



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON
ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE
FUNDICIÓN J.A. RAMÍREZ**

Carlos Giovanni Cruz García

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz

Guatemala, agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON
ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE
FUNDICIÓN J.A. RAMÍREZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS GIOVANNI CRUZ GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Águilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE FUNDICIÓN J.A. RAMÍREZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de septiembre de 2009.



Carlos Giovanni Cruz García



Guatemala 30 de Mayo de 2011

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Campos

Atentamente me dirijo a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación titulado "Análisis De Ensayos Destructivos De Hierro Fundido Con Aleaciones De Cobre, Zinc y Estaño En Los Talleres De Fundición J.A Ramírez" elaborado por el estudiante Carlos Giovanni Cruz Garcia con carne 200018123.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Carlos Cruz es un aporte importante para el curso de Metalurgia y Metalografía que actualmente se imparte en esta facultad.

Con base a lo anterior ruego a usted se sirva dar visto bueno para que este trabajo sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el dictamen correspondiente y si lo consideran, extiendan el título correspondiente al estudiante mencionado.

Sin otro particular, me suscribo a usted como su seguro y atento servidor,

Ing. Hugo Ramírez
Colegiado No. 5545
Asesor de trabajo de graduación

Ing. Hugo Ramírez
COL. No. 5545

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA.**

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor del trabajo de graduación titulado, ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE FUNDICIÓN J.A RAMÍREZ del estudiante Carlos Giovanni Cruz Garcia, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área



Guatemala, mayo de 2011.

/behdei.

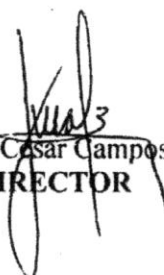
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales, al Trabajo de Graduación titulado ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE FUNDICIÓN J. A. RAMIREZ del estudiante Carlos Giovanni Cruz Garcia, procede a la autorización del mismo.

LEER Y ENSEÑAR A TODOS


Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, agosto de 2011

JCCP/bhdei



Ref. DTG.302.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO EN LOS TALLERES DE FUNDICIÓN J.A. RAMÍREZ**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Giovanni Cruz García**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, agosto de 2011

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la fuerza para culminar este triunfo.
Mis padres	Por todo el apoyo que me han dado en mi vida y por darme la enseñanza ética para ejercer mi carrera profesional.
Mis hermanos	Por cuidarme y guiarme siempre.
Mi esposa	Por el apoyo y el amor.
Mi hija	Por ser el regalo más grande que Dios me ha dado.
Mis amigos	Por la amistad y los buenos consejos.
La Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos adquiridos.
Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz	Por la asesoría brindada.
La fundidora J. A. Ramírez	Por la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación.

Mis compañeros

Gracias por su amistad a lo largo de
toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SIMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONCEPTOS BÁSICOS	1
1.1. Hierro fundido	1
1.2. Aleaciones de hierro fundido	6
1.2.1. Clasificación de las fundiciones aleadas	7
1.3. Clasificación de los metales en la tabla periódica	8
1.4. Metalografía	9
1.5. Examen de la microestructura	10
1.6. Microscopio metalúrgico	10
2. METALES	13
2.1. Cobre (Cu)	13
2.1.1. Definición del cobre	14
2.1.1.1. Cobre	14
2.1.1.2. Cobre metal	14
2.1.1.3. Cobre “ <i>Blister</i> ”	15
2.1.1.4. Cáscara de cobre cobre de cementación	15

2.1.1.5.	Cobre de afino térmico	15
2.1.1.6.	Cobre electrolítico	15
2.1.2.	Proceso de obtención	15
2.1.2.1.	Metalurgia de cobre por vía seca	16
2.1.2.2.	Metalurgia del cobre por vía húmeda	17
2.1.3.	Características del cobre	18
2.1.4.	Temperatura de fusión del cobre	19
2.1.5.	Propiedades del cobre	20
2.1.5.1.	Propiedades químicas del cobre	20
2.1.5.2.	Propiedades mecánicas del cobre	21
2.1.5.3.	Tratamientos del cobre	24
	2.1.5.3.1. Tratamiento mecánico	24
2.2.	Zinc (Zn)	24
2.2.1.	Definición del zinc	25
2.2.2.	Proceso de obtención de zinc	25
2.2.2.1.	Extracción de zinc por vía seca	26
2.2.2.2.	Extracción de zinc por vía húmeda	26
2.2.3.	Características del zinc	27
2.2.4.	Temperatura de fusión del zinc	27
2.2.5.	Propiedades del zinc	28
2.2.5.1.	Propiedades químicas de zinc	29
2.2.5.2.	Propiedades mecánicas del zinc	29
2.3.	Estaño (Sn)	30
2.3.1.	Definición de estaño	30
2.3.2.	Proceso de obtención de estaño	31
2.3.3.	Características del estaño	32
2.3.4.	Temperatura de fusión del estaño	34
2.3.5.	Propiedades del estaño	34

2.3.5.1.	Propiedades químicas del estaño	34
2.3.5.2.	Propiedades mecánicas del estaño	35
3.	MÁQUINAS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS	37
3.1.	Máquina universal de ensayo de tensión y compresión	37
3.1.1.	Propiedades de la máquina de de ensayo de tensión y compresión	38
3.1.2.	Características de la máquina de ensayo de tensión y compresión.	39
3.1.3.	Tipos de ensayo de la máquina de ensayo de tensión y compresión	42
3.2.	Máquina de prueba de impacto (<i>Charpy</i>)	43
3.2.1.	Propiedades de la máquina de impacto	45
3.2.2.	Características de la máquina de impacto	46
3.2.2.1.	Influencia de la velocidad del impacto	46
3.2.2.2.	Influencia del radio de la entalla	47
3.2.2.3.	Influencia de la temperatura	47
4.	ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS	
4.1.	Obtención de la muestra de hierro fundido	49
4.1.1.	Obtención de la muestra de hierro fundido con cobre, estaño y zinc	49
4.1.2.	Fabricación de la probeta de hierro fundido y hierro fundido con cobre, estaño y zinc	50
4.1.3.	Maquinado de probetas	51
4.1.4.	Análisis del ensayo de tensión en probetas de hierro fundido y hierro fundido con cobre, estaño y zinc	52
4.1.5.	Análisis del ensayo de compresión en probetas	

de hierro fundido y hierro fundido con cobre, estaño y zinc	54
4.1.6. Análisis del ensayo de impacto (<i>Charpy</i>)	55
4.1.7. Pulido de probetas para el análisis metalográfico	59
5. RESULTADO DE LOS ENSAYOS	63
5.1. Resultados del ensayo de tensión	63
5.2. Resultados del ensayo de compresión	64
5.3. Resultados del ensayo de impacto (<i>Charpy</i>)	64
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama hierro-carburo de hierro	2
2.	Placas de cementita eutéctica fundición blanca 80X	3
3.	Fundición maleable 80X	4
4.	Grafito en Fundición Gris 80X	
5.	Fundición Nodular 80X	6
6.	Ilustración del principio del microscopio metalúrgico compuesto	12
7.	Metalurgia del cobre por vía seca	17
8.	Metalurgia del cobre por vía húmeda	18
9.	Proceso de obtención del estaño	32
10.	Máquina universal de ensayo de tensión y compresión	38
11.	Diagrama esfuerzo vrs deformación	40
12.	Péndulo de <i>Charpy</i> a) antes del impacto y b) después del impacto	44
13.	Probetas usadas en el ensayo <i>Charpy</i>	45
14.	Dimensiones de la probeta utilizada en los ensayos de tensión	53
15.	Probetas utilizadas en el ensayo de impacto	57
16.	Barra simplemente apoyada para el ensayo de impacto	58

TABLAS

I.	Tabla periódica de los elementos	9
II.	Propiedades químicas generales del estaño	35
III.	Resultados de los ensayos a tensión	63
IV.	Resultados de los ensayos a compresión	64
V.	Resultados de los ensayos de impacto	65

LISTADO DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
d	Alargamiento medio
H	Altura
A	Área
cm	Centímetros
Cu	Cobre
Cr	Cromo
e	Deformación unitaria
δ	Esfuerzo
S	Esfuerzo
Sn	Estaño
P	Fuerza
F₀	Fuerza inicial de impacto

g	Gramos
G	Gravedad
Kg	Kilogramos
Kj	Kilo Joule
Kpm	Kilo Pondio metro
Lb	Libras
L	Longitud
MPa	Mega pascales
m	Metros
mm	Milímetros
E	Módulo de elasticidad
Mo	Molibdeno
Ni	Níquel
%	Porcentaje
°F	Temperatura en grados Fahrenheit

°C	Temperatura en grados Celsius
Btu	Unidad térmica Británica
Zn	Zinc

GLOSARIO

Abrasivo	Sustancia que tiene como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzos mecánicos “triturando, molienda, corte, pulido”. Es de elevada dureza y se emplea en todo tipo de procesos industriales y artesanales.
Colada	Vertido del material fundido. La entrada del metal fundido hacia la cavidad del molde se realiza a través de la copa o bebedero de colada y varios canales de alimentación. Estos serán eliminados una vez solidifique la pieza. Los gases y vapores generados durante el proceso son eliminados a través de la arena permeable.
Corrosión	Oxidado.
Crisol	Cavidad en los hornos que recibe el metal fundido. El crisol es un aparato que normalmente está hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y que puede soportar elementos a altas temperaturas. Algunos crisoles aguantan temperaturas que superan los 1500 °C. También se le denomina así a un recipiente de laboratorio resistente al fuego y utilizado para fundir sustancias. Es utilizado en los análisis gravimétricos.

Fo	Fuerza inicial con la que el péndulo choca a la probeta cuando se realiza el ensayo de impacto.
Grados	Ángulo que el péndulo se desplaza luego de realizar la fractura de la probeta.
Macroscopía	Técnica de producir imágenes visibles de estructuras o detalles demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista.
Microscopía	Técnica de producir imágenes visibles de estructuras o detalles demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista.

RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en analizar por medio de ensayos destructivos, las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido y de las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc que se fabricaron en la fundidora J. A. Ramírez.

Para analizar las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido, y del hierro fundido con aleaciones de cobre, estaño y zinc se realizaron los ensayos de tensión compresión y de impacto (*Charpy*), ya que estos ensayos revelan importantes resultados a la hora de diseñar una pieza de una máquina, que estará sometida a distintos esfuerzos, para que cuando esta pieza realice su trabajo cumpla las expectativas para la cual fue diseñada.

Cabe mencionar que para analizar los diferentes ensayos se hicieron probetas según las normas A.S.T.M que requiere cada ensayo.

OBJETIVOS

GENERAL

Analizar por medio de ensayos destructivos las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido y las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc que se realizan en la fundidora J.A. Ramírez.

ESPECÍFICOS

1. Llevar a cabo un documento técnico que permita desarrollar piezas de máquina con mejores propiedades mecánicas y evaluar los resultados obtenidos.
2. Brindar los fundamentos teóricos y prácticos adecuados aplicables a la fundición de hierro fundido y a las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de ingeniería es un documento técnico, que permite analizar las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido y al hierro fundido con aleaciones de cobre, estaño y zinc; aplicado a ensayos destructivos al hierro fundido y a las diferentes aleaciones. El documento consta de tres ensayos destructivos: tensión, compresión e impacto y un análisis de ensayo metalográfico.

Estos ensayos se realizaron en el Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII), y el análisis metalográfico en el Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II). Este análisis cuenta con los fundamentos teóricos necesarios que soporta el área experimental.

Cada práctica cuenta con su respectiva teoría, figuras explicativas y tabla de resultados, los cuales fueron obtenidos de los diferentes ensayos aplicados a las diferentes probetas de cada aleación.

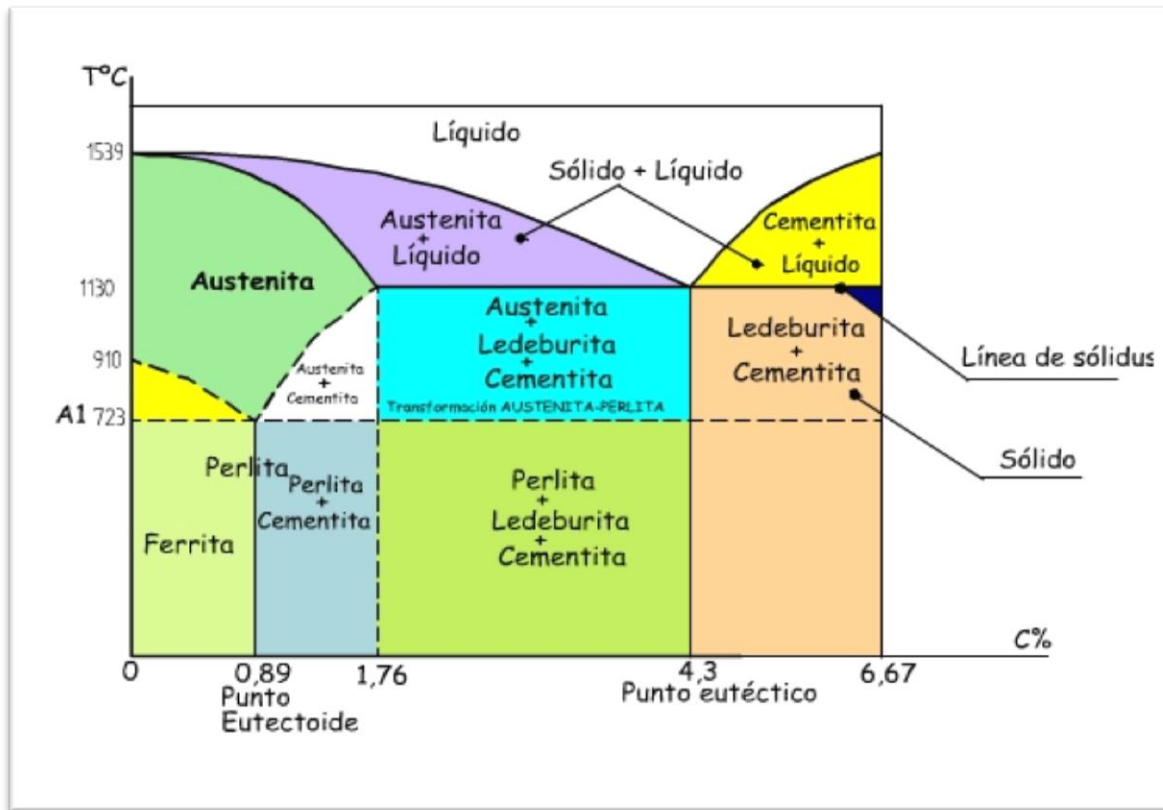
1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Hierro fundido

El hierro fundido como el acero, son básicamente aleaciones de hierro y carbono. En relación con el diagrama hierro-carburo de hierro de la figura 1, los hierros fundidos contienen más cantidad de carbono que la necesaria para saturar austenita a la temperatura eutéctica; por lo tanto, contiene entre 2 y 6,67% de carbono. Como el alto contenido carbono tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados comercialmente están en el intervalo de 2,5 a 4% de carbono.

La ductilidad del hierro fundido es muy baja y este no puede laminarse, estirarse o trabajarse a temperatura ambiente. La mayoría de los hierros fundidos no son maleables a cualquier temperatura; sin embargo, a veces funden fácilmente o pueden fundirse en formas complicadas que generalmente se maquinan a dimensiones finales. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicado a estas aleaciones se conoce como hierro fundido.

Figura 1. Diagrama hierro-carburo de hierro



Fuente: <http://www.tecnologiaindustrial.info/images/Tratamientos%20termicos/fig5.jpg>

Aunque los hierros fundidos comunes son frágiles y tienen más bajas propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos pueden fundirse más fácilmente que el acero y tienen otras propiedades útiles.

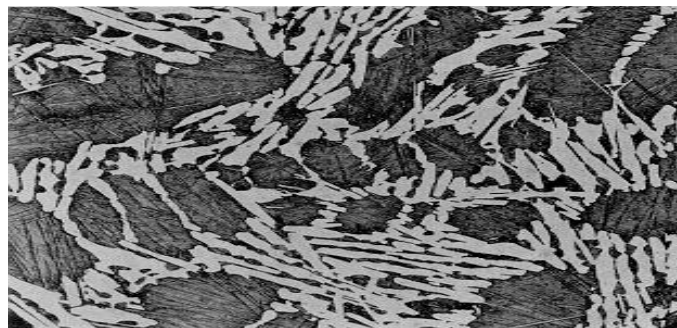
Además, mediante una aleación apropiada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de cualquier tipo de hierro fundido pueden variar ampliamente.

Existen varios tipos de hierro fundido el mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables a considerar que dan lugar a los diferentes tipos de hierro fundido son: el

contenido de carbono, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento, y el tratamiento térmico después de fundirse. Estas variables controlan la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro en la cementita, o existir como carbono sin combinar (o libre) en forma de grafito. La forma y la distribución de las partículas de carbono sin combinar influirán grandemente en las propiedades físicas del hierro fundido. Los tipos de hierro fundido se pueden clasificar como sigue:

- Hierros fundidos blancos: la fundición blanca tiene poco carbono y silicio (>1%) y se obtiene por enfriamiento rápido; la mayor parte del carbono aparece como cementita en lugar de grafito, como lo muestra la figura 2 y la superficie fracturada tiene una tonalidad blanca. La fundición blanca es extremadamente dura por lo que es inmecanizable. Su aplicación se limita a componentes de gran dureza y resistencia al desgaste y sin ductilidad como los cilindros de los trenes de laminación. Generalmente la fundición blanca se obtiene como producto de partida para fabricar la fundición maleable.

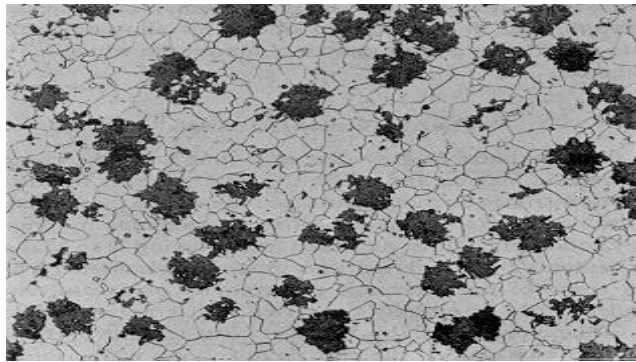
Figura 2. **Placas de cementita eutéctica fundición blanca 80X**



Fuente: <http://www.metalurgiausach.cl/INTRODUCCION/Capitulo06INTROD.pdf>

- Hierros fundidos maleables: en los cuales la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de partículas redondas irregulares, conocidas como carbono revenido, el cual se obtiene mediante tratamiento térmico del hierro fundido blanco.

Figura 3. **Fundición maleable 80X**



Fuente: <http://www.metalurgiausach.cl/INTRODUCCION/Capitulo06INTROD.pdf>

- Hierros fundidos grises: este grupo constituye una de las aleaciones de hierro más ampliamente utilizadas. En la manufactura de hierros fundidos grises, la tendencia de la cementita a separarse en grafito y austenita o ferrita, es favorecida controlando la composición de aleación y la rapidez de enfriamiento. La mayoría de los hierros fundidos grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono y de silicio entre 1 y 3%.

El grafito suele aparecer como escamas dentro de una matriz de ferrita o perlita.

Estas aleaciones solidifican formando primero austenita primaria. La apariencia inicial de carbono combinado está en la cementita que resulta de la reacción eutéctica a 2 065 °F. El proceso de grafitización es ayudado por el alto contenido de carbono, la alta temperatura y la adecuada cantidad de elementos de grafitización sobre todo el silicio.

Hierros fundidos enfriados rápidamente, en los cuales una capa superficial de hierro fundido blanco esta combinada con una interior de hierro gris.

La resistencia y la ductilidad a los esfuerzos de compresión son muy superiores. Estas fundiciones amortiguan la energía vibracional de forma mucho más efectiva que los aceros. Así los equipos que vibran mucho se suelen construir de esta aleación. A la temperatura de colada tienen mucha flúidez por lo que permite moldear piezas de forma muy complicadas. Además, la fundición gris es uno de los materiales metálicos más baratos. Se utiliza en bloque de motores, tambores de freno, cilindros y pistones de motores.

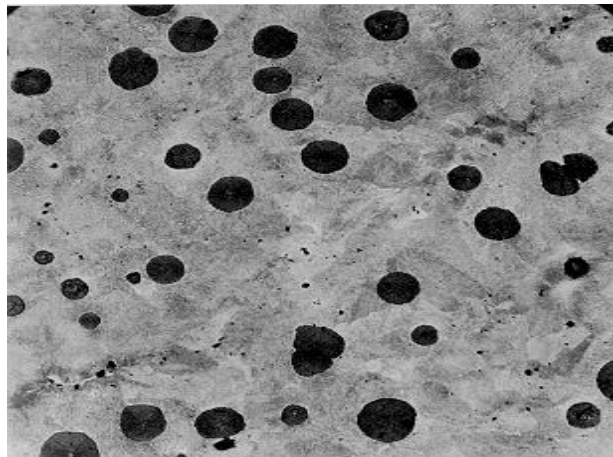
Figura 4. **Grafito en fundición gris 80X**



Fuente: <http://www.metalurgiausach.cl/INTRODUCCION/Capitulo06INTROD.pdf>

- Hierros fundidos nodulares: en los cuales, mediante adiciones de aleación especiales, el carbono está grandemente sin combinar en la forma de esferoides compactas.

Figura 5. **Fundición Nodular 80X**



Fuente: <http://www.metalurgiausach.cl/INTRODUCCION/Capitulo06INTROD.pdf>

- Hierros fundidos aleados: en los cuales las propiedades o la estructura de cualquiera de los tipos mencionados se modifican mediante la adición de elementos de aleación.

1.2. Aleaciones de hierro fundido

Un hierro fundido aleado es aquel que contiene un elemento o elementos especiales añadidos en suficiente cantidad para producir una modificación en las propiedades físicas o mecánicas que se pueden medir. Los elementos normalmente obtenidos de la materia prima, como silicio, manganeso, azufre y fósforo, no se consideran adiciones de aleación.

Los elementos de aleación se añaden al hierro fundido para fines especiales (como resistencia a la corrosión, al calor o al desgaste) y para mejorar las propiedades mecánicas. La mayoría de los elementos de aleación en el hierro fundido acelerarán o retardarán la grafitización, lo cual es una de las razones importantes para la aleación. Los elementos de aleación más comunes son el cromo, el cobre, el molibdeno, el níquel y el vanadio.

1.2.1. Clasificación de las fundiciones aleadas

De una forma general, se pueden clasificar las fundiciones aleadas en dos grupos: fundiciones de baja y media aleación, que se caracterizan por tener pequeñas cantidades de Ni, Cr, Mo, y Cu, generalmente en porcentajes inferiores a 5%. En general, son fundiciones de alta resistencia a la tracción, de 25 a 50 $\frac{kg}{mm^2}$, muy superior a la de las fundiciones ordinarias. Suelen ser de estructura perlítica, sorbítica, bainítica y martensítica. También pertenecen a este grupo de fundiciones de baja aleación las fundiciones con 1 a 2% de cromo resistente al calor y las fundiciones martensíticas muy resistentes al desgaste.

En esta familia, se suelen agrupar las fundiciones muy resistentes al desgaste, al calor y a la corrosión, y cuya micro estructura suele ser austenítica o ferrítica.

Las fundiciones de media y baja aleación suelen contener cantidades de níquel, cromo, molibdeno y cobre en porcentajes generalmente inferiores al 1,5%. En estas fundiciones de gran resistencia, es frecuente que los elementos aleados estén en la proporción de una parte de cromo y dos o tres partes de níquel. El cobre y el molibdeno, en general, suelen encontrarse en cantidades relativamente pequeñas, empleándose estos elementos unas veces solos y

otras con níquel o cromo, o con ambos a la vez. En ocasiones mucho menos frecuentes, estas fundiciones contienen también pequeñas cantidades de titanio y vanadio, que son añadidos principalmente para conseguir disminuir el tamaño de las láminas de grafito o para afinar la matriz, y para mejorar también la resistencia al desgaste.

1.3. Clasificación de los metales en la tabla periódica

Los elementos se dividen en tres categorías: metales, no metales y metaloides. Un metal es un buen conductor del calor y la electricidad; mientras que un no metal generalmente es mal conductor del calor y la electricidad. Un metaloide presenta propiedades intermedias entre los metales y los no metales, como se muestra en la tabla I se observa que la mayoría de los elementos que se conoce son metales; solamente 17 elementos son no metales y 8 son metaloides. A lo largo de de cualquier período, las propiedades físicas y químicas de los elementos cambian en forma gradual de metálicas, de izquierda a derecha.

En general se hace referencia a los elementos en forma colectiva, mediante su número de grupo en la tabla periódica (grupo 1A, grupo 2A y así sucesivamente) sin embargo, por conveniencia, algunos grupos de elementos tienen nombres especiales. Los elementos 1A (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr) se llaman metales alcalino, y los elementos del grupo 2A (Be, Mg, Ca, Sr, Ba y Ra) reciben el nombre de metales alcalinotérreos, los elementos del grupo 7A (F, Cl, Br, I y At) se conocen como halógenos, y los elementos del grupo 8A (He, Ne, Ar, Kr, Xe y Rn) son los gases nobles o gases raros.

La tabla periódica es una herramienta útil que correlaciona las propiedades de los elementos de una forma sistemática y ayuda a hacer predicciones con respecto al comportamiento químico.

Tabla I. Tabla periódica de los elementos

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

Numbered callout for Hydrogen (1):

- Número atómico: 1
- Peso atómico: 1.00791
- Valencia: 1
- Símbolo: H
- Estructura atómica: $1s^1$
- Nombre: Hidrógeno
- Punto de ebullición °C: -252.7
- Punto de Fusión °C: 0.071
- Densidad (g/ml): 0.08989

Legend:

- Metales alcalinos
- Metaloideos
- No metales
- Gases nobles

Fuente: <http://espaciociencia.com/wp-content/uploads/2009/02/tabla-periodica.jpg>

1.4. Metalografía

La metalografía o microscopia estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará

el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio no revelará la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativamente sencillo y requiere de una técnica desarrollada sólo después de práctica constante. El último objetivo es obtener una superficie plana, sin rayaduras, semejante a un espejo.

Mucha es la información que puede suministrar un examen metalográfico. El principal instrumento para la realización de un examen metalográfico es el microscopio metalográfico, con el cual es posible examinar una muestra con aumento que varía entre 50x y 2000x.

1.5. Examen de la microestructura

Este es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos, tratamientos térmicos y composición general. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales.

1.6. Microscopio metalúrgico

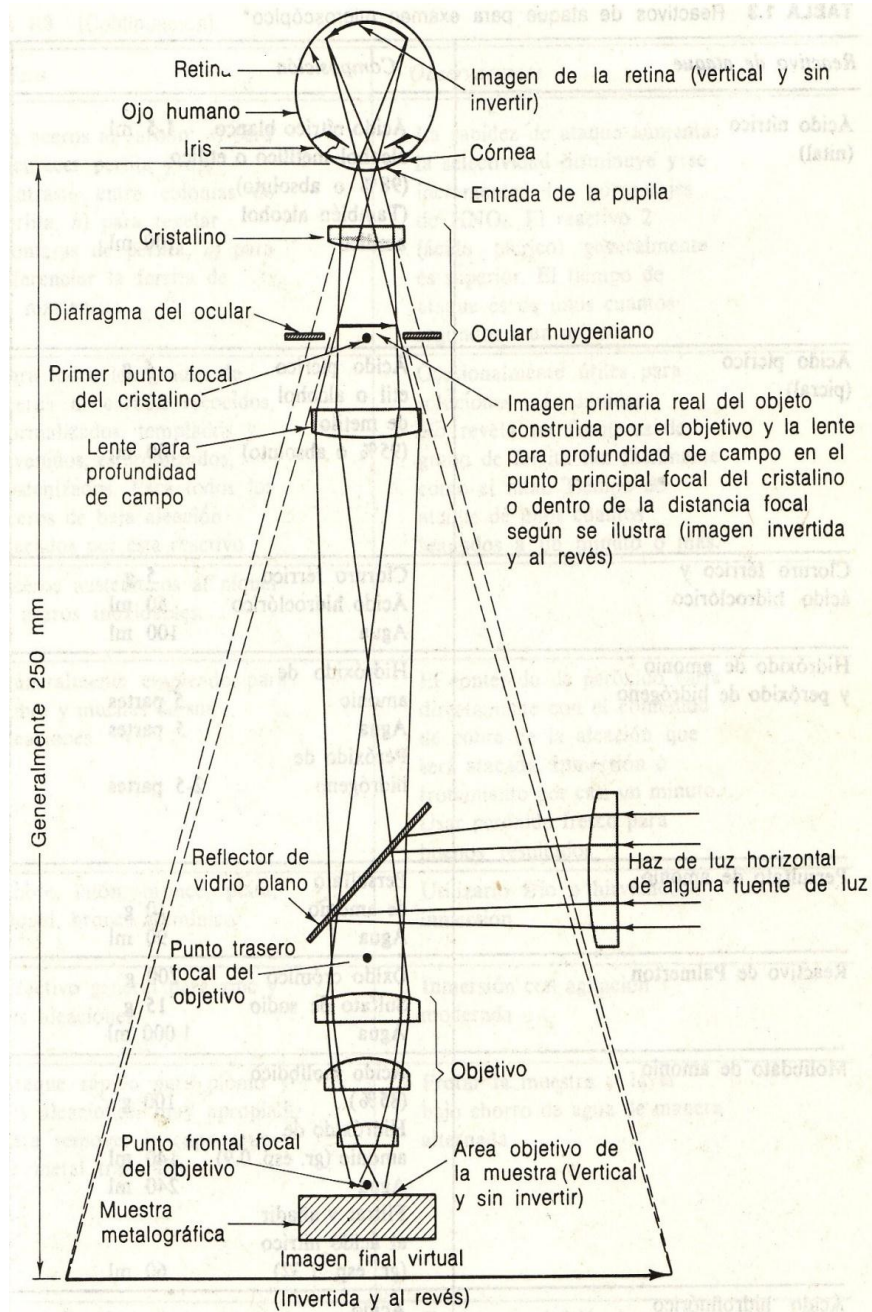
En este punto es apropiado analizar brevemente los principios del microscopio metalúrgico. En comparación con uno de tipo biológico, el microscopio metalúrgico difiere en la manera en que la muestra es iluminada.

Como una muestra metalográfica es opaca a la luz, la misma debe de ser iluminada por luz reflejada. Como se muestra en la figura 6, un haz de luz horizontal de alguna fuente de luz es reflejado, por medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra.

Un poco de esta luz incidente refleja desde la superficie de la muestra se amplificará al pasar a través del sistema inferior de lentes, y continuará hacia arriba a través del reflecto de vidrio plano, luego una vez más lo amplificará el sistema superior de lentes, el ocular.

El poder de amplificación inicial del objetivo y del ocular está generalmente grabado en la base de la lente. Cuando se utiliza una combinación particular del objetivo ocular y la longitud adecuada de tubo, amplificación total es igual al producto de las amplificaciones del objetivo y del ocular.

Figura 6. **Ilustración del principio del microscopio metalúrgico compuesto**



Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física. p. 33.

2. METALES

Se le denomina a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores de calor y electricidad, poseer alta densidad y ser sólidos a temperaturas normales.

La ciencia de los materiales define un metal como un material en el que existe un solape entre la banda de valencia y la banda de conducción en su estructura electrónica (enlace metálico). Esto le da la capacidad de reflejar la luz, lo que produce un peculiar brillo.

El concepto metal refiere tanto a elementos puros, así como aleaciones con características metálicas, como el acero y el bronce. Los metales comprenden la mayor parte de la tabla periódica de los elementos y se separan de los no metales por una línea diagonal entre el boro y el polonio. En comparación con los no metales tiene baja electronegatividad y baja energía de ionización.

2.1. Cobre (Cu)

El cobre fue uno de los primeros metales empleados por el hombre ya que en tiempos remotos debió de existir con relativa abundancia en la naturaleza en estado nativo. Todavía cantidades relativamente importantes en América, al Sur del lago Superior, en *Lake Cooper* y en Cocoroco (Brasil).

Sin embargo, en la actualidad la casi totalidad de la producción de cobre se obtiene de minerales que contienen en forma de:

- Sulfuros: Calcopirita, $S Cu_2 S_3 Fe_2$ (mezclada generalmente con pirita de hierro, $S_2 Fe$); y calcosina, $S Cu_2$.
- Oxido: Cuprita, $O Cu_2$.
- Carbonatos: Malaquita, $Co_2 Cu (HO)_2 Cu$; Azurita, $2 Co_3 Cu (HO)_2 Cu$.

Los minerales más usados son los sulfuros, que contienen hierro de gran cantidad y otras impurezas más o menos interesantes de arsénico, antimonio, plomo, bismuto, oro, plata y níquel. La ganga es, generalmente, muy silenciosa.

2.1.1. Definición del Cobre

Las nociones sobre la metalurgia del cobre que hemos expuesto son necesarias para comprender las clases de cobre que ordinariamente se encuentra en el mercado y que textualmente el Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo, en su norma UNE 37101, define así:

2.1.1.1. Cobre

Con la denominación del cobre se designa el elemento químico de este nombre, así como los productos metalúrgicos de los que, solamente con el carácter de impureza pueden formar parte otros elementos.

2.1.1.2. Cobre metal

Con esta denominación se designa el cobre como elemento químico, se presenta en forma cristalina de cubos centrados en las caras, con un parámetro de red de 3.6153×10^{-8} cm, a $20^\circ C$.

2.1.1.3. Cobre “Blister”

Es el cobre obtenido industrialmente de los minerales mediante la fusión por mata en hornos y posterior tratamiento de ella en el convertidor.

2.1.1.4. Cáscara de cobre o cobre de cementación

Es el cobre obtenido industrialmente de los minerales por vía húmeda, de disoluciones acuosas de sales cupríferas, en las que el hierro sustituye al cobre con precipitación de éste.

2.1.1.5. Cobre de afino térmico

Es el obtenido industrialmente por vía seca y en el que se han eliminado las impurezas, en cantidad y calidad, hasta un límite tal que puede considerarse prácticamente puro.

2.1.1.6. Cobre electrolítico

Es el obtenido por electrólisis acuosa y que tiene un elevado grado de pureza y una condición de una conductividad eléctrica muy alta.

2.1.2. Proceso de obtención

La obtención del cobre se realiza por dos métodos fundamentales, que se denominan de vía seca y vía húmeda. La metalurgia del cobre por vía seca es la más utilizada, pero sólo se puede aplicar a minerales con concentración mínima del 10% del cobre. La vía húmeda se emplea para minerales de contenido de

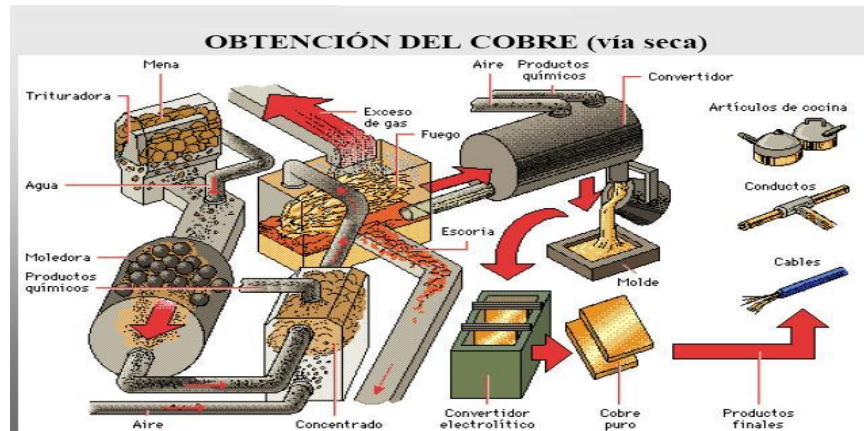
cobre entre el 3 y el 10 %. Los minerales de contenido de cobre inferior al 3% por ahora, no se benefician.

2.1.2.1. La metalurgia del cobre por vía seca

Esta se realiza en cuatro fases:

- Concentración de mineral por flotación, a fin de eliminar parte de la ganga, y conseguir un porcentaje de cobre de un 20% aproximadamente.
- Eliminación parcial del hierro por tostación incompleta, que elimina también parte del azufre en forma de SO_2 , que se utiliza para la fabricación de ácido sulfúrico (SO_4H_2). El hierro se elimina en forma de óxido de hierro. Y queda en producto intermedio denominado mata formado por sulfuros de cobre y de hierro ($S Cu_2 Sn Fe$).
- Oxidación de la mata en convertidores para eliminar el hierro que resta por tostación y reacción, y obtener cobre bruto.
- Afino del cobre en horno de reverbero, por oxidación del cobre y reducción después, y final mente afino por electrólisis, hasta conseguir una pureza de 99.99%

Figura 7. **Metalurgia del cobre por vía seca**



Fuente: <http://materias.fi.uba.ar6303Metalurgia.pdf>

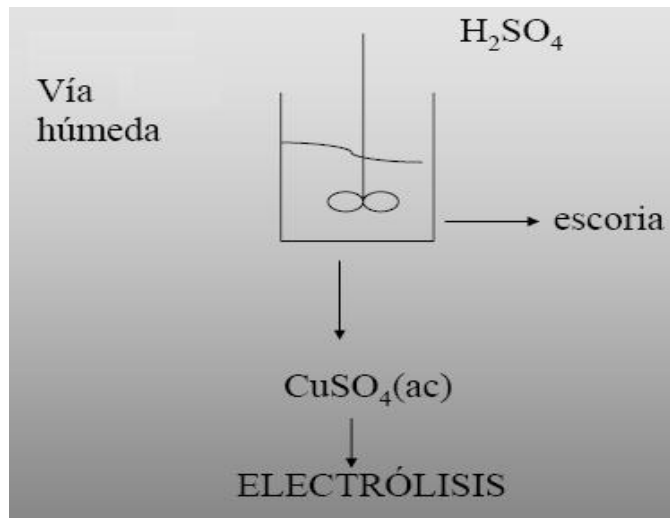
2.1.2.2. La metalurgia del cobre por vía húmeda

Se realiza en dos fases:

- Disolución con ácido sulfúrico o sulfato férrico, de los minerales oxidados o de las cenizas producidas por la tostación de las piritas en la fabricación del ácido sulfúrico, hasta obtener sulfato de cobre (SO_4Cu).
- Precipitación de la solución obtenida, pobre en cobre (un gramo aproximadamente por litro), por medio del hierro, formándose sulfato de hierro ($SO_4 Fe$) y precipitándose el cobre. Se obtiene un producto muy impuro, con alrededor del 80% de cobre.

Para obtener un metal más puro se recurre a la precipitación electrolítica, utilizando como ánodo plomo o grafito.

Figura 8. **Metalurgia del cobre por vía húmeda**



Fuente: <http://materias.fi.uba.ar6303Metalurgia.pdf>

2.1.3. Características del cobre

El cobre posee varias características que propician su uso industrial en múltiples aplicaciones, siendo el tercer metal, después del hierro y del aluminio, más consumido en el mundo. Es de color rojizo y de brillo metálico y, después de la plata, es el elemento con mayor conductividad eléctrica y térmica. Es un material abundante en la naturaleza; tiene un precio accesible y se recicla de forma indefinida; forma aleaciones para mejorar las prestaciones mecánicas y es resistente a la corrosión y oxidación.

Según su pureza, las características del cobre varían, manteniéndose dentro de los siguientes límites:

Densidad 8,8-8,9

Punto de fusión 1 056 ° C – 1 083° C

Resistencia a la tracción 20 45 Kg. / mm²

Sólo se oxida superficialmente y su color rojizo se vuelve verdoso.

El cobre es muy maleable pudiendo laminarse en hojas hasta de 0,02 mm de espesor, también permite estirarlo en hilos finísimos. Sus principales aplicaciones son: fabricación de hilos, cables, láminas, en instalaciones eléctricas, en la construcción de recipientes y útiles diversos, además de en la fabricación de múltiples aleaciones.

2.1.4. Temperatura de fusión del cobre

La cantidad de calor depende por tanto del tiempo, del área de la longitud, de la diferencia de temperatura, y de la conductividad térmica.

La conductividad térmica, o capacidad de conducción del calor, de un material, se expresa frecuentemente en Btu (unidad térmica británicas) por pie cuadrado de área, por pulgada de longitud (o espesor), por hora y por grados Fahrenheit.

La fusibilidad es una medida de la facilidad de fusión un metal tiene un punto de fusión definido, con temperatura igual a la de su punto de congelación. Las aleaciones y las mezclas de metales, sin embargo, tienen una temperatura a la que comienza la fusión (*solidus*), y una temperatura más alta a la que termina la fusión (*liquidus*).

El calor de fusión es la cantidad de energía necesaria para cambiar un material de sólido a líquido. El calor es la fuente usual de energía y el número de calor de fusión es generalmente la cantidad de calor necesaria para cambiar una libra de sólido al estado líquido. Se emplea la unidad térmica británica (Btu) para medir la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de 1 libra de agua 1°F.

La temperatura de fusión del cobre es de 1 083°C.

2.1.5. Propiedades del cobre

El cobre es un metal de color rojo más o menos oscuro, pero siempre de agradable aspecto, que hace útil para aplicaciones artísticas. Su peso específico es de 8,96 funde a 1 809 °C. Su temperatura de ebullición es de 2 595°C. Es, después de la plata, el mejor conductor de calor y la electricidad. Por eso se utiliza mucho para la construcción de aparatos y útiles de intercambio de calor y, sobre todo, para la construcción de líneas eléctricas.

2.1.5.1. Propiedades químicas del cobre

El agua pura no ataca al cobre a ninguna temperatura, lo que se utiliza para la fabricación de calderas de cobre.

Los agentes atmosféricos forman en su superficie una película verde grisácea compuesta de sulfato de cobre básico, y en las regiones marinas, de cloruro de cobre y, a veces, carbonato, que reduce el progreso de la oxidación a 0.5 a 1 milésimas de milímetro por año.

Al calentar el cobre se forma, a los 120°C, una película rojiza de Cu_2O , que más tarde se convierte en negruzca al formarse CuO . A partir de los 500°C, el cobre se oxida rápidamente en toda su masa.

El cobre se le alea fácilmente con el oro, plata, estaño, cinc, y níquel, pero difícilmente con el plomo y hierro.

Las impurezas en general disminuye la conductividad eléctrica del cobre.

2.1.5.2. Propiedades mecánicas del cobre

El cobre es un metal muy dúctil y maleable, puede llegar a tener un alargamiento del 50% antes de romperse; pero adquiere gran acritud cuando se deforma en frío, duplicando como luego veremos, su alargamiento. Este aumento de resistencia que produce la deformación del frío, se utiliza para muchas aplicaciones del cobre, pero, tiene el inconveniente que obliga a recocerlo frecuentemente cuando se lamina o se estira.

El cobre tiene otro inconveniente, y es que embota las limas y desprende con dificultad la viruta en el mecanizado.

Sobre las propiedades mecánicas la influencia de las impurezas varía según el elemento y la proporción en que se encuentre.

- El antimonio: hace al cobre quebradizo en caliente. No debe exceder del 0,05%.
- El arsénico: hasta un 0,12%, neutraliza el efecto perjudicial de las demás impurezas. El cobre para cajas de fuego contiene hasta el 0,45 % de arsénico.
- El azufre: hasta 0,1% no perjudica sensiblemente las propiedades mecánicas del cobre. En mayores proporciones lo hace frágil en caliente.
- El bismuto: es insoluble en el cobre y se concentra, por tanto, en los bordes de los granos. A partir del 0,01% hace al cobre quebradizo en

caliente. Y a partir del 0,05%, en frío. No debe exceder su contenido en el cobre de 0,006%.

- El cadmio: eleva la resistencia mecánica del cobre estirado en frío, pudiendo contener sin inconveniente del 0,08 al 0.1%.
- El cromo: mejora las propiedades mecánicas del cobre y se adiciona voluntaria mente hasta el 0,5%.
- El fósforo: se adiciona al cobre en forma de cuprofósforo al 15% de P para desoxidarlo. Con porcentajes mayores disminuye mucho la conductividad eléctrica, la tenacidad y la ductilidad del cobre.
- El hidrogeno: al reconocer al cobre en atmosfera reductora, y por tanto en presencia de hidrógeno, gas de alumbrado o vapor de agua, reacciona el hidrogeno con el óxido de cobre y quedan bolsas de vapor de agua aprisionadas en la masa del cobre.

Al seguir elevando la temperatura, se eleva también la presión del vapor de agua, hasta que produce grietas por donde expansionarse.

Este fenómeno se ha denominado enfermedad del hidrogeno y se evita controlando el carácter de la llama que calienta al cobre, que no debe de ser reductora; o no exponiendo el material a la acción directa de la llama. En cualquier caso se reducirá mucho la posibilidad de este defecto no rebasando la temperatura de 500°C .

- El hierro: actúa como desoxidante, elevando la resistencia a la tracción y disminuye el alargamiento.

- El níquel: eleva la resistencia del cobre pero disminuye su ductilidad, por lo que no debe pasar al 0,4%.
- El silicio: que se emplea a veces como desoxidante, disminuye mucho la conductividad eléctrica del cobre.
- El oxígeno: la solubilidad del oxígeno en el cobre no llega al 0.997% a 300°C, por lo que puede considerarse prácticamente como insoluble. Generalmente se encuentra el oxígeno en el cobre formando el óxido de cobre ($Cu_2 O$), que es insoluble en el cobre y queda en las juntas intergranulares o en la masa del cobre. Formando oclusiones, lo que disminuye su ductilidad en caliente. Sin embargo, el oxígeno, en una proporción del 0,02% al 0,08% no sólo no perjudica, si no que mejora algo la propiedades del cobre al disminuir, por oxidación de las demás impurezas la influencia perjudicial de éstas.
- El plomo: es prácticamente insoluble en el cobre a la temperatura ambiente, y queda emulsionado en la masa del metal. Hasta el 0.2%, su acción es favorable para algunas aplicaciones, del cobre como para la fabricación de chaspas finas, para estampación en frío. Pero a partir de porcentajes de plomo de 0,2%, el cobre se vuelve frágil a temperatura superiores de 327°C, que son las de fusión del plomo.

2.1.5.3. Tratamientos del cobre

El cobre puede ser sometido a tratamientos mecánicos y a recocidos de estabilización y contra acritud.

2.1.5.3.1. Tratamiento mecánico

El cobre forjado, laminado o trefilado en frío adquiere una gran acritud que eleva su resistencia mecánica, dureza y disminuye su alargamiento.

Para una misma reducción de sección, el endurecimiento es mayor trefilado que laminado llegando a obtener resistencia a la tracción de $60 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$, en hilos de 0.1mm.

2.2. Zinc (Zn)

El zinc se presenta ordinariamente en la naturaleza en forma de sulfuro y probablemente la mayor parte de los otros minerales de zinc se han formado como producto de oxidación del sulfuro. Este se encuentra con frecuencia asociado a sulfuros de otros elementos especialmente de cadmio, plomo, hierro y cobre. Esta asociación en muchos casos es muy íntima y por ello se justifica el retraso del beneficio industrial de algunos yacimientos minerales complejos, que no fue posible económicamente hasta que se desarrollaron métodos adecuados para su tratamiento.

El zinc se uso como componente de bronce quizá ya 2000 años antes de ser reconocido como un elemento distinto. En un método antiguo de producción de bronce se calentaba un lingote de cobre con calamina (como se denominaba en el viejo mundo el carbonato de zinc) y carbón vegetal como reductor. El arte

de fundir zinc como tal metal tuvo su origen, a lo que parece en la India; allí paso a China, de donde fue llevado a Europa por los portugueses. La verdadera producción industrial no comenzó en Europa hasta casi un siglo más tarde. Sin embargo, su reconocimiento como elemento químico fue probablemente independiente de las primitivas prácticas de fundición en Oriente.

Como el zinc sufre corrosión con preferencia a otros metales de uso común, su principal aplicación consiste en sacrificarlo para prevenir la corrosión del de zinc por inmersión en caliente se conoce como galvanización; si el zinc se aplica por electrolisis el proceso se llama electrogalvanización.

2.2.1. Definición del Zinc

El zinc, símbolo Zn peso atómico 65.38 número atómico 30, es un metal de color blanco de plata y de estructura cristalina hexagonal. El zinc se encuentra en el grupo II del sistema periódico, figurando en el subgrupo con el cadmio y el mercurio.

2.2.2. Proceso de Obtención de Zinc

La principal materia prima de la fábrica de zinc está constituida por concentrados de sulfuro de zinc, procedentes de diferentes minas. Además de los concentrados sulfurados de zinc, se recibe la calcine.

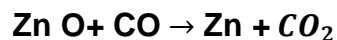
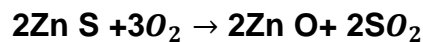
El zinc es el 23 elemento más abundante en la corteza terrestre. Las minas más ricas contienen cerca de un 10% de hierro y entre 40 a 50% de zinc. La producción del zinc comienza con la extracción del mineral que puede realizarse tanto a cielo abierto como en yacimientos subterráneos. Los

minerales extraídos se trituran como posterioridad y se someten a un proceso de flotación para obtener el concentrado.

2.2.2.1. Extracción de zinc por vía seca (conocido también como vía térmica o pirometalurgica)

Esta reducción contiene principalmente a los concentrados ricos en plomo y otras impurezas metálicas que pueden tener valor. La pirometalurgia es la técnica tradicional de extracción de metales. Permite obtener metales a partir de sus minerales o de sus concentrados por medio del calor. Se trata principalmente de extraer el metal del mineral eliminar la ganga del mineral y purificar los metales.

Los minerales con alto contenido de hierro se tratan por vía seca primeramente se tuesta el concentrado para transformar el sulfuro en oxido, que recibe la denominación de calcina, y a continuación se reduce este con carbono obteniendo el metal (el agente reductor es en la práctica el monóxido de carbono formado) las reacciones en ambas etapas son:



2.2.2.2. Extracción del zinc por vía húmeda

Por vía húmeda primeramente se realiza el tueste obteniendo el óxido que se lixivia con ácido sulfúrico diluido; las lejías obtenidas se purifican separando las distintas fases presentes. El sulfato de zinc se somete posteriormente a

electrólisis con ánodo de plomo y cátodo de aluminio sobre el cual se deposita el zinc formando placas de algunos mm de espesor que se retiran cada cierto tiempo. Los cátodos obtenidos se funden y se cuela el metal para su comercialización.

Los tipos de zinc obtenidos se clasifican según la norma ASTM en función de su pureza.

- SHG, *Especial High Grade* (99,99%)
- HG, *High Grade* (99,90%)
- PWG *Prime Western Grade* (98%)

2.2.3. Características del zinc

El zinc es un metal, a veces clasificado como metal de transición aunque extractivamente no lo sea, ya que tanto el metal como su especie dipositiva presenta el conjunto orbital completo. Este elemento presenta cierto parecido con el magnesio, y con el cadmio de su grupo, pero el mercurio se aparta mucho por las singulares propiedades físicas y químicas de este (contracción lantánida y potentes efecto relativistas sobre orbitales de enlace). Sus aplicaciones más importantes es el galvanizado del acero.

2.2.4. Temperatura de fusión del zinc

El punto de fusión del zinc es 419°C ampliamente usado como material estructural de fundición. Su mayor debilidad es la baja resistencia a la termofluencia.

2.2.5. Propiedades del Zinc

El zinc es un metal de color blanco Argentado ; por su dureza se encuentra entre los metales blandos y los intermedios. La dureza en el esclerómetro del zinc laminado con 99,94% de pureza esta en el intervalo de 13-15; colado con el mismo contenido de impureza es algo más blando. En la escala de Mohs al zinc le corresponde 2,5: es decir: entre el yeso y la calcita. El efecto de pequeñas cantidades de impureza sobre la dureza es muy pronunciado; todas ellas con excepción del plomo, aumenta la dureza a temperatura ambiente.

El zinc es estimado como retardador de la corrosión para metales más vulnerables, porque se corroe con preferencia a ellos en las condiciones normales. Por esta razón se prefiere al estaño para recubrir al acero, excepto cuando los productos de la corrosión del recubrimiento pueden ser absorbidos por los alimentos.

Si es un revestimiento de estaño aparecen orificios diminutos, la presencia del estaño acelera el ataque del acero por el medio corrosivo; en cambio; si se producen orificios en el revestimiento del zinc, la presencia del zinc protege todavía la zona de acero expuesta hasta varios mm dentro de la periferia del área sin recubrimiento.

El zinc también se refiere a otros metales como retardador de la corrosión porque sus productos de corrosión, como los del cadmio y el aluminio, son blandos cuando llegan a hacerse visibles.

El zinc comercial es demasiado frágil para poder laminarse a temperatura ambiente, pero adquiere ductilidad a temperaturas ligeramente altas, que dependen mucho de su contenido de hierro. El zinc puro es dúctil incluso a las

temperaturas ordinarias. Cuando la ductilidad no es un factor de primera importancia, se suele alea el zinc para aumentar su resistencia mecánica. El zinc puro no tiene un punto de fluencia definido como la mayor parte de los metales estructurales de uso común, y bajo una carga constante suficiente sufre deslizamiento interno, incluso a las temperaturas ordinarias.

2.2.5.1. Propiedades químicas del zinc

El zinc cuyo potencial normal de electrodo es de + 0,761, es electropositivo con respecto a la mayor parte de los metales estructurales corrientes; son excepciones el aluminio y el magnesio.

Es un metal que arde en aire con llama verde azulada. El aire seco no le ataca pero en presencia de humedad se forma una capa superficial de óxido o carbonato básico que aísla al metal y lo protege de la corrosión. Prácticamente el único estado de oxidación que presenta es el +2. Reacciona con ácidos no oxidantes pasando al estado de oxidación +2 y liberando hidrógeno y puede disolverse en base o en ácido acético.

2.2.5.2. Propiedades mecánicas del zinc

El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. No se puede endurecer por acritud y presenta el fenómeno de fluencia a temperatura ambiente al contrario que la mayoría de los metales y aleaciones.

2.3. Estaño (Sn)

El estaño ocupa el lugar 49 en la corteza terrestre. El mineral principal del estaño es la casiterita (o estaño vidrioso), SnO_2 . El estaño es un metal muy utilizado en centenares de procesos industriales en todo el mundo. El estaño tiene usos ampliamente difundidos e interviene en centenares de procesos industriales.

2.3.1. Definición del estaño

Elemento químico de número atómico 50 y símbolo Sn. Es un metal plateado, maleable, que no se oxida fácilmente con el aire y es resistente a la corrosión. Se encuentra en muchas aleaciones y se usa para recubrir otros metales protegiéndolos de la corrosión. El estaño se obtiene principalmente a partir del mineral casiterita en donde se presenta como óxido.

Del estaño se obtienen con facilidad fases intermetálicas (aleaciones de dos o más metales) duras y frágiles. Pequeñas aplicaciones de trabajo mecánico aumentan la dureza. Sin embargo como la consecuencia de la baja temperatura de recristalización. La mayoría de las aleaciones de estaño se ablandan espontáneamente a la temperatura ambiente.

Los elementos de aleación como el cobre, el antimonio, el bismuto, el cadmio, o la plata aumentan su dureza. Las aleaciones más utilizadas son las soldaduras blandas que se emplean para cierres y juntas de metales; el material de aportación es una aleación de estaño y cobre. El material de aportación para usos especiales se contribuye de aleación de estaño, antimonio, plata, indio, y zinc. La combinación de bismuto y cadmio con estaño y plomo producen aleaciones con bajo punto de fusión, que se emplean como

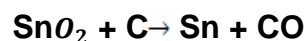
fusibles para extintores de fuego, tapones de caldera. Las de cobre y estaño reciben el nombre genérico de bronces y pueden llevar o no elementos de modificación como zinc, plomo, o manganeso.

El estaño se emplea por su ductibilidad, suavidad de superficie, resistencia a la corrosión y cualidades higiénicas principalmente en chapas, tubos, alambres, y tubos plegables. También se puede utilizar como revestimiento de acero y cobre. La banda de acero revestida de estaño denominada hojalata constituye uno de los materiales empleados con mayor profusión en la industria conservera. Para su fabricación el revestimiento de estaño se puede aplicar por inmersión en cubetas de metal fundido o por electroposición.

2.3.2. Proceso de Obtención del estaño

La casiterita tiene poco porcentaje de estaño puro, por lo cual antes de obtenerlo es necesario concentrarlo lavándolo y triturándolo con el fin de separar las impurezas.

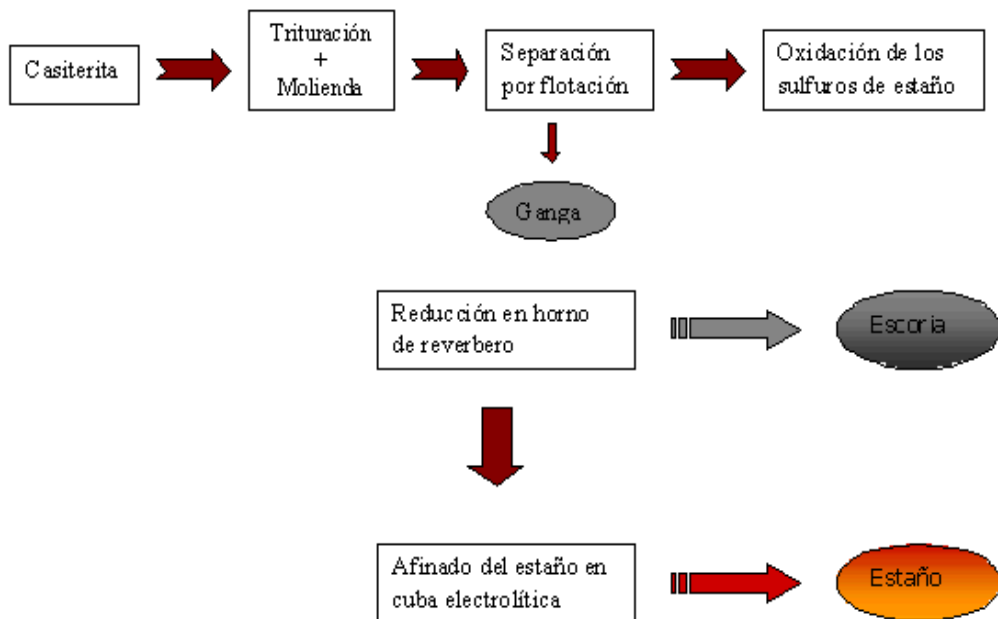
- Enriquecimiento y tostación: se obtiene un mineral con un 70% de SnO_2 aproximadamente este proceso tiene el fin de eliminar los sulfuros.
- Reducción: este proceso tiene lugar en el horno reverbero en el cual se funde el estaño utilizando antracita, a unos 1 000 0 1 200°C y se obtiene estaño fundido sobre el que flota la escoria.



- Afino: este proceso es de un tipo químico, se lleva a cabo en una cuba electrolítica. El ánodo está formado por planchas de estaño bruto y el

cátodo por láminas de estaño puro. Se hace reaccionar mediante esto las impurezas que acompañan al metal. Se obtiene un estaño del 99 – 100%.

Figura 9. **Proceso de obtención del estaño**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos53/estanio-peruano/Image6909.gif>

2.3.3. Características del estaño

El estaño es un metal dúctil, maleable (hasta los 200°C en que se vuelve «agrio» y pierde esta característica) y pulimentable que puede laminarse fácilmente para obtener papel de estaño. Es de color blanco argentino y al doblarlo emite un ruido llamado «grito del estaño» debido a la ruptura de los cristales. Tiene una buena resistencia a la corrosión moderada frente a ácidos, bases y sales acidas frente al agua de mar y el aire, y resiste la acción de

productos lácteos, zumos y carburantes por lo que han utilizado para el estaño de envases de acero (hojalata).

Calentado en presencia de aire forma Sn_2 ligeramente ácido que forma a su vez estannatos con óxido básico. El metal reacciona con el cloro y el oxígeno y desplaza al hidrógeno en ácidos diluidos.

El estaño tiene dos formas alotrópicas, el estaño α (gris) polvo no metálico, semiconductor, de estructura cúbica y estable a temperatura inferior a $13,2^\circ\text{C}$ y el estaño β (blanco), el normal metálico, conductor de estructura tetragonal y estable a temperatura por encima de $13,2^\circ\text{C}$. El estaño α con una estructura similar a la del diamante es muy frágil y tiene un peso específico más bajo que la forma blanca por lo que la transformación alotrópica $\alpha \rightarrow \beta$ se verifica con una reducción del volumen importante. La transformación inversa se verifica espontáneamente a temperatura por debajo de la de transición provocando lo que se denomina peste del estaño apreciable por la aparición de manchas grises en el estaño blanco quebradizas al tacto y que se propagan por la pieza a medida que se sucede la transformación reduciéndola finalmente a polvo. La transformación se ve afectada por la presencia de impureza (aluminio y zinc) y puede prevenirse mediante la adición de antimonio o bismuto.

El estaño es superconductor por debajo de $3,73^\circ\text{F}$ de hecho, fue uno de los primeros en estudiarse y en cristales de estaño superconductor se descubrió por primera vez el efecto *Meissner*.

2.3.4. Temperatura de fusión del estaño

Se funde a bajas temperaturas; tiene gran fluidez cuando se funde y posee un punto de ebullición alto es suave flexible y resistente a la corrosión en muchos medios la temperatura de fusión del estaño es de 231,9°C.

2.3.5. Propiedades del Estaño

Exceptuado al acero las aleaciones de bronce son superiores a las del hierro en casi todas las aplicaciones. Por su elevado calor específico el mayor de todos los sólidos, se emplea en aplicaciones de transferencia de calor.

- Datos para una aleación promedio 89% cobre y 11% estaño.
- Densidad, $8,9 \frac{g}{cm^3}$
- Resistencia eléctrica, 14 a 16 $\mu \frac{ohm}{cm}$

2.3.5.1. Propiedades químicas del estaño

En la siguiente tabla se muestran las propiedades químicas del estaño.

Tabla II. **Propiedades químicas generales del estaño**

Nombre	Estaño
Número atómico	50
Valencia	2,4
Estado de oxidación	4
Electronegatividad	1,8
Radio covalente (Å)	1,41
Radio iónico (Å)	0,71
Radio atómico (Å)	1,62
Configuración electrónica	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²
Primer potencial de ionización (eV)	7,37
Masa atómica (g/mol)	118,69
Densidad (g/ml)	7,3
Punto de ebullición (°C)	2270
Punto de fusión (°C)	231,9
Descubridores	Los antiguos

Fuente: Química General, Raymond Chang p. 570.

2.3.5.2. Propiedades mecánicas del estaño

- Elongación, < 65%
- Dureza brinell, 70 a 115 GPa
- Modulo de elasticidad, 80 a 115 MPa
- Resistencia a la cizalla, 230 a 490 MPa
- Resistencia a la tracción, 300 a 900 MPa

3. MÁQUINA DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS

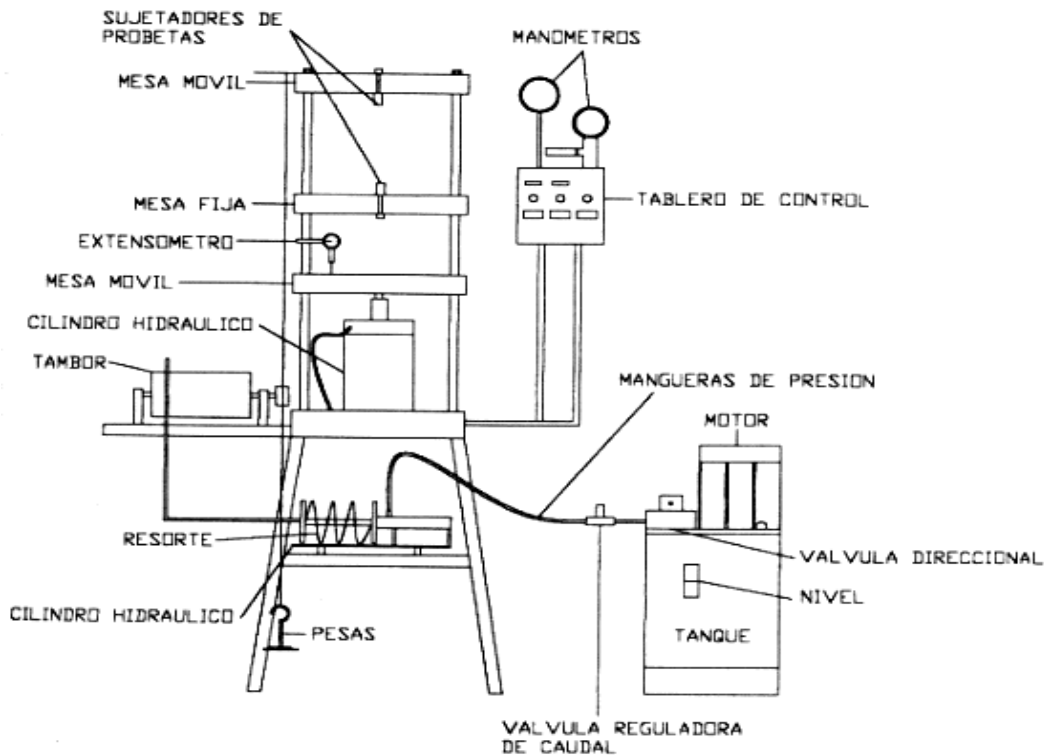
3.1. Máquina universal de ensayo de tensión y compresión

La máquina de ensayo es una prensa en la cual un cabezal móvil se desplaza de manera controlada (tal como por una velocidad prefija) por un servomotor. En la figura 10 el servomotor es un cilindro hidráulico, pero puede ser un tornillo y tuerca u otro mecanismo. El movimiento del cabezal desarrolla una fuerza P , la cual está equilibrada por la fuerza de reacción P . La magnitud de P se mide con un instrumento llamado dinamómetro. La mayoría de las máquinas están equipadas con una celda de carga que emite una señal eléctrica proporcional a la carga aplicada. Todas las celdas de carga se calibran contra otra celda de exactitud conocida.

La extensión de la probeta se mide colocando un extensómetro a la longitud calibrada. Los transductores dan una salida eléctrica proporcional a la elongación Δl . También se pueden usar los métodos ópticos de no contacto.

En el curso del ensayo, tanto la carga como la extensión cambian en forma continua. En forma más conveniente, se usan salidas de un transductor para accionar un registrador x-y, de manera que se obtenga un registro de fuerza (variable dependiente) como función de la extensión (variable independiente). Las salidas se pueden digitalizar de manera directa con un sistema de adquisición de datos enlazado a una computadora; de esta forma se acelera el análisis de los resultados. Aún así hay mérito en un registro visual, que con frecuencia revela características potencialmente oscurecidas por el procesamiento numérico.

Figura 10. **Máquina universal de ensayo de tensión y compresión**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales2.shtml>

3.1.1. **Propiedades de la Máquina de Ensayo a Tensión y Compresión**

El ensayo se realiza en una Máquina Universal, y la operación consiste en someter una probeta a una carga mono-axial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla.

Las probetas para ensayos de tensión se fabrican en una variedad de formas. La sección transversal de la probeta puede ser redonda, cuadrada o rectangular. Para la mayoría de los casos, en metales, se utiliza comúnmente

una probeta de sección redonda. Para láminas y placas usualmente se emplea una probeta plana. La transición del extremo a la sección reducida debe hacerse por medio de un bisel adecuado para reducir la concentración de esfuerzos causados por el cambio brusco de sección.

El esfuerzo axial σ en el espécimen de prueba se calcula dividiendo la carga P entre el área de la sección transversal (A):

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la probeta, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo nominal (esfuerzo convencional o esfuerzo de ingeniería). Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como esfuerzo real.

La deformación unitaria axial media se determina a partir del alargamiento medido " d " entre las marcas de calibración, al dividir d entre la longitud calibrada L_0 . Si se emplea la longitud calibrada inicial se obtiene la deformación unitaria nominal (e).

$$e = \frac{d}{L_0}$$

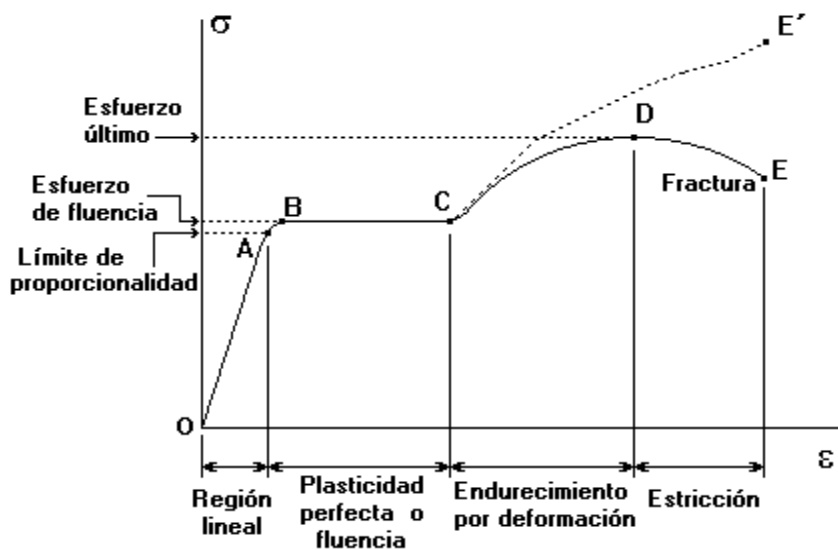
3.1.2. Características de la Máquina de Ensayo a Tensión y Compresión

Mediante la figura 11 se muestra el diagrama esfuerzo vrs deformación representativo de los materiales dúctiles. El diagrama empieza con una línea recta desde O hasta A . En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales, y se dice que el comportamiento del material es lineal. Después del punto A ya no existe una relación lineal entre el esfuerzo y

la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina límite de proporcionalidad. La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación puede expresarse mediante la ecuación $s = Ee$; donde E es una constante de proporcionalidad conocida como el módulo de elasticidad del material.

El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación en la región linealmente elástica y su valor depende del material particular que se utilice.

Figura 11. **Diagrama Esfuerzo vrs Deformación**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales2.shtml>

La ecuación $s = Ee$ se conoce comúnmente como ley de Hooke.

Al incrementar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar más rápidamente para cada incremento en

esfuerzo. La curva de esfuerzo deformación asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que el punto B de la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se presenta un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama). Este fenómeno se conoce como cedencia o fluencia del material, y el esfuerzo en el punto B se denomina esfuerzo de cedencia o punto de cedencia (o bien, esfuerzo de fluencia o punto de fluencia). En la región de B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada.

Después de sufrir las grandes deformaciones que se presentan durante la fluencia en la región BC el material empieza a mostrar un endurecimiento por deformación. Durante este proceso, el material sufre cambios en sus estructuras cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones. Por tanto, un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión, y el diagrama esfuerzo-deformación toma una pendiente positiva desde C hasta D. Finalmente la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina esfuerzo último. De hecho, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la fractura en un punto E, tal como se indica en el diagrama.

Se presenta una contracción lateral de la muestra cuando se alarga, lo que origina una reducción en el área de la sección transversal. La reducción en el área es muy pequeña como para tener un efecto apreciable en el valor de los esfuerzos calculados antes del punto C, pero más allá de este punto la reducción comienza a modificar el perfil del diagrama. Desde luego, el esfuerzo

real es mayor que el esfuerzo nominal debido a que se calcula con un área menor.

En la cercanía del esfuerzo último, la disminución del área se aprecia claramente y ocurre un estrechamiento pronunciado de la barra, conocido como estricción. Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo-deformación seguirá la línea punteada CE'. La carga total que puede resistir la probeta se ve efectivamente disminuida después de que se alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la probeta y no a una pérdida de la resistencia misma del material. En realidad, el material soporta un aumento de esfuerzo hasta el punto de falla (punto E').

Sin embargo, con fines prácticos la curva esfuerzo-deformación convencional OABCDE, basada en el área transversal original de la muestra y que, por lo tanto, se calcula fácilmente, suministra información satisfactoria para emplearla en el diseño. La ductilidad de un material a tensión puede caracterizarse por su alargamiento total y por la disminución de área en la sección transversal donde ocurre la fractura.

3.1.3. Tipos de ensayo de la Máquina Universal de Ensayo en Tensión y Compresión

Las máquinas universales de prueba se pueden usar para ensayos de tensión, compresión, flexión. Un registrador o sistema de adquisición de datos se emplea para obtener valores de la fuerza y el desplazamiento; este último se

puede obtener por medio de un extensómetro colocado a la probeta o de un transductor de desplazamiento colocado al cabezal móvil.

3.2. Máquina de prueba de Impacto (*Charpy*)

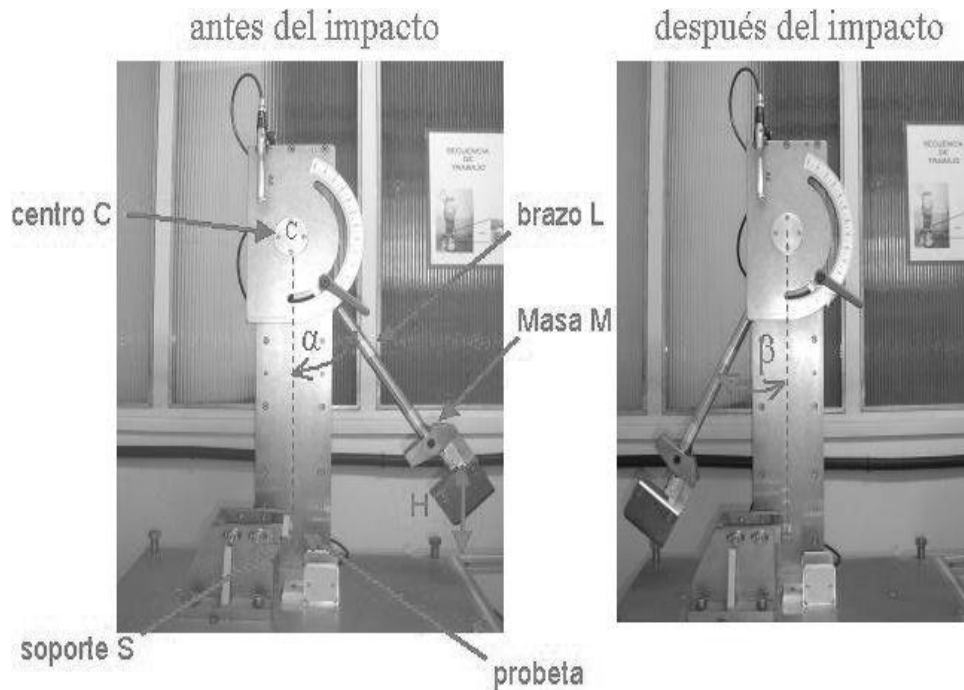
La primera opinión que tenemos al observar el péndulo de *Charpy*, es que se trata de una máquina de ensayo muy simple desde el punto de vista mecánico ver figura 12 Sin embargo, a pesar de esa sencillez mecánica, con este instrumento se pueden diseñar varias pruebas de impacto donde se demuestra de forma rápida y didáctica, la influencia que tienen determinados factores en el comportamiento mecánico de los materiales. El nombre de este ensayo se debe a su creador, el francés Augustin Georges Albert Charpy (1 865-1 945). A través del mismo se puede conocer el comportamiento que tienen los materiales al impacto, y consiste en golpear mediante una masa una probeta que se sitúa en el soporte S. La masa M, la cual se encuentra acoplada al extremo del péndulo de longitud L, se deja caer desde una altura H, mediante la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto.

La energía absorbida E_a por la probeta, para producir su fractura, se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto. Péndulo de *Charpy* a) antes del impacto y b) después del impacto. Una vez conocido el ángulo inicial de aplicación de la carga (α) y el ángulo final (β) al que se eleva el péndulo después de la rotura completa de la probeta, se puede calcular la energía E_a mediante la expresión:

$$E_a = MgL [\cos (\beta) - \cos (\alpha)]$$

Donde g representa la aceleración de la gravedad.

Figura 12. **Péndulo de *Charpy* a) antes del impacto y b) después del impacto**



Fuente: http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_051

Los modos de fractura que pueden experimentar los materiales se clasifican en dúctil o frágil, dependiendo de la capacidad que tienen los mismos de absorber energía durante este proceso.

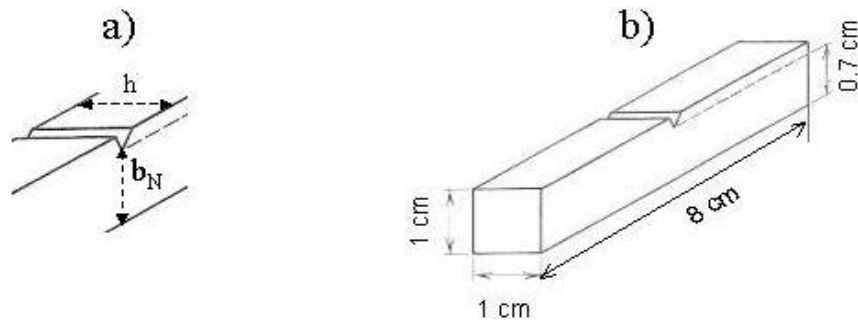
Actualmente no existe un criterio único para determinar cuantitativamente cuando una fractura es dúctil o frágil, pero todos coinciden en que el comportamiento dúctil está caracterizado por una absorción de energía mayor que la requerida para que un material fracture frágilmente.

Las pruebas de impacto *Charpy* se realizan según normas internacionales en las cuales se detallan las dimensiones de las probetas empleadas en este

tipo de ensayo, así como la forma de reportar los resultados de los mismos. De acuerdo con las normas ISO (*International Organization for Standardization*).

Los resultados de los ensayos de impacto, en probetas entalladas, se suelen expresar en $\left(\frac{kJ}{m^2}\right)$, para lo cual se divide la energía absorbida para provocar la fractura de la probeta entre la sección transversal de la misma en la zona de la entalla ($h \times b_N$) ver Figura 13 mientras que según las normas ASTM (*American Society for Testing Materials*) se reportan los resultados en $\left(\frac{J}{m}\right)$, donde se divide esa energía absorbida entre la anchura remanente en la base de la entalla (b_N).

Figura 13. **Probetas usadas en el ensayo Charpy**



Fuente: http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_051

3.2.1. **Propiedades de La Máquina de Impacto (Charpy)**

Desde el punto de vista de la ingeniería es muy importante, y en ocasiones imprescindible, conocer cuál sería el comportamiento mecánico de los materiales, cuando se encuentran expuestos a condiciones extremas de servicio. Es por ello que muchos de los ensayos de impacto se realizan en condiciones en las cuales se favorece la fractura frágil. Entre los factores que

contribuyen a modificar el modo de fractura y que se pueden estudiar mediante el ensayo de impacto *Charpy* se encuentran: la velocidad de aplicación de la carga, la cual se controla variando el ángulo α . La presencia de concentradores de tensiones, lo cual se logra mecanizando una entalla en la probeta del material a estudiar. Así como el impacto en materiales expuestos a diferentes temperaturas. Este último factor es el responsable que determinados materiales experimenten una transición dúctil-frágil con la disminución de la temperatura.

Para determinar el intervalo de temperaturas en el que se encuentra esa transición se suelen realizar los ensayos *Charpy* a distintas temperaturas con la ayuda de un sistema de calentamiento y enfriamiento acoplado al péndulo, lo cual permite controlar la temperatura de la probeta.

En su defecto, cuando no se dispone de tal mecanismo y se desea evaluar comportamientos mecánicos extremos, las muestras se pueden sumergir en baños a diferentes temperaturas con el atenuante de que no existe un control exacto de la temperatura a la cual se realiza el ensayo y con el cuidado de realizar la prueba de impacto lo más rápido posible (después de que la probeta haya recibido el tratamiento deseado), para evitar que las muestras experimenten grandes gradientes de temperatura. Durante la realización de esta práctica, evaluaremos la influencia que tienen los tres factores anteriormente mencionados en el comportamiento mecánico de los materiales.

3.2.2. Característica de la Máquina de Impacto (*Charpy*)

La máquina debe de ser construcción rígida y con capacidad energética suficiente para romper la probeta de un solo golpe. El dispositivo de liberación del péndulo desde su punto inicial debe operar libremente y no impulsar, retardar o hacer vibrar el péndulo.

3.2.2.1. Influencia de la velocidad del impacto

El objetivo de este apartado es evaluar la resistencia que ofrecen los materiales cuando se aumenta la velocidad a la cual ocurre el impacto.

3.2.2.2. Influencia del radio de la entalla

Las entallas provocadas por un mecanizado o fabricación, ocasionan una concentración de esfuerzos en zonas localizadas de los materiales. Por otra parte, la fractura comienza en los sitios donde la concentración de tensiones es mayor. Es por ello que las entallas o grietas presentes en un material conllevan un aumento en fragilidad. La intensidad del esfuerzo en el extremo de una grieta depende tanto de las tensiones aplicadas como de la geometría y dimensiones de dicha grieta.

3.2.2.3. Influencia de la temperatura

La transición dúctil frágil a pesar de que todos los factores que condicionan el modo de fractura de los materiales tienen una gran importancia, el efecto de la temperatura es tal vez, entre todos ellos, el más conocido.

Esto se debe a que algunas de las catástrofes estructurales más divulgadas, ocurridas en el siglo pasado, están relacionadas con la transición dúctil-frágil que experimentan algunos materiales al disminuir la temperatura. En los materiales puros, la transición dúctil-frágil debe ocurrir a una temperatura determinada, sin embargo para muchos materiales esa transición ocurre en un rango amplio de temperaturas el cual está dado por la composición específica de cada material.

4. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS

4.1. Obtención de las muestras de hierro fundido

La obtención de la muestra de hierro fundido es importante, ya que necesitamos conocer las propiedades mecánicas sólo del hierro fundido, para luego poder comparar con las distintas aleaciones realizadas, y poder comprobar si con estos metales cambia o se mantienen las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido.

4.1.1. Obtención de las muestras de las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc.

Las muestras de las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc se tomaron por separado. Se fabrico una probeta por cada aleación, es importante mencionar que se realizaron aleaciones al 5% es decir por cada 20 libras de hierro fundido se utilizo una libra de cada uno de los metales aleantes en este caso cobre, estaño y zinc para que esta fuera una media aleación es decir una aleación al 5%.

El motivo de agregar estos metales aleantes al hierro fundido es mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido, y eso lo analizaremos a continuación con los ensayos de tensión, compresión e impacto o (*Charpy*), también realizaremos un análisis metalográfico con el hierro fundido y sus aleaciones. A continuación indicaremos como se fabricaron las probetas de las muestras.

4.1.2. Fabricación de probetas de hierro fundido y hierro fundido con aleación de cobre, estaño y zinc.

A continuación se mencionaran los pasos necesarios para la fabricación de las probetas de hierro fundido, y las probetas de las aleaciones de hierro fundido con cobre, estaño y zinc.

- Como primer paso es necesario tener un molde que se adapte a las necesidades que se requiere, en este caso se selecciono un molde en forma de eje circular el cual contenía las siguientes dimensiones 20 pulgadas de largo por 1 ½ de ancho estas medidas se seleccionaron para que a la hora de maquinar las piezas necesarias para cada ensayo se facilitara su proceso de manufactura.
- El segundo paso fue moldear en una caja metálica 4 moldes ya que se necesitaba un molde para el hierro fundido, y un molde para cada una de las aleación seleccionadas en el paso uno, para realizar dichos moldes se realizo el proceso tradicional que es la fundición en arena, por ser esta un material refractario muy abundante en la naturaleza y que mezclado con arcilla, adquiere cohesión y maleabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el material fundido.
- El tercer paso es tomar la muestra de hierro fundido del horno que en este caso es un horno de tipo cubilote, para luego llevarla a un crisol, ya que la muestra está en el crisol se puede llevar a cabo la colada en el molde seleccionado anterior mente. Es importante mencionar que las aleaciones se realizaban cuando ya se había tomado la muestra del horno

y el hierro fundido ya se encontraba en el crisol ahí en ese momento es cuando se agregaba el material aleante, para obtener la aleación.

- El cuarto paso es el enfriamiento de los moldes para lo cual hay que espera como mínimo 24 horas para realizar la extracción de la pieza fundida para luego, proceder a la limpieza de la pieza fundida para recuperar los materiales del molde.
- El siguiente paso es el maquinado de la pieza moldeada.

4.1.3. Maquinado de probetas

Es importante el maquinado de las probetas ya que por medio de este proceso podemos darle la forma y las dimensiones que indica la norma para el análisis de cada ensayo en este caso se maquinaron probetas bajo norma A.S.T.M, para llevar a cabo este proceso se utilizo una máquina herramienta llamada torno.

En este caso las probetas que se mecanizaron fueron las siguientes:

La primera probeta que se mecanizó fue la probeta utilizada en el ensayo de tensión, la segunda fue la probeta del ensayo de compresión, la tercera fue la del ensayo de impacto (*Charpy*) y la última fue la probeta del análisis metalográfico.

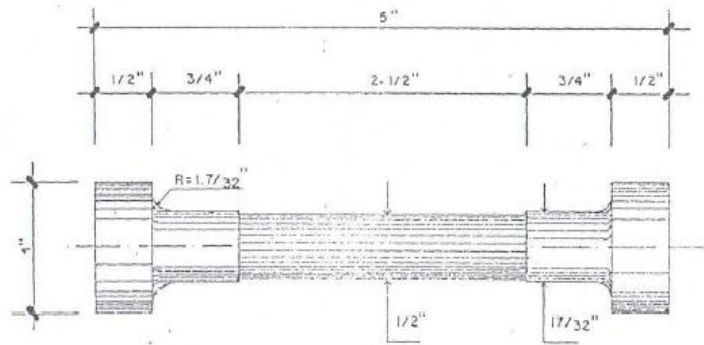
4.1.4. Análisis del ensayo de tensión en probetas de hierro fundido y hierro fundido con aleación de cobre, estaño y zinc.

Para el análisis del ensayo de tensión se fabricaron cuatro probetas como se describen a continuación las cuales fueron analizadas una por una.

- Una probeta de hierro fundido
- Una probeta de hierro fundido + cobre
- Una probeta de hierro fundido + estaño
- Una probeta de hierro fundido + zinc

Las probetas fueron fabricadas en un torno, estas probetas se fabricaron bajo la norma A.S.T.M A 615, esta norma establece las dimensiones de la probeta como lo muestra la figura 14.

Figura 14. **Dimensiones de la probeta utilizada en los ensayos de tensión**



Fuente: Centro de Investigaciones sección de metales Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el análisis del ensayo de tensión se utilizó una máquina Universal de ensayos de tensión, compresión, flexión ubicada en el Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala a continuación se describe como fue realizado el análisis de tensión.

El análisis del ensayo de tensión consiste en sujetar la probeta de los extremos por medio de mordazas adecuadas, luego un cabezal móvil se desplaza de manera controlada donde el movimiento del cabezal desarrolla una fuerza que aumenta cada vez más con el tiempo, hasta que ocurre la falla el análisis termina cuando la probeta se rompe es en ese momento cuando se procede a tomar lectura del resultado de la capacidad de carga que soporta la probeta, las figuras que se encuentran en los anexos nos amplían más el análisis del ensayo de tensión.

Mediante los diversos procedimientos de ensayos se trata de tener una idea más completa sobre las propiedades de un material para decidir de ahí

anticipadamente su comportamiento cuando esté sometido a las cargas de funcionamiento y a la influencias exteriores.

El ensayo de tensión es el más frecuente realizado en los materiales que se emplean para la construcción de máquinas, porque nos suministra las más importantes propiedades necesarias para formar juicio sobre el material.

Las probetas son generalmente barras de sección regular (normalizadas), o tomarse un tramo del producto a ensayar, por ejemplo un trozo de varilla (industrial).

El ensayo de tensión es el apropiado para uso general en el caso de la mayoría de los metales y aleaciones no ferrosos, fundidos, laminados o forjados; para los materiales quebradizos (mortero, concreto, ladrillo, cerámica, etc.) cuya resistencia a la tensión es baja, en comparación con la resistencia a la compresión, el ensayo de compresión es más significativo y de mayor aplicación.

4.1.5. Análisis del ensayo a compresión en probetas de hierro fundido y hierro fundido con aleación de cobre, estaño y zinc.

Para el análisis de este ensayo se fabricaron cuatro probetas como se describe a continuación las cuales fueron analizadas una por una.

- Una probeta de hierro fundido

- Una probeta de hierro fundido + cobre

- Una probeta de hierro fundido + estaño
- Una probeta de hierro fundido + zinc

Para este análisis se utilizó la misma máquina utilizada en el ensayo de tensión a diferencia que ahora la máquina trabaja al contrario, en este caso la máquina produce una fuerza aplastante aplicada hacia la probeta.

El análisis de compresión consiste en aplicar una carga aplastante a una probeta, en la cual la carga aumenta cada vez más, en el ensayo de compresión la probeta no se rompe sino va sufriendo de pequeñas fisuras o fracturas a lo largo de la probeta en el momento que la probeta presenta esas fisuras es cuando se deja de aplicar la carga y se procede a tomar lectura de la capacidad de carga que soporta la probeta, las figuras que se muestran en los anexos nos amplían más los detalles del ensayo de compresión.

Los ensayos estáticos de tensión y de compresión son los más realizados, además de ser los más simples de todos los ensayos mecánicos. Estos ensayos implican la normalización de las probetas con respecto a tamaño, forma y método de preparación y la de los procedimientos de ensayo.

4.1.6. Análisis del ensayo de impacto (Charpy) en probetas de hierro fundido y hierro fundido con aleación de cobre, estaño y zinc

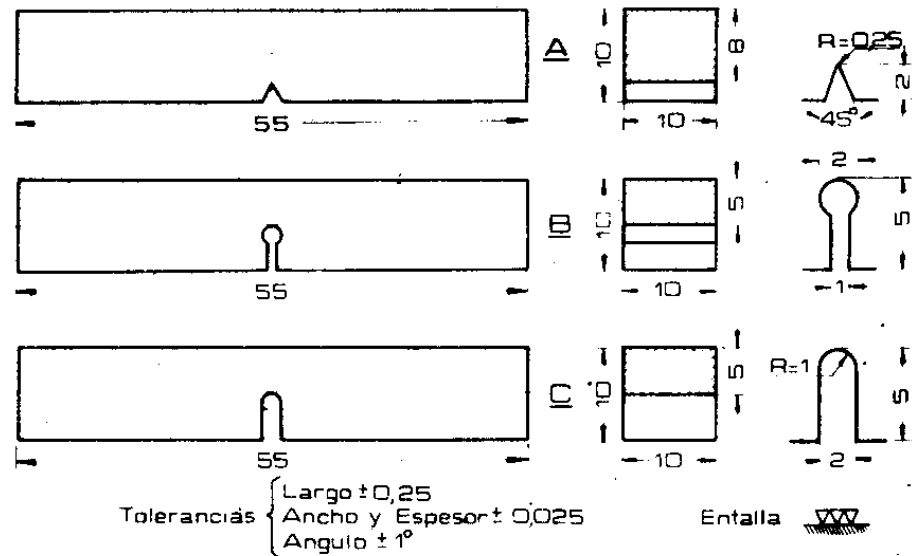
Para el análisis del ensayo de impacto se fabricaron las siguientes probetas las cuales fueron analizadas por separado.

- 3 probetas con hierro fundido
- 3 probetas con hierro fundido + cobre
- 3 probetas con hierro fundido + estaño
- 3 probetas con hierro fundido + zinc

Para realizar dichas probetas fue necesario utilizar un cepillo que es una máquina herramienta que sirve para desgastar por medio del arranque de viruta, se utilizó esta máquina porque las probetas que se habían fabricado eran circulares y para realizar el ensayo de impacto las probetas tienen que ser rectangular como lo muestra la figura 15.

Para llevar a cabo dicho análisis se procedió a fabricar probetas según norma A.S.T.M E 23 que es la norma que establece las dimensiones utilizadas en el ensayo de impacto (*Charpy*), es importante mencionar que la probeta que se utilizó en dicho análisis es la probeta del inciso (A) de la figura 15, la que tiene la entalladura con un ángulo a 45° con una profundidad de 2 mm.

Figura 15. **Probetas utilizadas en el ensayo de impacto**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/choque/choque.shtml>

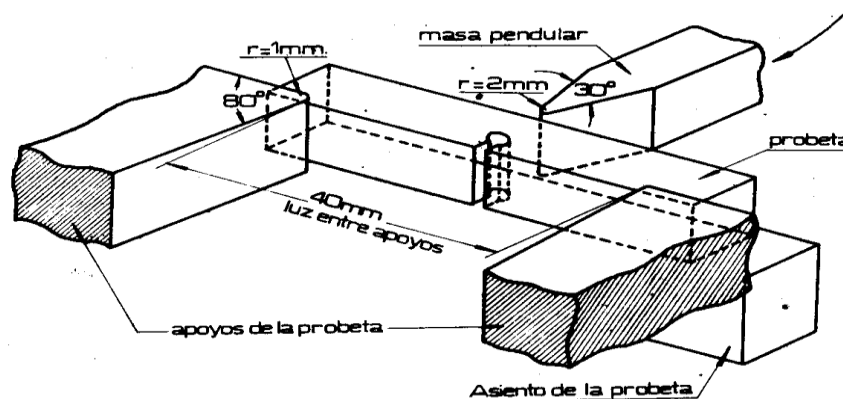
Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares en las que se verifican el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada.

Para realizar el análisis del ensayo de impacto (Charpy) se requiere de varios pasos que describiremos a continuación.

- El primer paso consiste en colocar el péndulo en la parte superior de la máquina asegurando que el péndulo quede asegurado para que este no se desplace hacia abajo antes de tiempo y evitar accidentes.

- El segundo paso consiste en centrar la probeta en la parte inferior de la máquina asegurándose que la probeta quede centrada ya que la máquina cuenta con un pin que nos indica cuando la probeta ya se encuentra centrada es por eso que la probeta requiere de una entalladura es importante mencionar que la probeta se analiza como una barra simplemente apoyada como lo muestra la figura 16.
- El cuarto paso consiste en quitar el seguro al péndulo para que este se desplace desde una velocidad igual a 0 y adquiera velocidad en la trayectoria hasta impactar contra la probeta la cual queda rota de un solo golpe por la masa pendular.
- El quinto paso es detener el péndulo ya que la maquina cuenta con un freno especial que sirve para detener al péndulo.
- El sexto paso sería proceder a tomar lectura de los resultados que arroja cada probeta ensayada.

Figura 16. **Barra simplemente apoyada para ensayo de impacto (Charpy)**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/choque/choque.shtml>

A continuación analizaremos el análisis metalográfico realizado a las probetas de hierro fundido, hierro fundido + cobre, hierro fundido + estaño, hierro fundido + zinc

4.1.7. Pulido de las probetas para el análisis metalográfico

Para el análisis metalográfico se fabricaron cuatro probetas como se describe a continuación cada probeta fue analizada por separado.

- Una probeta de hierro fundido
- Una probeta de hierro fundido + cobre
- Una probeta de hierro fundido + estaño
- Una probeta de hierro fundido + zinc

Las probetas fueron fabricadas en un torno, se fabricaron probetas cilíndricas de 1 X 1 Pl. luego se procedió al pulido de la probeta como se menciona a continuación.

Para realizar el pulido de las probetas se utilizó papel abrasivo 3M o similar, número (80, 150, 180, 220, 320, 380, 400, 500 y 600) el pulido de la probeta consiste en apoyar la probeta sobre una mesa de trabajo sobre esta el papel abrasivo de grano más grueso, tomar firmemente la probeta y apoyar la cara elegida sobre la superficie de papel abrasivo. Frotarla sobre este arrastrándola longitudinalmente, ejerciendo una presión suficiente como para eliminar las marcas originales, cuidando de conservar la cara devastada, este proceso repetirlo durante aproximadamente unos 10 minutos con cada uno de

los papeles abrasivos hasta llegar al más fino luego que la probeta ya se encuentra pulida se procede al análisis metalográfico.

Análisis metalográfico de las probeta de hierro fundido y las probetas de hierro fundido con aleación de cobre, estaño y zinc

Cuando se procede a un análisis metalográfico es importante contar con una serie de elementos de trabajo como los son la plancha de vidrio de 20 X 40 cm aproximadamente, también necesitamos de un reactivo (solución alcohólica de ácido nítrico al 5% en volumen (Nital)) y lo más importante un microscopio metalográfico provisto de ocular 10x.

La técnica operatoria que se usa para el análisis metalográfico es muy sencilla lo primero que se debe de realizar es el desengrase de la probeta con alcohol la cara de la probeta previamente pulida y secarla. Luego tomamos la probeta y la sumergimos, con la superficie pulida hacia abajo, en el reactivo de ataque contenido en el cristalizador. Mantener la probeta durante 1 0 2 minutos luego extraerlas, lavarlas en alcohol, secarlas y observarlas al microscopio. Registrar el campo observado a distintos aumentos. Mediante el ataque es posible poner de manifiesto la forma, el tamaño y el claroscuro o la coloración de cada uno de los constituyentes metalográfico contenidos en la estructura cristalina macroscópica observada.

Mediante el proceso de micrografía se trato de definir el tamaño y forma de los granos de la matriz metálica. Así mismo se tuvo presente los cambios sufridos luego de la aplicación del reactivo químico y a través del mismo poder observar la estructura en el microscopio metalográfico.

En el análisis metalográfico se observó microscópicamente a diversos aumentos con ocular de 10x y lentes con aumento de 10x, 20x, 50, y 100x aplicados a diferentes áreas de las probetas.

5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

5.1. Resultados de los ensayos a tensión

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos en los ensayos a tensión que se realizaron en el Centro de Investigación de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de San Carlos de Guatemala (CII).

Los ensayos fueron analizados a temperaturas ambiente.

Tabla III. Resultados de los ensayos a tensión

IDENTIFICACIÓN	DIÀMETRO cm	ÁREA <i>cm</i> ²	CARGA kg	ESFUERZO CEDENTE MPa	ESFUERZO MÁXIMO MPa	% Elongación 5cm
Hierro fundido	1.273	1.28	800	61.29	191.54	3.00
Hierro fundido + Cobre	1.231	1.19	800	65.93	214.26	1.00
Hierro fundido + Estaño	1.275	1.28	750	57.46	121.05	2.00
Hierro fundido+ Zinc	1.268	1.26	800	62.26	233.49	0.00

Fuente: elaboración propia.

5.2. Resultados de los ensayos a compresión

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos en los ensayos a compresión que se realizaron en el Centro de Investigación de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de San Carlos de Guatemala (CII).

Los ensayos fueron analizados a temperaturas ambiente.

Tabla IV. **Resultados de los ensayos a compresión**

IDENTIFICACIÓN	ALTURA mm	DIÁMETRO cm	ÁREA <i>cm</i>²	CARGA MÁXIMA kg	ESFUERZO MÁXIMO MPa
Hierro fundido	38.57	15.41	1.85	12000	636.11
Hierro fundido + Cobre	38.57	14.88	1.74	14300	805.95
Hierro fundido + estaño	38.57	14.79	1.72	11700	667.08
Hierro fundido+ zinc	38.57	14	1.74	15750	887.67

Fuente: elaboración propia.

5.3. Resultados de los Ensayos de Impacto (*Charpy*)

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos en los ensayos de impacto que se realizaron en el centro de capacitación (INTECAP).

Los ensayos fueron analizados a diferentes temperaturas las temperaturas son la siguientes.

- La primera temperatura a la que se analizaron las probetas fue a temperatura ambiente
- La segunda temperatura fue a temperatura alta entre 70- 80 °C
- La tercera temperatura fue a temperatura baja entre 5-8 °C

Tabla V. **Resultados de los ensayos de impacto**

Tipo de Aleación	Temperatura ambiente 22-25°C	Alta temperatura 70-80°C	Baja temperatura 5-8°C
Hierro fundido	F0= 15.5 kpm Grados= 66° Resistencia al impacto= 22^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.7 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido+ cobre	F0= 13.9 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.6 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.6 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido + Estaño	F0= 13.6 kpm Grados= 59° Resistencia al impacto= 19.3^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.7 kpm Grados= 58° Resistencia al impacto= 19.3^{kpm}_{cm2}
Hierro fundido+ Zinc	F0= 13.9 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}	F0= 13.8 kpm Grados= 60° Resistencia al impacto= 19.5^{kpm}_{cm2}

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de metal aleante utilizado en los ensayos (cobre, estaño, zinc) sí provocó cambios en las propiedades físicas y mecánicas del hierro fundido; según lo muestran los resultados de los diferentes ensayos realizados las propiedades si mejoraron en tensión, compresión e impacto con respecto a las probetas del hierro fundido.
2. Cuando se realizaron las diferentes aleaciones de hierro fundido, este metal no tuvo ninguna reacción al material aleante y se aleó sin ninguna reacción química extraña.
3. La importancia que tiene hacer análisis de ensayos destructivos es que revelan importantes resultados a la hora de diseñar cualquier elemento fundamental de una máquina, y que este soporte los diferentes esfuerzos para lo cual fue diseñado.

RECOMENDACIONES

1. Para analizar los diferentes ensayos las probetas tienen que tener las dimensiones exactas que indica cada norma (A.S.T.M) que corresponde a cada ensayo, ya que si la probeta no cuenta con las dimensiones exactas, la máquina no puede sujetar correctamente la probeta y puede que el resultado no sea el correcto.
2. Cuando se analizan las diferentes piezas en cada máquina es importante contar con un equipo de seguridad industrial, (casco, lentes, guantes) para prevenir accidentes y una persona capacitada para que realice estas prácticas, ya que no se tiene conocimiento de cómo va a reaccionar la probeta al ser ensayada.
3. Para realizar una buena observación microscópica de la probeta es muy importante la correcta preparación de ésta, ya que de no hacerse correctamente, no se podrá observar bien la estructura de la probeta a ensayar.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMSTED, Ostwald. *Procesos de manufactura*. 2ª ed. México: Continental 1981. 820 p.
2. AVNER, Sydney H. *Introducción a la metalurgia física*. 2ª ed. México: McGraw-Hill, 1998. 695 p.
3. CHANG, Raymond. *Química*. 9ª ed. México: McGraw-Hill, 2 007. 1063 p.
4. GIAGNORIO, Hernán. *Ensayos por choque*. [ref. de diciembre de 2010].
Disponible en Web:
<http://www.monografias.com/trabajos14/choque/choque.shtml>,
5. GUY, Albert G. *Metalurgia física para Ingenieros*. Estados Unidos: Addison-Werley, 1965. 374 p.
6. HIGGINS, Raymond A. *Ingeniería metalúrgica*. 2ª ed. México: Pearson, 1982. 368 p.
7. HILLY, C. Chaussin. *Metalurgia elaboración de los metales*. 7ª ed. España: Urmo, 1975. 470 p.
8. MENDOZA, Julio y SUÁREZ, Arnold. *Ensayo de Tracción en Metales*. [ref. de septiembre de 2010]. Disponible en Web:
<http://www.monogrsafias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales2.shtml>.

9. UNIVERSIDAD. de Santiago de Chile. Departamento de Metalurgia.
Microscopia de la fundición gris. [ref. de noviembre de 2010]. Disponible en Web:
<http://www.metalurgiausach.cl/INTRODUCCION/Capitulo06INTROD.pdf>,

ANEXOS

Horno tipo cubilote



Fuente: Cruz, Carlos. Fundidora J.A. Ramírez.

Toma de las muestras del hierro fundido



Fuente: Cruz, Carlos. Fundidora J.A. Ramírez

Colada de las probetas



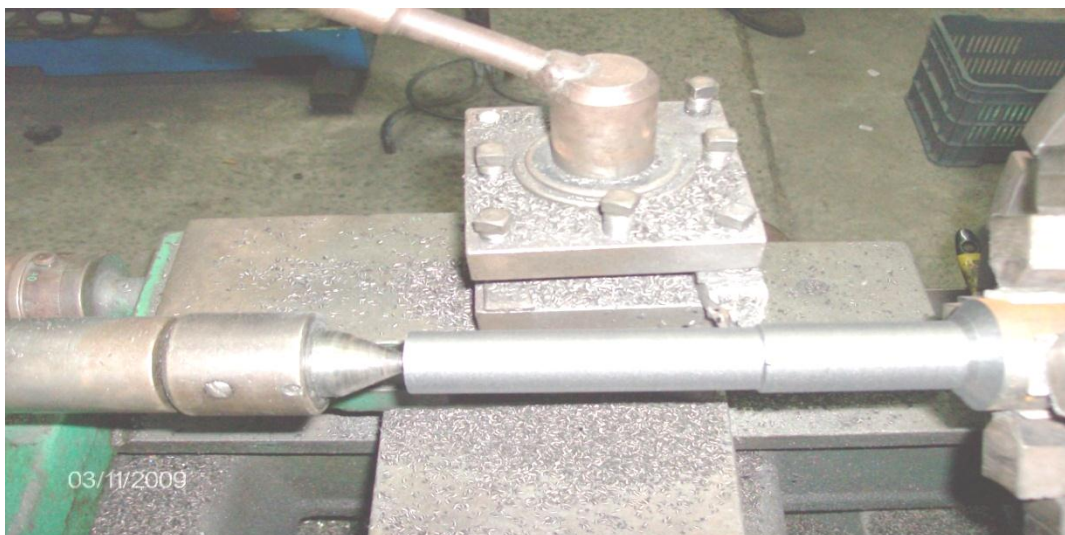
Fuente: Cruz, Carlos. Fundidora J.A. Ramírez

Torno de Maquinado de probetas



Fuente: Cruz, Carlos. Talleres S.A.M

Maquinado de probetas en torno



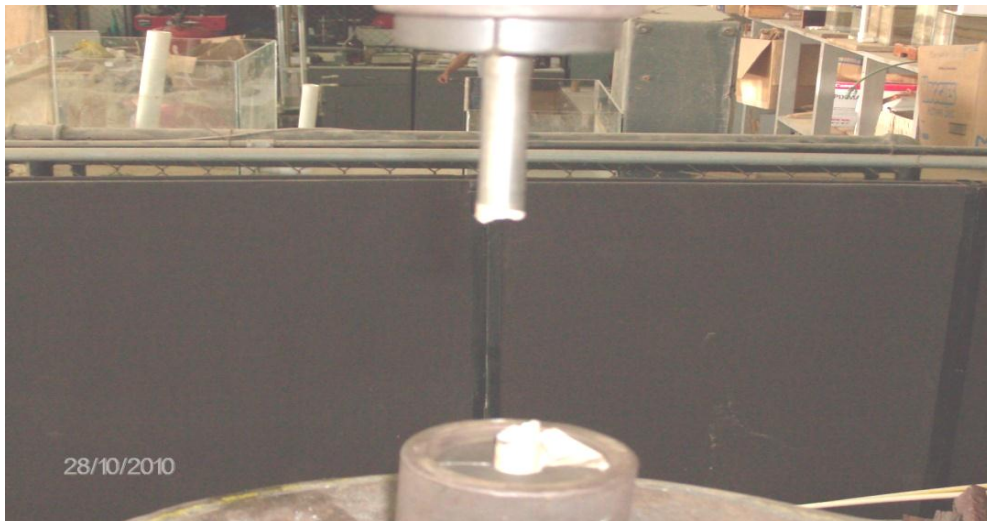
Fuente: Cruz, Carlos. Talleres S.A.M

Probeta sometida a ensayo de tensión



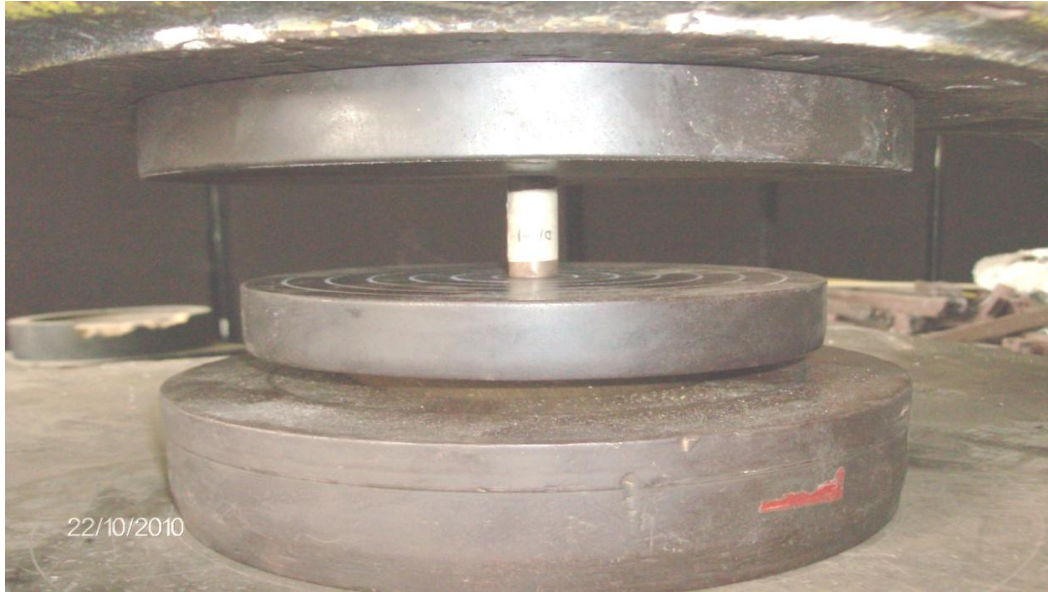
Fuente: Cruz, Carlos, Centro de Investigaciones (CII). De la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Probeta de ensayo de tensión después de ser ensayada



Fuente: Cruz, Carlos, Centro de Investigaciones (CII). De la Facultad de Ingeniería de La Universidad de San Carlos de Guatemala..

Probeta sometida a ensayo de compresión



Fuente: Cruz, Carlos, **Centro de Investigaciones (CII)**. De la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Maquina de ensayo de impacto (Charpy)



Fuente: Cruz, Carlos. Laboratorio de Metalurgia. Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II).

Péndulo de la máquina de impacto (Charpy)



Fuente: Cruz, Carlos. Laboratorio de Metalurgia. Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II).

Péndulo de (Charpy) antes del Impacto



Fuente: Cruz, Carlos. Laboratorio de Metalurgia. Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II).

Péndulo de Charpy a la hora del impacto



Fuente: Cruz, Carlos. Laboratorio de Metalurgia. Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II).

Microscopio metalográfico



Fuente: Cruz, Carlos. Laboratorio de Metalurgia. Instituto Nacional Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP II).

