 0,43% de C los diagramas Ao-T tienden a la horizontal, indicando que las temperaturas se deben elevar considerablemente para

cambiar las características de plasticidad del material, aún para pequeñas variaciones en el valor de la energía²⁴.

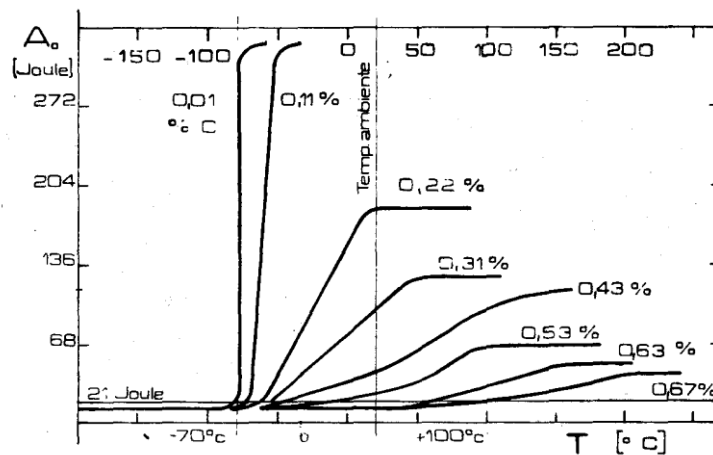


Figura 2-9 Efectos del carbono en cuanto a la variación de su porcentaje y temperatura. (Fuente: Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.)

Por otra parte, los elementos de aleación como el manganeso, níquel, silicio, etc, mejoran la capacidad de los aceros para absorber cargas dinámicas por aumento de la energía y/o por disminución de la temperatura de transición. En general, los aceros con manganeso en porcentajes menores del 2 %, experimentan una disminución de su temperatura de transición de aproximadamente 60°C por cada 0,10 % de manganeso agregado, como se indica en la siguiente figura 2-10.

Otros elementos como el fósforo y el azufre, son imposibles de ser totalmente eliminados en el proceso de obtención de los aceros, producen por el contrario un efecto fragilizante, por ejemplo un aumento de 0,01 % de fósforo origina una elevación de 7° C en la transición dúctil-frágil.

²⁴ Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

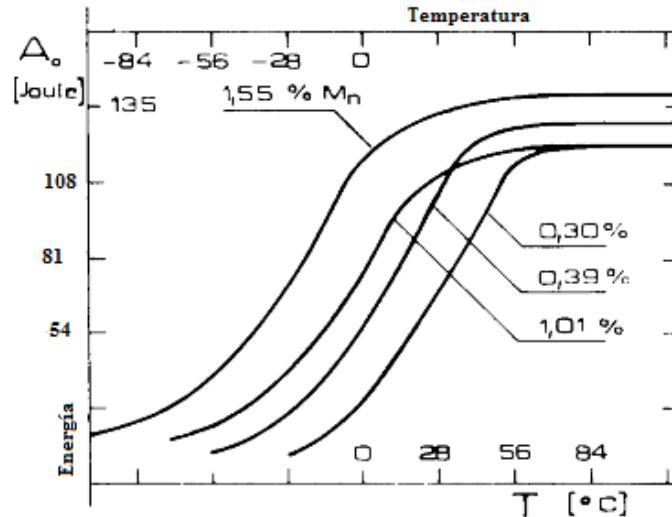


Figura 2-10 Aceros con manganeso de acuerdo a su temperatura de transición del acero.
Fuente: Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

b) Efecto del Tratamiento Térmico

Cuando las modificaciones en la microestructura de un acero, como resultado de distintos tratamientos térmicos, pueden otorgar a los productos terminados propiedades mecánicas similares que originan importantes variaciones en su comportamiento bajo efectos dinámicos de choque, como se indica en la siguiente figura 2-11²⁵.

Teniendo en cuenta la gran dependencia de la energía absorbida y de la temperatura de transición con la microestructura, el ensayo de choque es el medio ideal para la verificación y control de calidad de los tratamientos térmicos realizados.

²⁵ Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

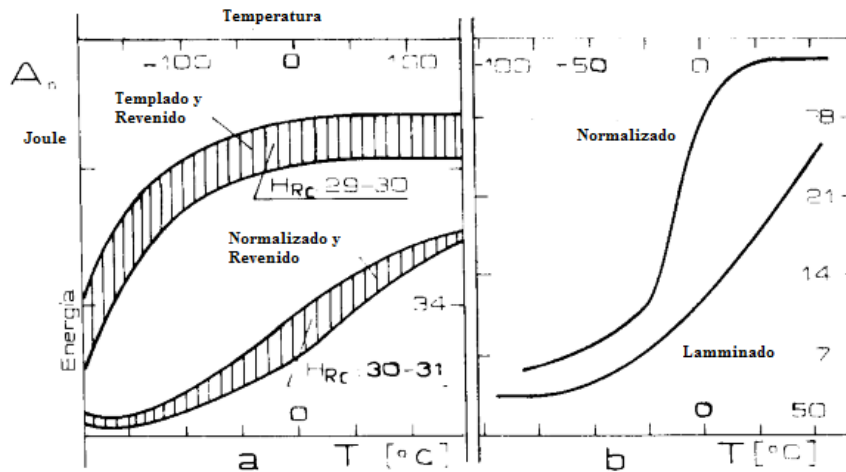


Figura 2-11 Variación de Energía–Temperatura con el tratamiento Térmico. (Fuente: Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.

Acero AISI 8620

Análisis químico según él % en peso.

Tabla 2-2 Composición química del acero AISI 8620

ANÁLISIS TÍPICO %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
7210	0.15	0.25	0.90	0.80	1.20	0.10
AISI 8620	0.18-0.23	0.15-0.35	0.70-0.90	0.40-0.60	0.40-0.70	0.15-0.25

Fuente: Catálogo Bohler

Tipo: Acero de baja aleación al Níquel-Cromo-Molibdeno.

Formas y Acabados: Barra redonda, cuadrada, hexagonal y solera laminadas o forjadas en caliente, peladas o maquinadas.

Características: Acero típico para cementación y para templar superficialmente manteniendo una gran tenacidad en el núcleo. Se puede soldar por métodos comunes.

Aplicaciones: Se utiliza en la fabricación de engranes, piñones, árboles de levas, moldes para la industria del plástico, mordazas, coronas y satélites, entre otros.

2.2 Fundamentación filosófica

El siguiente estudio se lo realizó en el paradigma crítico propositivo, ya que nos permite condiciones más factibles de diseño, y en sí su base existencial es el desarrollo de esta investigación.

Así pues, el desarrollo de una máquina de prueba de impacto, para realizar ensayos destructivos constituye el progreso en técnicas de ensayos para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica que quieran alcanzar sus objetivos. A partir de ello, el realizar ensayos por el método de impacto Charpy nos abre nuevos enfoques en esta técnica de ensayo y aportar un valor agregado al estudio tradicional.

Existe una estrecha relación entre el conocimiento y el logro de objetivos, la nueva generación de estudiantes y empresarios persigue el cumplimiento de metas, por lo que se considera imprescindible diseñar y construir máquinas dentro del campo de la Ingeniería Mecánica.

Debemos concebir que el implemento de esta tecnología será un aporte esencial a la ciencia y a un estudio más profundo y con bases prácticas de esta importante técnica de ensayo.

2.3 Fundamentación legal

El presente trabajo se desarrollará mediante la aplicación de las siguientes normas:

- ASTM E-23 Métodos de pruebas de impacto de materiales metálicos para muescas estándar.
- Norma ASTM D 6110. Determinación de Propiedades de Impacto Charpy.

- Norma INEN. Código de Dibujo Técnico- Mecánico.

2.4 Red de categorías fundamentales

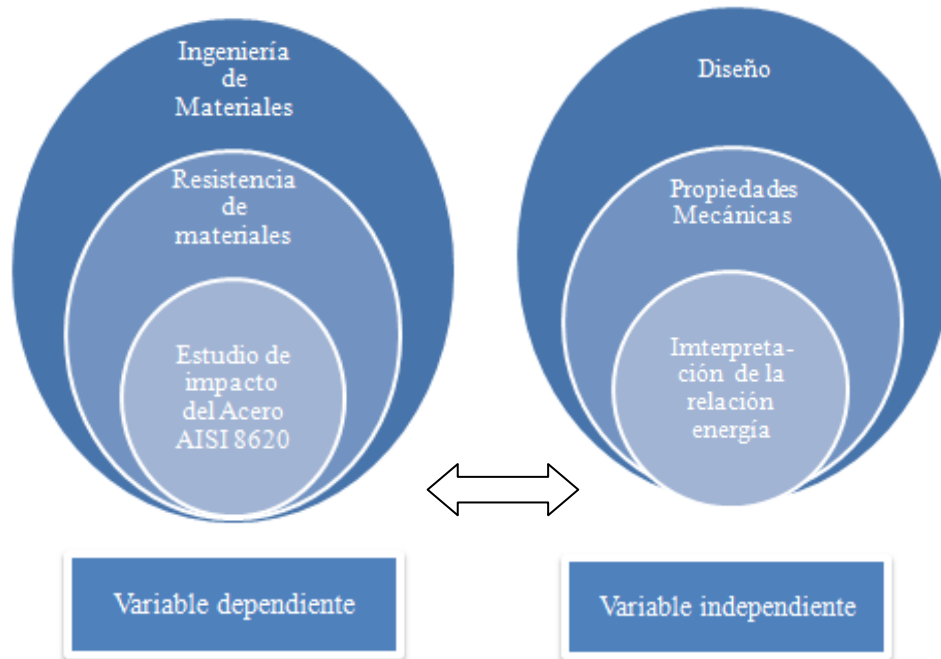


Figura 2-12 Operacionalización de variables

Fuente: El autor

2.5 Hipótesis

Con el estudio de impacto del comportamiento mecánico del acero AISI 8620, se determinará la energía absorbida para la verificación con los valores obtenidos de tablas.

2.6 Señalamiento de variables

2.6.1 Variable Independiente

Estudio del ensayo de impacto.

2.6.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas del acero AISI 8620.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad básica de la investigación

3.1.1 De campo

En el presente trabajo se utilizó la modalidad de investigación de campo para la obtención de los datos necesarios para el estudio y poder interpretar los resultados de la investigación.

3.1.2 Bibliográfica

Fue de gran importancia, ya que se utilizaron bibliográficas tales como libros, revistas, páginas WEB, las cuales proporcionaron apoyo tecnológico, y científico; tanto para el desarrollo de los ensayos así como también aplicar consideraciones importantes dentro del diseño de la máquina de ensayo.

3.1.3 Experimental

En esta investigación se estudió las relaciones de casualidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de controlar los fenómenos. Se fundamenta en la manipulación activa y el control sistemático de la variable independiente.

3.2 Nivel o tipo de investigación

3.2.1 Exploratorio

Dado a que se indagó en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo;

y también porque se logró obtener una mayor objetividad sobre un problema en sí, no muy investigado en nuestro medio.

3.2.2 Descriptivo

Dado que se comparó entre varios fenómenos, situaciones o formas; además de clasificar los modelos de comportamiento en base a ciertos criterios.

3.3 Población y muestra

Con el conocimiento de la estimación del tamaño se puede llegar a determinar la proporción de la población recolectada a partir de un grupo determinado de muestras en lugar de con toda la población tiene una serie de ventajas: menor coste, y mayor rapidez²⁶.

La población sobre la cual trata la investigación está constituida por el volumen de producción mundial del acero AISI 8620, dicha producción es indeterminada, por lo que el tamaño de la muestra se determinará utilizando la siguiente ecuación.

$$n = \frac{Z\alpha^2 \times p \times q}{d^2} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

En esta ecuación se puede observar que el tamaño de la muestra depende de tres factores:

- El nivel de confianza, $(1-\alpha)$, seguridad o probabilidad con la que el método dará una respuesta correcta, los niveles de confianza para los intervalos de confianza son del 95% al 99%. El nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente (Z_α) que está en función de α , ver tabla 3-1.
- La precisión que deseamos para nuestro estudio o error máximo d .

²⁶ Carmen Fuentelsaz Gallego, M. T. (2006). *Elaboración y presentación de un proyecto de investigación y una tesina*.

- La proporción esperada de que las mismas tengan dicha características una idea del valor aproximado del parámetro que queremos medir. Tomar un valor de $p=0.5$ maximiza el tamaño muestral.

Tabla 3-1 Valores de Z más utilizados, según el valor de α

α	0,1	0,05	0,01	0,001
$Z\alpha$	1,645	1,96	2,576	3,291

Fuente: Carmen Fuentelsaz Gallego, M. T. (2006). *Elaboración y Presentación de un Proyecto de Investigación y una Tesina*.

3.4 Operacionalización de variables

3.4.1 Variable Dependiente: Estudio de Impacto

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El ensayo consiste en aplicar rápidamente un golpe a una probeta con entalladura, con una masa en movimiento, con la suficiente energía cinética para romper o deformar la barra: los resultados se expresan corrientemente en función de la energía absorbida por unidad de área de la sección transversal, que se mide por la pérdida de energía cinética de la masa en movimiento.	Carga Aplicada Diseño	Límite de concentración de tensiones. Criterios de Falla	Diagramas de Energía.	Ensayos de Laboratorio. Observación directa. Hoja de toma de Datos.

3.4.2. Variable Independiente: Propiedades mecánicas del acero

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Se define como el comportamiento de un material sometido a ciertas fuerzas aplicadas, las cuales se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo, de la deformación o de ruptura, o combinadas simultáneamente.</p>	<p>Falla del Material</p>	<p>Resistencia al Impacto</p>	<p>Joule (J)</p>	<p>Ensayos de Laboratorio. Hoja de toma de datos. Tablas de cotejo</p>

3.5 Plan de recolección de información

Para la presente investigación se realizará con dos tipos de técnica: la primera y más importante será la observación directa, la misma que se realizará en el laboratorio de ensayos de la Carrera de Ingeniería Mecánica para poder comprobar el cumplimiento de los objetivos planteados como también el correcto desarrollo del proyecto y sobretodo su buen funcionamiento en el momento de culminado éste; posteriormente se utilizará las tablas de cotejo de los diferentes ensayos.

3.6 Plan de procesamiento de la información

A continuación se describe la manera de llevar a cabo la prueba de ensayo de impacto:

- a) Seleccionar piezas geoméricamente aptas para la elaboración de la prueba de impacto bajo norma ASTM E-23.
- b) Se asegura el martillo en una posición alta con el pasador de seguridad y con la palanca en posición.
- c) Colocar la probeta a ser ensayadas en la posición respectiva con la ranura adecuada.
- d) Se retira el seguro y se deja caer el brazo martillo de modo que impacte y fracture la probeta.
- e) Se Repite los pasos b, c y d, registrando el valor de la energía total obtenida.
- f) Por lo regular se utilizan 4 probetas para este ensayo de manera que al final se determina el promedio del material que está ensayando.
- g) Se realiza la recolección de las piezas y se analiza la geometría de la ruptura respecto al resultado de energía obtenido.

3.6.1 Plan de análisis e interpretación de resultados

De la siguiente manera se presenta de forma detallada, el procedimiento para analizar e interpretar los resultados de la prueba de impacto:

1) La tabulación de los datos obtenidos de acuerdo a la relación que tengan con las variables de la hipótesis, y luego se elaboran tablas en las que se indique:

- Material.
- Dimensiones.
- Norma.
- Temperatura.
- Tipo de entalla.
- Impacto generado.

2) La representación de los resultados obtenidos a través de las siguientes tablas y gráficos.

- Tabla de datos de material.
- Tablas de relación entre energía y el número de ensayos.
- Gráficos la energía generada versus el número de ensayos.

3) Analizar los resultados obtenidos con nuestra investigación y con los requerimientos formulados, para lo cual se realizará un análisis estadístico.

4) Interpretar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Determinación del tamaño de muestra

Usando la ecuación 3-1, y la tabla 3-1 y considerando un error del 9 % se obtiene el tamaño de muestra como se indica en la siguiente tabla.

$$n = \frac{Z\alpha^2 * p * q}{d^2}$$

Donde:

$Z\alpha^2$ = Nivel de confianza.

p = Probabilidad de éxito.

q = Probabilidad de fracaso.

d^2 = Precisión (error).

Tabla 4-1 Valores del tamaño de la muestra

p	q	p.q	Zα	α	Precisión(error)	Tamaño (n)
0.93	0.07	0.0651	1.96	0.05	9%	30

Fuente: El autor

Por lo tanto debemos seleccionar aleatoriamente 30 probetas del total de la población. Esto permitirá, en el caso que la probabilidad de éxito (p) del 93% y de que el 95% de la producción tendrá las características obtenidas en este estudio y con un error máximo (d) del 9%.

$$A_1 = G * h_1 \quad \text{Ecuación 4-3}$$

$$A_2 = G * h_2 \quad \text{Ecuación 4-4}$$

Dónde:

A_o = Posición de partida [m]

A_1 = Energía inicial [m]

A_2 = Energía final [m]

G = Peso del péndulo [kg]

β = Ángulo de partida [grados]

θ = Ángulo de llegada [grados]

Reemplazando en la ecuación 4-1 tenemos:

$$A_o = G * (h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación 4-5}$$

Y en función de los ángulos, tenemos:

$$h_1 = OP + OA \quad \text{Ecuación 4-6}$$

En donde OP es el brazo del péndulo igual a R. Del triángulo OAB

$$OA = R * (\cos \beta) \quad \text{Ecuación 4-7}$$

Reemplazando en la ecuación 4-5

$$h_1 = R - R * (\cos \beta) \quad \text{Ecuación 4-8}$$

$$h_1 = R * (1 - \cos \beta)$$

Procediendo en igual forma para la altura después del choque

$$h_2 = R - R * (\cos \theta) \quad \text{Ecuación 4-9}$$

$$h_2 = R * (1 - \cos \theta)$$

Datos de la energía con el ángulo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 4-2 Datos obtenidos de los grados vs la energía

Grados	Energía (J)	Grados	Energía (J)	Grados	Energía
0	335,40	37	285,08	74	154,38
1	335,36	38	282,42	75	150,18
2	335,25	39	279,71	76	145,96
3	335,06	40	276,93	77	141,72
4	334,79	41	274,10	78	137,46
5	334,45	42	271,21	79	133,18
6	334,03	43	268,27	80	128,89
7	333,54	44	265,26	81	124,59
8	332,97	45	262,21	82	120,28
9	332,32	46	259,10	83	115,96
10	331,60	47	255,93	84	111,62
11	330,81	48	252,72	85	107,28
12	329,94	49	249,45	86	102,93
13	329,00	50	246,13	87	98,58
14	327,98	51	242,77	89	89,86
15	326,88	52	239,35	90	85,50
16	325,72	53	235,89	91	81,14
17	324,48	54	232,39	92	76,78
18	323,17	55	228,84	93	72,42
19	321,79	56	225,24	94	68,07
20	320,33	57	221,61	95	63,72
21	318,80	58	217,93	96	59,38
22	317,20	59	214,21	97	55,04
23	315,53	60	210,45	98	50,72
24	313,80	61	206,65	99	46,41
25	311,99	62	202,82	100	42,11
26	310,11	63	198,95	101	37,82
27	308,16	64	195,05	102	33,54
28	306,15	65	191,11	103	29,28
29	304,07	66	187,14	104	25,04
30	301,92	67	183,14	105	20,82
31	299,71	68	179,11	106	16,62
32	297,43	69	175,06	107	12,44
33	295,08	70	170,97	108	8,28
34	292,68	71	166,86	109	4,14
35	290,21	72	162,72	110	0
36	287,67	73	158,56		

Fuente: El autor

Reemplazando en la ecuación 4-2 estos valores en la diferencia de trabajos tenemos que:

$$A_o = G * R * (\cos \beta) - G * R * (1 - \cos \theta) \quad \text{Ecuación 4-10}$$

La energía absorbida por la probeta será

$$A_o = G * R * (\cos \theta - \cos \beta) \quad \text{Ecuación 4-11}$$

Con los datos obtenidos tenemos la siguiente gráfica mostrada a continuación:

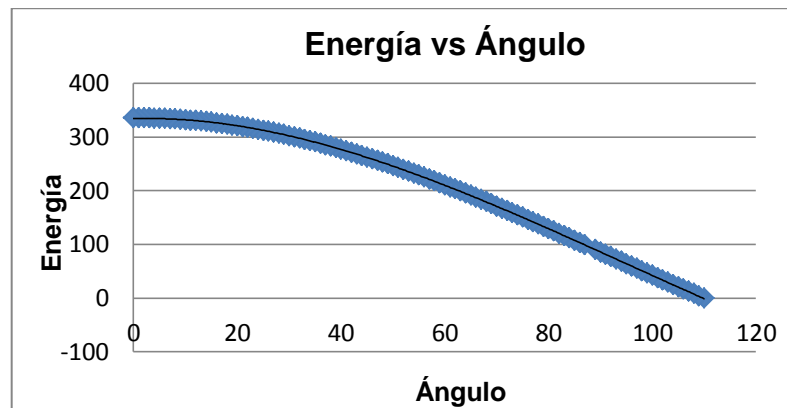


Figura 4-1 Gráfica de la Energía vs el Ángulo. (Fuente: El autor)

Lo que se interpretó que cuando aplicamos la carga se observó que mientras más alto llegue el martillo al momento del impacto mayor es su ángulo, pero su energía va decreciendo, dependiendo así de la tenacidad del material y de sus propiedades.

4.3 Parámetros del Comportamiento mecánico del Acero AISI 8620

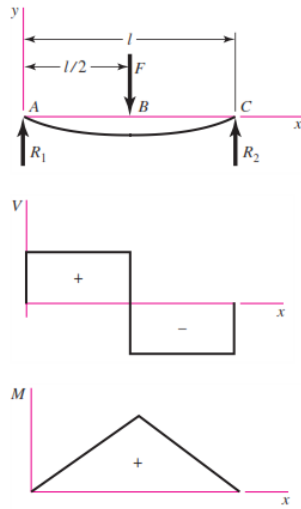
Para la probeta que se encuentra simplemente apoyada con carga central mostrada en la figura 4-2 se tiene que las reacciones y los momentos en los apoyos vienen indicados a continuación.

La condición de resistencia:

$$M_{\max} = \frac{b \cdot h^2 \cdot S_y}{6 \times n} \quad \text{Ecuación 4-12}$$

$$M_{\max} = 3.2 \text{ kg} - m$$

5 Simple supports—center load



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

Figura 4-2 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante. (Fuente: Shigley's, B. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Eighth ed.). Madrid: McGraw-Hill Primis.)

Se observa la disposición de la probeta y sus reacciones, cuando el martillo impacta sobre la probeta.

$$R_1 = R_2 = \frac{F_{ad}}{2} \tag{Ecuación 4-13}$$

$$R_1 = R_2 = 604,43 \text{ N}$$

En la siguiente tabla se indica los valores de referencia, para evaluar los resultados obtenidos en nuestro ensayo.

Tabla 4-3 Ensayos realizados en la ESPOCH

Número de Probetas	Energía Absorbida (J)
1	10
2	10
3	7
4	15
5	11

Fuente: Tomado del ensayo realizado de impacto Charpy, ESPOCH

4.4 Interpretación de datos

4.4.1 Datos de impacto

Con los datos obtenidos bajo la norma ASTM E-23 de los ensayos realizados con el tipo de probeta con muesca en V, se procederá a realizar de los valores obtenidos, en la siguiente tabla 4-2.

Tabla 4-4 Datos obtenidos de los ensayos realizados del acero AISI 8620

Número de Probetas	Energía Absorbida (J)	Número de Probetas	Energía Absorbida (J)
1	8	16	12
2	8	17	14
3	8	18	14
4	8	19	14
5	8	20	14
6	8	21	14
7	8	22	14
8	10	23	14
9	10	24	15
10	10	25	15
11	10	26	15
12	10	27	16
13	10	28	16
14	12	29	18
15	12	30	18

Fuente: El autor

4.5 Análisis estadísticos de los ensayos

De acuerdo con estas tablas generadas podemos decir que al momento de la toma de datos se pudo recolectar varias probetas con diferente energía de rotura, que a continuación se muestran en la tabla 4-5.

Tabla 4-5 Resultados de ensayos realizados

# Probetas	Energía
2	18
3	15
3	12
2	16
7	8
7	14
6	10

Fuente: El Autor

La gráfica correspondiente a la tabla 4-3 es la siguiente, que representa el comportamiento del Acero AISI 8620 al impacto.

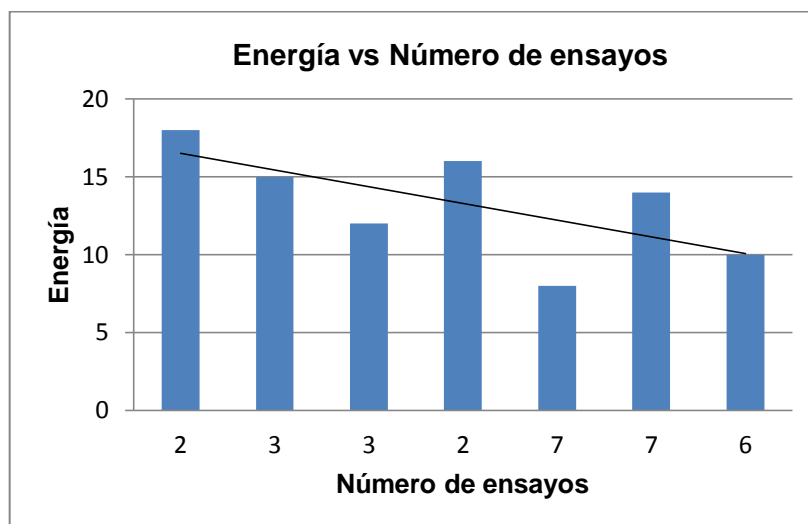


Figura 4-3 Número de probetas vs Energía

Fuente: El autor

Con los siguientes datos obtenidos de los ensayos en la tabla 4-2, nos indicará la energía absorbida por la probeta, y con los datos registrados en la tabla 4-3 se obtiene la gráfica de la energía en función del número de ensayos realizados en la se puede observar una relación logarítmica entre las variables, por lo que se realizará una regresión lineal.

Regresión lineal de los datos:

$$y = b_0 + b_1x$$

Ecuación 4-14

Dónde:

y = Energía

x = # Probetas

Con las siguientes ecuaciones 4-15, 4-16 se procede con el cálculo de la regresión, para determinar los valores que a continuación se muestran en la tabla 4-4.

Tabla 4-6 Regresión lineal Energía vs # probetas

	# Probetas	Energía	x ²	x*y	y ²
	2	18	4	36	324
	3	15	9	45	225
	3	12	9	36	144
	2	16	4	32	256
	7	8	49	56	64
	7	14	49	98	196
	6	10	36	60	100
Sumatorias	30	93	160	363	1309
Medias	4,29	13,29			
b1	-1,13				
b0	18,14				

Fuente: El autor

Pendiente

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x * \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ecuación 4-15

Ordenada de origen:

$$b_0 = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ecuación 4-16

La ecuación resultante es:

$$E = -1,13 \# \text{ Probetas} + 18,14$$

4.6 Verificación de la hipótesis

Para realizar la verificación de nuestra hipótesis vamos a proceder a determinar estadísticamente los resultados obtenidos versus los esperados tomados en el laboratorio de Ensayos de Resistencia de Materiales de la ESPOCH, los que se indican a continuación.

Tabla 4-7 Energías absorbidas y esperadas

Número de Probetas	Energía Absorbida (J)	Energía Esperada (J)	Número de Probetas	Energía Absorbida (J)	Energía Esperada (J)
1	8	11	16	12	11
2	8	11	17	14	11
3	8	11	18	14	11
4	8	11	19	14	11
5	8	11	20	14	11
6	8	11	21	14	11
7	8	11	22	14	11
8	10	11	23	14	11
9	10	11	24	15	11
10	10	11	25	15	11
11	10	11	26	15	11
12	10	11	27	16	11
13	10	11	28	16	11
14	12	11	29	18	11
15	12	11	30	18	11

Fuente: El autor

Con los valores de la Energía Esperada - Energía Absorbida se mide la diferencia y se eleva al cuadrado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4-8 Cálculo de valores obtenidos

Número de Probetas	Energía Absorbida (J)	Energía Esperada (J)	di	(di-dmed)^2
1	8	11	-3	18
2	8	11	-3	18
3	8	11	-3	18
4	8	11	-3	18
5	8	11	-3	18
6	8	11	-3	18
7	8	11	-3	18
8	10	11	-1	5
9	10	11	-1	5
10	10	11	-1	5
11	10	11	-1	5
12	10	11	-1	5
13	10	11	-1	5
14	12	11	1	0
15	12	11	1	0
16	12	11	1	0
17	14	11	3	7
18	14	11	3	7
19	14	11	3	7
20	14	11	3	7
21	14	11	3	7
22	14	11	3	7
23	14	11	3	7
24	15	11	4	8
25	15	11	4	8
26	15	11	4	8
27	16	11	5	14
28	16	11	5	14
29	18	11	7	34
30	18	11	7	34

Fuente: El autor

Indicando que las diferencias tienen distribución normal de probabilidad, la prueba de hipótesis es:

$$H_0: \mu_D > 0$$

$$H_a: \mu_D < 0$$

Si se aprueba la hipótesis nula nos indicará que existe suficiente evidencia para establecer que la diferencia entre los datos obtenidos en los ensayos tiene mucha diferencia con los esperados, por lo tanto no se los podrá utilizar en diseño mecánico.

En donde:

$$\mu_1 - \mu_2 = \mu_D$$

Al comparar el valor T obtenido con el valor crítico de un grado de libertad y 0.025 de significancia a dos colas con muestras relacionadas y pequeñas menores de 30 el estadístico de prueba esta dado de la siguiente manera mostrado en la figura.

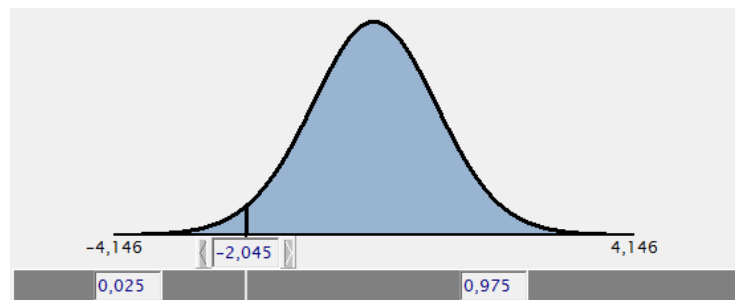


Figura 4-4 Curva de probabilidad a dos colas. (Fuente: El autor)

Entonces rechaza H_0 si el valor del estadístico $T < -2,045$, en caso contrario no se rechaza H_0 .

Para el cálculo del estadístico T, primero se calcula el promedio de las diferencias muestrales.

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$$

Ecuación 4-17

Los valores se indican en la siguiente tabla.

Tabla 4-9 Resultados estadísticos

	Número de Probetas	Energía Absorbida (J)	Energía Esperada (J)	di	(di-dmed)^2
	1	8	11	-3	18
	2	8	11	-3	18
	3	8	11	-3	18
	4	8	11	-3	18
	5	8	11	-3	18
	6	8	11	-3	18
	7	8	11	-3	18
	8	10	11	-1	5
	9	10	11	-1	5
	10	10	11	-1	5
	11	10	11	-1	5
	12	10	11	-1	5
	13	10	11	-1	5
	14	12	11	1	0
	15	12	11	1	0
	16	12	11	1	0
	17	14	11	3	3
	18	14	11	3	3
	19	14	11	3	3
	20	14	11	3	3
	21	14	11	3	3
	22	14	11	3	3
	23	14	11	3	3
	24	15	11	4	8
	25	15	11	4	8
	26	15	11	4	8
	27	16	11	5	14
	28	16	11	5	14
	29	18	11	7	34
	30	18	11	7	34
$\Sigma=$	465	423	330	33	295
Datos n	30				
d media	1,1				
Sd^2	10,17				
Sd	3				
T	- 1,89				

Fuente: El autor

la varianza es:

$$S_d^2 = \frac{\sum(d_i - \bar{d})^2}{n-1}$$

Ecuación 4-18

La desviacion estandar muestral de las diferencias muestrales es S_d .

Calculo estadistico :

$$T = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}}$$

Ecuación 4-19

Como $T < t$, es decir $-1.89 < -2.045$, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto para un nivel de significancia del 0.025 a doble cola no existen datos suficientes para decir que las diferencias son significativas por lo tanto los datos obtenidos pueden ser utilizados en diseño mecánico.

4.7 Determinación de la fractura frágil-dúctil

Se pueden conocer los esfuerzos en la muestra, la energía absorbida de impacto Charpy no se la utiliza para calcular el esfuerzo de fractura de un metal, porque la energía de impacto corresponde únicamente a la probeta fracturada. El valor de la energía solo se usa como valor comparativo y para evaluar la tendencia a la fractura frágil.

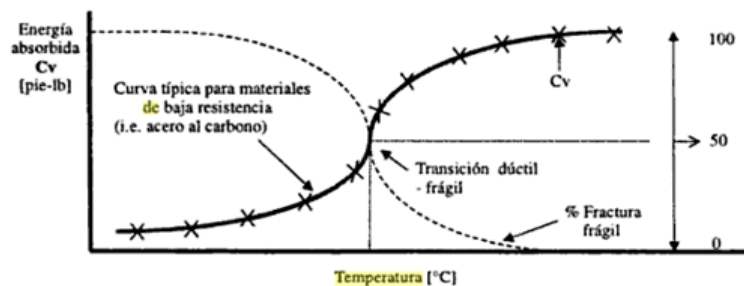


Figura 4-5 Diagrama de transición dúctil-frágil. (Fuente: González, J. L. (2003). *Metalurgia Mecánica* (segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.

Si al adicionar un elemento aleante, la temperatura de transición aumenta, como se indica a continuación.

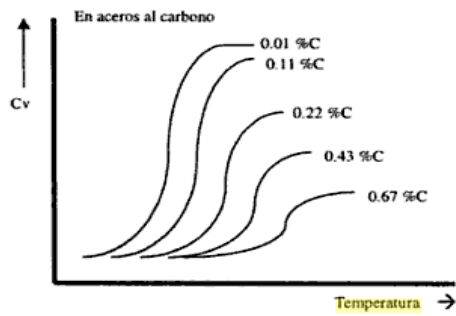


Figura 4-6 Incidencia del porcentaje de carbono con la energía. (Fuente: González, J. L. (2003). *Metalurgia Mecánica* (segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.

El % de fractura frágil se determina por inspección de la probeta fracturada, como se muestra:

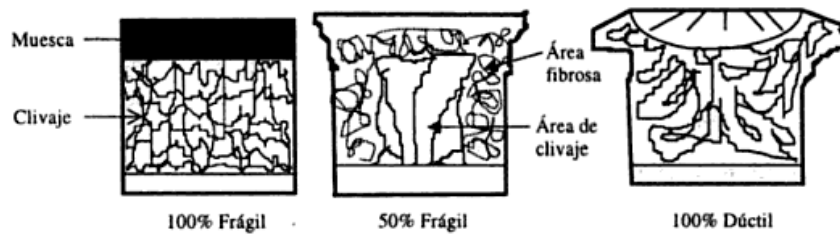


Figura 4-7 Inspección visual de la probeta. (Fuente: González, J. L. (2003). *Metalurgia Mecánica*(segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.

Por la inspección visual se pudo determinar que las probetas ensayadas se encuentran en el 50% de fractura frágil por lo que presenta la misma estructura mostrada en la figura.



Figura 4-8 Probeta ensayada. (Fuente: El autor)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El acero AISI 8620 se lo puede utilizar como elementos de máquinas.
- El acero AISI 8620 no experimenta un ángulo de doblado, sino la rotura total al momento del impacto, controlada por la muesca realizada.



Figura 5-1 Probeta ensayada. (Fuente: El autor)

- Los valores de tensión que puede soportar, son bajos debido a la composición química que presenta el material.
- La importancia del ensayo es la de comprobar si una máquina o estructura fallará por impacto.
- Cuanta mayor sea la fragilidad del material y menor su tenacidad más fácilmente romperá el péndulo la probeta, y mayor altura alcanzará la pluma indicadora tras el impacto.

5.2 Recomendaciones

- Las probetas tienen que estar bien mecanizadas y con las medidas establecidas por la norma ASTM E-23, ya que de esto también dependen los resultados.
- Se recomienda implementar una máquina de ensayos Charpy para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Utilizar más probetas en este tipo de ensayos, con el fin de obtener mayor información y así un mejor respaldo experimental.
- En este tipo de ensayo, es importante tener en cuenta la temperatura del ambiente en el que se encuentre el material, ya que su comportamiento puede variar dependiendo de ésta.
- La muesca en V es la más recomendada por la norma ya que se aprecia mejor los resultados.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos

Dado que en la actualidad se cuenta con información de las propiedades mecánicas de los materiales, es de gran importancia realizar estos ensayos, por lo cual se optó por la construcción de la máquina de ensayo Charpy que está diseñada para la obtención de datos de los materiales a ensayar, los cuales serán comparados con valores de tablas.

De acuerdo a la norma ASTM E-23 esta máquina sirve para realizar ensayos de impacto en aceros, según la norma y la determinación del porcentaje de fracturas de cizalla en la superficie de rotura.

Este método de ensayo de prueba de impacto se refieren específicamente al comportamiento de los metales cuando se someten a una sola aplicación de una fuerza resultante multiaxial, junto con las altas tasas de carga y en algunos casos con temperaturas altas o bajas para algunos materiales, cuando se correlacionan con la experiencia de servicio, se ha encontrado la probabilidad de predecir la fractura.

Sin embargo, si se aplica una carga de impacto, el tiempo es insuficiente para que esos mecanismos jueguen un papel en el proceso de deformación, y los materiales se rompen en forma frágil, con frecuencia se usa un ensayo de impacto para evaluar la fragilidad de un material bajo estas condiciones. En contraste con el ensayo de tensión, en el de impacto las tasas de deformación unitaria son mucho mayores.

La máquina consta de dos parantes paralelos, totalmente perpendiculares a su base fijada en el suelo, estos parantes soportan un eje, el cual sostiene al péndulo, que en su parte inferior tiene el martillo. El martillo

tiene un determinado peso y dimensiones que cumplen con la norma ASTM E-23. En la base se encuentra una prensa o soporte de la probeta, su fin es sujetar las probetas cuando el péndulo las golpea.

Máquina Charpy

- 1.- Base del péndulo
- 2.- Yunque
- 3.- Probeta
- 4.- Columna
- 5.- Eje
- 6.- Chumacera
- 7.- Indicador de fricción
- 8.- Apoyo de la chumacera
- 9.- Placa del soporte del eje del péndulo
- 10.- Apoyo del brazo del péndulo
- 11.- Placa de impacto
- 12.- Brazo del péndulo
- 13.- Martillo
- 14.- Soportes o parantes

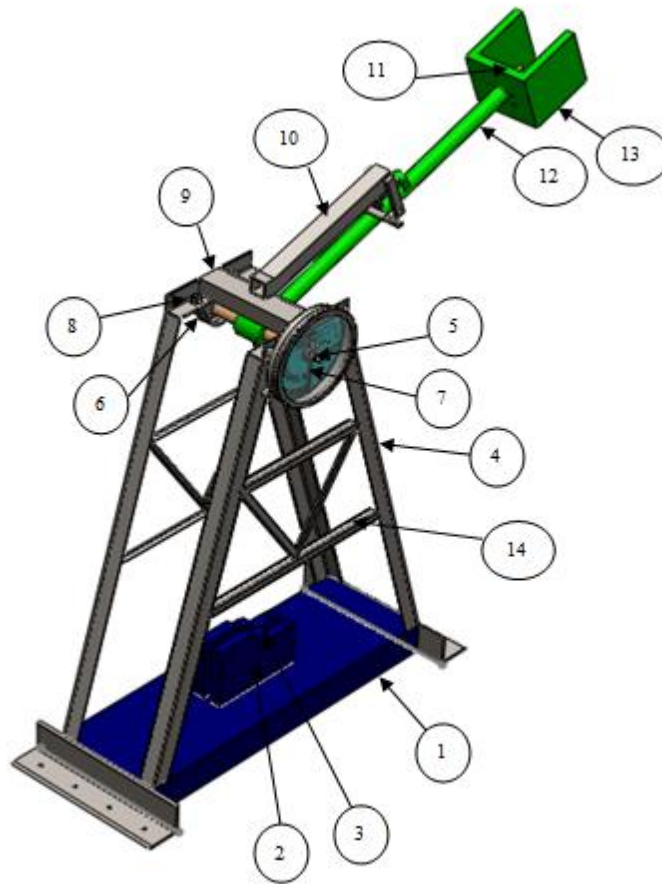


Figura 6-1 Partes de la máquina Charpy. (Fuente: El autor)

Forma de la probeta

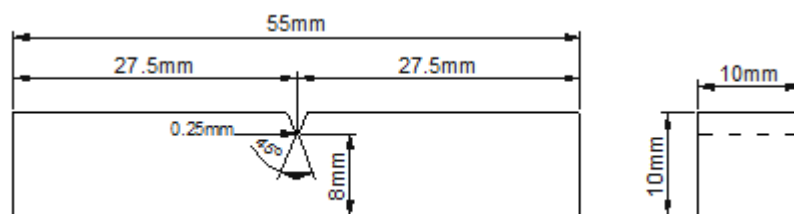


Figura 6-2 Probeta Tipo A para ensayo Charpy de Aceros. (Fuente: Tomado de las Normas ASTM E-23, (2001))

6.2 Antecedentes de la propuesta

A nivel mundial existe una tendencia sobre la utilización de los aceros de cementación para diseño de elementos de máquinas como partes consti-

tutivas de elementos de su funcionamiento, de tal manera de llegar a disminuir sus costos, o mejorar el diseño, es así que en el acero AISI 8620 se le ha encontrado un amplio campo de aplicación, donde particularmente se requieren más de sus propiedades como son: alta resistencia al desgaste, mayor tenacidad, buena resistencia al impacto. Al día de hoy se podrán encontrar elementos de máquinas como piñones, ejes, engranes de reducción, tornillería con exigencia de dureza al exterior, y piezas duras de máquinas en general.

En nuestro medio social se ha dado problemas con el diseño de elementos de máquinas utilizando diferentes clases de aceros, por la poca información que se tiene en cuanto a resistencia al impacto de los materiales, por lo que se ha creído conveniente construir una máquina que nos ayude a determinar el comportamiento a la ductilidad-fragilidad, de tal modo que se puede realizar ensayos en varios materiales según las aplicaciones que se le vaya a utilizar, la poca existencia de estos equipos hacen que los ensayos tengan un alto costo en nuestro país.

6.3 Justificación

El diseño y construcción de una máquina para ensayos de impacto de aceros es importante ya que de esta manera la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y los laboratorios podrán disponer del equipo para ensayar nuevos materiales, considerando el avance tecnológico es posible construir máquinas más eficientes.

Realizar esta máquina es de gran interés para la Universidad Técnica de Ambato principalmente para la Carrera de Ingeniería Mecánica, en los laboratorios de materiales y ensayo de materiales con equipos modernos, esto ha llevado a cabo para completar el presente trabajo de investigación con el diseño y construcción de una máquina de ensayos de impacto.

De esta manera, las pruebas de tipo Charpy es un método fácil y rentable para evaluar el comportamiento de las piezas por medio de las probetas seleccionadas ante los posibles impactos que puedan recibir.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo general

- Diseño y construcción de una máquina de ensayo Charpy para aceros de acuerdo a la norma ASTM E-23.

6.4.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos se pueden mencionar los siguientes:

- Determinar la forma de construcción y de su funcionamiento para que la máquina a construir cumpla con dichas funciones, de acuerdo a la norma ASTM E-23.
- Determinar los parámetros necesarios para el diseño de la máquina para ensayos de impacto de aceros.
- Diseñar cada uno de los elementos componentes de la máquina de ensayo de impacto Charpy.
- Determinar los parámetros necesarios para seleccionar un acero adecuado para el percutor de impacto, de acuerdo a los requerimientos exigidos por la norma ASTM E-23.
- Realizar los planos necesarios.
- Construir la máquina de ensayo a impacto de aceros.

Nota: La certificación de la máquina de ensayos Charpy se encuentra fuera del alcance del presente proyecto pues no forma parte de los objetivos específicos.

6.5 Análisis de factibilidad

El diseño y construcción de la máquina de ensayos de impacto para aceros de acuerdo a la norma ASTM E-23 es totalmente factible, ya que

los materiales existen en el mercado y el costo que es moderado, y es sustentado por el autor de este proyecto de investigación.

En esta parte de estudio están involucrados todos los costos necesarios para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

6.6 Fundamentación

6.6.1 Parámetros de diseño

Cálculo de las relaciones energéticas

Partiendo de una altura h_1 inicial desde la que se deja caer el péndulo de peso W y alcanzando éste después de romper la probeta una altura h_2 (girando en total un ángulo $\beta + \theta$) se puede calcular la energía absorbida por la probeta en el impacto suponiendo que ésta es igual a la perdida por el péndulo. La energía absorbida por la probeta (medida en Joule [J]), se puede medir calculando la diferencia de energía del péndulo antes y después del impacto, mediante la altura a la que llega el péndulo después de romper la probeta.

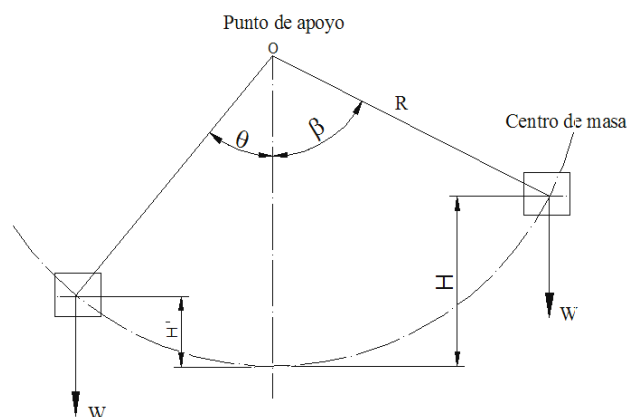


Figura 6-3 Relaciones especiales para una máquina Charpy

Fuente: El Autor

El problema de este método es que resulta muy inexacto medir la altura a la que llega la masa, entonces como se sabe el ángulo inicial del péndulo

(β) y la máquina registra el ángulo final (θ), mediante relaciones trigonométricas se llega a relacionar la energía absorbida en función de los ángulos y el largo del brazo.

Cuanta mayor sea la fragilidad del material y menor su tenacidad más fácilmente romperá el péndulo la probeta y mayor altura alcanzará tras el impacto. Materiales muy dúctiles y tenaces que son capaces de absorber grandes cantidades de energía de impacto pueden incluso resistir el choque sin llegar a romperse; en este caso el valor de la resiliencia queda sin determinar.

El péndulo en su balanceo inicial arrastra una aguja que queda fija en el punto más elevado alcanzado tras el impacto señalando sobre una escala graduada el valor de la resiliencia.

Altura de caída es:

$$H = R (1 - \cos \beta) \quad \text{Ecuación 6-1}$$

$$H = 1.02 \text{ m}$$

Energía inicial disponible es:

$$E_o = W * h \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$E_o = 34.22 \text{ kg-m}$$

La velocidad en el momento de impacto

$$V_2 = \sqrt{2g * h_1} \quad \text{Ecuación 6-3}$$

$$V_2 = 4.4 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Esta velocidad representa la velocidad tangencial medida hacia el centro de gravedad, cuando el péndulo impacta la probeta.

Con esta velocidad se puede determinar la velocidad angular del eje mediante la siguiente fórmula:

$$v = \omega * R \quad \text{Ecuación 6-4}$$

De donde:

v = velocidad momento de impacto [m/seg]

ω = velocidad angular [rad/seg]

R = radio de giro [rad]

$$\omega = \frac{v}{R}$$

Ecuación 6-5

$$\omega = 5.86 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Por lo tanto para este caso, la velocidad tangencial de impacto está comprendida en el rango de 3 m/seg a 6 m/seg según lo establecido por la norma ASTM E-23.

6.6.2 Funcionamiento de la Máquina

Cumpliendo los requerimientos de la norma ASTM E-23, el funcionamiento de la máquina es muy simple, el ensayo Charpy de impacto solo consiste en dejar caer un pesado péndulo, el cual a su paso golpea la probeta que tiene normalmente forma paralelepípeda, pero su muesca puede ser variada y se ubica sobre el yunque que se encuentra en la base de la máquina. Las unidades en que se mide la energía de impacto Charpy están dadas en [J] ó en [kg-m]. Luego de golpear la muestra se puede calcular la diferencia de energía potencial. La capacidad de un material para resistir el impacto, se le denomina tenacidad del material.

Esta máquina solo podrá realizar pruebas de impacto Charpy. Esta máquina está en la capacidad de someter a un material para que resista un choque o golpe intenso repentino. El cual consiste en una muestra de material que se va a ensayar, en forma de una barra cuadrada en forma en v, se mide de mejor manera la resistencia del material a la propagación de la fractura, tal muestra se golpea con el péndulo oscilante, calibrado y así se obtiene la energía adsorbida.



Figura 6-4 Posición de funcionamiento. (Fuente: El Autor)

Las probetas se colocan, simplemente apoyadas sobre la mesa de la máquina y en forma tal que la entalladura se encuentra del lado opuesto al que va a recibir el impacto.

En la figura 6-5 se puede observar la correcta posición de la probeta como así también la forma y dimensiones de los apoyos del yunque.



Figura 6-5 Forma de colocar la probeta. (Fuente: El Autor)

6.6.3 Diseño y selección de los elementos

6.6.3.1 Cálculo de fuerzas y reacciones en el péndulo

Diseño del péndulo

Para que la probeta quede sometida únicamente a flexión, el plano de oscilación del péndulo debe ser vertical, perpendicular al eje de la probeta y pasar por el centro o punto medio entre los apoyos de la misma, de esta

manera el choque tiene lugar en el plano de simetría de la entalla, la articulación del brazo no queda sometida a esfuerzo alguno como lo indica la Figura 6-6



Figura 6-6 Péndulo. (Fuente: El Autor)

El centro de gravedad del péndulo es:

$$\bar{Y} = \frac{\sum \bar{y}V}{\sum V}$$

Ecuación 6-6

$$\bar{Y} = 0.75 \text{ m}$$

En donde:

$$W = m * g$$

Ecuación 6-7

$$W = 333.2 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

Y tenemos que el momento es:

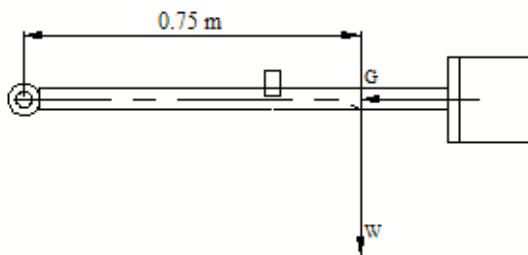


Figura 6-7 Posición horizontal del péndulo. (Fuente: El autor)

$$M_0 = F \cdot d$$

Ecuación 6-8

$$M_0 = 249.9 \text{ N.m}$$

La primera posición del péndulo es cuando está en reposo, la parte superior, formando un ángulo de 111° con la horizontal, y la segunda posición, será cuando el péndulo impacte con la probeta perpendicularmente, es decir formando un ángulo recto.

$$M_0 = 0,75 \cdot 333,2 \cdot \cos 21^\circ$$

$$M_0 = 233.30 \text{ N.m}$$

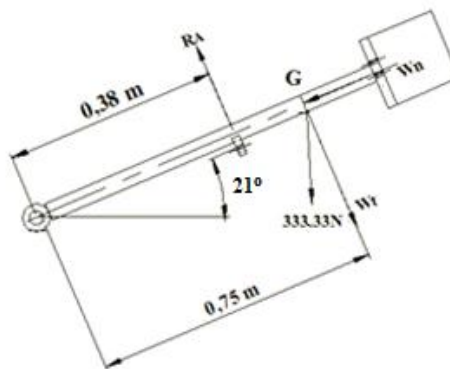


Figura 6-8 Disposición del péndulo. (Fuente: El autor)

Realizando el diagrama de cuerpo libre se tiene las siguientes fuerzas que actúan en el brazo del péndulo así como se muestra en la figura 6-9.

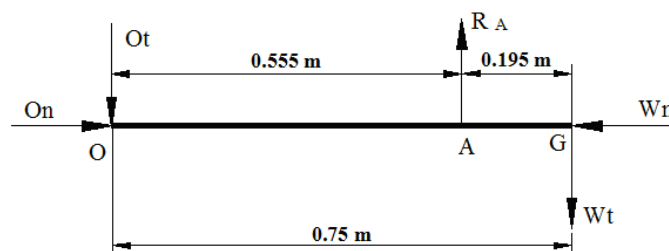


Figura 6-9 Diagrama de fuerzas del péndulo. (Fuente: El autor)

$$W_n = W \cdot \sin 21^\circ$$

Ecuación 6-9

$$W_n = 119 \text{ N}$$

$$W_t = W * \cos 21^\circ$$

Ecuación 6-10

$$W_t = 311 \text{ N}$$

Calculando las reacciones tenemos:

$$\Sigma Ft = 0$$

$$O_t + R_A = W_t$$

Ecuación 6-11

$$+\Sigma M_A = 0$$

$$O_t = 110.26 \text{ N}$$

$$+\Sigma M_O = 0$$

$$R_A = 420.52 \text{ N}$$

6.6.3.2 Cargas en el eje del péndulo

Para calcular las cargas en el eje del péndulo se deben tomar en consideración la dinámica de movimiento del péndulo al momento de impacto, en el cual se tomarán en consideración la siguiente ecuación del movimiento de un cuerpo alrededor de un eje fijo.

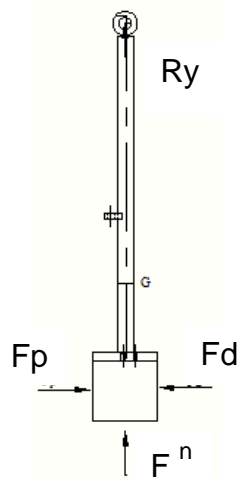


Figura 6-10 Cargas en el péndulo al momento del impacto. (Fuente: El autor)

$$\sum F^n = m * R * \omega^2$$

Ecuación 6-12

Dónde:

$\sum F^n$ = Sumatoria de fuerzas normales [kg-m]

α = Aceleración angular del péndulo [m/seg²]

ω = Velocidad angular del péndulo [m/seg]

Reemplazando los valores y despejando Ry se tiene:

$$Ry - F^n = m * R * \omega^2$$

$$Ry - m * g = m * R * \omega^2$$

$$Ry = 1208.85 \text{ N}$$

6.6.3.3 Diseño del martillo del péndulo

Debido a que dichos elementos constituyen la parte importante de la máquina, y a la vez es uno de los elementos que con el yunque están normalizados, los martillos por la forma en que actúan, están sometidos a cargas de choque por impacto, por lo que el diseño geométrico como de estructura debe poseer las siguientes características:

- Resistencia a la tensión debido a la fuerza centrífuga.
- Resistencia a la fractura por impacto.
- Resistencia al desgaste por rozamiento entre el martillo y la probeta.

El modelo adecuado para nuestro tipo es de forma rectangular, ya que así evitamos solicitaciones anormales sobre la articulación del brazo con las consiguientes vibraciones del conjunto que absorbe trabajo, falseando los resultados.

Utilizando la siguiente ecuación se determina

$$W_m = W_t - W_b$$

Ecuación 6-13

Dónde:

W_m = Masa del martillo [kg]

W_t = Peso total del péndulo [kg]

W_b =Peso de brazo [kg]

$W_m = 34 - 9.1$

$W_m = 24.9 \text{ kg}$

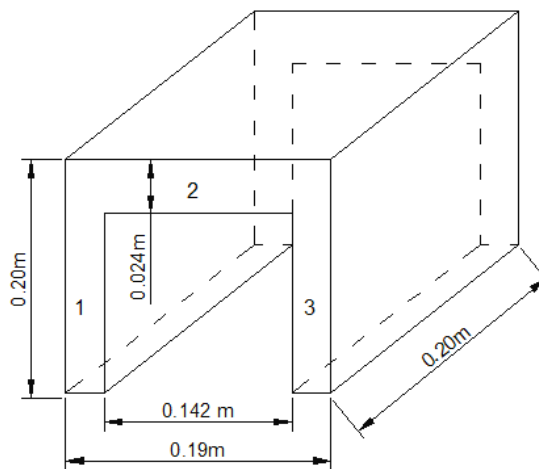


Figura 6-11 Dimensiones del martillo. (Fuente: El autor)

6.6.6.4 Dimensionamiento del Yunque

El yunque es el elemento donde va a apoyarse la probeta para recibir la carga de impacto, y debe ser lo suficientemente pesado en relación con la energía de impacto, para que no se pierda cantidad indebida de energía por la deformación o vibración.

La probeta recibe el golpe de impacto súbitamente en el punto medio, pero al mismo tiempo los apoyos del yunque reciben una fuerza de compresión especialmente la placa que sirve como tope de la probeta, así como muestra la figura 6-12.

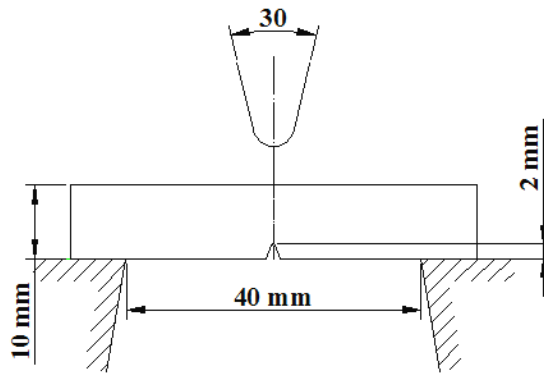


Figura 6-12 Disposición de la probeta en el yunque. (Fuente: El autor)

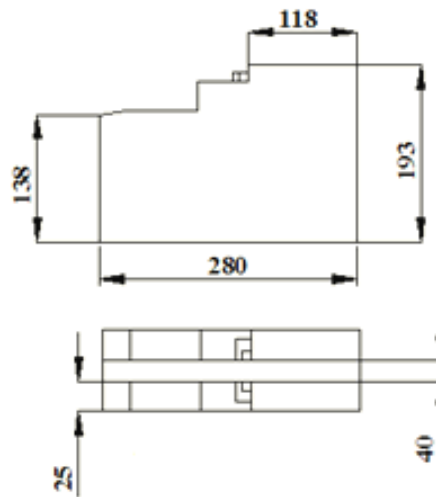


Figura 6-13 Diagrama del yunque. (Fuente: El autor)

6.6.6.5 Dimensionamiento de la cuchilla de impacto

La placa que va a impactar a la probeta, se encuentra en la parte inferior de la superficie del martillo o mazo del péndulo, la cual está empotrada, y el impacto se produce en el punto de percusión del martillo, como lo muestra la siguiente figura.

El esfuerzo cortante máximo puede presentarse en los puntos a lo largo de A-A, debido al momento de flexión, o puede presentarse en los puntos a lo largo de B-B, debido a la fuerza cortante transversal, para analizar estas dos posibilidades, para un espesor de placa de, $e = 0.012 \text{ m}$

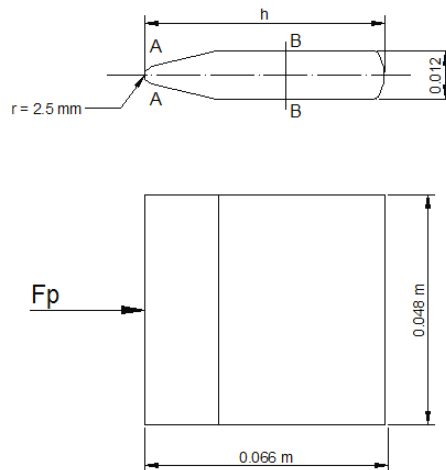


Figura 6-14 Placa con la cual se impacta a la probeta súbitamente. (Fuente: El autor)

Puntos a lo largo de A-A:

$$\tau_{\max} = \frac{V * Q}{I * b} \quad \text{Ecuación 6-14}$$

$$\tau_{\max} = 238.65 \text{ N/m}^2$$

Puntos a lo largo B-B:

$$\tau_{\max} = \frac{3 * F}{2 * A} \quad \text{Ecuación 6-15}$$

$$\tau_{\max} = 2282.80 \text{ N/m}^2$$

Por lo tanto el esfuerzo cortante máximo se produce a lo largo de los puntos B-B, la placa será construida de un material resistente al impacto.

Sabemos que la teoría de impacto, que cuando el impacto se produce súbitamente, tenemos que el coeficiente dinámico K_d es igual a 2, es decir que los esfuerzos son dos veces mayores que en la acción estática, por lo cual:

$$\tau_{\max d} = K_d * \tau_{\max} \quad \text{Ecuación 6-16}$$

Aplicando la ecuación (6-16) y reemplazando con la ecuación (6-14) y despejando el espesor de la placa tenemos:

$$\tau_{\max d} = 2 \left(\frac{F * Q * 12}{2b * h^3} \right) = 0.577 \frac{S_y}{n} \quad \text{Ecuación 6-17}$$

$$b = 3.63 \cdot 10^{-7} m$$

Para lo cual seleccionamos el espesor de placa de $b = 0.012 m$

6.6.6.6 Diseño estático del eje que sostiene el brazo del péndulo

Según el análisis realizado de la fuerza máxima efectiva que va a soportar el eje en el momento del impacto es una fuerza normal de tracción de:

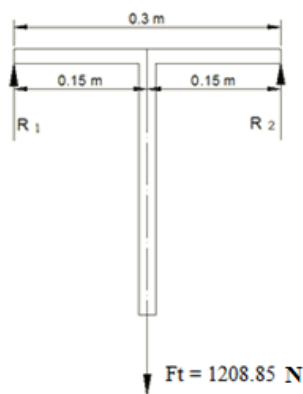


Figura 6-15 Eje del péndulo. (Fuente: El autor)

Calculando las reacciones en los rodamientos:

$$R_1 = R_2 = \frac{1208.85}{2} = 604.43 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 604.43 * 0.15 = 90.66 \text{ N} - m$$

Entonces aplicando la ecuación siguiente, calculamos el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M * n}{\pi * S_y}} \quad \text{Ecuación 6-18}$$

$$d = 25.23 \text{ mm}$$

6.6.6.7 Diseño del eje que sostiene al péndulo a fatiga

$$S_e \cong 0,3 S_e' \quad \text{Ecuación 6-19}$$

→ Aproximación $k_a * k_b * k_c * k_d * K_e * k_f \cong 0.3$

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e = 104440822.9 \text{ N/m}^2$$

Entonces:

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 6-20}$$

Con un factor de seguridad igual a 2 tenemos que el diámetro aproximado del eje es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M * n}{\pi * S_e}} = 25.45 \text{ mm}$$

- Refinamiento del cálculo

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * K_e * k_f * S'_e$$

k_a: *Acabado Superficial*, para un acabado de superficie maquinada,

$$k_a = 0.82.$$

k_b: *Factor de Tamaño*, como el diámetro estimativo en el análisis estático es

$$\text{de } 25 \text{ mm, } k_b = 0.87.$$

k_c: *Factor de Confiabilidad*, se considera una confiabilidad del 90%, con

$$\text{un } k_c = 0.9.$$

k_d: *Factor de Temperatura*, como la máquina va a trabajar en factores ambientales

$$\text{normales } k_d = 1.$$

K_e: *Factor por concentración de esfuerzos*, $K_e = 1.$

k_f: *Factor de efectos diversos* $k_f = 1.$

$$S_e = 179136898.7 \text{ N/m}^2$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma} \geq 1 \quad \therefore Ok$$

Ecuación 6-21

Aplicando la ecuación 6-21 tenemos:

$$n = \frac{179136898.7 \text{ N/m}^2}{59101131.33 \text{ N/m}^2}$$

$$n = 3 \therefore n = 3 \geq 1 \quad \therefore d = 25 \text{ mm}$$

Por lo cual el factor de seguridad cumple con lo requerido para el diámetro calculado del eje.

6.6.6.8 Diseño del buje

Se utiliza para acoplar el eje del péndulo como lo indica la figura. El momento máximo se produce en la mitad del buje, cuyo valor es:

$$R1 = R2 = \frac{1208.85}{2} = 604.43 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 602.66 * 0.04$$

$$M_{\max} = 24.177 \text{ N} - \text{m}$$

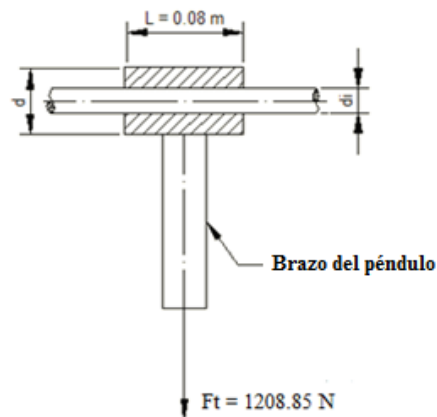


Figura 6-16 Acople entre el eje horizontal del péndulo. (Fuente: El autor)

La condición para carga estática es:

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

Ecuación 6-22

$$Z_{adm} = \frac{M \cdot n}{S_y} \quad \text{Ecuación 6-23}$$

$$Z_{adm} = 1.58 \times 10^{-3} m^3$$

Para un tubo de un diámetro exterior $d = 0.45$ m, el módulo de sección es:

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot d} (d^4 - d_i^4) \quad \text{Ecuación 6-24}$$

$$Z = 3.2 \cdot 10^{-3} m^3$$

Para lo cual se obtiene un módulo de sección mayor que el necesario por lo tanto se selecciona una sección circular hueca de 71 x 36 mm.

6.6.6.9 Selección del tamaño de rodamientos

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades y características que dependen de su diseño y que lo hacen adecuado para cada aplicación determinada.

La fuerza más crítica que soporta el eje, en el momento del choque, cuyo valor es:

$$F_r = 604.43 \text{ N}$$

$$F_a = 0$$

La carga estática equivalente está dada por:

$$P_o = F_r + Y_o \cdot F_a \quad \text{Ecuación 6-25}$$

Entonces tenemos:

$$P_o = F_r = 604.43 \text{ N}$$

Dónde:

P_o = Carga estática equivalente [N]

F_r = Carga radial [N]

Fa = carga axial

Yo = Factor de carga axial del rodamiento

La capacidad de carga estática necesaria (Co), se determina por:

$$Co = So * Po \quad \text{Ecuación 6-26}$$

Dónde:

Co = Capacidad de carga estática [N]

So = Factor de seguridad

Los valores de seguridad estático So, de bolas y rodillos para varias clases de funcionamientos y exigencias de rotación, y seleccionamos So =1.

$$Co = 604.43 \text{ N}$$

Según los resultados obtenidos y para un diámetro de 35 mm, seleccionamos dos rodamientos SY 35 FM del catálogo SKF que tiene las siguientes características:

- Capacidad de carga estática = 15.3 KN
- Capacidad de carga dinámica = 25.5 KN

6.6.6.10 Dimensionamiento de la estructura

Como conocemos la máquina está sometida bajo carga dinámica, y obtendremos datos precisos para solucionar el problema.

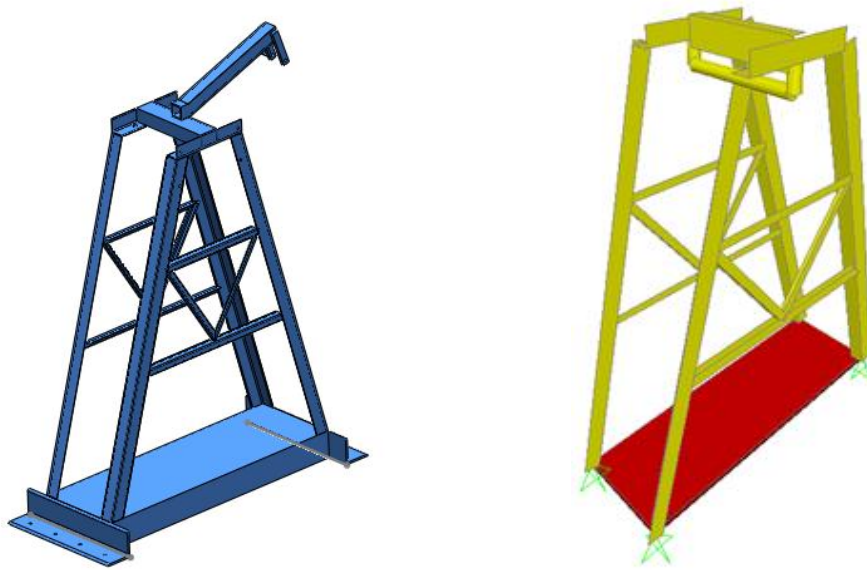


Figura 6-17 Estructura. (Fuente: El autor)

- El análisis estructural de la máquina es el siguiente:

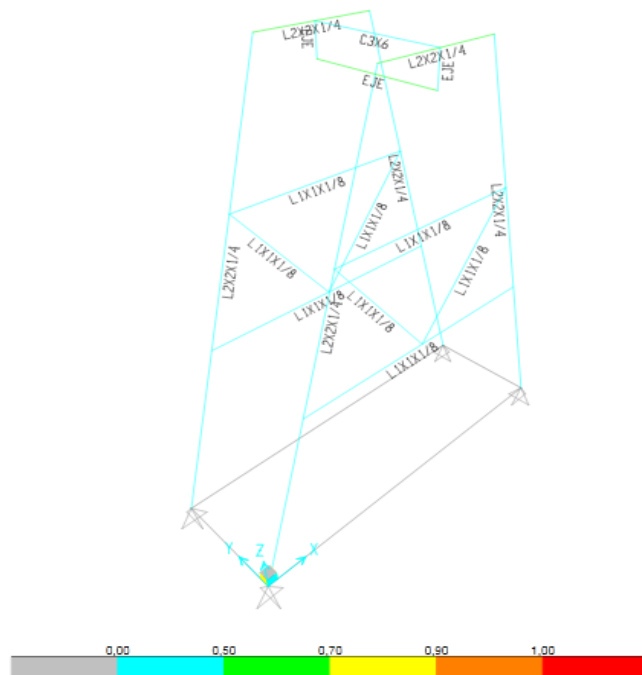


Figura 6-18 Análisis del soporte del material. (Fuente: El autor)

- La deformación

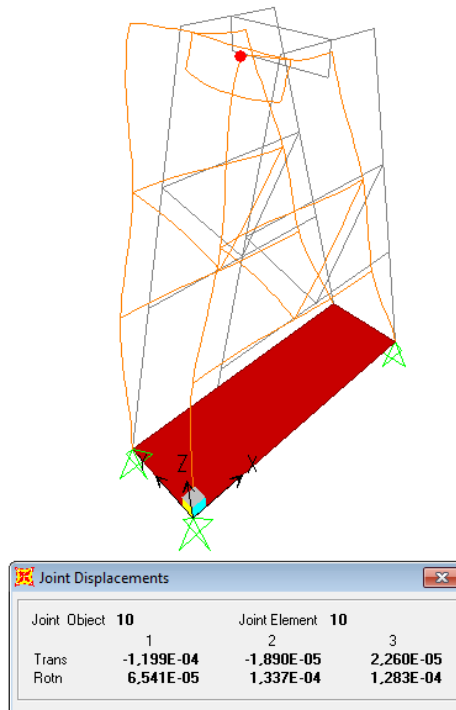


Figura 6-19 Deformación de la estructura. (Fuente: El autor)

- Diagrama de momento en el plano x-x

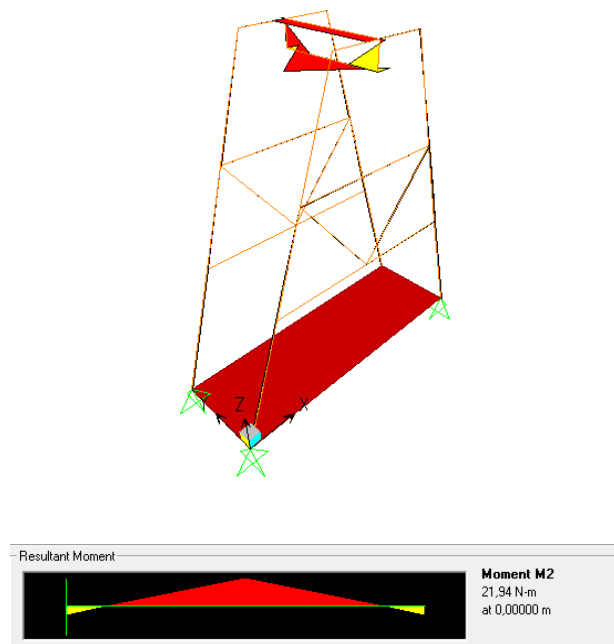


Figura 6-20 Momentos presentes en el plano x. (Fuente: El autor)

- Diagrama de momento en el plano z-z

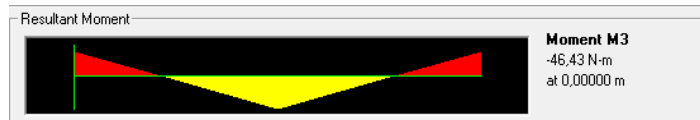
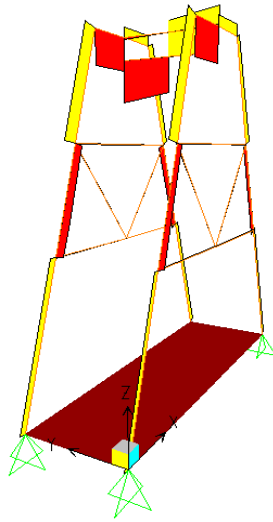


Figura 6-21 Momento en el plano z. (Fuente: El autor)

- Diagrama de momento en el centro de la estructura

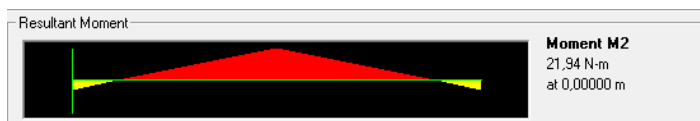
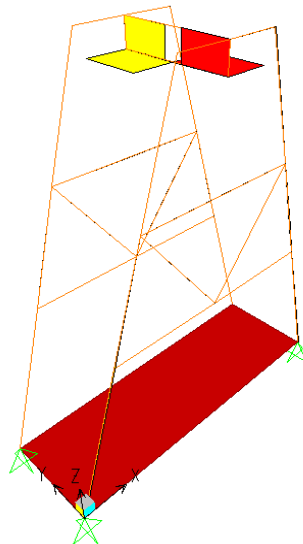


Figura 6-22 Momento en el eje del péndulo. (Fuente: El autor)

6.6.4 Levantamiento de cargas

El esfuerzo causado por el levantamiento se mide en función del peso de la carga, la distancia horizontal entre la carga y el cuerpo (distancia de agarre), y la altura del levantamiento.

Para la evaluación se mide la altura de levantamiento, el peso de la carga y la distancia vertical (H) de manipulación a la línea central del cuerpo, eligiendo la tabla que corresponda según sea la altura del levantamiento de la carga y consiguientemente la puntuación.

El esfuerzo por levantamiento se mide en función de:

- Peso de la carga.
- La distancia de agarre.
- La altura de levantamiento.

Manipulación de pie				
1	La carga puede levantarse mediante medios mecánicos			
Distancia H	< 30 cm	30-50 cm	50-70 cm	> 70 cm
2	< 18 kg	< 10	< 8	< 6
3	18-34	10-13	8-13	6-11
4	35-55	20-30	14-21	12-18
5	> 55 kg	> 30	> 21	> 18

Figura 6-23 Levantamiento de cargas. (Fuente: F.Javier Llana Álvarez, Ergonomía y Psicología Aplicada (2009))

6.7 Metodología, modelo operativo

6.7.1 Base del péndulo

Para base de esta máquina se adquirió un perfil estructural “canal en U” de 1000 mm x 300 mm, al cual se lo cortó de acuerdo a lo necesitado, y luego se procedió a soldar con un electrodo E-6011a un ángulo de calidad

A36 de 100 x 100 x 6 mm y en el mismo que se realizó las perforaciones necesarias para los pernos de anclaje al piso.

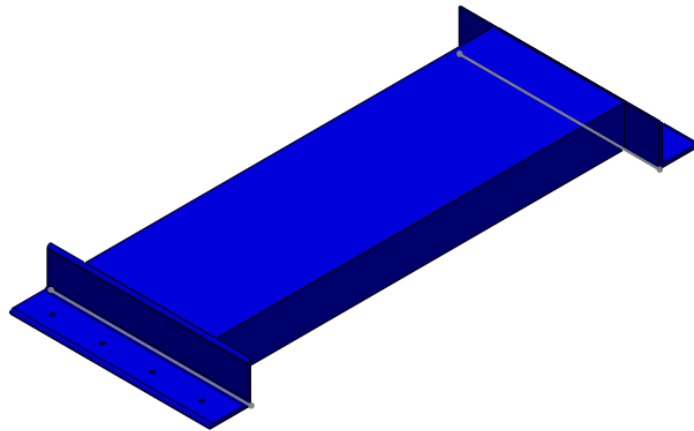


Figura 6-24 Base de la Máquina Charpy. (Fuente: El autor)

6.7.2 Yunque

En este elemento se adquirió una plancha de acero A36 de 200 mm x 200 mm la cual se la cortó y fresó y se le dió la forma requerida de acuerdo a la norma ASTM E-23, con su respectivo canal del centrado de muestras para luego ser soldado a la base con un electrodo E-7018.

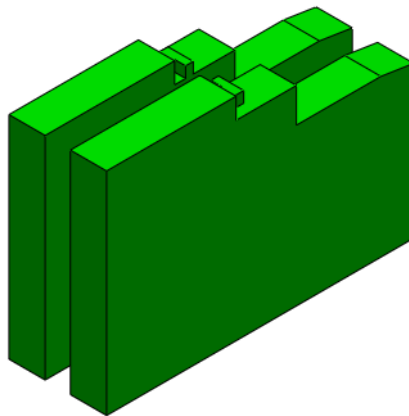


Figura 6-25 Soporte de probetas. (Fuente: El autor)

6.7.3 Probeta

Estas probetas están construidas con un eje de acero AISI 8620 de 300 mm de diámetro de varios lotes al cual se lo realizó bajo la norma ASTM E-23 las mismas que fueron cortadas y mecanizadas.

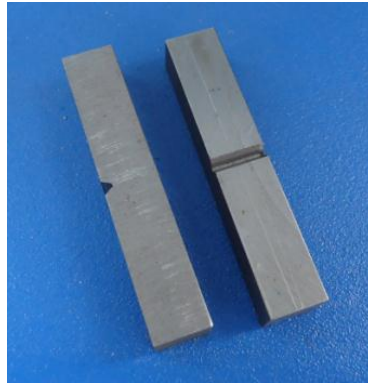


Figura 6-26 Probetas. (Fuente: El autor)

6.7.3 Soportes o Parantes

Este elemento es construido con un ángulo de acero ASTM A36 de medida 50 x 50 x 3 mm de espesor, es cortado y soldado con un electrodo E-7018, también se encuentran 4 perforaciones en las que van sujetas las chumaceras.

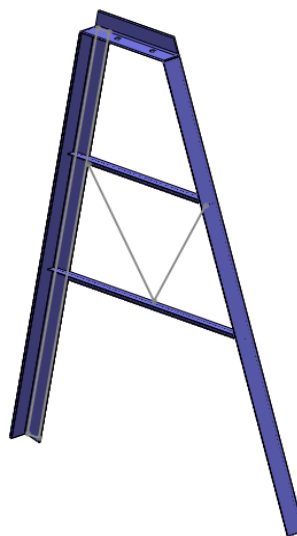


Figura 6-27 Parante. (Fuente: El autor)

6.7.4 Eje del péndulo

Para realizar este elemento se lo hizo con un acero AISI 1018 de 340 x10 mm, se lo torneó en su extremo ya que ahí se encuentra ubicado el mecanismo para la sujeción de la pluma indicadora.

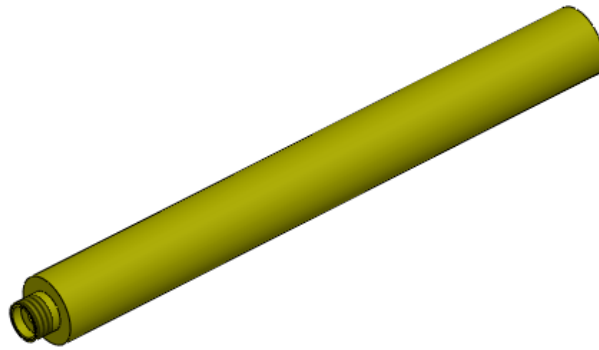


Figura 6-28 Eje del péndulo. (Fuente: El autor)

6.7.5 Chumacera

Se adquirió 2 chumaceras de un diámetro de 40 mm y con características a las que necesitamos según el catálogo SKF.

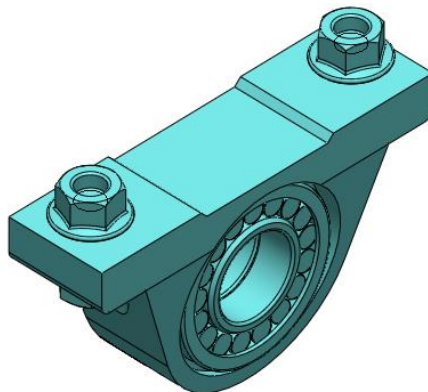


Figura 6-29 Eje del péndulo. (Fuente: El autor)

6.7.6 Apoyo del brazo del péndulo

Se adquirió un tubo estructural cuadrado de 50 x 50 y 3 mm de espesor al mismo que se le cortó y soldó a la superficie de la estructura con un electrodo E-7018, en el mismo se encuentra el soporte del gatillo, y también dos platinas con una perforación para el pasador de seguridad del péndulo.

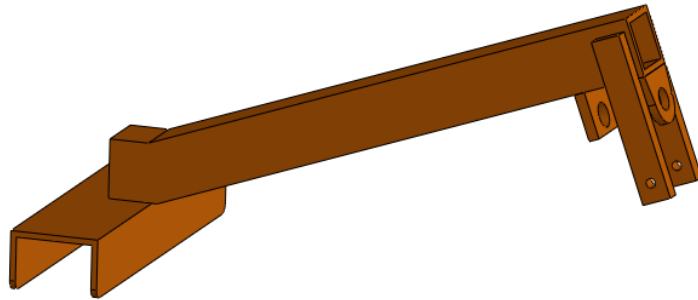


Figura 6-30 Soporte del péndulo. (Fuente: El autor)

6.7.7 Brazo del péndulo

Se adquirió un eje de acero AISI 1018 de 910 x 40 mm de diámetro, el cual fue torneado y refrentado y soldado con un electrodo E-7018 a la parte superior central del martillo percutor.

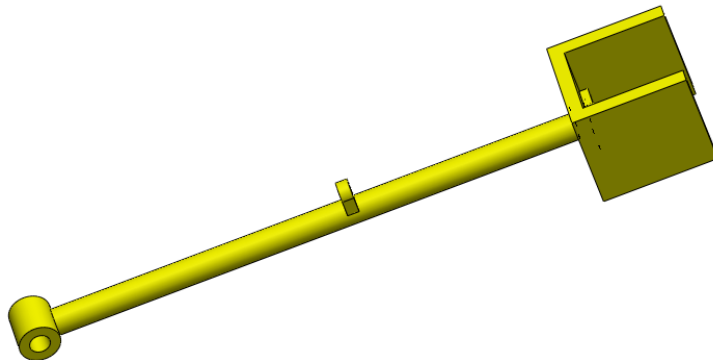


Figura 6-31 Eje del péndulo. (Fuente: El autor)

6.7.8 Martillo

Se adquirió una plancha de acero ASTM A36 de 180 x 195 x 25 mm de espesor la cual se la cortó y soldó con un electrodo E-7018, para darle la forma de acuerdo a lo que nos indica norma ASTM E-23, se encuentra cuatro agujeros roscados M10 mm para la sujeción de la cuchilla.

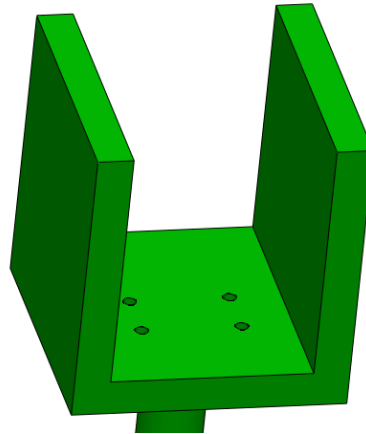


Figura 6-32 Martillo. (Fuente: El autor)

6.7.9 Placa de impacto

Para este elemento se adquirió un acero K100 de 15 x 69 mm, al cual se le fresó y soldó a una base que tiene cuatro agujeros M10 mm, las que sirven para sujetarla a la superficie del martillo del péndulo.

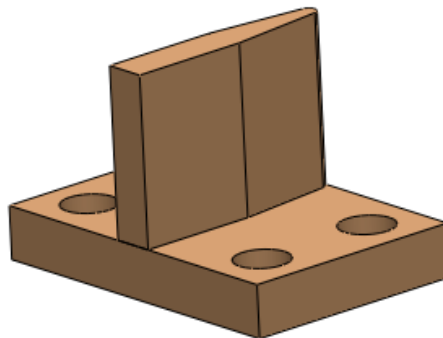


Figura 6-33 Soporte del péndulo. (Fuente: El autor)

6.7.10 Protector de la escala

Estos elementos están contruidos con acero el ASTM A36 de una plancha de 4 mm de espesor, esta dado una forma redonda para ubicar en su interior la escala, y soldado con un electrodo E-6011 y adherido unas cuatro platinas pequeñas con agujeros para la sujeción en el parante.

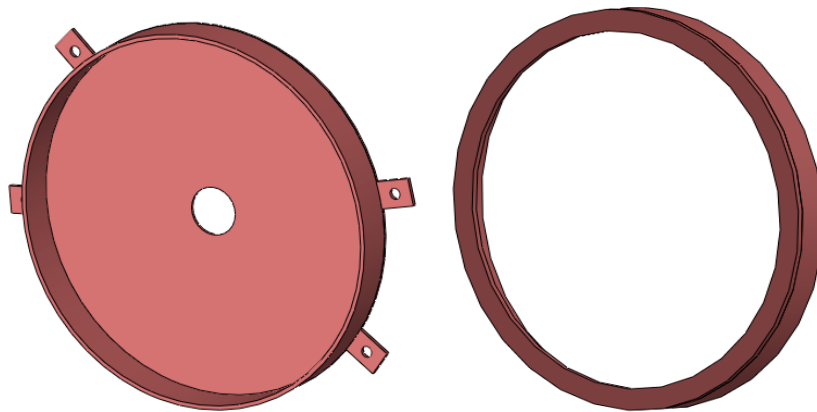


Figura 6-34 Tapa protectora de la escala. (Fuente: El autor)

6.7.11 Escala de energía de impacto

Se lo realizó en una plancha de aluminio de 3 mm, en la misma se encuentra la escala de energía que nos indica los valores en [J] y [Kg-m].

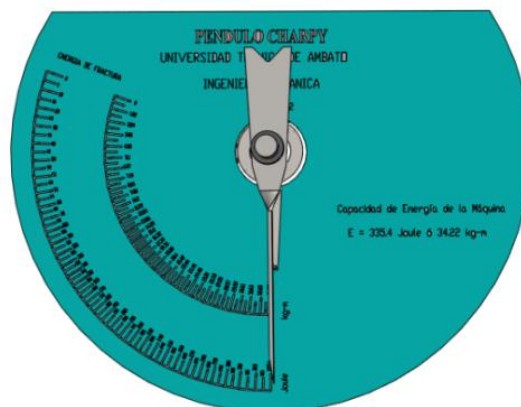


Figura 6-35 Indicador de energía. (Fuente: El autor)

6.7.12 Pluma indicadora

La pluma indicadora está construida con una platina de 4 mm de espesor cortada y doblada, con un eje pequeño en el medio para poder manipular y así visualizar la lectura de datos.

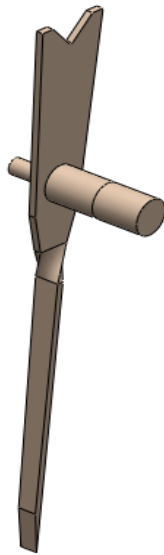


Figura 6-36 Vidrio protector. (Fuente: El autor)

6.7.13 Vidrio

Este elemento es un vidrio templado, pulido y perforado, de cuatro líneas de espesor y con un agujero en el centro para que pase el eje de pluma indicadora.

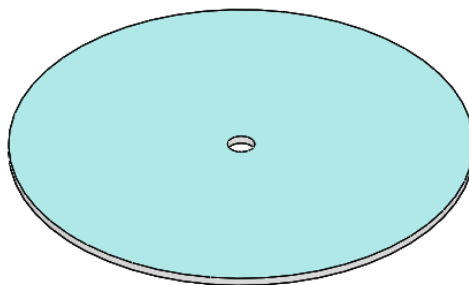


Figura 6-37 Vidrio protector. (Fuente: El autor)

Ensamblado todos los elementos mostrados anteriormente, la máquina queda de la siguiente manera.



Figura 6-38 Máquina Charpy. (Fuente: El autor)

6.7.14 Maquinaria y equipo utilizado

La maquinaria utilizada para la construcción es:

- Fresadora.
- Torno.
- Taladro de columna.
- Soldadora de arco eléctrico.
- Compresor.

Dentro de las herramientas se utilizó:

- Sierra.
- Taladro.
- Amoladora.
- Entenalla.
- Limas.

- Equipo de pintura.

Los instrumentos de medición y trazado utilizados fueron:

- Rayador.
- Escuadras.
- Calibrador.
- Flexometro.

6.8 Administración

6.8.1 Costos directos

Los costos directos están descritos a continuación, de acuerdo a lo utilizado para la construcción de la máquina.

Tabla 6-1 Costos directos

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL [Dólares]
Plancha de acero	kg	1	200	200
Perfil 2x1/4	m	1	50	50
Perfil 1x 1/4	m	1	30	30
Base tipo C ¼ x 30	m	1	60	60
Eje del péndulo	m	1	50	50
Eje péndulo	m	1	25	25
Chumaceras	n/a	2	15	30
Platina de refuerzo	m	1	40	40
Resorte	n/a	1	5	5
Vidrio	n/a	1	14	14
Pernos expansión	n/a	8	2	16
Pernos	n/a	4	3	12
Rodamientos	n/a	2	4	8
Platina	m	1	5	5
Tubo cuadrado	m	1	15	15
SUBTOTAL				\$ 560

Fuente: El Autor

Los costos por mano de obra se detallan a continuación

Costos por mano de obra

Tabla 6-2 Costo de mano de obra

CARGO	HORAS TRABAJADAS	COSTO/HORA	TOTAL
Maestro	100	3	300
TOTAL			300

Fuente: El Autor

Costos de materiales consumibles

Tabla 6-3 Costos materiales consumibles

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL [Dólares]
Lija # 80	n/a	5	1	5
Lija # 400	n/a	2	0.8	1.60
Disco de corte	n/a	2	5	10
Disco de desbaste	n/a	1	5	5
Sierra grano grueso	n/a	2	3	6
Pintura fondo	galón	1	15	15
Pintura Acabado	litro	1	10	10
Tiñer	galón	2	5	10
Masilla	litro	¼	2	2
Electrodo 6011	kg	1	5	5
Electrodo 7018	kg	1	15	15
SUBTOTAL				\$ 84.6

Fuente: El Autor

Costo material para el ensayo

Tabla 6-4 Costos material para ensayo

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL [Dólares]
Acero 8620	Kg	20	8	160
Maquinado	unidades	30	6	180
SUBTOTAL				\$ 340

Fuente: El Autor

Tabla 6-5 Costo total

DETALLE	COSTO
Costos de Materiales	560
Mano de Obra	300
Costos de materiales consumibles	83.60
Material para probetas	340
TOTAL DE GASTOS	\$ 1283.6

Fuente: El Autor

6.9 Previsión de la evaluación

La presente propuesta debe estar sujeta a un plan de evaluación, con el fin de mejorar los resultados que se obtengan. La máquina construida formará parte de los equipos del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de tal manera que su funcionamiento debe ser muy confiable, uno de los parámetros que se debe tener en cuenta la velocidad tangencial de funcionamiento del péndulo, de tal manera que no podrá ser inferior a 3 ni superado a 6 m/seg , parámetro que establece la norma ASTM E-23 , otro aspecto a tomar en cuenta es la adecuada colocación de la probeta en el yunque de ensayo, con la debida dirección

indicada, de tal manera que la relación de esfuerzos sea siempre por la muesca realizada en la probeta.

Se espera que a futuro se siga utilizando este equipo para el proceso aprendizaje y enseñanza en la facultad, por lo que se recomienda la certificación del equipo, posteriormente se realicen estudios con otro tipo de materiales, para adquirir información sobre el comportamiento del mismo, esperando que durante este proceso se pueda ir verificando dichos datos con otros trabajos realizados sobre el tema, con el fin de ir mejorando tanto en el procedimiento como en la toma de datos y posteriormente en el análisis de los mismos para llegar a conclusiones que beneficien tanto en el aspecto académico como en el desarrollo industrial del sector.

Se recomienda además que mediante trabajos de investigación futuros se automatice su funcionamiento con el objeto de obtener resultados mucho más rápidos y precisos mediante la implementación de un software de control adecuado.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Álvarez, F. J. (2009). *Ergonomía y Psicología Aplicada*.(cuarta ed.) Lex Nova.
2. Arias, A. G. (1999). *Laboratorio de Ensayos Industriales, Metales* (catorceava ed.). Buenos Aires: Litenia.
3. Ballesteros, M. N. (2005). *Tecnología de proceso y transformación de materiales* (tercera ed.). Barcelona: UPC.
4. Carlos Ferrer Giménez, V. A. (2003). *Tecnología de Materiales*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
5. Carmen Fuentelsaz Gallego, M. T. (2006). *Elaboración y presentación de un proyecto de investigación y una tesina*.
6. E.Paul DeGarmo, J. T. (2002). *Materiales y Procesos de Fabricación* (Segunda ed., Vol. 1). Barcelona: Rverté S.A.
7. F. R. Morral, E. J. (1985). *Metalurgia General* (Vol. II). Barcelona: Reverté, S.A.
8. Fuentelsaz, C. (2004). *Matronas Profesión* (Vol. 5 °). Barcelona.
9. Gere., J. M. *Resistencia de Materiales* (5° ed.). Thomson.
10. Gomila, M. J. (2002). *Fractura de Materiales* (Primera ed.). Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña.
11. González, J. L. (2003). *Metalurgia mecánica*(segunda ed). Mexico: LIMUSA S.A.
12. Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas* (Primera ed.). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.
13. Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Reverte S.A.

14. Medina F. Naranjo, H. E. (2004). *Tutoría de la Investigación Científica* (cuarta ed.). Graficas Corona Quito.
15. Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: Pearson Educación.
16. Peinado, N. P. (2005). *Tecnología de los Metales y Procesos de Manufactura*. Caracas: Andres Bello.
17. Sampieri, R. H. (2006). *METODOLOGIA de la Investigación* (cuarta ed.). Iteramericana Editores S.A.
18. Shigley's, B. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Eighth ed.). Madrid: McGraw-Hill Primis.
19. Walpole, R. E. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (Sexta ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.
20. William D. Callister, J. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol. I). Barcelona, España: Reverté, S.A.

ANEXOS

1. Anexo A

Formato

Formato 1-1 Toma de datos para Ensayos de Impacto Charpy

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

ENSAYO DE IMPACTO CHARPY

Material:	Acero AISI 8620
Norma:	ASTM E- 23
Temperatura:	
Tipo de muesca:	Tipo en “ V ”
Lugar y fecha:	
Elaborado por:	

# Pro- betas	Longitud (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profundidad del entalle (mm)	Sección transversal (cm ²)	Lectura de la energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/ cm ²)
1							
2							
3							
4							
5							

Observaciones:

ses:.....

Fuente: El Autor

2. Anexo B

Probeta

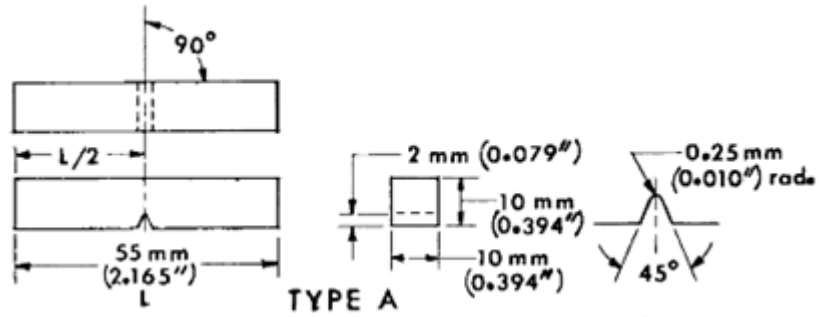


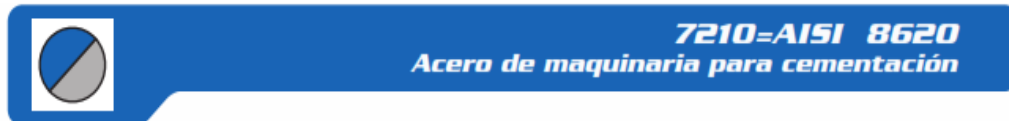
Figura 2-1 Probeta Tipo A para ensayo Charpy de Aceros.

Fuente: Tomado de la norma ASTM E-23, (2001)

3. Anexo C

Propiedades y análisis metalográfico del material

Tabla 3-1 Propiedades del Acero AISI 8620



GENERALIDADES: Es un acero aleado para cementación, con un núcleo de alta resistencia. Se utiliza para casos donde se requiere alta dureza y resistencia al desgaste superficial, combinado con buena tenacidad del núcleo. Comparado con un acero de más alta aleación (tipo 3% níquel), éste tiene una menor tendencia a la formación de austenita retenida.

7210 tiene un grano fino tratado, del cual se aprovecha tenacidad y seguridad en el temple directo. Se suministra con una buena dureza natural controlada, dando óptima maquinabilidad.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
7210	0.15	0.25	0.90	0.80	1.20	0.10
AISI 8620	0.18-0.23	0.15-0.35	0.70-0.90	0.40-0.60	0.40-0.70	0.15-0.25

EQUIVALENCIAS:

AISI | 8620

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Suministrado laminado en caliente con dureza aproximada de 217 HB

Propiedades mecánicas del núcleo en condición de cementado y templado a 820 °C y revenido a 180 °C durante una hora.

Diámetro, mm	11	63
Esfuerzo de cedencia, kg/mm ²	min. 65	45
Resistencia a la tracción, kg/mm ²	100-135	70-100
Elongación, A5	min. 8%	11%
Reducción de área, Z	mín. 30%	30%
Resistencia al impacto, KU	--	30 (para referencia solamente)
Dureza. HB	300-405	200-300

acc. a DIN 17210, tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527/6

APLICACIONES:

1. Industria automotriz, para la realización de piñones, ejes estriados, cigüeñales, etc.
2. Maquinaria como: ejes, engranajes de reducción, cojinetes, tornillería con exigencias de dureza exterior, columnas, pines de tractores, piezas duras de maquinaria en general, etc.
3. Aplicaciones de mediana resistencia mecánica, expuestas a vibraciones o donde se requiere soldadura, con el 7210 en estado de suministro.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Recocido suave: 600-670 °C. Mantenimiento a la temperatura 2 horas. Enfriar en el horno a una velocidad máxima de 15 °C/h hasta 600 °C, después libremente al aire. Dureza máxima 217 HB.

Carburización:

880-920 °C, en una caja con polvo carburizante

850-900 °C, en baño de sal. Principalmente usado para profundidades de cementación hasta 0.5 mm.

900-940 °C, en gas. Cuando se ha llegado a la cementación deseada, se deberá reducir la temperatura a 840 °C antes de templarse.

Temple:

Temple directo: Para profundidad de cementación hasta 0.5 mm (mayores profundidades si se carburizó con gas). Temple directo desde la temperatura de cementación en aceite o baño de sal.

Tratamiento simple: Para cajas con partes carburizadas con profundidades de cementación hasta 1.25 mm. Después de carburizar, dejarlo enfriar en la caja a temperatura ambiente. Recalentar a 800-830 °C y templar en aceite o en un baño de sal.

Doble tratamiento: Para caja con partes carburizadas con profundidades de cementación sobre los 1.25 mm. Después de carburizar se deja enfriar en la caja a temperatura ambiente. Recalentar a 860-900 °C y dejar enfriar al aire. Recalentar una vez más entre 780-830 °C y templar en aceite o baño de sales.

Revenido: 160-200 °C. Mantener a esta temperatura durante 1 ó 2 horas luego de lo cual se obtendrá superficialmente durezas de 58-62 HRC, siempre que la profundidad mínima de cementación sea de 0.5 mm.

Fuente: Catalogo de aceros IVAN BOHMAN

Análisis metalográfico del acero AISI 8620

Procedimiento



Figura 3-1 Toma de muestra del acero 8620

Fuente: El autor



Figura 3-2 Muestra del acero 8620 en la prensa hidráulica

Fuente: El autor



Figura 3-3 Colocación de la bakelita en la prensa hidráulica

Fuente: El autor



Figura 3-4 Medidor de presión

Fuente: El autor



Figura 3-5 Enfriamiento de la probeta

Fuente: El autor



Figura 3-6 Probeta lista para el lijado.

Fuente: El autor



Figura 3-7 Lijado de la probeta

Fuente: El autor



Figura 3-8 Pulido con paño de la probeta con Alúmina

Fuente: El autor



Figura 3-9 Ataque Químico con Nital 4

Fuente: El autor



Figura 3-10 Secado de la probeta

Fuente: El autor

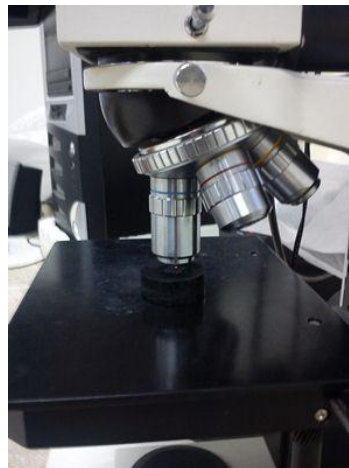
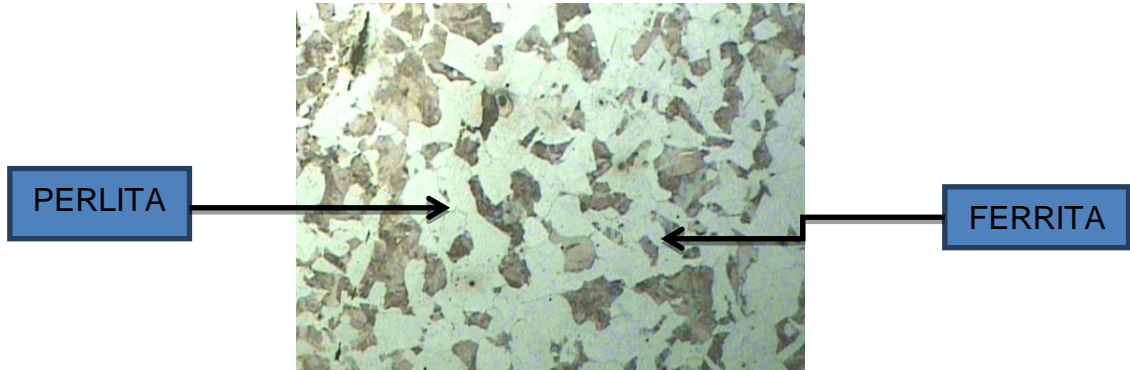


Figura 3-11 Análisis en el microscopio

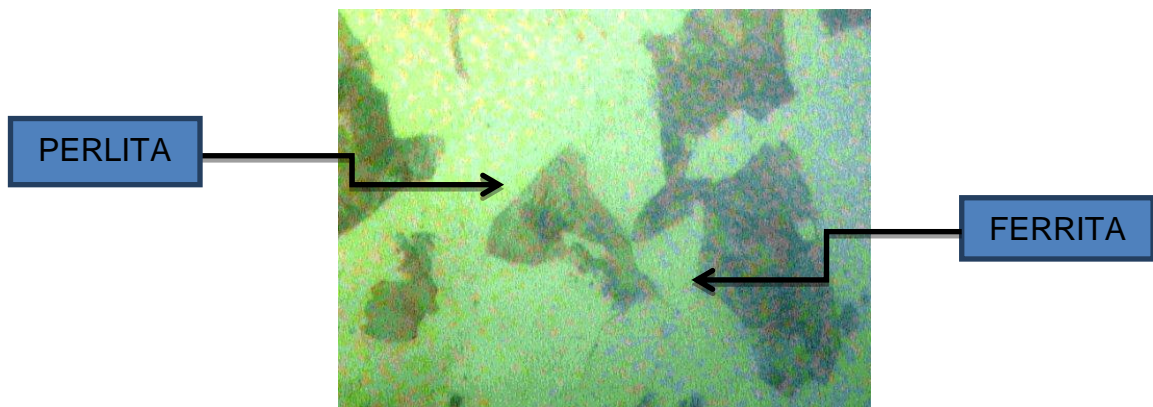
Fuente: El autor

Resultados

Imágenes tomadas con el microscopio metalográfico



Acero AISI 8620, 100X, Nital 4, 5 seg



Acero AISI 8620, 400X, Nital 4, 5 seg

4. Anexo D

Catálogos

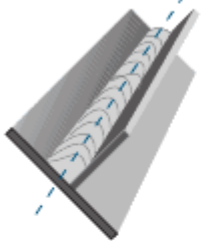
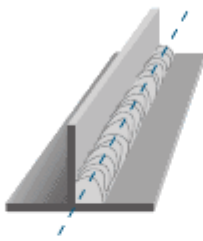
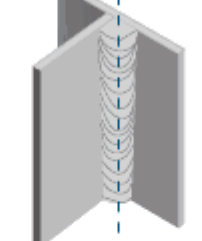
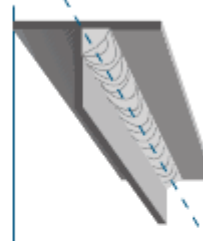
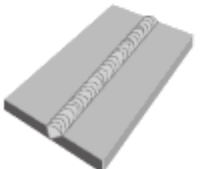

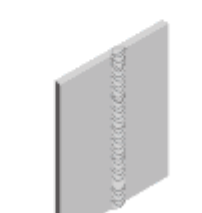

Tabla 4-1 Pernos de expansión

ANCLAJES		PERNOS DE EXPANSIÓN				
DESCRIPCIÓN						
El perno de expansión es un anclaje de rosca externa de acero galvanizado						
La expansión se efectúa por una cuña que se fuerza contra la sección cónica externa a medida que se aprieta la tuerca						
Anclaje ideal para montajes directos a través del objeto a fijar						
MEDIDA	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD DE COLOCACIÓN		PROFUNDIDAD VALORES DE CARGA HORMIGÓN DE 280 KG / CM ²		
		Mínima	Máxima	EXTRACCIÓN (Kg.)		
				Mínima	Máxima	CORTE (Kg.)
1/4 x 2 1/4	1/4" ó 6.5 mm.	1 1/8"		797		675
1/4 x 3 1/4			2"		1.035	
3/8 x 2 3/4	3/8" ó 10 mm.	1 1/2"				1.400
3/8 x 3						
3/8 x 3 3/4			4"		2.340	
3/8 x 5						
1/2 x 2 3/4	1/2" ó 13 mm.	1 5/8"		1.800		2.529
1/2 x 3 3/4						
1/2 x 4 1/4						
1/2 x 5 1/2						
1/2 x 7	5/8" ó 16 mm.		8"		3.600	3.875
1/2 x 10 1/2				3.420		
5/8 x 3 1/2						
5/8 x 4 1/2			4 3/4"		5.400	
5/8 x 6	3/4" ó 20 mm.	2 3/4"		4.275		5.400
3/4 x 4 3/4						
3/4 x 5 1/2			5"		6.200	
3/4 x 7						
3/4 x 10	1" ó 25 mm.	3 1/2"		5.500		6.500
1 x 6			6 1/2"		7.400	
1 x 9						

Fuente: www.tefix.cl

Posición de Soldadura

Tabla 4-2 Designación de acuerdo con ANSI/AWS A3.0:2001

Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Soldadura filete			
 1F	 2F	 3F	 4F
Soldadura de ranura en plancha			
 1G	 2G	 3G	 4G

Fuente: Indura, 2006

Tabla 4-3 Tipo de electrodo utilizado

INDURA 7018-AR	Clasificación AWS: E-7018 / E-4918
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo para acero al carbono • Revestimiento bajo hidrógeno con hierro en polvo. Color gris 	<ul style="list-style-type: none"> • Toda posición • Corriente continua, electrodo positivo

Descripción

Electrodo de bajo contenido de hidrógeno.

Se caracteriza por depósitos de calidad radiográfica, arco fácil de establecer, excelentes características operativas, fácil desprendimiento de escoria y excelente presentación.

Usos

Se recomienda para trabajos donde se requiera una alta calidad radiográfica.

Aplicaciones típicas

- Construcción
- Reparación de buques
- Plataformas petroleras
- Cañerías, etc.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En soldadura en posición sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance.

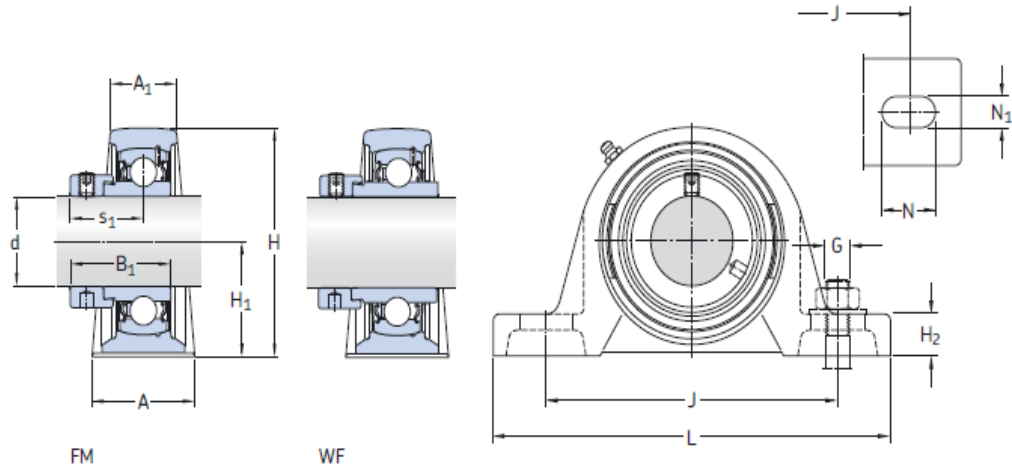
Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo. Para mayores detalles ver página 33. Observe las recomendaciones para almacenaje de los electrodos, página 20.

Composición química (típica) del metal depositado:				
C 0,09%; Mn 1,05%; Si 0,55%; P 0,020%; S 0,015%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 572 MPa	490 MPa	135J a -30°C	27J a -30°C	
Límite de fluencia : 475 MPa	400 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		min.	máx.	
2,4	300	60	110	52
3,2	350	100	160	26
4,0	350	130	210	19
4,8	350	190	280	14

Fuente: Indura, 2003

Tabla 4-4 Selección de chumaceras

Y-bearing plummer block units with a cast housing and an eccentric locking collar,
metric shafts
d 15 – 60 mm



Dimensions													Basic load ratings dynamic C static C ₀	Fatigue load limit P _u	Limiting speed with shaft tolerance h ₆	Designation Bearing unit	
d	A	A ₁	B ₁	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G	s ₁					
mm													kN	kN	r/min	-	
15	32	18	28,6	57	30,2	14	97	127	20,5	11,5	10	22,1	9,56	4,75	0,2	9 500	SY 15 FM
17	32	18	28,6	57	30,2	14	97	127	20,5	11,5	10	22,1	9,56	4,75	0,2	9 500	SY 17 FM
20	32	21	31	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	23,5	12,7	6,55	0,28	8 500	SY 20 FM
	32	21	43,7	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	26,6	12,7	6,55	0,28	8 500	SY 20 WF
25	36	22	31	70,5	36,5	16	102	130	19,5	11,5	10	23,5	14	7,8	0,335	7 000	SY 25 FM
	36	22	44,4	70,5	36,5	16	102	130	19,5	11,5	10	26,9	14	7,8	0,335	7 000	SY 25 WF
30	40	25	35,7	82,5	42,9	17	117,5	152	23,5	14	12	26,7	19,5	11,2	0,475	6 300	SY 30 FM
	40	25	48,4	82,5	42,9	17	117,5	152	23,5	14	12	30,1	19,5	11,2	0,475	6 300	SY 30 WF
35	45	27	38,9	93	47,6	19	126	160	21	14	12	29,4	25,5	15,3	0,655	5 300	SY 35 FM
	45	27	51,1	93	47,6	19	126	160	21	14	12	32,3	25,5	15,3	0,655	5 300	SY 35 WF
40	48	30	43,7	99	49,2	19	135,5	175	24,5	14	12	32,7	30,7	19	0,8	4 800	SY 40 FM
	48	30	56,3	99	49,2	19	135,5	175	24,5	14	12	34,9	30,7	19	0,8	4 800	SY 40 WF
45	48	32	43,7	107,5	54	21	143,5	187	22,5	14	12	32,7	33,2	21,6	0,915	4 300	SY 45 FM
	48	32	56,3	107,5	54	21	143,5	187	22,5	14	12	34,9	33,2	21,6	0,915	4 300	SY 45 WF
50	54	34	43,7	114,5	57,2	22	157	203	26	18	16	32,7	35,1	23,2	0,98	4 000	SY 50 FM
	54	34	62,7	114,5	57,2	22	157	203	26	18	16	38,1	35,1	23,2	0,98	4 000	SY 50 WF
55	60	40	48,4	126	63,5	24	171,5	219	27,5	18	16	36,4	43,6	29	1,25	3 600	SY 55 FM
	60	40	71,4	126	63,5	24	171,5	219	27,5	18	16	43,6	43,6	29	1,25	3 600	SY 55 WF
60	60	42	53,1	138	69,9	26,5	190,5	240	29,5	18	16	39,6	52,7	36	1,53	3 400	SY 60 FM
	60	42	77,8	138	69,9	26,5	190,5	240	29,5	18	16	46,8	52,7	36	1,53	3 400	SY 60 WF

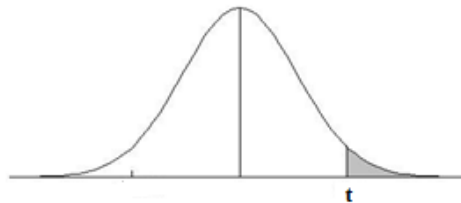
SKF

Fuente: SKF Group, 2009

5. Anexo E

Tablas y Gráficas

Tabla 5-1 Puntos de porcentaje de la distribución t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385

Fuente:

http://www.emp.uva.es/inf_acad/hermer/estad2/material/e2t_tabla_t_de_student.pdf

Tabla 5-2 Certificación de ensayos realizados



epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE IMPACTO CHARPY

MATERIAL: ACERO AISI 8620

SOLICITADO POR: JACKSON WILFRIDO BUENAÑO BARRENO

PROYECTO: TESIS "ESTUDIO DEL ENSAYO DE IMPACTO Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO AISI 8620 MEDIANTE LA NORMA ASTM E23"

FECHA DE ENSAYO: 16 Noviembre 2012

RESULTADOS DEL ENSAYO:

MUESTRA N°	1	2	3	4	5
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55	55	55
ESPESOR [mm]	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0
ANCHO [mm]	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,6	4,0	3,5	3,0	4,0
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm ²]	0,822	0,600	0,650	0,700	0,600
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	10	10	7	15	11
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm ²]	12,17	16,67	10,77	21,43	18,33
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I	S.I	S.I

Riobamba, 16 Noviembre 2012

OBSERVACIONES: S.I = Superficie Irregular

Realizado por:


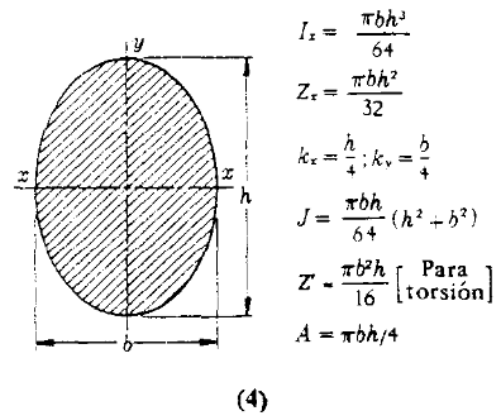
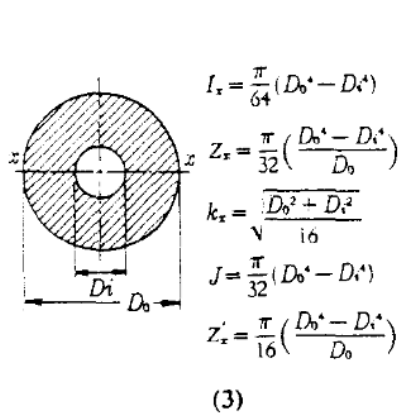
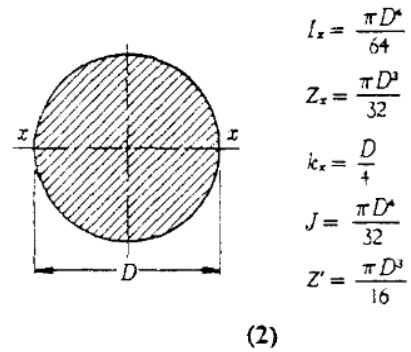
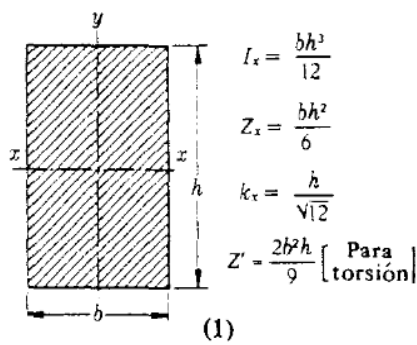

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES



Tabla 5-3 Propiedades de las secciones transversales

TABLA AT 1 PROPIEDADES DE SECCIONES TRANSVERSALES SIMPLES

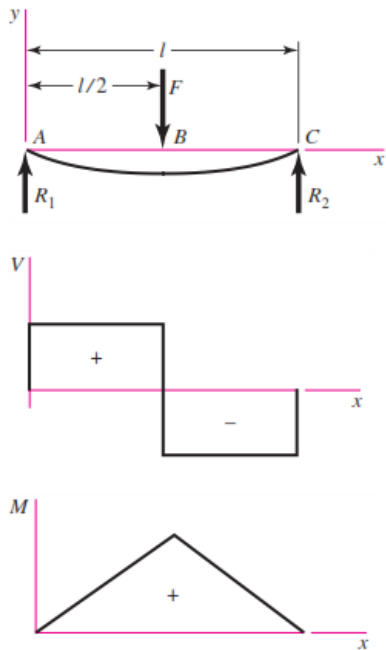
I_x = momento de inercia respecto al eje x - x ; J = momento polar de inercia respecto al eje que pasa por el centro de gravedad o eje centroidal; $Z = I/c$ = módulo rectangular de sección o módulo resistente respecto a x - x ; $Z' = J/c$ = módulo polar de la sección, $k = \sqrt{I/\text{área}}$ = radio de giro.



Fuente: Diseño de Máquinas de Faires, 2002

Tabla 5-4 Diagrama de fuerza cortante, vigas simplemente apoyada

5 Simple supports—center load



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

Fuente: Shigley, 2008

Tabla 5-5 Factores a y b para determinar el factor de acabado

Table 6-2

Parameters for Marin Surface Modification Factor, Eq. (6-19)

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

From C.J. Noll and C. Lipson, "Allowable Working Stresses," *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Horger (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

Fuente: Shigley, 2008

Tabla 5-6 Factor k_b

Size Factor k_b

The size factor has been evaluated using 133 sets of data points.¹⁵ The results for bending and torsion may be expressed as

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Fuente: Shigley ,2008

Tabla 5-7 Factor de temperatura

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

*Data source: Fig. 2-9.

Fuente: Shigley ,2008

Tabla 5-8 Factor de confiabilidad

Table 6-5

Reliability Factors k_e
Corresponding to
8 Percent Standard
Deviation of the
Endurance Limit

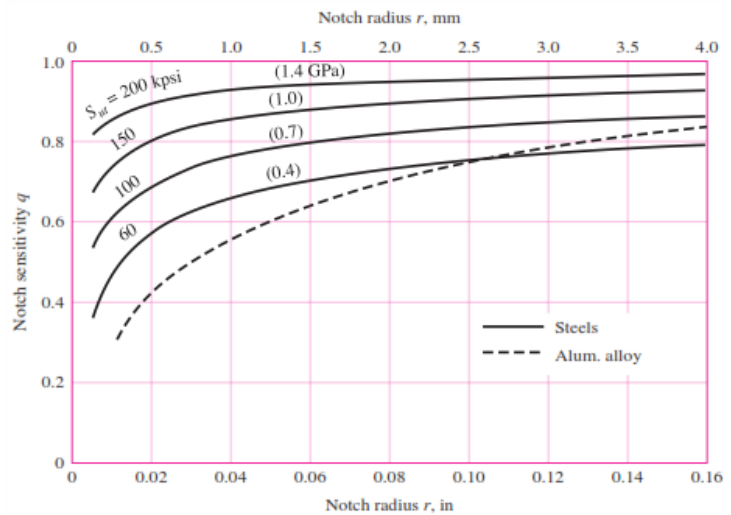
Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: Shigley ,2008

Tabla 5-9 Factor de sensibilidad a las muescas

Figure 6-20

Notch-sensitivity charts for steels and UNS A92024-T wrought aluminum alloys subjected to reversed bending or reversed axial loads. For larger notch radii, use the values of q corresponding to the $r = 0.16$ -in (4-mm) ordinate. (From George Sines and J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1969 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.)



Fuente: Shigley ,2008

6. Anexo F

Fotos



Figura 6-1 Máquina Charpy

Fuente: El autor



Figura 6-2 Posición de la probeta en el yunque

Fuente: El autor



Figura 6-3 Posicionamiento del martillo antes del ensayo

Fuente: El autor

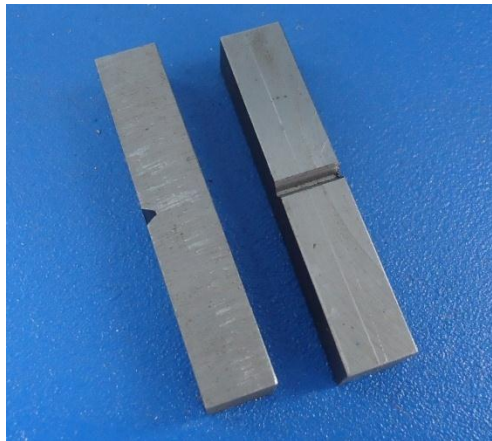


Figura 6-4 Probeta

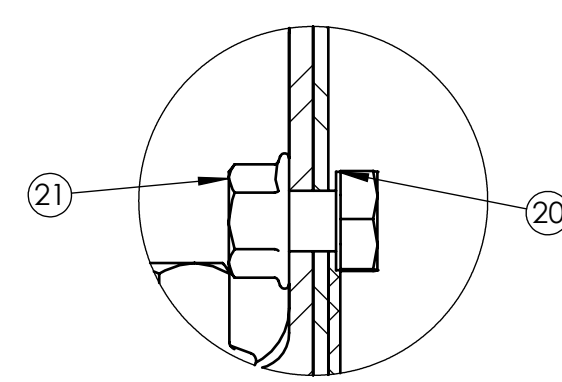
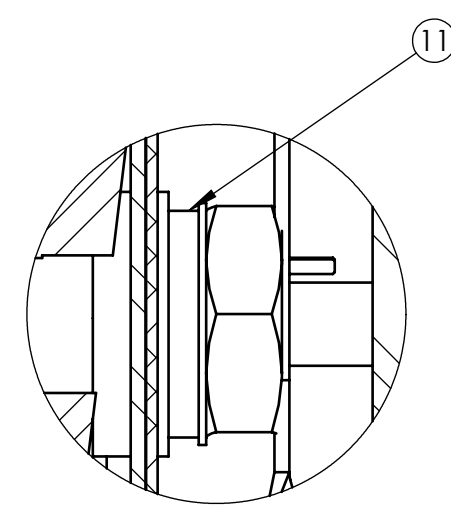
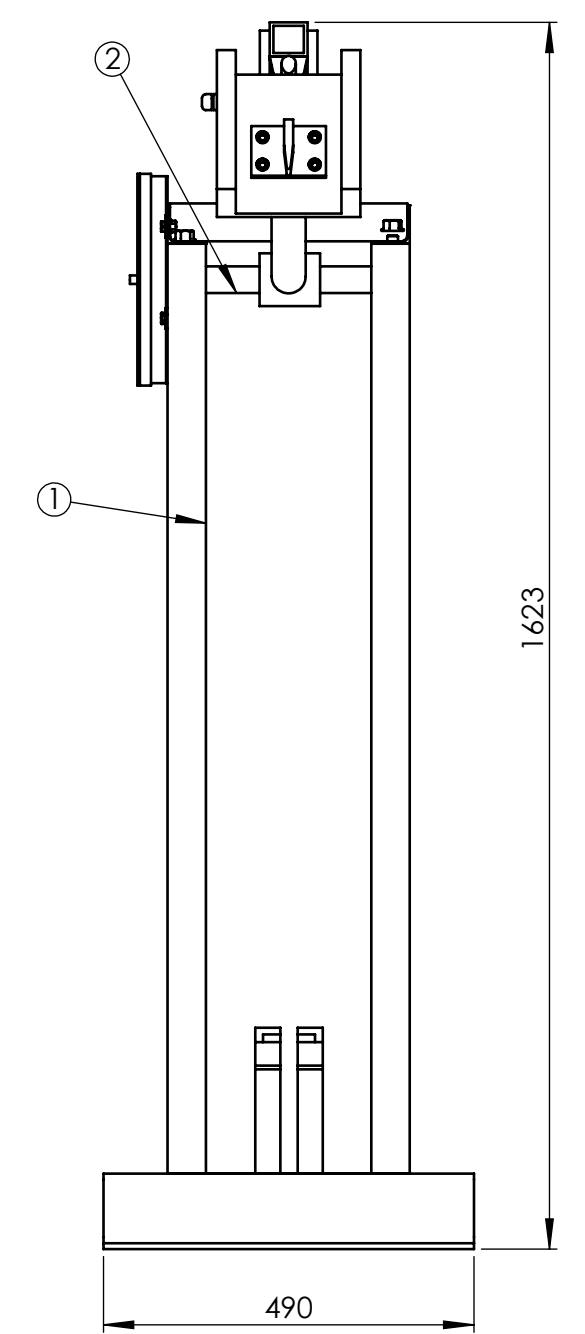
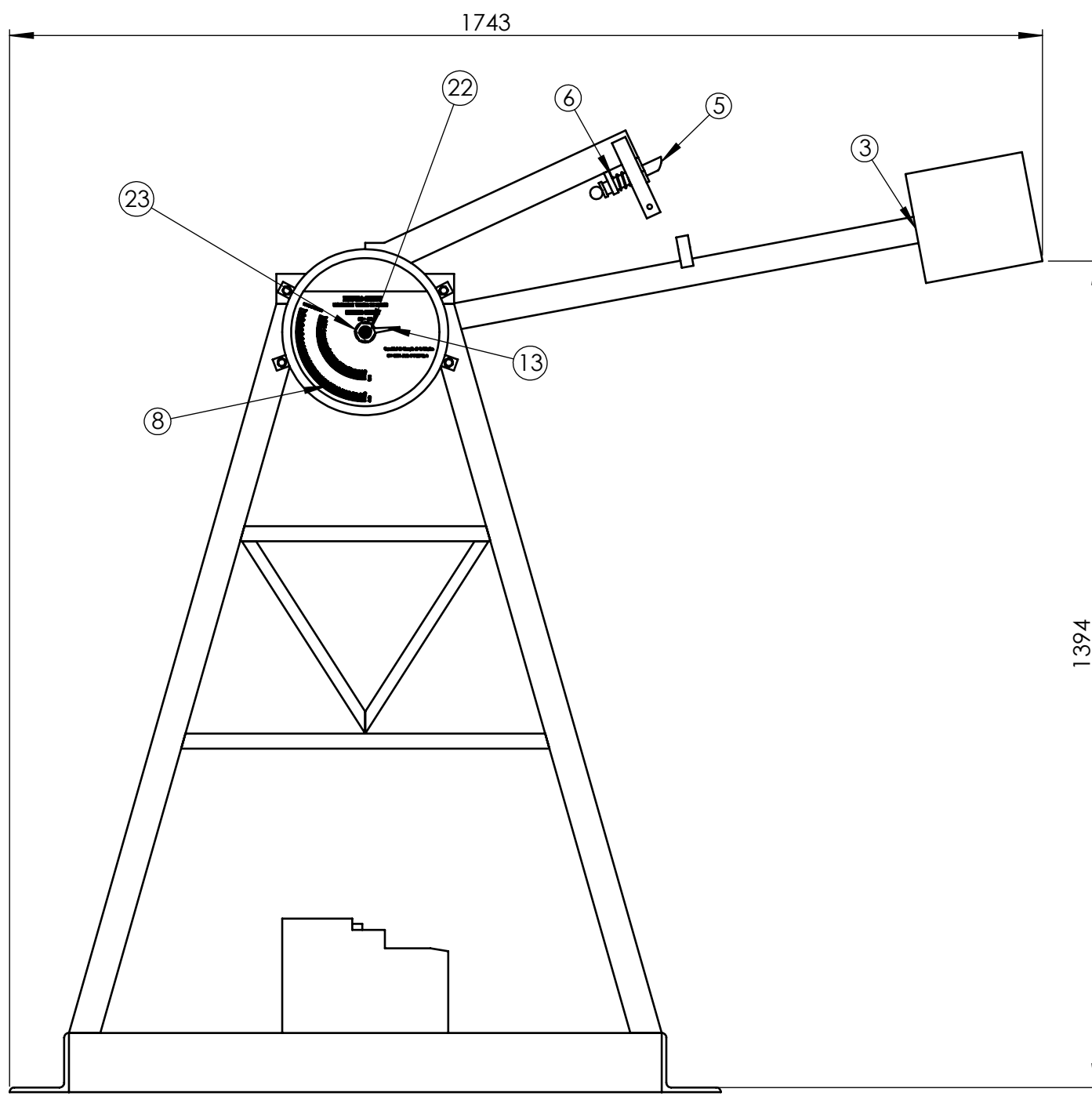
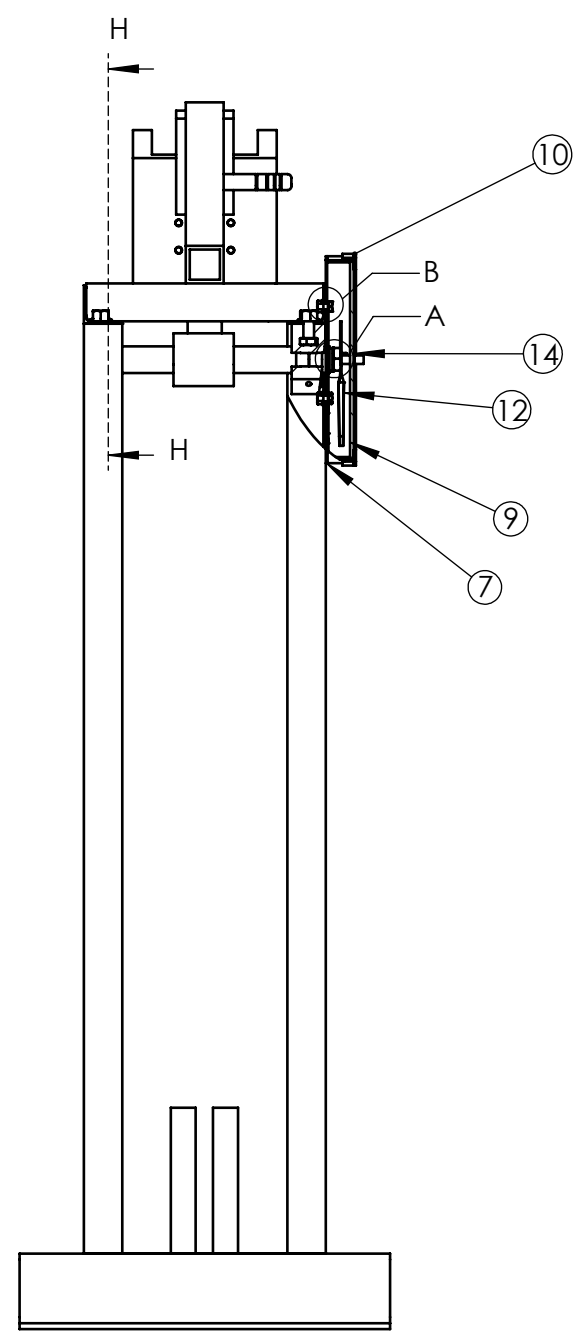
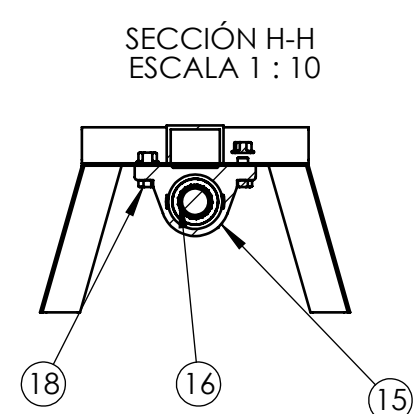
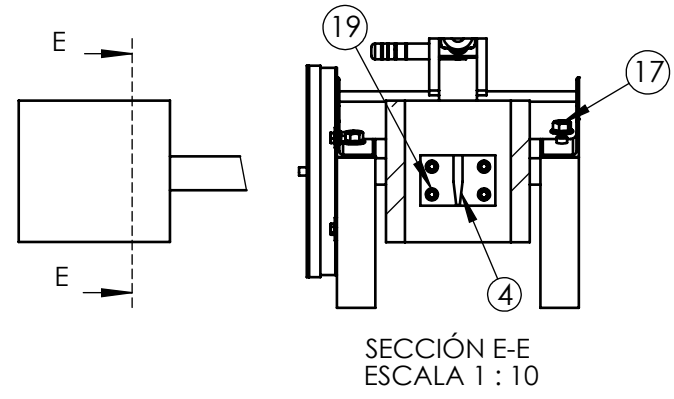
Fuente: El autor



Figura 6-5 Rotura de la probeta

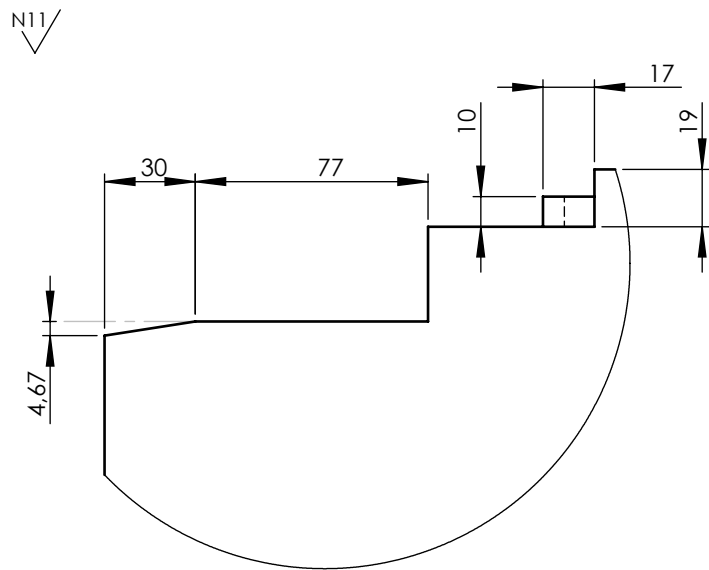
Fuente: El autor

7. Anexo Planos

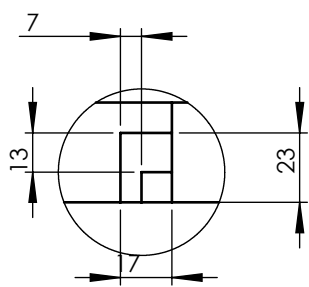


1	B18.2.4.5M - Hex jam nut, M20 x 2.5 --D-C		23			Adquirido	
1	SKF - 625 - 8.DE.NC.8 68		22			Adquirido	
4	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M8 x 1.25 --C		21		0.008	Adquirido	
4	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M8 x 1.25 x 12 --I2WN		20			Adquirido	
4	B18.3.1M - 10 x 1.5 x 30 Hex SHCS -- 30CHX		19			Adquirido	
4	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M14 x 2.0 x 30 --30WC		18			Adquirido	
4	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M14 x 2 --N		17		0.0004	Adquirido	
4	SKF - NU 207 EC - Full.DE.NC.Full		16		0.042	Adquirido	
2	Chumacera		15		1.52	Adquirido	
1	Retenedor		14		0.0006	Adquirido	
1	Guía de la pluma indicadora	ASTM A36 Acero	13		0.0057	Cortado-Doblado	
1	Pluma indicadora	AISI 1020	12		0.052	Torneado-Doblado	
1	Bosin	AISI 1020	11		0.012	Torneado	
1	Tapa reloj	ASTM A36 Acero	10		0.60	Soldado	
1	Vidrio	Vidrio	9		0.23	Cortado	
1	Escala	ANSI38 (Al)	8		0.17	Grabado	
1	Base reloj	ASTM A36 Acero	7		1.56	Soldado	
1	Resorte		6		0.01	Adquirido	
1	Catillo	ASTM A36 Acero	5		0.65	Soldado-Torneado	
1	Cuchilla	K100	4		0.96	Soldado-Fresado	
1	Martillo	Varios	3		34	Soldado	
1	Eje	ASTM A36 Acero	2		2.441	Torneado	
1	Base	Varios	1		76.70	Soldado	
No de pieza	Denominación	No de Norma Dibujo	Material	No de orden	No del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

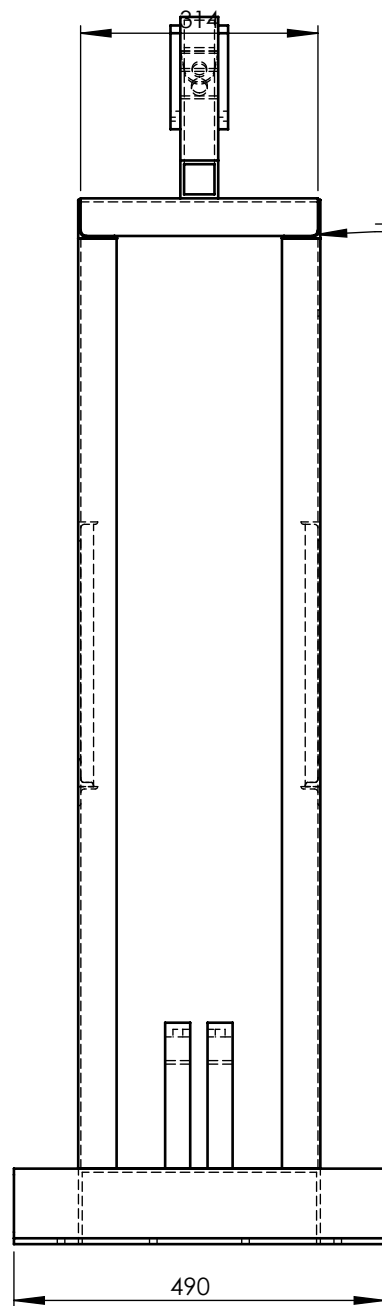
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
+/-0.3		143.95 Kg		Varios	
Fecha	Nombre	TÍTULO:		Escala:	
Dib. 05/03/2013	J. Buenaño	DESPIECE		1:5	
Rev. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	NÚMERO DE LÁMINA:			
Apr. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	01 de 13			
UTA					
INGENIERÍA MECÁNICA				SUSTITUCIÓN:	



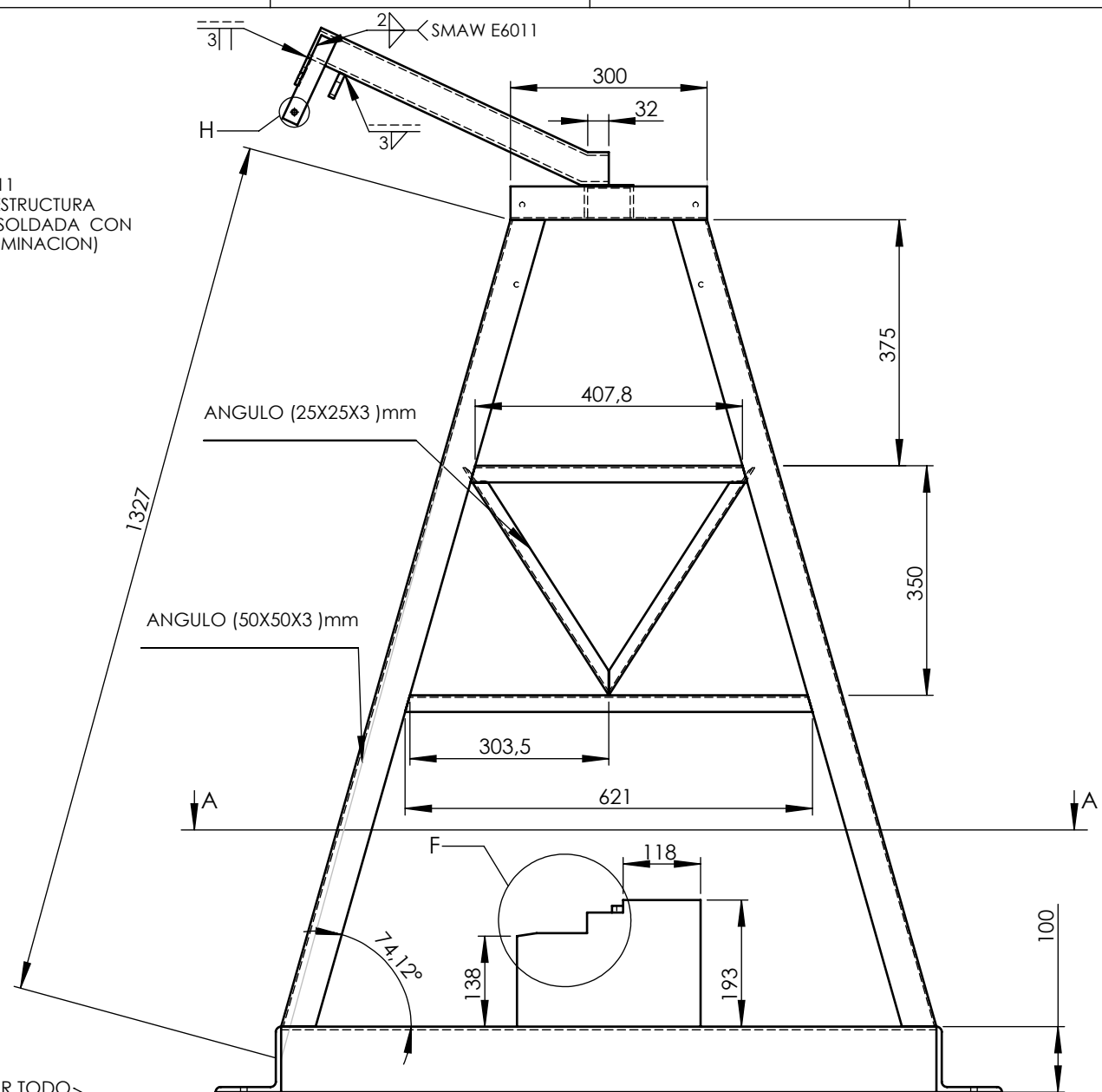
DETALLE F
ESCALA 1 : 2.5



DETALLE B
SCALE 1 : 2.5

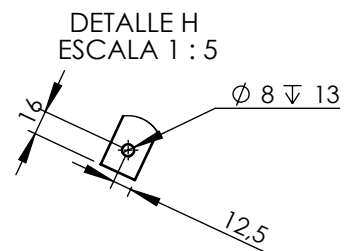


SMAW E6011
(TODA LA ESTRUCTURA
ESTA SOLDADA CON
ESTA DENOMINACION)

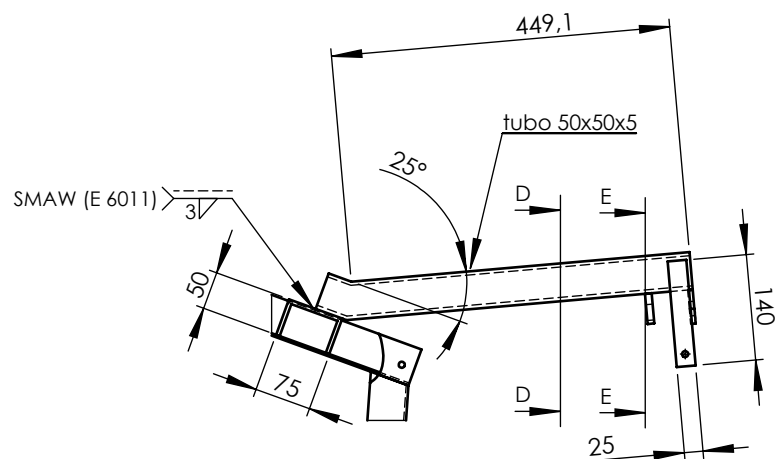


4 x Ø 10 POR TODO

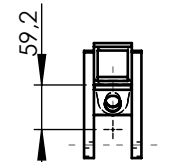
4 x Ø 10 POR TODO



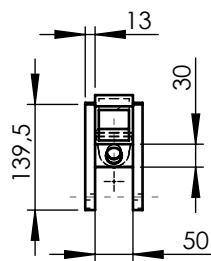
DETALLE H
ESCALA 1 : 5



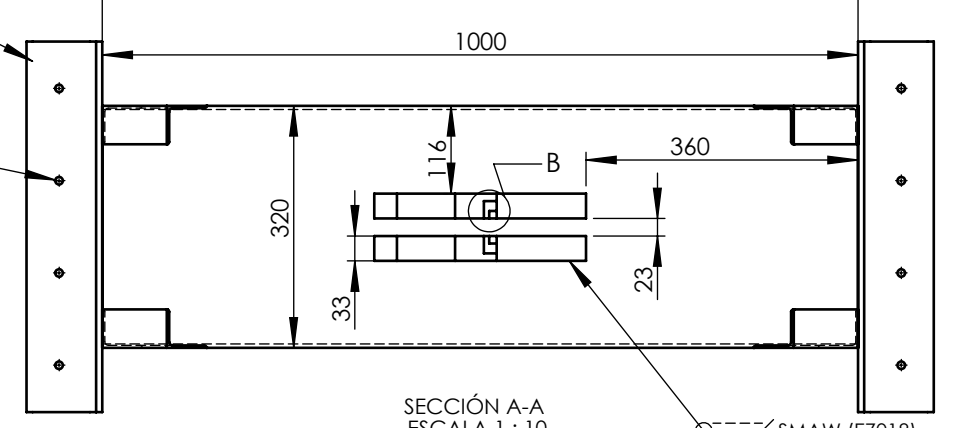
SMAW (E 6011)



SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 10

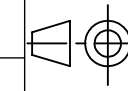


SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 10



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				+/- 0,3	76.70 Kg	Varios			
				Fecha	Nombre	TÍTULO:		Escala:	
				Dib. 05/03/2013	J. Buenaño	BASE		1:10	
				Rev. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe				
				Apro. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe				
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA						NÚMERO DE LÁMINA		02 de 13	
						SUSTITUCIÓN:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



1

2

3

4

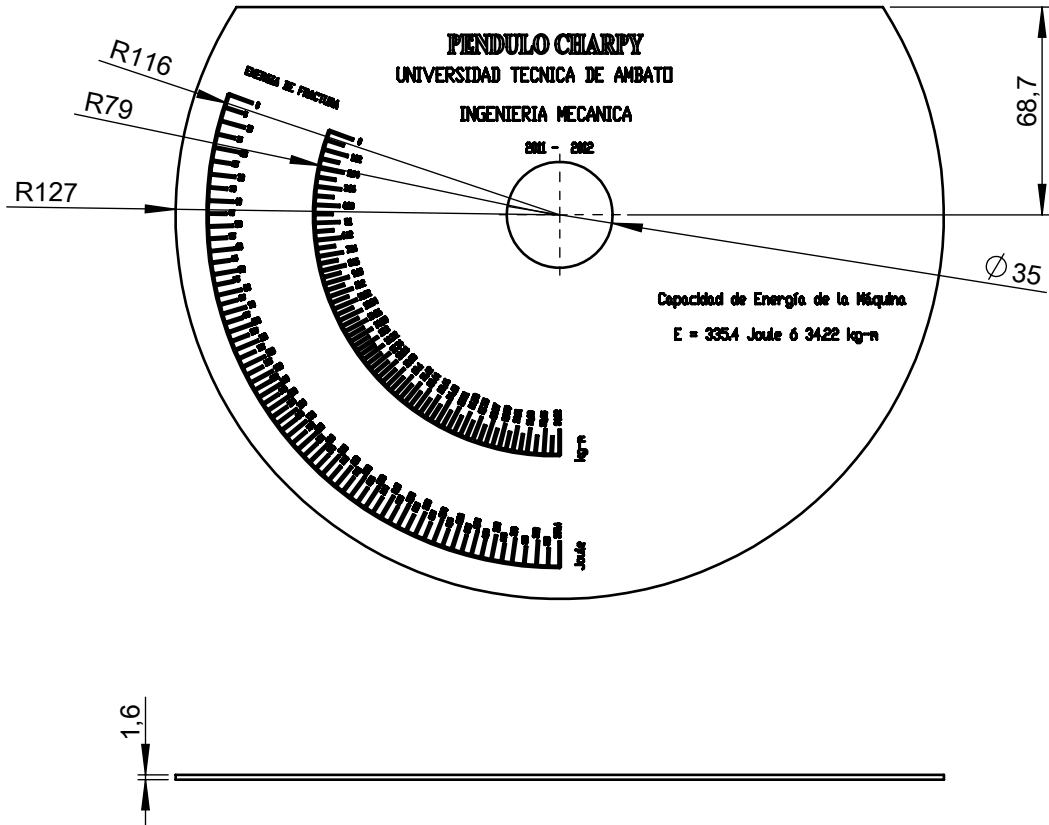
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				+/-0,3	0.017 Kg	Aleación 1060			
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				Dib.	05/03/2013	J.Buenaño	ESCALA GRADUADA		1:2.5
				Rev.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe			
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe			
				U.T.A.			NÚMERO DE LÁMINA:		
				INGENIERÍA MECÁNICA			3 DE 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				SUSTITUCIÓN:		

1

2

3

4

A

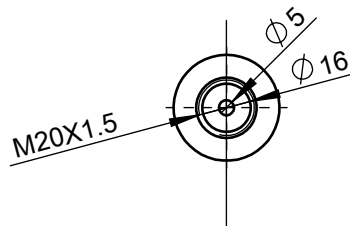
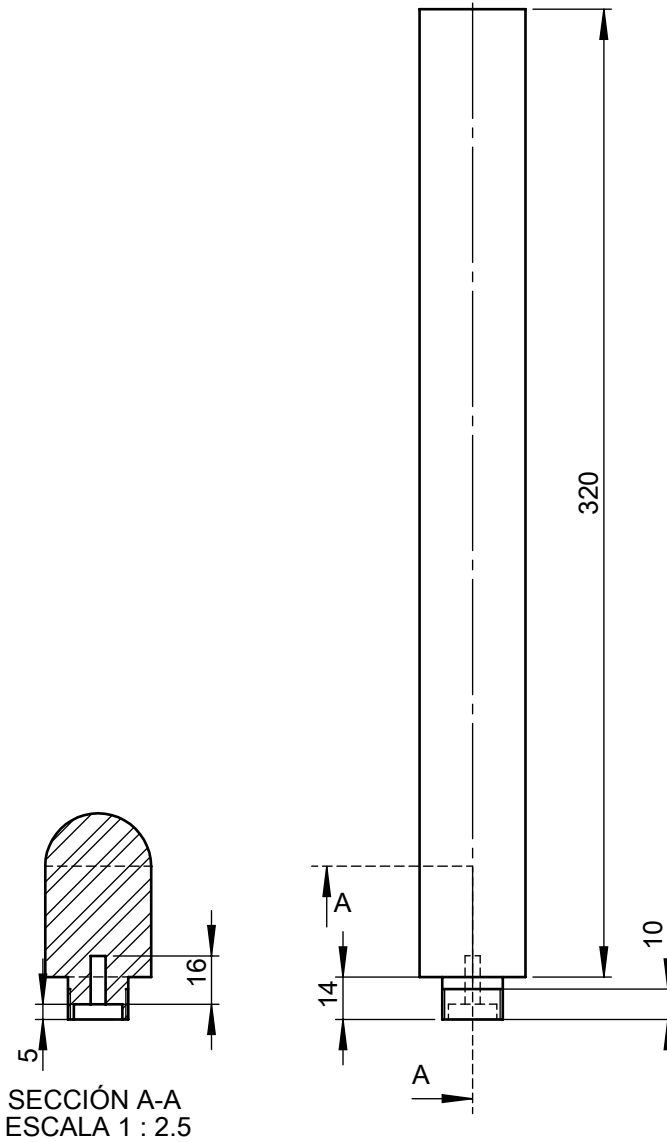
N7

B

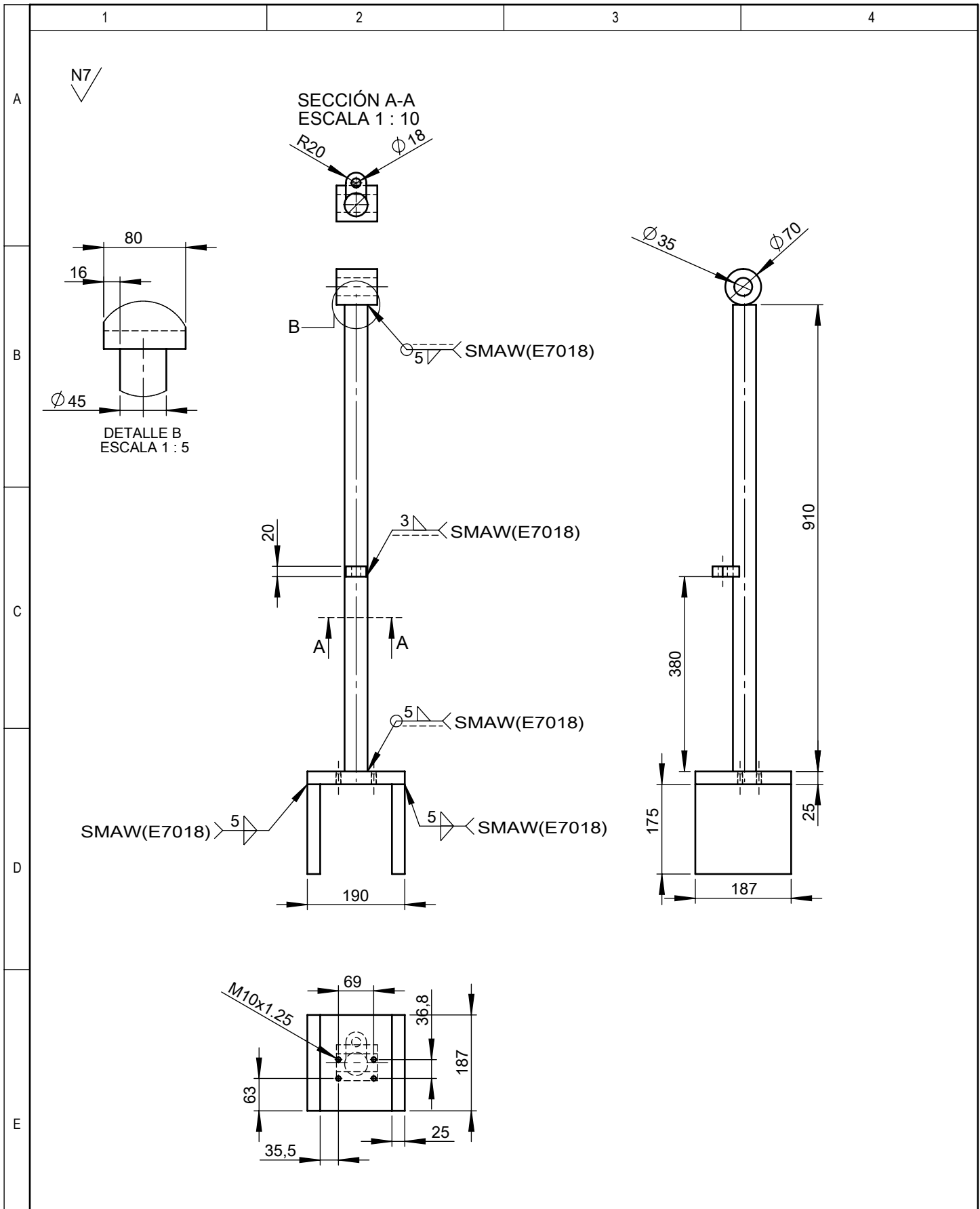
C

D

E



				TOLERANCIA: +/-0,3	PESO: 2.46 kg	MATERIAL: Acero ASTM A36 Acero	
				NOMBRE	FECHA	TÍTULO: EJE	ESCALA: 1:2.5
			Dib:	05/03/2013	J. Buenaño		
			Rev:	05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
			Apro:	05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA: 4 DE 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA: +/-0,3	PESO: 34 kg	MATERIAL: Acero AISI 1020		
						TÍTULO: MARTILLO	ESCALA: 1:2,5	
				Dib.	05/03/2013			J. Buenaño
				Rev.	05/03/2013			Ing. Guamanquispe
						Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA: 5 DE 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:		

1

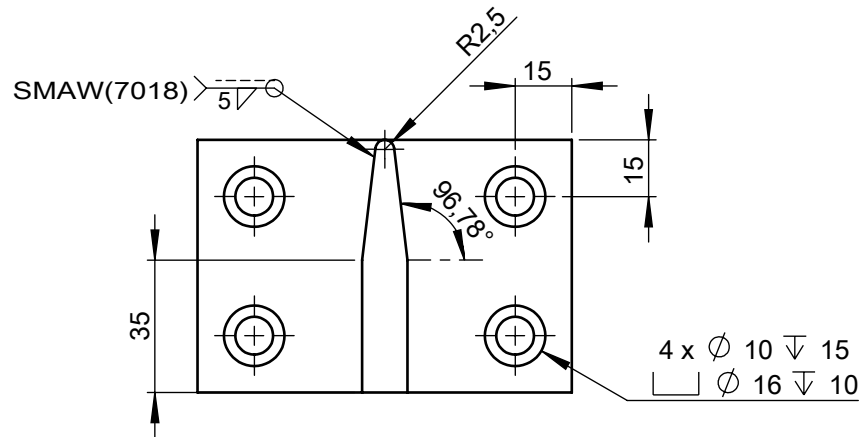
2

3

4

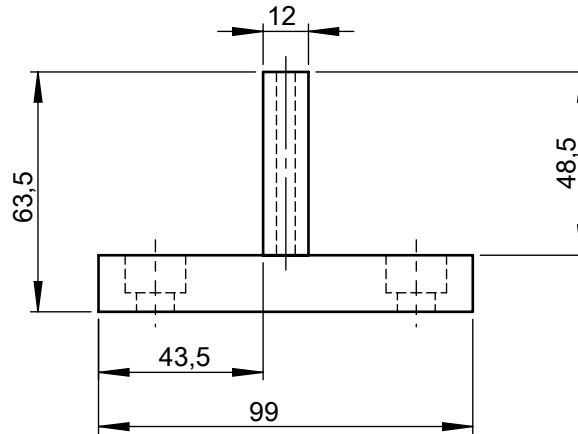
A

N7



B

C

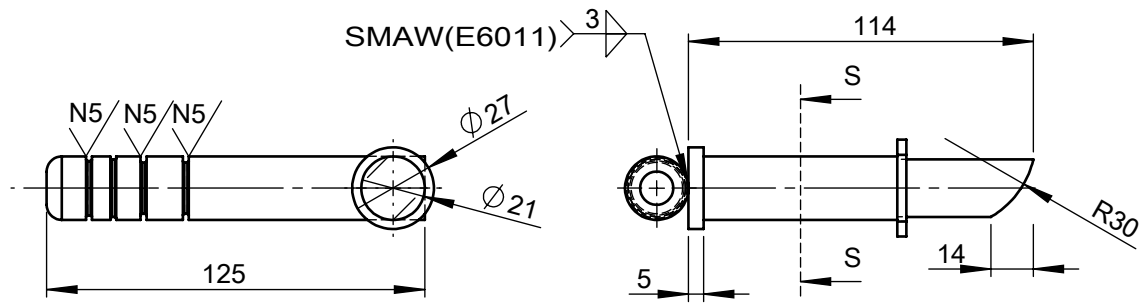


D

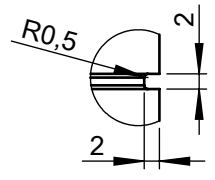
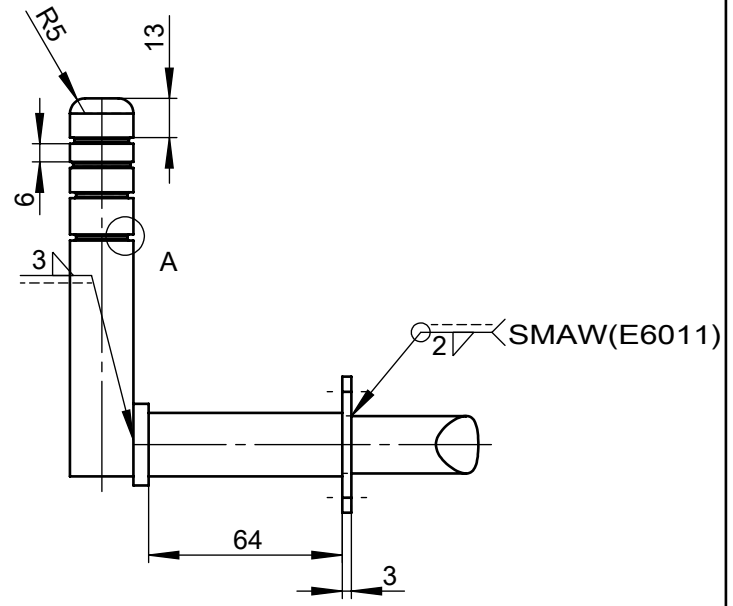
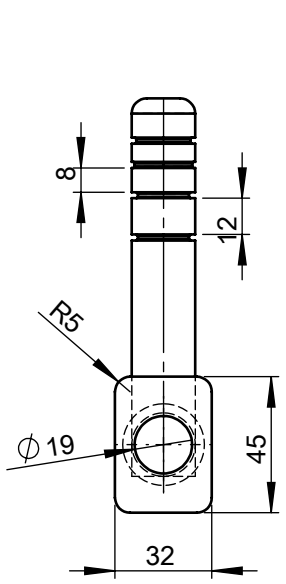
E

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				+/-0,3	0.65 kg	Acero K100	
				FECHA	NOM BRE	TÍTULO:	
				Dib: 05/03/2013	J. Buenaño	CUCHILLA	
				Rev: 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	ESCALA:	
				Apro: 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	1:2.5	
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		6 DE 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:			

N7

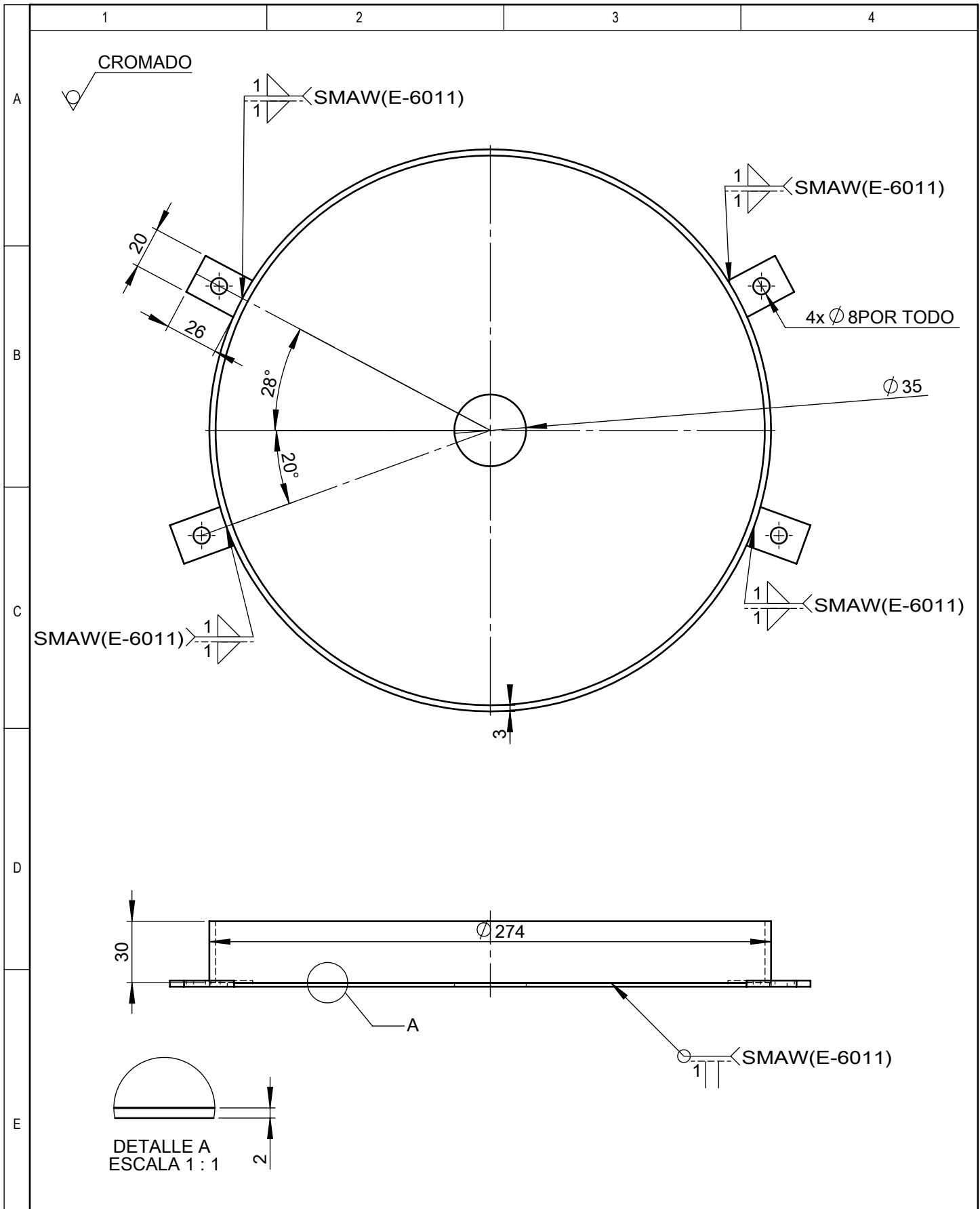


SECCIÓN S-S
ESCALA 1 : 2.5

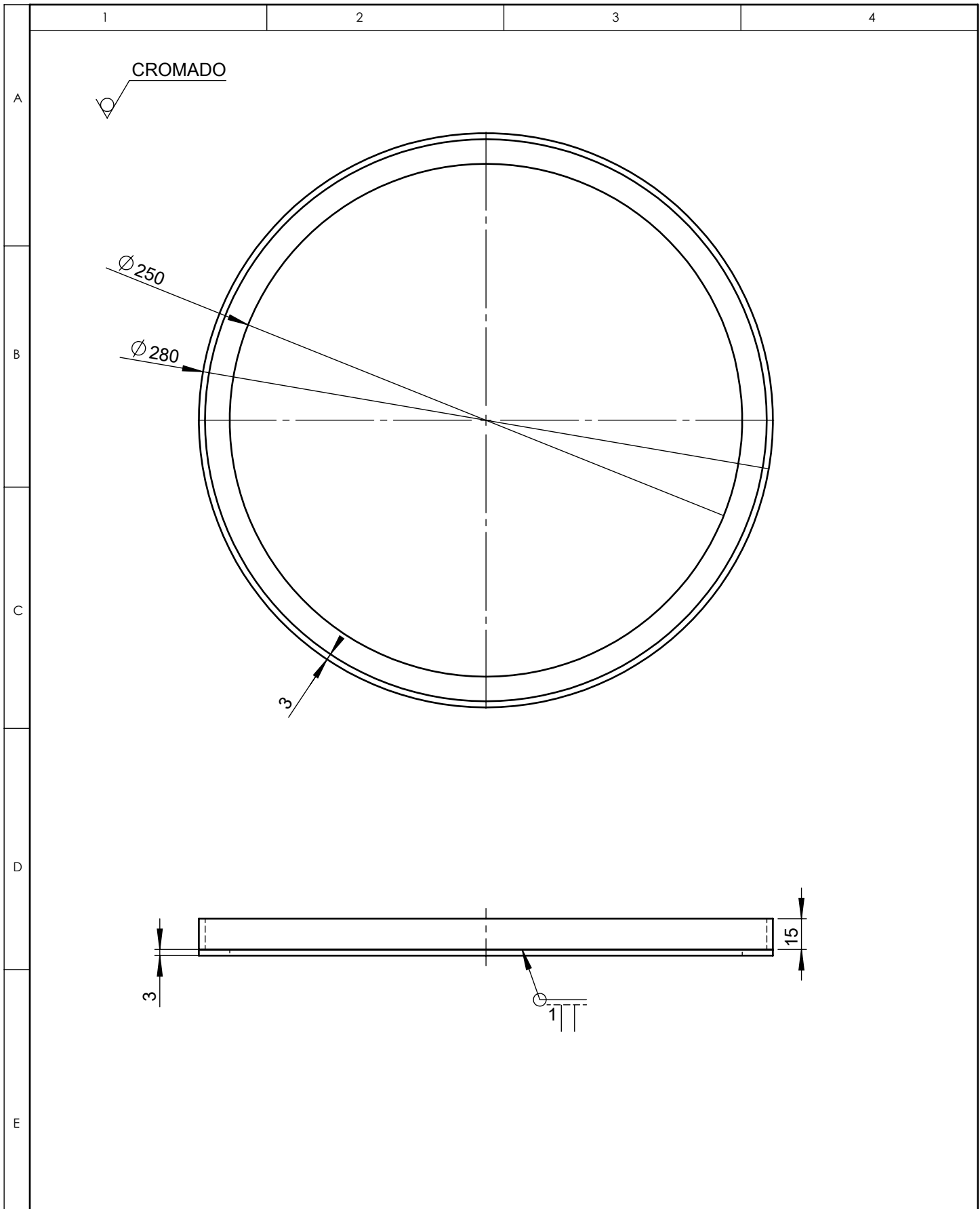


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

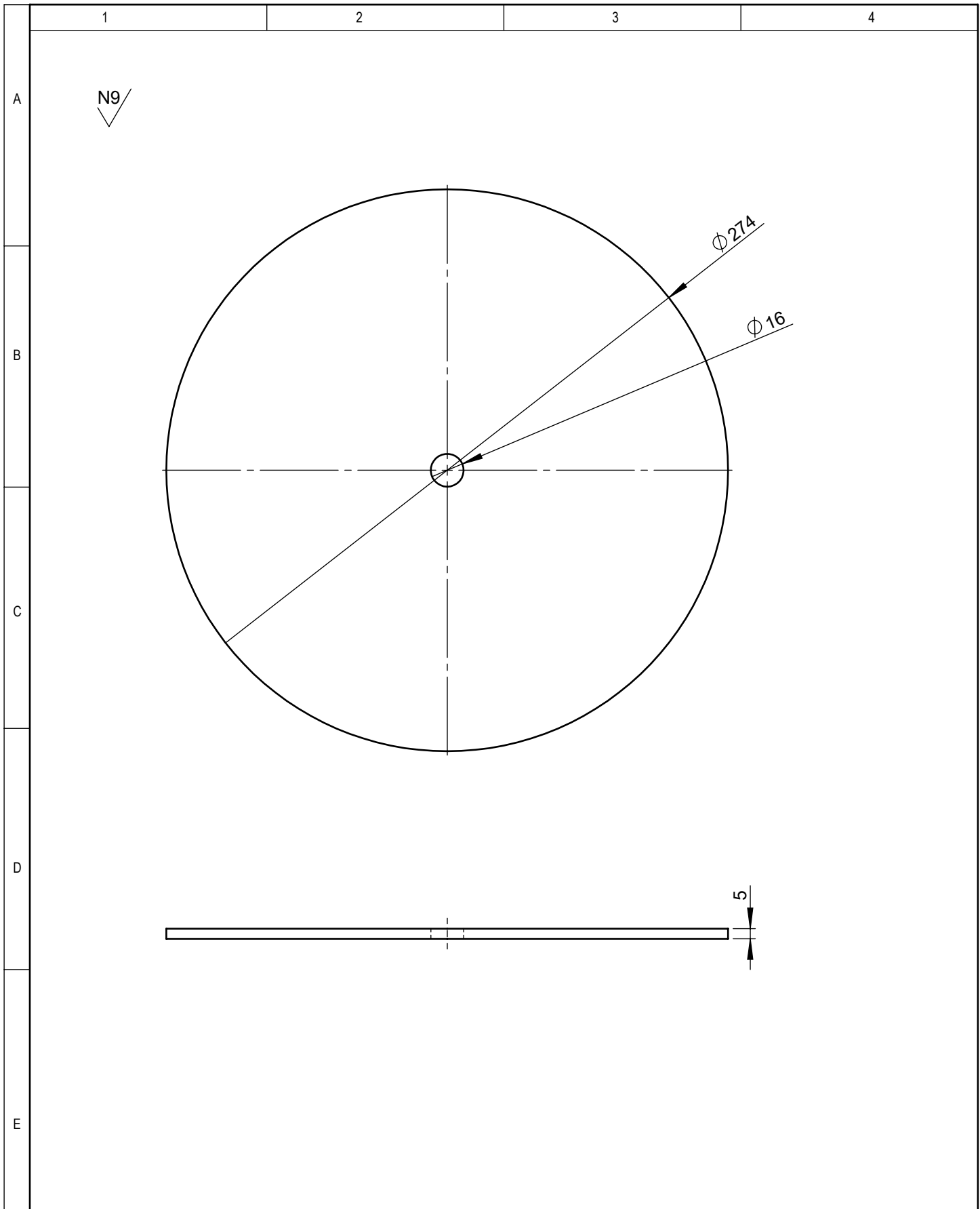
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				+/-0,3	0.65 kg	Acero ASTM A36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				Dib. 05/03/2013	J. Buenaño	GATILLO	
				Rev. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	ESCALA:	
				Apro. 05/03/2013	Ing. Guamanquispe	1:2.5	
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		7 DE 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA: +/-0,3	PESO: 1.56 Kg	MATERIAL: ASTM A36 Acero		
						TÍTULO: BASE RELOJ	ESCALA: 1:2.5	
				Dib.	05/03/2013			J. Buenaño
				Rev.	05/03/2013			Ing. Guamanquispe
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		NÚMERO DE LÁMINA: 8 DE 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:		



				TOLERANCIA: +/-0,3	PESO: 0.70 kg	MATERIAL: Acero ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				Dibujo: 05/03/2013	J.Buenaño	TAPA RELOJ	
				Reviso: 05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
				Aprobo: 05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA: 9 DE 13	ESCALA: 1:2.5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				+/-0,3	0.023 kg	Vidrio	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				Dib.	05/03/2013	J. Buenaño	VIDRIO
				Rev.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA:	ESCALA:
				INGENIERÍA MECÁNICA		10 DE 13	1:2.5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	

1

2

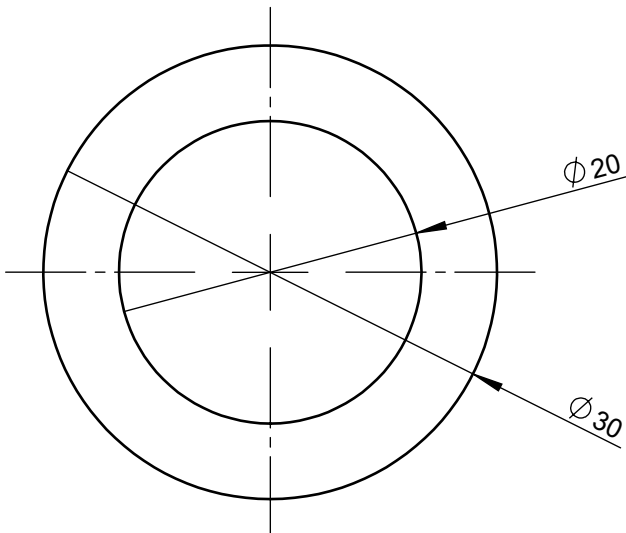
3

4

A

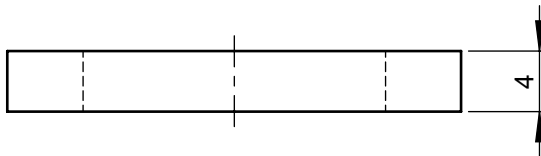
N7
✓

B



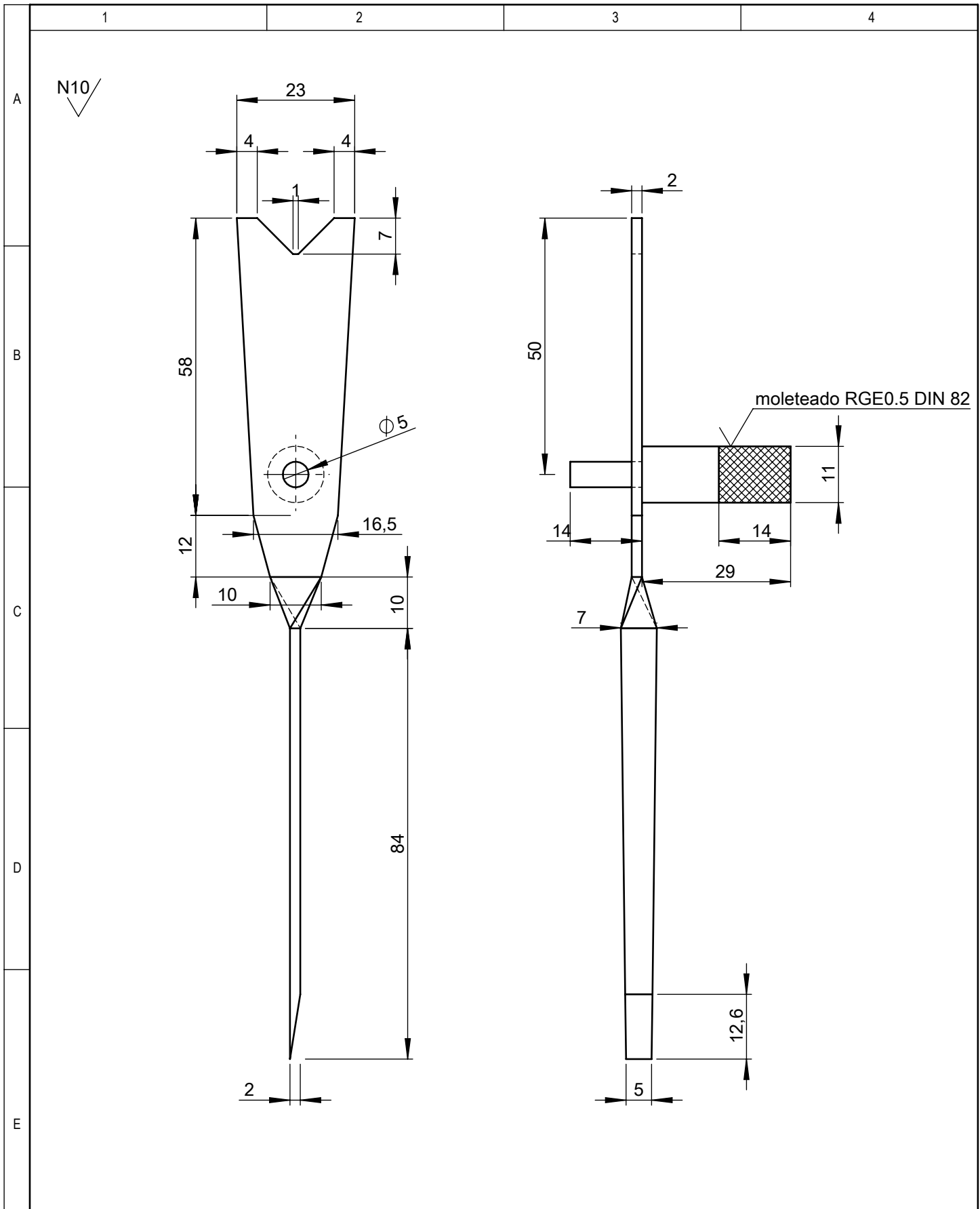
C

D

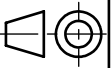


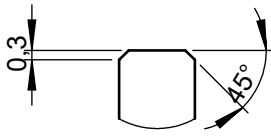
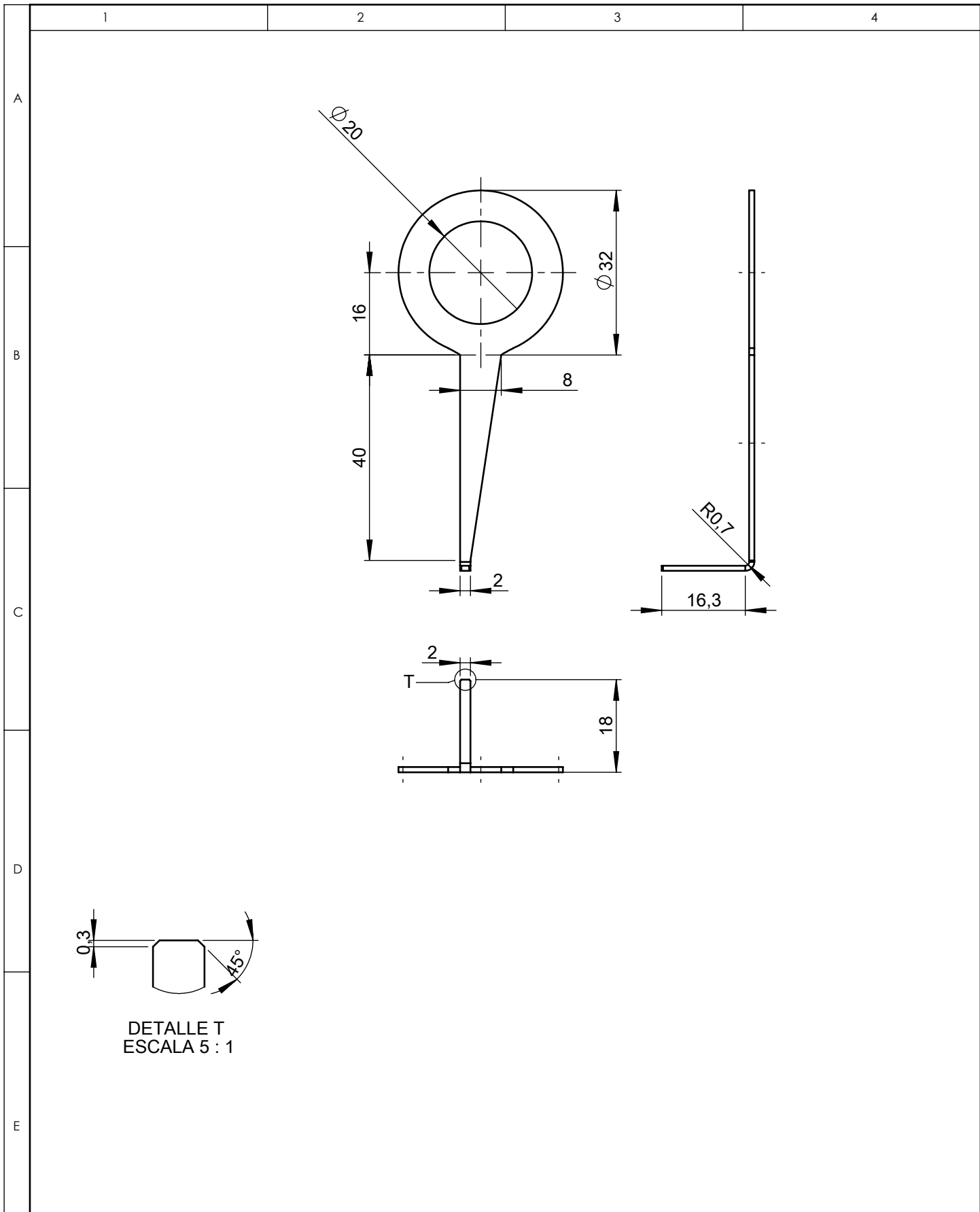
E

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				+/-0,3	0.012 kg	Acero AISI 1020	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				Dib.	05/03/2013	J. Buenaño	BOSIN
				Rev.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA:	ESCALA:
				INGENIERÍA MECÁNICA		11 DE 13	1:2.5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				+/-0,3	0.052 kg	Acero AISI 1020	
						TÍTULO:	
				Dib.	05/03/2013	J. Buenaño	PLUMA INDICADORA
				Rev.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A.		NÚMERO DE LÁMINA:	ESCALA:
				INGENIERÍA MECÁNICA		12 DE 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	1:2.5





DETALLE T
ESCALA 5 : 1

				TOLERANCIA: +/-0,3	PESO: 0.0057 kg	MATERIAL: Acero ASTM A 36		
						TÍTULO: GUIA DE LA PLUMA INDICADORA	ESCALA: 1:2.5	
				Dib.	05/03/2013			J. Buenaño
				Rev.	05/03/2013			Ing. Guamanquispe
				Apro.	05/03/2013	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		NÚMERO DE LÁMINA: 13 DE 13		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:		