



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BRONCE  
FOSFÓRICO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA  
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA  
SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Y SUS  
APLICACIONES EN LA INDUSTRIA”.**

**ACURIO SANTILLÁN LENIN FABIAN**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-03-07

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**LENIN FABIAN ACURIO SANTILLÁN**

---

Titulada:

**“PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL BRONCE FOSFÓRICO EN EL  
TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Y SUS  
APLICACIONES EN LA INDUSTRIA”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez Fiallos  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Marco Almendáriz Puente  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LENIN FABIAN ACURIO SANTILLÁN

**TÍTULO DE LA TESIS:** “PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL BRONCE FOSFÓRICO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA”

**Fecha de Examinación:** 2014-01-30

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Gloria Miño Cascante PRESIDENTA TRIB. DEFENSA			
Ing. José Pérez Fiallos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marcos Almendáriz Puente ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

### RECOMENDACIONES:

---

---

La Presidenta del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Gloria Miño Cascante  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos, científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Lenin Fabian Acurio Santillán

## **DEDICATORIA**

A mi esposa e hija que se constituyen en el estímulo y pilar fundamental para seguir adelante con esta tarea ardua de crecer intelectual y espiritualmente.

A mis padres, hermanos y demás familiares, en especial a mis abuelos, que caminaron junto a mí brindándome constantemente su apoyo y comprensión.

**Lenin Acurio Santillán**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A la Facultad de Mecánica por la apertura a la investigación.

Y en especial para mi familia, amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para terminar esta etapa de mi vida estudiantil.

**Lenin Acurio Santillán**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Cobre.....	3
2.1.1 <i>Obtención</i> .....	3
2.1.2 <i>Características</i> .....	6
2.1.2.1 <i>Características generales</i> .....	6
2.1.2.2 <i>Características físicas</i> .....	7
2.1.3 <i>Aplicaciones y usos</i> .....	8
2.1.3.1 <i>Cobre metálico</i> .....	8
2.1.3.2 <i>Cobre no metálico</i> .....	10
2.1.4 <i>Aleaciones</i> .....	11
2.1.4.1 <i>Latón (Cu-Zn)</i> .....	11
2.1.4.2 <i>Bronce (Cu-Sn)</i> .....	12
2.1.4.3 <i>Alpaca (Cu-Ni-Zn)</i> .....	13
2.1.4.4 <i>Otras aleaciones</i> .....	13
2.1.5 <i>Precauciones</i> .....	15
2.1.6 <i>Efectos</i> .....	16
2.1.6.1 <i>Efectos en la salud</i> .....	16
2.1.6.2 <i>Efectos ambientales</i> .....	17
2.2 Estaño.....	17
2.2.1 <i>Obtención</i> .....	18
2.2.1.1 <i>Proceso de obtención</i> .....	18
2.2.2 <i>Características</i> .....	20
2.2.2.1 <i>Características generales</i> .....	20
2.2.2.2 <i>Características físicas</i> .....	20
2.2.3 <i>Aplicaciones y usos</i> .....	21
2.2.3.1 <i>Otras aplicaciones</i> .....	21
2.2.4 <i>Aleaciones</i> .....	21
2.2.5 <i>Precauciones</i> .....	22
2.2.6 <i>Efectos</i> .....	23
2.2.6.1 <i>Efectos en la salud</i> .....	23
2.2.6.2 <i>Efectos ambientales</i> .....	24
2.3 Plomo.....	24
2.3.1 <i>Obtención</i> .....	25
2.3.2 <i>Características</i> .....	27
2.3.2.1 <i>Características generales</i> .....	27
2.3.2.2 <i>Características físicas</i> .....	28
2.3.3 <i>Aplicación y usos</i> .....	28
2.3.3.1 <i>En la historia</i> .....	28
2.3.3.2 <i>En la actualidad</i> .....	29
2.3.4 <i>Aleaciones</i> .....	31
2.3.5 <i>Precaución</i> .....	33
2.3.6 <i>Efectos</i> .....	34
2.3.6.1 <i>Efectos so en la salud</i> .....	34
2.3.6.2 <i>Efectos ambientales</i> .....	35

2.4	Fósforo.....	36
2.4.1	<i>Obtención</i> .....	36
2.4.2	<i>Características</i> .....	37
2.4.2.1	<i>Características principales</i> .....	37
2.4.2.2	<i>Características físicas</i> .....	37
2.4.3	<i>Aplicaciones y usos</i> .....	38
2.4.4	<i>Aleaciones</i> .....	38
2.4.5	<i>Precauciones</i> .....	39
2.4.6	<i>Efectos</i> .....	39
2.4.6.1	<i>Efectos en la salud</i> .....	39
2.4.6.2	<i>Efectos ambientales</i> .....	39
2.5	Cinc.....	40
2.5.1	<i>Obtención</i> .....	40
2.5.2	<i>Características</i> .....	42
2.5.2.1	<i>Características generales</i> .....	42
2.5.2.2	<i>Características físicas</i> .....	43
2.5.3	<i>Aplicaciones y usos</i> .....	43
2.5.3.1	<i>Otros usos</i> .....	44
2.5.4	<i>Aleaciones</i> .....	44
2.5.5	<i>Precauciones</i> .....	44
2.5.6	<i>Efectos</i> .....	45
2.5.6.1	<i>Efectos en la salud</i> .....	45
2.5.6.2	<i>Efectos ambientales</i> .....	45
2.6	Bronce fosfórico.....	46
2.7	Bronce fosfórico en la industria.....	47
2.7.1	<i>Introducción</i> .....	47
2.7.1.1	<i>Composición química</i> .....	47
2.7.1.2	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	47
2.7.1.3	<i>Otras características</i> .....	47
2.7.2	<i>Demanda</i> .....	48
2.7.3	<i>Necesidades</i> .....	48
2.7.4	<i>Aplicaciones</i> .....	48
2.8	Tipos de hornos que se utilizan para fundir materiales no ferrosos.....	50
2.8.1	<i>Hornos utilizados en el proceso de obtención del bronce fosfórico</i> .....	50
2.8.1.1	<i>Horno de crisol, fuel-oil</i> .....	50
2.8.1.2	<i>Horno de crisol inclinable, con precalentamiento del aire</i> .....	50
2.8.1.3	<i>Horno de reverbero</i> .....	52
2.8.1.4	<i>Hornos oscilantes y giratorios</i> .....	53
<b>3.</b>	<b>OBTENCIÓN DEL BRONCE FOSFÓRICO</b>	
3.1	Diagrama del proceso para la obtención del bronce fosfórico.....	54
3.1.1	<i>Etapas del proceso de fundición</i> .....	54
3.1.1.1	<i>En lingoteras</i> .....	54
3.1.1.2	<i>Colada continua</i> .....	54
3.1.1.3	<i>Fundición en moldes</i> .....	54
3.2	Hoja de proceso.....	56
3.3	Preparación de la materia prima.....	58
3.4	Preparación del horno de crisol para la obtención del bronce fosfórico.....	60
3.5	Introducción de los materiales menos fungibles en el horno.....	60
3.6	Introducción de los materiales más fungibles.....	60
3.7	Secado y preparación de la cuchara para recibir la colada.....	60
3.8	Colado del material líquido en los moldes (probetas).....	61
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE LA DEMANDA INDUSTRIAL DEL BRONCE FOSFÓRICO</b>	
4.1	Diagnóstico de las industrias que utilizan el bronce fosfórico.....	64



4.2	Determinación de la demanda industrial en la provincia.....	64
4.2.1	<i>Análisis de la demanda</i> .....	64
4.2.2	<i>Cómo hacer el pronóstico de la demanda</i> .....	64
4.2.3	<i>Métodos para pronosticar la demanda</i> .....	65
4.2.3.1	<i>Análisis de registros históricos</i> .....	65
4.2.3.2	<i>Método de la demanda potencial</i> .....	65
4.2.3.3	<i>Método de la investigación de mercados</i> .....	65
4.2.4	<i>Análisis de la encuesta</i> .....	66
4.3.5	<i>Formato de la encuesta</i> .....	66
4.2.6	<i>Resultados obtenidos de las encuestas realizadas</i> .....	66
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL BRONCE FOSFÓRICO OBTENIDO</b>	
5.1	Preparación de la probeta metalográfica.....	70
5.1.1	<i>Corte de la muestra</i> .....	71
5.1.2	<i>Montaje de probetas metalográficas</i> .....	71
5.1.3	<i>Desbaste de probetas</i> .....	72
5.1.4	<i>Pulido de probetas</i> .....	73
5.1.5	<i>Ataque metalográfico de probetas</i> .....	73
5.1.6	<i>Observación metalográfica</i> .....	74
5.1.7	<i>Fotografía metalográfica</i> .....	74
5.1.8	<i>Estudio, análisis del bronce fosfórico obtenido</i> .....	75
5.1.8.1	<i>Análisis comparativo entre fotografías metalográficas</i> .....	76
5.1.8.1	<i>Ensayo de dureza Brinell</i> .....	77
5.1.9	<i>Resultados finales</i> .....	78
5.1.10	<i>Conclusiones y recomendaciones metalográficas</i> .....	78
5.1.10.1	<i>Conclusiones metalográficas</i> .....	78
5.1.10.2	<i>Recomendaciones metalográficas</i> .....	78
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones.....	79
6.2	Recomendaciones.....	79

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
1	Características físicas del cobre.....	7
2	Características físicas del estaño.....	20
3	Características físicas del plomo.....	28
4	Propiedades mecánicas del plomo y sus aleaciones.....	32
5	Características físicas del fósforo.....	37
6	Características físicas del cinc.....	43
7	Composición química del bronce fosfórico.....	47
8	Hoja de proceso.....	56
9	Resumen de la hoja de proceso.....	58
10	Porcentajes teóricos de materiales, para obtener el bronce fosfórico .....	58
11	Porcentajes y pesos de materiales utilizados, para obtener el bronce fosfórico.....	59
12	Resultado de personas que tienen conocimientos del bronce fosfórico.....	66
13	Resultado de empresas, dicen tener partes del equipo hechos de este material.....	67
14	Frecuencia con la que adquieren repuestos de este material.....	68
15	Resultados obtenidos de la encuesta.....	68
16	Resultados obtenidos de la encuesta.....	69

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Disco de cobre obtenido mediante un proceso de colada continua.....	3
2	Mina de cobre a cielo abierto.....	4
3	Ejemplar de calcopirita.....	4
4	Mineral procedente de Boinás, en el concejo de Belmonte de Miranda.....	5
5	Ejemplar de azurita procedente de Villamanín (León).....	5
6	Cable eléctrico de cobre.....	8
7	Cara de la Estatua de la Libertad de Nueva York, hecha con láminas de cobre.....	9
8	Instrumento musical de viento.....	10
9	Jarrón egipcio de latón, Museo del Louvre, París.....	11
10	Estatua de bronce David desnudo.....	12
11	Hueveras de alpaca.....	13
12	Vertido contaminante de cobre y otros metales de una mina abandonada.....	15
13	Gris plateado brillante.....	18
14	Obtención del estaño mediante el proceso AFINO.....	19
15	Pelos de estaño formados sobre acero revestido de estaño puro.....	22
16	Gris azulado.....	25
17	Bajorrelieve de plomo, en el Museo Cluny (París).....	29
18	Municiones de Plomo.....	31
19	Incoloro, rojo o blanco plateado.....	36
20	Azul pálido grisáceo.....	40
21	Cinc puro.....	42
22	Óxido de cinc.....	43
23	Pelos de cinc formados sobre acero galvanizado.....	45
24	Bronce fosfórico.....	46
25	Casquillos, cojinetes, enganches.....	48
26	Horno de crisol fijo.....	50
27	Extracción de un crisol de un horno fijo.....	51
28	Horno de crisol inclinable.....	51
29	Hornos de reverbero.....	52
30	Hornos oscilantes y giratorios.....	53
31	Diagrama de proceso para obtener bronce fosfórico.....	55
32	Balanza utilizada para pesar los materiales.....	59
33	Horno crisol en funcionamiento.....	61
34	Secado de molde.....	62
35	Probetas de bronce fosfórico obtenidas.....	63
36	Porcentajes obtenidos.....	67
37	Porcentaje obtenido.....	67
38	Porcentaje obtenido.....	68
39	Porcentaje obtenido.....	69
40	Porcentajes obtenidos.....	69
41	Probeta lista para el análisis.....	70
42	Cortadora metalográfica.....	71
43	Prensa de montaje.....	72
44	Pulidora de discos abrasivos.....	72
45	Pulidora de paños especiales.....	73
46	Vaso de precipitados o beakers.....	73
47	Microscopio metalográfico.....	74
48	Imagen Bronce fosfórico a 100x.....	75
49	Imagen Bronce fosfórico a 200x.....	75
50	Imagen patrón ASTM Bronce Fosfórico.....	76
51	Imagen del Bronce Fosfórico obtenido 500x.....	76

## LISTA DE ABREVIACIONES

SX/EW	Extracción por solventes/Electro obtención
I.A.C.S	Estándar Internacional del Cobre Recocido
D.P	Fósforo desoxidado
O.F	Oxígeno Libre
MPa	Mega Pascal
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
Kj	Kilo Joule
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
UNE	Una Norma Española
UNS	Sistema de Numeración Unificado
OMS	Organización Mundial de la Salud
T	Tesla (unidad de campo magnético)
mA	Miliamperios
GPa	Giga Pascal
Pa	Pascal
H.E	Altamente Explosivo
A.D.N	Ácido Desoxirribonucleico
ASTM	Sociedad Americana de Prueba de Materiales
SHG	Alto Grado Especial
HG	Grado Alto
PWG	Primer Grado Occidental
S <sub>2</sub> Cu	Calcosina
SCu	Covelina
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Bornita

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Formato de la encuesta.

## RESUMEN

El proceso para obtención del bronce fosfórico en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tiene como finalidad obtener bronce fosfórico para aplicar de manera innovativa en componentes, accesorios o repuestos de la industria metalúrgica.

La información comparativa de aleaciones de metales permitió obtener el bronce fosfórico en las mejores condiciones y composiciones químicas, facilitando el estudio de análisis metalográficos. La imagen metalográfica se la obtuvo a través del microscopio y se comparó con el patrón de imágenes existentes, el estudio de dureza y demás pruebas que permitan comprobar la obtención de la aleación. En la organización del proceso de investigación se diseñó un diagrama de flujo y una hoja de proceso de obtención.

Del ensayo de dureza se obtuvo un resultado de 71,62 grados de dureza Brinell que se acerca al 70,21% de dureza del bronce fosfórico que es de 102 HB. En el estudio comparativo se debe seleccionar el reactivo químico correcto en nuestro caso fue el Persulfato de Amonio, este reactivo pone en manifiesto la estructura metalográfica del material y ayuda a tener fotografías claras en el microscopio. Además, el colado del material fundido en los moldes debe ser rápido y evitar que se enfríe porque el llenado en moldes sale irregular y las piezas finales defectuosas. Las caras de la probetasometidas al esfuerzo del durómetro deben ser totalmente planas, para evitar variación en los resultados de dureza.

Cuando se funde bronce fosfórico, debe estar aislado del aire porque el oxígeno oxida, se logra al utilizar una capa aislante como el vidrio. En general, la utilización del bronce fosfórico en la elaboración de componentes y repuestos en la industria metalúrgica debe ampliarse para aprovechar beneficios importantes que ofrece esta aleación.

**Palabras clave:** Aleación, ensayos, fundición, metalografía.

## **ABSTRACT**

The process for obtaining the phosphoric bronze in the foundry of the Faculty of Mechanics of the Polytechnic Superior School of Chimborazo has as purpose to obtain phosphoric bronze to apply in an innovative way in components, accessories or reserves of the metallurgical industry.

The comparative information of alloys of metals allowed to obtain the phosphoric bronze in the best conditions and chemical compositions, facilitating the study of metallographic analysis. The metallographic image was obtained through the microscope and it was compared with the pattern of existing images, the study of hardness and other tests that allow to check the obtaining of the alloy. In the organization of the investigation process it was designed a diagram of flow and a sheet of obtaining process.

From the rehearsal of hardness a result of 71.62 degrees hardness brinell was obtained that comes closer to 70.21 % of hardness of the phosphoric bronze that is 102 HB. In the comparative study the correct chemical reagent should be selected in our case it was the Ammonium persulfate, this reagent reveals the metallographic structure of the material and helps to have clear pictures in the microscope. Also, the one strained of the fused material in the molds must be quick that prevents from cooling down because the filling in molds comes out irregularly and the faulty final pieces. The faces of the test tube subjected to the effort of the durometer should be completely plane, to avoid variation in the results of hardness.

When phosphoric bronze is founded, it should be isolated from the air because the oxygen oxidizes, this is possible when using an insulating layer as the glass. In general the use of the phosphoric bronze in the elaboration of components and reserves in the chemical and nutritious industry should be expanded to make use of important benefits that this alloy offers.

**Keywords:** Alloy, Essays, Foundry, Metallography

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.2 Antecedentes

La Facultad de Mecánica cuenta con un laboratorio de Fundición en el cual desde su creación se ha realizado trabajos que han servido como prácticas de laboratorio para estudiantes de la Facultad de Mecánica, los mismos que son el medio para fortalecer los conocimientos teóricos impartidos. La materia prima para efectuar dichos trabajos ha sido fundición gris, aluminio y bronce siendo este último el objeto en el que se basará el estudio.

Es prioridad de la Facultad de Mecánica establecer un proceso para la obtención del bronce fosfórico, de tal forma que cumpla parámetros técnicos, con el fin de obtener un producto de calidad, esto se podrá alcanzar a través de la correcta ejecución de los métodos de moldeo que es una parte fundamental dentro del proceso de fundición. El proceso tradicional es el moldeo en arena, por ser ésta un material refractario muy abundante en la naturaleza y que, mezclada con arcilla, adquiere cohesión y moldeabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido.

El bronce es una aleación de cobre y estaño en proporción del 80% del primero y 20% del segundo y también del 95% y 5% respectivamente. El estaño trasmite al cobre la resistencia y dureza. En construcción está muy generalizado su uso en cañerías, chapas de aplicación artística, herrajes artísticos, cierta carpintería metálica y en fabricación de elementos revestidos con un baño de níquel o de cromo.

Si a la aleación de cobre y estaño se le agrega cinc, plomo, magnesio, aluminio, se obtiene un material maleable sin sopladuras. Otro tipo de aleación es la del bronce fosfórico, compuesto por estaño hasta el 30%, desoxidado, con 0,5% o más de fósforo; es muy duro y tenaz, se usa para engranajes, motores, etc. En estado de fusión es muy



fluido, no retiene oxígeno, lo que constituye una ventaja para las piezas fundidas por no presentar sopladuras o burbujas.

## **1.2 Justificación**

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde su creación se ha caracterizado por formar profesionales de excelencia en los campos académicos y competitivos en el ámbito laboral, aportando de esta forma al desarrollo de la provincia y del país.

Una de las fortalezas de la Facultad de Mecánica contar con talleres y laboratorios, que brindan las facilidades para complementar los conocimientos adquiridos, logrando una formación íntegra de los futuros profesionales que aquí se forjan. Poseer talleres donde el estudiante puede mejorar sus destrezas es una gran ventaja, ya que es una forma en la que se puede simular un ambiente de trabajo real.

Este trabajo está enfocado a lograr un lineamiento para obtener el bronce fosfórico mediante un correcto proceso de obtención, el mismo que se desarrollará en el Laboratorio-Taller de fundición de la Facultad de Mecánica, con lo que lograremos un estudio comparativo del bronce fosfórico que obtendremos y las tablas que se encuentran en los diferentes estudios existentes. Para de esta forma poder establecer un proceso de obtención.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Obtener el bronce fosfórico en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y determinar su aplicación en la industria.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

Analizar el proceso para la obtención del bronce fosfórico.

Determinar la aplicabilidad del bronce fosfórico en la industria.

Realizar un análisis del bronce fosfórico obtenido.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 Cobre

El cobre es un elemento químico de número atómico 29 y símbolo Cu. Es uno de los metales más importantes industrialmente. De coloración rojiza es dúctil, maleable y buen conductor de la electricidad. (Wikipedia, 2013)

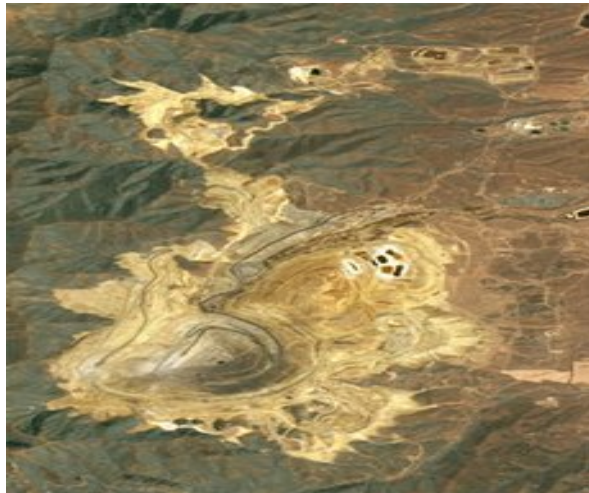
Figura 1. Disco de cobre al 99,95% de pureza



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

**2.1.1 Obtención.** Si bien es un metal menos abundante en la corteza terrestre que otros 0,12% del más abundante, el aluminio es de fácil obtención aunque ésta sea laboriosa dada la pobreza de la ley de los minerales; se considera económicamente viable un mineral con contenidos superiores al 0,5% de cobre y muy rentable a partir del 2,5%.

Figura 2. Mina de cobre a cielo abierto



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

El cobre nativo suele acompañar a sus minerales en bolsas que afloran a la superficie explotándose en minas a cielo abierto. Aunque no suele tener mucha importancia, se han encontrado ejemplares notables e incluso peñones de cobre de 400 toneladas en Michigan. Generalmente en la capa superior se encuentran los minerales oxidados (cuprita), junto a cobre nativo en pequeñas cantidades.

Por debajo del nivel freático, se encuentran las piritas (sulfuros) primarias calcosina ( $S_2Cu$ ), covelina ( $SCu$ ) y finalmente las secundarias calcopiritas ( $S_2FeCu$ ) cuya explotación es más rentable que la de las anteriores. (ENCICLOPEDIA, 2011)

Figura 3. Ejemplar de calcopirita



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cobre>

Figura 4. Mineral procedente de Boinás (Asturias), en el concejo de Belmonte de Miranda



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cobre>

Figura 5. Ejemplar de azurita procedente de Villamanín (León)



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cobre>

Los recursos mundiales de cobre se estima que ascienden a 1600 millones de toneladas en la corteza terrestre y a 700 millones en el lecho marino. Las reservas demostradas, según datos de agencia estadounidense de prospecciones geológicas (US Geological Survey) a 940 millones de toneladas, estando casi el 40% de ellas en Chile, el principal productor minero de cobre con aproximadamente el 36% de la producción mundial que ronda los 14 millones de toneladas.

La producción del cobre comienza con la extracción del mineral. Esta puede realizarse a cielo abierto. El mineral extraído por métodos mecánicos, óxidos y sulfuros, se tritura posteriormente obteniendo un polvo que contiene usualmente menos del 1% de cobre.

Este deberá ser enriquecido o concentrado obteniendo una pasta con un 15% de cobre que posteriormente se seca, a partir de este punto pueden seguirse dos métodos.

El mineral se traslada a un tanque de lixiviado en el que se filtra ácido sulfúrico diluido obteniendo una débil solución de sulfato de cobre de la que se obtiene el cobre cátodo por electrólisis, procedimiento que se denomina procedimiento SX/EW (Extracción por Solvente/Electro obtención). Los tipos de cobre usualmente obtenidos son los siguientes:

- Cobre tenaz (Tough-Pitch, TP): con contenido de oxígeno controlado y que se destina a aplicaciones eléctricas ya que es cobre de alta conductividad (>100% IACS).
- Cobre desoxidado (Desoxidized Phospor, DP): normalmente no son de alta conductividad por lo que se emplean en aplicaciones donde ésta no es importante, como calderería.
- Cobre exento de oxígeno (Oxigen Free, OF): es el de mayor calidad, el más caro y el menos utilizado. Es de alta conductividad.
- El cobre cátodo obtenido mediante uno u otro método tiene una pureza entre 99,9% y 99,99% y es el empleado para la fabricación de los distintos tipos de cobre comercial:
- Lingote alambre (wire-bar) de sección trapezoidal para laminación y trefilado.
- Tocho de sección circular para punzonado o extrusión seguido de laminación o estirado.

## **2.1.2** *Características*

**2.1.2.1** *Características generales.* El cobre posee varias propiedades físicas que propician su uso industrial en múltiples aplicaciones, siendo el tercer metal, después del

hierro y del aluminio, el 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.

La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el International Annealed Copper Standard (Estándar Internacional del Cobre Recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad del cobre recocido medida a 20 °C es igual a 58,108 S/m.

Tanto el cobre como sus aleaciones tienen una buena maquinabilidad, es decir, son fáciles de mecanizar. El cobre posee muy buena ductilidad y maleabilidad lo que permite producir láminas e hilos muy delgados y finos. Es un metal blando, con un índice de dureza 3 en la escala de Mohs (50 en la escala de Vickers) y su resistencia a la tracción es de 210 MPa, con un límite elástico de 33,3 MPa. (Wikipedia, 2013)

### 2.1.2.2 Características físicas

Tabla 1. Características físicas del cobre

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Estado ordinario</b>	Sólido (diamagnético)
<b>Densidad</b>	8960 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	1357,77 K (1084,62 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	3200 K (2927 °C)
<b>Entalpía de vaporización</b>	300 kJ/mol
<b>Entalpía de fusión</b>	13,1 kJ/mol

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

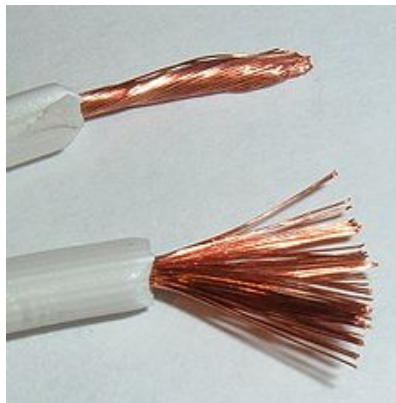
**2.1.3 Aplicaciones y usos.** Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, el uso industrial del cobre es muy elevado. Es un material importante en multitud de actividades económicas y ha sido considerado un recurso estratégico en situaciones de conflicto.

**2.1.3.1 Cobre metálico.** El cobre se utiliza tanto con un gran nivel de pureza, cercano al 100%, como aleado con otros elementos. El cobre puro se emplea principalmente en la fabricación de cables eléctricos. (Wikipedia, 2013)

- **Electricidad y telecomunicaciones**

El cobre es el metal no precioso con mejor conductividad eléctrica. Esto, unido a su ductilidad y resistencia mecánica, lo han convertido en el material más empleado para fabricar cables eléctricos, tanto de uso industrial como residencial.

Figura 6. Cable eléctrico de cobre



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

Son de cobre la mayoría de los cables telefónicos, los cuales además posibilitan el acceso a internet. Las principales alternativas al cobre para telecomunicaciones son la fibra óptica y los sistemas inalámbricos. Por otro lado, todos los equipos informáticos y de telecomunicaciones contienen cobre en mayor o menor medida, por ejemplo en sus circuitos integrados, transformadores y cableado interno.

- **Medios de transporte**

El cobre se emplea en varios componentes de coches y camiones, principalmente los radiadores, frenos y cojinetes.

También los trenes requieren grandes cantidades de cobre en su construcción: 1 - 2 toneladas en los trenes tradicionales y hasta 4 toneladas en los de alta velocidad.

- **Construcción y ornamentación**

Una gran parte de las redes de transporte de agua están hechas de cobre o latón, debido a su resistencia a la corrosión y sus propiedades anti-bacterianas, habiendo quedado las tuberías de plomo en desuso por sus efectos nocivos para la salud humana. Frente a las tuberías de plástico, las de cobre tienen la ventaja de que no arden en caso de incendio y por tanto no liberan humos y gases potencialmente tóxicos.

Figura 7. Cara de la Estatua de la Libertad de Nueva York, hecha con láminas de cobre sobre una estructura de acero



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

El cobre y, sobre todo, el bronce se utilizan también como elementos arquitectónicos y revestimientos en tejados, fachadas, puertas y ventanas. Dos aplicaciones clásicas del bronce en la construcción y ornamentación son la realización de estatuas y de campanas.

- **Monedas**

Desde el inicio de la acuñación de monedas en la Edad Antigua el cobre se emplea como materia prima de las mismas, a veces puro y, más a menudo, en aleaciones como el bronce y el cuproníquel.



- **Otras aplicaciones**

El cobre participa en la materia prima de una gran cantidad de diferentes y variados componentes de todo tipo de maquinaria, tales como casquillos, cojinetes, embellecedores, etc. Forma parte de los elementos de bisutería, bombillas y tubos fluorescentes, electroimanes, monedas, instrumentos musicales de viento, sistemas de calefacción y aire acondicionado. El cobre, el bronce y el latón son aptos para tratamientos de galvanizado para cubrir otros metales.

Figura 8. Instrumento musical de viento



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

**2.1.3.2 Cobre no metálico.** El sulfato de cobre (II) también conocido como sulfato cúprico es el compuesto de cobre de mayor importancia industrial y se emplea como abono y pesticida en la agricultura, alguicida en la depuración del agua y como conservante de la madera.

Para la decoración de azulejos y cerámica, se realizan vidriados que proporcionan un brillo metálico de diferentes colores. Para decorar la pieza una vez cocida y vidriada, se aplican mezclas de óxidos de cobre y otros materiales y después se vuelve a cocer la pieza a menor temperatura.

Un pigmento muy utilizado en pintura para los tonos verdes es el cardenillo, también conocido en este ámbito como verde gris, que consiste en una mezcla formada principalmente por acetatos de cobre, que proporciona tonos verdosos o azulados.

**2.1.4 Aleaciones.** Desde el punto de vista físico, el cobre puro posee muy bajo límite elástico (33 MPa). En cambio, unido en aleación con otros elementos adquiere características mecánicas muy superiores, aunque disminuye su conductividad. Existe una amplia variedad de aleaciones de cobre, de cuyas composiciones dependen las características técnicas que se obtienen, por lo que se utilizan en multitud de objetos con aplicaciones técnicas muy diversas. El cobre se alea principalmente con los siguientes elementos: Zn, Sn, Al, Ni, Be, Si, Cd, Cr y otros en menor cuantía.

Según los fines a los que se destinan en la industria, se clasifican en aleaciones para forja y para moldeo. Para identificarlas tienen las siguientes nomenclaturas generales según la norma ISO 1190-1:1982 o su equivalente UNE 37102:1984

**2.1.4.1 Latón (Cu-Zn).** El latón es una aleación de cobre, cinc (Zn) y, en menor proporción, otros metales. Se obtiene mediante la fusión de sus componentes en un crisol o mediante la fusión. En los latones industriales, el porcentaje de Zn se mantiene siempre inferior a 50%. Su composición influye en las características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, forja y mecanizado.

Figura 9: Jarrón egipcio de latón, Museo del Louvre, París



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

El latón es más duro que el cobre, pero fácil de mecanizar, grabar y fundir. Es resistente a la oxidación, a las condiciones salinas y es maleable, por lo que puede laminarse en

planchas finas. Su maleabilidad varía la temperatura y con la presencia, incluso en cantidades mínimas, de otros metales en su composición.

**2.1.4.2 Bronce (Cu-Sn).** Las aleaciones en cuya composición predominan el cobre y el estaño se conocen con el nombre de bronce. Hay muchos tipos de bronce que contienen además otros elementos como aluminio, berilio, cromo o silicio. El porcentaje de estaño en estas aleaciones está comprendido entre el 2 y el 22%. Son de color amarillento y las piezas fundidas de bronce son de mejor calidad que las de latón, pero son más difíciles de mecanizar y más caras.

Figura 10. Estatua de bronce. David desnudo



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

La tecnología metalúrgica de la fabricación de bronce es uno de los hitos más importantes de la historia de la humanidad pues dio origen a la llamada Edad de Bronce. El bronce fue la primera aleación fabricada voluntariamente por el ser humano: se realizaba mezclando el mineral de cobre y el de estaño en un horno alimentado con carbón vegetal. El anhídrido carbónico resultante de la combustión del carbón, reducía los minerales de cobre y estaño a metales. El cobre y el estaño que se fundían, se aleaban entre un 5 y un 10% en peso de estaño.

El bronce se emplea especialmente en aleaciones conductoras del calor, en baterías eléctricas y en la fabricación de válvulas, tuberías y uniones de fontanería. Algunas aleaciones de bronce se usan en uniones deslizantes, como cojinetes y descansos, discos de fricción; y otras aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la corrosión como rodetes de turbinas o válvulas de bombas.

**2.1.4.3 Alpaca (Cu-Ni-Zn).** Las alpacas o platas alemanas son aleaciones de cobre, níquel y zinc, en una proporción de 50-70% de cobre, 13-25% de níquel, y 13-25% de zinc. Sus propiedades varían de forma continua en función de la proporción de estos elementos en su composición, pasando de máximos de dureza a mínimos de conductividad. Estas aleaciones tienen la propiedad de rechazar los organismos marinos. Si a estas aleaciones de cobre-níquel-cinc se les añaden pequeñas cantidades de aluminio o hierro constituyen aleaciones que se caracterizan por su resistencia a la corrosión marina, por lo que se utilizan ampliamente en la construcción naval, principalmente en condensadores y tuberías, así como en la fabricación de monedas y de resistencias eléctricas.

Figura 11. Hueveras de alpaca



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

Las aleaciones de alpaca tienen una buena resistencia a la corrosión y buenas cualidades mecánicas. Su aplicación se abarca materiales de telecomunicaciones, instrumentos y accesorios de fontanería y electricidad, como grifos, abrazaderas, muelles, conectores. También se emplea en la construcción y ferretería, para elementos decorativos y en las industrias químicas y alimentarias, además de materiales de vajillas y orfebrería.

**2.1.4.4 Otras aleaciones.** Otras aleaciones de cobre con aplicaciones técnicas son las siguientes:

- **Cobre-cadmio (Cu-Cd):** son aleaciones de cobre con un pequeño porcentaje de cadmio y tienen con mayor resistencia que el cobre puro. Se utilizan en líneas eléctricas aéreas sometidas a fuertes solicitaciones mecánicas como catenarias y cables de contacto para tranvías.

- **Cobre-cromo (Cu-Cr) y Cobre-cromo-circonio (Cu-Cr-Zr):** tienen una alta conductividad eléctrica y térmica. Se utilizan en electrodos de soldadura por su resistencia, barras de colectores, contactores de potencia, equipos siderúrgicos y resortes conductores.
- **Cobre-hierro-fósforo (Cu-Fe-P):** para la fabricación de elementos que requieran una buena conductividad eléctrica y buenas propiedades térmicas y mecánicas se añaden al cobre partículas de hierro y fósforo. Estas aleaciones se utilizan en circuitos integrados porque tienen una buena conductividad eléctrica, buenas propiedades mecánicas y tienen una alta resistencia a la temperatura.
- **Cobre-aluminio (Cu-Al):** también conocidas como bronce al aluminio y duraluminio, contienen al menos un 10% de aluminio. Estas aleaciones son muy parecidas al oro y muy apreciadas para trabajos artísticos. Tienen buenas propiedades mecánicas y una elevada resistencia a la corrosión. Se utilizan también para los trenes de aterrizaje de los aviones, en ciertas construcciones mecánicas.
- **Cobre-berilio (Cu-Be):** es una aleación constituida esencialmente por cobre. Esta aleación tiene importantes propiedades mecánicas y gran resistencia a la corrosión. Se utiliza para fabricar muelles, moldes para plásticos, electrodos para soldar por resistencia y herramientas antideflagrantes.
- **Cobre-plata (Cu-Ag) o cobre a la plata:** es una aleación débil por su alto contenido de cobre, que se caracteriza por una alta dureza que le permite soportar temperaturas de hasta 226 °C, manteniendo la conductividad eléctrica del cobre.
- **Constantán (Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub>):** es una aleación formada por un 55% de cobre y un 45% de níquel. Se caracteriza por tener una resistividad eléctrica de  $4,9 \times 10^{-7} \Omega m$  casi constante en un amplio rango de temperaturas. Se emplea en la fabricación de termopares, galgas extensiométricas y monedas.

- **Manganina ( $\text{Cu}_{86}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_2$ ):** es otra aleación con un muy bajo coeficiente de temperatura y se utiliza en galgas extensiométricas y resistores de alta estabilidad. Algunas aleaciones de cobre tienen pequeños porcentajes de azufre y de plomo que mejoran la maquinabilidad de la aleación.

**2.1.5 Precauciones.** Todos los compuestos de cobre deberían tratarse como si fueran tóxicos, una cantidad de 30 g de sulfato de cobre es potencialmente letal en humanos. El metal en polvo es combustible y sensibilizante y la inhalación puede provocar tos, dolor de cabeza, jadeo y dolor de garganta, por lo que se recomienda para evitar la exposición laboral el uso de guantes y gafas. Los valores límites ambientales son de 0,2 mg/m<sup>3</sup> para los humos y 1 mg/m<sup>3</sup> para el polvo y las nieblas. Reacciona con oxidantes fuertes tales como cloratos, bromatos y yodatos, originando peligro de explosión.

Figura 12. Vertido contaminante de cobre y otros metales de una mina abandonada



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cobre>

El agua con contenidos superiores a 1 mg/l puede ensuciar con cobre la ropa y objetos lavados con ella y contenidos por encima de 5 mg/l la colorean y le dan un sabor desagradable. La OMS en la Guía para la calidad del agua potable recomienda un nivel máximo de 2 mg/l, mismo valor adoptado en la Unión Europea como valor límite, mientras que en EE. UU. la Agencia de Protección Ambiental ha establecido un límite de 1,3 mg/l. (ENCICLOPEDIA, 2011)

## 2.1.6 Efectos

**2.1.6.1 Efectos en la salud.** El cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de cobre en el ambiente se ha expandido.

El cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del cobre es necesaria, porque es un elemento esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud.

La mayoría de los compuestos del cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del cobre forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura.

Las concentraciones del cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al cobre por respiración es descartable. Pero gente que vive cerca de fundidoras que procesan el mineral cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición. La gente que vive en casas que todavía tiene tuberías de cobre están expuestas a más altos niveles de cobre que la mayoría de la gente, porque el cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías.

La exposición profesional al cobre puede ocurrir. En el Ambiente de trabajo el contacto con cobre puede llevar a coger gripe conocida como la fiebre del metal. Esta fiebre pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede

causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún.

Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes. (WATER TREATMENT SOLUTIONS, 2013)

**2.1.6.2 Efectos ambientales.** La producción mundial de cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas. El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de. El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de cobre después de que esté sea depositado desde el aire.

Cuando el cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.

El cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto.

Cuando los suelos de las granjas están contaminados con cobre, los animales pueden absorber concentraciones de cobre que dañan su salud. Principalmente las ovejas sufren un gran efecto por envenenamiento con cobre, debido a que los efectos del cobre se manifiestan a bajas concentraciones. (WATER TREATMENT SOLUTIONS, 2013)

## **2.2 Estaño**

Es un elemento metálico blando, con color blanco plateado, es tan maleable y dúctil, que se le puede enrollar en hojas de menos de una milésima de centímetro de espesor,



que forman el conocido papel de estaño. Su número atómico es 50, y se identifica en la tabla periódica de elementos con el símbolo de Sn.

Se usa para la soldadura blanda, aleado con plomo. Además se utiliza para recubrir las latas de acero ya que no es tóxico ni corrosivo. Los compuestos de estaño se usan para fungicidas, tintes, dentífricos ( $\text{SnF}_2$ ) y pigmentos. (ECURED, 2013)

Figura 13. Gris plateado brillante



Fuente: <http://www.codam.com.ar/Productos/estano-puro-en-lingotes>

**2.2.1 Obtención.** El estaño se extrae del yacimiento, por el método de draga de cangilones. Posteriormente se realizan operaciones de lavado y de obtención del concentrado de estaño. Se obtiene de minerales como la casiterita o piedra de estaño, estenita, y tealita. El estaño, se mezcla con carbón vegetal, y con cal y cuarzo como fundentes y después de su tratamiento en un horno, una vez derretido, se moldea en bloques. Los bloques se purifican en un horno Saiger. Y en el refinado final se libera cobre, bismuto y hierro. (ECURED, 2013)

El estaño se obtiene del mineral casiterita en donde se presenta como óxido (óxido de estaño (IV) o dióxido de estaño). Dicho mineral se muele y se enriquece en dióxido de estaño por flotación, después se tuesta y se calienta con coque en un horno de reverbero con lo cual se obtiene el metal. (Wikipedia, 2013)

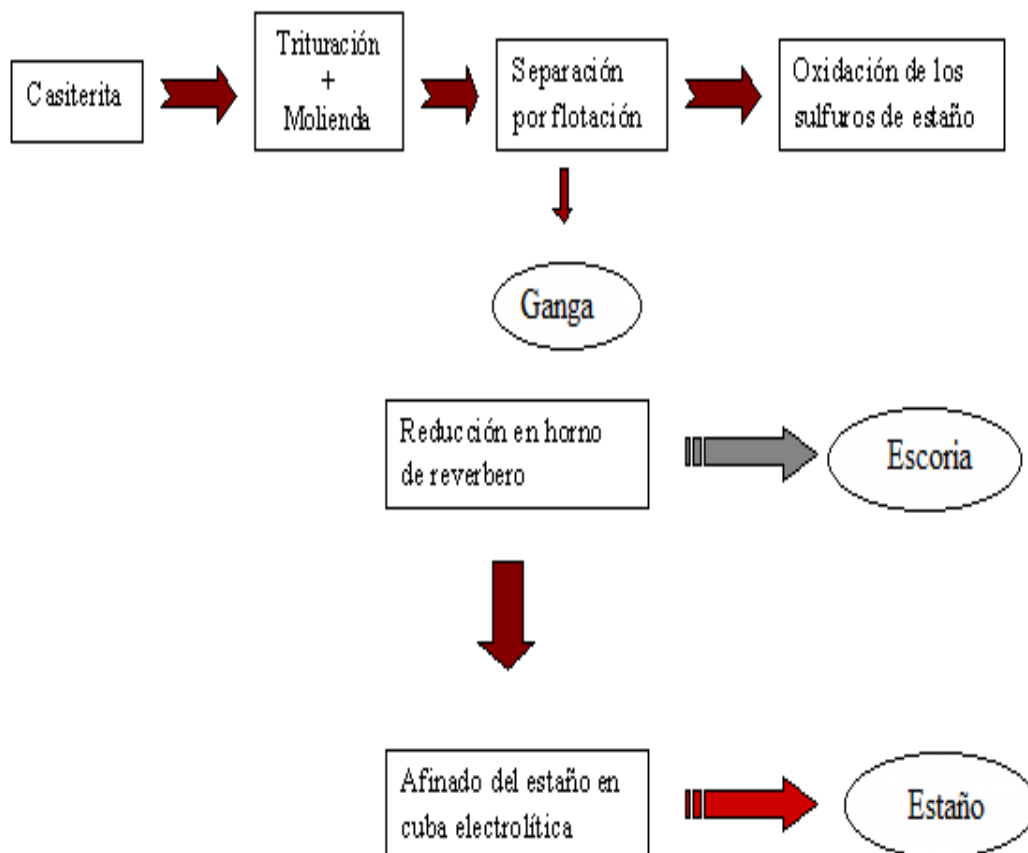
**2.2.1.1 Proceso de obtención.** La casiterita tiene poco porcentaje de estaño puro, por lo cual antes de obtenerlo es necesario concentrarlo lavándolo y triturándolo con el fin de separar las impurezas. Se divide en tres fases: (GUERRA, 2007)

1. **Enriquecimiento y tostación:** se obtiene un mineral con un 70 % de SnO<sub>2</sub> aproximadamente, este proceso tiene el fin de eliminar los sulfuros.



2. **Reducción:** Este proceso tiene lugar en el horno reverbero en el cual se funde el estaño, utilizando antracita, a unos 1000 o 1200° C y se obtiene estaño fundido sobre el que frota la escoria.
3. **Afino:** Este proceso es de 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 hacen reaccionar mediante esto las impurezas que acompañan al metal. Se obtiene un estaño del 99 – 100%.

Figura 14. Obtención del estaño mediante el proceso AFINO.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos53/estanio-peruano/estanio-peruano2.shtml>

## 2.2.2 Características

### 2.2.2.1 Características generales

- Es un metal plateado, maleable, que no se oxida fácilmente y es resistente a la corrosión. Se encuentra en muchas aleaciones y se usa para recubrir otros metales protegiéndolos de la corrosión. Una de sus características más llamativas es que bajo determinadas condiciones forma la peste del estaño.
- El estaño puro tiene dos variantes alotrópicas: El estaño gris, polvo no metálico, semiconductor, de estructura cúbica y estable a temperaturas inferiores a 13,2 °C, que es muy frágil y tiene un peso específico más bajo que el blanco.
- 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 y al doblarlo emite un ruido llamado «grito del estaño» debido a la ruptura de los cristales.

### 2.2.2.2 Características físicas

Tabla 2. Características físicas del estaño

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Estado ordinario</b>	Sólido
<b>Densidad</b>	7365 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	505,08 K (232 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	2.875 K (2.602 °C)
<b>Entalpía de vaporización</b>	295,8 kJ/mol
<b>Entalpía de fusión</b>	7,029 kJ/mol
<b>Presión de vapor</b>	5,78·10 <sup>-21</sup> Pa a 505 K

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%B1o>

### 2.2.3 *Aplicaciones y usos*

- Con el cobre forma el bronce, con el plomo la aleación de soldadura y con el plomo y el antimonio el metal de imprenta. El sulfuro de estaño (oro musivo) se emplea para dorar artículos de madera.
- En forma de película, se usa como revestimiento protector del cobre, del hierro y de los diversos metales usados en la fabricación de latas de conserva, aunque dada la facilidad con que se ataca por algunos ácidos resulta no apto para la elaboración de muchas frutas y otros alimentos.
- Los compuestos de estaño se usan para fungicidas, tintes, dentífricos ( $\text{SnF}_2$ ) y pigmentos. Se utiliza en la preparación de importantes aleaciones como bronce (el estaño y cobre) y metal de tipografía (estaño, plomo y antimonio).

#### 2.2.3.1 *Otras aplicaciones*

- Proceso float de Pilkington para la fabricación de vidrio en el que éste flota durante su lenta salificación sobre un lecho de estaño fundido.
- El papel de estaño, como el de aluminio, se usa para envolver y conservar alimentos y drogas.
- El compuesto de estaño-niobio,  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , se utiliza comercialmente en la fabricación de hilos para imanes superconductores por su elevada temperatura crítica (18°K) y campo magnético crítico (25 T), lo que permite sustituir dispositivos convencionales de varias toneladas de peso por imanes de un par de kilogramos.

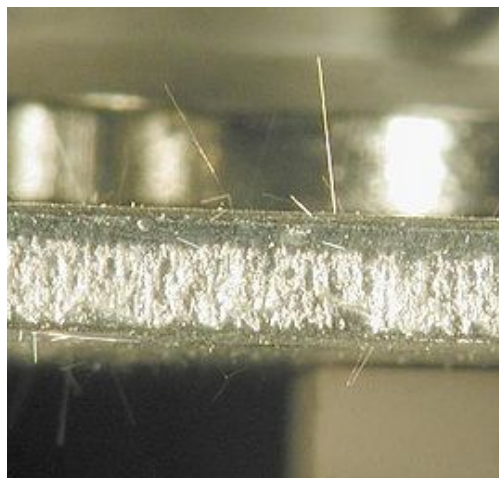
**2.2.4 *Aleaciones.*** Las aleaciones a base de estaño, conocidas como metales blancos, generalmente contienen cobre, antimonio y plomo. Estas aleaciones tienen diferentes propiedades mecánicas, dependiendo de su composición.

Algunas aleaciones de estaño, cobre y antimonio son utilizadas como materiales antifricción en cojinetes, por su baja resistencia de cizalladura y su reducida adherencia. Las aleaciones estaño y plomo se comercializan en varias composiciones y puntos de fusión, siendo la aleación eutéctica aquella que tiene un 61,9% de estaño y un 38,1% de plomo, con un punto de fusión de 183 °C.

Algunas aleaciones basadas en estaño y plomo tienen además pequeñas proporciones de antimonio (del orden del 2,5%). El principal problema de las aleaciones con plomo es el impacto ambiental potencial de sus residuos, por lo que están en desarrollo aleaciones libres de plomo, como las aleaciones de estaño-plata-cobre o algunas aleaciones estaño-cobre. El peltre es una aleación de estaño, plomo y antimonio utilizada para utensilios decorativos. El estaño también es utilizado en aleaciones de prótesis dentales, aleaciones de bronce y aleaciones de titanio y circonio. (Wikipedia, 2013)

**2.2.5 Precauciones.** Los «pelos de estaño», al igual que los de cinc, constituyen un peligro para la integridad de equipos electrónicos, pueden provocar cortocircuitos especialmente si las corrientes utilizadas son pequeñas (<10 mA). En la fotografía se muestran los pelos de estaño, muchos visibles a simple vista, que han crecido en el interior de un relé de unos 14 años de antigüedad de armadura de acero revestida con estaño puro. Los pelos más largos se aproximan a los 3 milímetros, longitud más que suficiente para provocar el fallo del dispositivo. (ENCICLOPEDIA, 2011)

Figura 15. Pelos de estaño formados sobre acero revestido de estaño puro



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Esta%C3%B1o>

## 2.2.6 Efectos

**2.2.6.1 Efectos en la salud.** El estaño se aplica principalmente en varias sustancias orgánicas. Los enlaces orgánicos de estaño son las formas más peligrosas del estaño para los humanos. A pesar de su peligro son aplicadas en gran número de industrias, tales como la industria de la pintura y del plástico, y en la agricultura a través de los pesticidas.

Los efectos de las sustancias orgánicas de estaño pueden variar. Dependen del tipo de sustancia que está presente y del organismo que está expuesto a ella. Tiene enlaces de hidrógeno relativamente cortos. Cuanto más largo sean los enlaces de hidrógeno, menos peligrosa para la salud humana será la sustancia del estaño. Los humanos podemos absorber enlaces de estaño a través de la comida y la respiración y a través de la piel. La toma de enlaces de estaño puede provocar efectos agudos así como efectos a largo plazo.(LENNTECH, 2013)

Los efectos agudos son:

- Irritaciones de ojos y piel.
- Dolores de cabeza.
- Dolores de estómago.
- Vómitos y mareos.
- Sudoración severa.
- Falta de aliento.
- Problemas para orinar.

Los efectos a largo plazo son:

- Depresiones.
- Daños hepáticos.
- Disfunción del sistema inmunitario.
- Daños cromosómicos.
- Escasez de glóbulos rojos.
- Daños cerebrales (provocando ira, trastornos del sueño, olvidos y dolores de cabeza).

**2.2.6.2 Efectos ambientales.** El estaño como simple átomo o en molécula no es muy tóxico para ningún tipo de organismo. La forma tóxica es la forma orgánica. Los compuestos orgánicos del estaño pueden mantenerse en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo. Son muy persistentes y no fácilmente biodegradables. Los microorganismos tienen muchas dificultades en romper compuestos orgánicos del estaño que se han acumulado en aguas del suelo a lo largo de los años. Las concentraciones de estaño orgánico todavía aumentan debido a esto.

Los estaños orgánicos pueden dispersarse a través de los sistemas acuáticos cuando son absorbidos por partículas residuales. Se sabe que causan mucho daño en los ecosistemas acuáticos, ya que son muy tóxicos para los hongos, las algas y el fitoplancton. El fitoplancton es un eslabón muy importante en el ecosistema acuático, ya que proporciona oxígeno al resto de los organismos acuáticos. Hay diferentes tipos de estaño orgánico que pueden variar mucho en su toxicidad. Los estaños tributílicos son los compuestos del estaño más tóxicos para los peces y los hongos, mientras que el estaño trifenólico es mucho más tóxico para el fitoplancton. Se sabe que los estaños orgánicos alteran el crecimiento, la reproducción, los sistemas enzimáticos y los esquemas de alimentación de los organismos acuáticos. La exposición tiene lugar principalmente en la capa superior del agua, ya que es ahí donde los compuestos orgánicos del estaño se acumulan.(LENNTECH, 2013)

### **2.3 Plomo**

Es un metal gris-azulado muy conocido, que existe naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles.

El plomo tiene muchos usos diferentes. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal y en láminas de protección contra los rayos X. Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. El uso del plomo como aditivo para gasolina se prohibió desde el año 1996. (VEGA, 2013)

Figura 16. Gris azulado



Fuente: <http://mineralesmania.blogspot.com/2011/10/minerales-de-plomo.html>

**2.3.1 Obtención.** La fundición de los minerales de plomo puede llevarse a cabo por el método de precipitación (ya no se aplica), de reacción tostadora y de reducción tostadora (método que se utiliza actualmente) como también el horno de cilindro rotatorio.

1. **Método de reducción tostadora.** Consiste en la tostación de minerales con una fusión reductora posterior.
2. **Tostación:** Tiene como objeto la transformación de PbS en PbO. Consiste en la eliminación del azufre con una volatilización de As y Sb (impurezas) que se podría obtener. En presencia de Cu y S, puede formarse en el horno de cuba mata de Cu-Pb, de otro modo pasa el Cu al Pb de obra y es eliminado por lodación. El ZnO se escorifica con facilidad.

La condición previa para una buena tostación es la trituración, para que la reacción de PbS con O<sub>2</sub> sea lo más fácil posible:

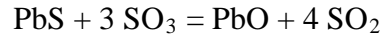


Luego se hace tostación con insuflación o absorción de aire a temperaturas mayores de 800°C. Para evitar la formación de PbSO<sub>4</sub>.

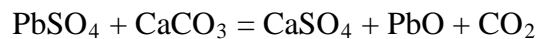
**Tostación previa:** se utilizan hornos de pisos, redondos con hogar giratorio y hornos de traspaleo fijos. La tostación insufladora consiste en comprimir el aire a través de la capa



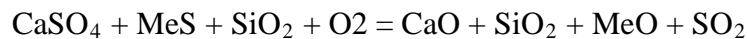
de mineral que se ha encendido por la parte de entrada del aire. El mineral se junta por aglomeración y forma un aglomerado sólido y poroso. Los sulfatos presentes son descompuestos, acelerando el SO<sub>2</sub> que se desprende.



El mineral debe estar en forma granulada, luego se agregan piedra caliza, residuos de pirita, residuos de la mufla, para hacerlo menos compacto. Este contenido de mezcla no debe fundir el PbS o el Pb, pues quedaría obturada la parrilla. Se obtiene Pb al 45 %, esto es lo máximo cuando se completa la tostación. La piedra caliza se añade para:



El Sulfato de Calcio formado es descompuesto por dióxido de silicio, a una temperatura de 1000°C, actuando el Trióxido de azufre gaseoso sobre los sulfuros metálicos como oxidantes.



**Me:** metal cualquiera de valencia 2.

**Tostación definitiva:** Para la tostación definitiva se utilizan calderas de aglomerar fijas o móviles. Éstas tienen las desventajas de trabajo discontinuo, mucho trabajo manual, perjudicial para la salud.

3. **Fusión:** por la fusión reductora del mineral tostado, se pasa el contenido de Pb o de otros minerales a Pb de obra, mientras que la ganga sale como escoria. Como reductor se usa coque, pudiéndose considerar como agente sólo el carbón sólido, en la zona de fusión o de formación de escorias y por el contrario en las zonas superiores, sólo el CO. La temperatura aumenta de 100°C en tragante hasta 1600°C en las toberas. Hay evaporación de Pb que se deposita en la columna de carga y a causa de la concentración reciente, pasa al crisol a través de la zona de fusión. Los procedimientos en el horno de cuba tienen gran parecido a los de la fusión

reductora de la mata de cobre, con la diferencia de que aquí se trabaja obteniendo metal y se reduce a un mínimo la formación de mata.

4. **Horno de cuba:** se parecen a los empleados en la fusión de la mata de cobre, pero se distinguen de éstos por la carga del horno de crisol y el pozo de plomo, así como el empleo de cargas de agua sólo hasta el comienzo de la columna de carga, que está construida con ladrillos refractarios.

### 2.3.2 *Características*

#### 2.3.2.1 *Características generales*

- Los compuestos de plomo más utilizados en la industria son los óxidos de plomo, el tetraetilo de plomo y los silicatos de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales, y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Es un metal pesado y tóxico, y la intoxicación por plomo se denomina saturnismo o plumbosis.
- Es un metal gris azulado, blando y pesado, se corta fácilmente con un cuchillo. Se lamina y estira por extrusión, pero pequeñas cantidades de arsénico, antimonio, cobre y metales alcalino térreos aumentan su dureza. Su resistencia a la corrosión atmosférica, y al ataque de los ácidos hace que sea muy útil.
- El plomo forma aleaciones con muchos metales, y en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones.
- El plomo y el zinc están asociados en yacimientos minerales, a veces íntimamente mezclados y otras veces lo bastante separados como para que puedan extraerse minerales en los que predomina uno de los metales. Su distribución geológica y geográfica es casi idéntica.

### 2.3.2.2 Características físicas

Tabla 3. Características físicas del plomo

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Estado ordinario</b>	Sólido
<b>Densidad</b>	11340 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	600,61 K (327 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	2.022 K (1.749 °C)
<b>Entalpía de vaporización</b>	177,7 kJ/mol
<b>Entalpía de fusión</b>	4,799 kJ/mol
<b>Presión de vapor</b>	4,21 × 10 <sup>-7</sup> Pa a 600 K
<b>Temperatura crítica</b>	7,196 K (-266 °C)
<b>Módulo de compresibilidad</b>	46 GPa

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>

### 2.3.3 Aplicación y usos

**2.3.3.1 En la historia.** El plomo es uno de los metales que desde más antiguo conocieron y emplearon los hombres tanto por lo mucho que abunda como por su facilidad de fundirse. Suponen que Midácritas fue el primero que lo llevó a Grecia. Plinio el Viejo dice que en la antigüedad se escribía en láminas u hojas de plomo y algunos autores aseguran haber hallado muchos volúmenes de plomo en los cementerios romanos y en las catacumbas de los mártires. El uso de escribir en láminas de plomo es antiquísimo y Pausanias menciona unos libros de Hesíodo escritos sobre hojas de dicho metal. Se han encontrado en York (Inglaterra) láminas de plomo en que estaba grabada una inscripción del tiempo de Domiciano.

En el Imperio romano las cañerías y las bañeras se recubrían con plomo o con cobre. En la Edad Media se empleaban grandes planchas de plomo para las techumbres y para

revestir la armazón de madera de las flechas o torres. También se fundían en plomo muchos medallones, mascarones de fuentes, etc. En 1754 se halló en la alcazaba de Granada una lámina de plomo de 30 pulgadas (76,2 cm) de largo y 4 (10,16 cm) de ancho con tres dobleces y entre ellos, una cruz, el mismo año se encontró un libro de hojas de plomo escritas. (Wikipedia, 2013)

Figura 17. Bajorrelieve de plomo, en el Museo Cluny (París)



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>

### 2.3.3.2 *En la actualidad*

- Su utilización como cubierta para cables, ya sea la de teléfono, de televisión, de internet o de electricidad, sigue siendo una forma de empleo adecuada.
- El uso del plomo en pigmentos sintéticos o artificiales ha sido muy importante, pero está decreciendo en volumen. Los pigmentos que se utilizan con más frecuencia y en los que interviene este elemento son:
  - a) El blanco de plomo (conocido también como albayalde)  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ .
  - b) Sulfato básico de plomo.
  - c) El tetróxido de plomo también conocido como minio.
  - d) Cromatos de plomo.

- e) El silicato no de plomo (más conocido en la industria de los aceros blandos).
- Una mezcla calcinada de zirconato de plomo y de titanato de plomo, conocida como PETE, está ampliando su mercado como un material piezoeléctrico.
- Uno de los usos importantes es para revestimientos, serpentines, válvulas, etc. También se utiliza para transportar y almacenar soluciones de alumbre. El plomo tiene una resistencia excelente a las soluciones de sales comunes, al aire de las costas marinas, por eso se emplea para tuberías de transporte de agua de mar en barcos y para grandes acuarios.
- Se usa en la fabricación de sulfúrico, por su resistencia a la corrosión que tiene al formar una película dura e impermeable de sulfato de plomo en la superficie.
- En la fabricación de rayón y nitroglicerina. El plomo se usa en los siguientes compuestos químicos:
  - a) Disolventes: los alcoholes, éteres, la cetona y el tricloro etileno no producen efectos sobre el plomo.
  - b) Ácidos: el ácido acético, fórmico y tartárico atacan moderadamente. El ataque se acelera en presencia de oxígeno. Sin embargo puede usarse con anhídrido acético y el ácido acético glacial, también puede usarse con el ácido crómico, el ácido fluorhídrico si es diluido, el ácido nítrico, aunque no se recomienda puede usarse a temperaturas normales si la concentración no es mayor del 80 %.
  - c) Alcalis: con el hidróxido de amonio es satisfactorio en todas las concentraciones y temperaturas. El hidróxido de calcio ataca el plomo en presencia de humedad y el oxígeno, pero si se añade agua dulce disminuye la corrosión. En hidróxido de sodio puede usarse el plomo en un 95 % de pureza y 80°C.
  - d) Sales y otros compuesto químicos: puede usarse el plomo en contacto con sulfato de aluminio, cloruro de amonio, sulfato de amonio, sulfato de cobre, sulfato de hierro, peróxido de hidrógeno, fenol piridina, sulfito de sodio, bisulfito de sodio,

carbonato de sodio, cloruro de sodio, hidrosulfito de sodio, hiposulfito de sodio, sulfato de sodio, cloruro de zinc y sulfuro de sodio.

- e) Agua: destilada el plomo disuelve lentamente en proporción a la cantidad de oxígeno disuelto. El tratamiento de agua con cal o silicato de sodio evita la corrosión. El agua común no puede producir corrosión por la capa que forman las sales disueltas.
- El plomo por su densidad elevada es muy buen protector de los rayos X. Se usa para revestir las habitaciones donde hay aparatos de rayos X y para proteger el personal que trabaja fuera. El plomo se usa no sólo para proteger los equipos.
- El plomo en forma de bloques formados por extrusión de lados cóncavos y convexos, se usa para las paredes que tienen que confinar rayos mortíferos procedentes de la fisión nuclear y de isótopos radiactivos. Se impregnan con plomo delantales y guantes de caucho.
- Su blandura y su punto de fusión bajo permiten hacer la extrusión para tuberías, permite doblarlos y curvarlos para suprimir muchas juntas.

Figura 18. Municiones de Plomo



Fuente: <http://www.ecured.cu/index.php/Plomo>

**2.3.4 Aleaciones.** El plomo tiene un punto de fusión bajo, forma aleaciones con todos demás elementos parejamente fusibles, son aleaciones muy usadas en la industria.

En virtud de su escasa resistencia mecánica, la ductilidad del plomo es relativamente mala, tiene un límite de elasticidad bajo, un coeficiente de dilatación térmica elevado y excelente propiedades antifricción. Si bien las impurezas presentes en el plomo varían y son pequeñas en cada calidad, son importantes químicamente y obligan a clasificar el plomo para diversos usos.

Se llama plomo químico al plomo no desplutado producido por minerales del sudeste de Missouri. Este plomo contiene 0.04 a 0.08 % de cobre, 0.002 a 0.020 % de plata y menos de 0.005 % de bismuto.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del plomo y sus aleaciones

	<b>Resistencia a la tracción Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Alargamiento %</b>	<b>Dureza Brinell</b>	<b>Límite de aguante Kg/cm<sup>2</sup></b>
Pb puro	123 – 133	55	3.5 - 4	28
Pb químico, laminado	154 183	50	4.5	42
recocido	194	56	-	-
fundido		50	-	-
Pb telurioso laminado	240 195	32	5.8	70
recocido		37	-	-
Pb antimoniioso laminado	3.16 4.71	50	7.5	112
fundido		22	11.8	-

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/plomo/plomo.shtml>

El plomo es el principal elemento del llamado "terne" que tiene una composición de 10 a 25 % de estaño y 90 a 75 % de plomo. Para muchas aplicaciones el contenido de estaño en las aleaciones de revestimiento puede reducirse hasta no ser mayor de 2.5 a 5 %. Cuando se necesita un revestimiento duro y resistente se añade antimonio.

**Aleaciones para la industria de cables:** el plomo que contiene algún cobre y el plomo antimoniado al 1 % son los principales metales usados para recubrir los cables empleados para la transmisión de corriente eléctrica y para comunicación. Otra aleación con buenas propiedades es un plomo con 0.04 % de calcio. El calcio obra como el antimonio, aumentando la resistencia. Otra aleación contiene 0.15 % de arsénico, 0.10 % de estaño, y 0.10 % de bismuto, el resto de plomo.

**Aleaciones para tubos compresibles:** estos tubos pueden estar hechos de una sola aleación o estar formados por dos capas metálicas. En el primer caso se usa una aleación que contiene de 2 a 3 % de antimonio y 97 a 98 % de plomo y si se quiere un acabado brillante se usa una aleación de plomo y estaño con poco estaño. El estaño es preferible para embasar ciertos productos y también por su aspecto, pero en virtud de su precio elevado es conveniente usar una aleación de plomo y estaño en capas. El revestimiento de estaño se puede hacer en una o dos caras.

**Fabricación de las aleaciones:** El plomo y sus aleaciones puede fundirse en una caldera de hierro colado sin temor a que se produzca contaminación con hierro. Para fines generales de fusión, no es necesario emplear cubierta de fundente, si bien con ciertas clases de aleaciones es conveniente retardar la formación de natas de óxidos y la pérdida de algunos elementos de la aleación.

Aquí puede servir muy bien como fundente una mezcla eutéctica de cloruro de zinc o haluros de metales alcalinos o alcalino térreos. Para cubrir los baños de temple se usa en disco de coque. Para calentar y fundir el plomo se usa en calderas y hornos calentados con carbón, petróleo o gas. Las aleaciones de plomo no presentan dificultades para vaciarlas, la temperatura de vaciado es de 38 a 83 °C por encima de la temperatura del líquido de la aleación.

### **2.3.5** *Precauciones*

- Si su hogar tiene pinturas con plomo o usted vive en un área contaminada con plomo, lave a menudo las manos y la cara de los niños para remover polvo y tierra con plomo, y limpie su casa a menudo para eliminar el polvo y tierra que han entrado.



- No permita que los niños chupen o pongan la boca en superficies que pueden haber sido pintadas con pintura con plomo.
- Si usted cree tener plomo en el agua, haga correr el agua que ha estado estancada en las cañerías durante la noche antes de beberla o cocinar con ella.
- Hoy en día se tratan los envenenamientos por plomo administrando una sal de sodio o calcio. El plomo se elimina del organismo desplazando el calcio o el sodio.

### 2.3.6 *Efectos*

**2.3.6.1 *Efectos en la salud.*** El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de plomo. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de plomo.

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Éste es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. Que nosotros sepamos, el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua. El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son: (LENNTECH, 2013)

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea

- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es, comportamiento impulsivo, agresión e hipersensibilidad.
- El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

**2.3.6.2 Efectos ambientales.** El plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas. Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del plomo tiene lugar. En los motores de los coches el plomo es quemado, eso genera sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) se originarán.

Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo. Este ha causado contaminación por plomo haciéndolo en un tema mundial no sólo la gasolina con plomo causa concentración de plomo en el ambiente. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen.

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente.(LENNTECH, 2013)

El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

## 2.4 Fósforo

El fósforo es un elemento químico de número atómico 15 y símbolo P. Es un no metal multivalente que se encuentra en la naturaleza combinado en fosfatos inorgánicos y en organismos vivos pero nunca en estado nativo. Es muy reactivo y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico emitiendo luz, dando nombre al fenómeno de la fosforescencia. (Wikipedia, 2010)

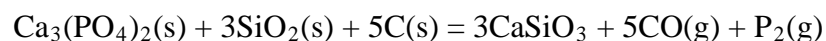
Figura 19. Incoloro, rojo o blanco plateado



Fuente: <http://eltamiz.com/2008/03/22/conoce-tus-elementos-el-fosforo>

**2.4.1 Obtención.** Debido a su reactividad, el fósforo no se encuentra nativo en la naturaleza, pero forma parte de numerosos minerales. La apatita es una importante fuente de fósforo, existiendo importantes yacimientos en Marruecos, Rusia, EE. UU y otros países. (Wikipedia, 2010)

- La forma alotrópica blanca se puede obtener por distintos procedimientos; en uno de ellos, el fosfato tricálcico, obtenido de las rocas, se calienta en un horno a 1450 °C en presencia de sílice y carbono reduciendo el fósforo que se libera en forma de vapor.
- El fósforo elemental se obtiene reduciendo el fosfato de calcio con coque en presencia de arena. La ecuación representativa del proceso es:



La reacción se realiza a temperatura elevada, por lo cual el fósforo se desprende en estado de gas, que se solidifica haciéndolo pasar a través de agua.

## 2.4.2 Características

**2.4.2.1 Características principales.** El fósforo común es un sólido ceroso color blanco con un característico olor desagradable, pero puro es incoloro. Este no metal es insoluble en agua, y se oxida espontáneamente en presencia de aire formando pentóxido de fósforo, por lo que se almacena sumergido en agua.

Existen varias formas alotrópicas del fósforo siendo las más comunes el fósforo blanco y el rojo; ambos formando estructuras tetraédricas de cuatro átomos. El fósforo blanco, extremadamente tóxico e inflamable presenta dos formas, alfa y beta. Éste es más estable y menos volátil y tóxico que el blanco y es el que se encuentra normalmente en los laboratorios y con el que se fabrican los cerillos. El fósforo negro presenta una estructura similar al grafito y conduce la electricidad, es el más denso de los tres estados y no se inflama. (Wikipedia, 2010)

### 2.4.2.2 Características físicas

Tabla 5. Tabla de características físicas del fósforo

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Estado ordinario</b>	Sólido (diamagnético)
<b>Densidad</b>	1823 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	317,3 K (44 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	550 K (277 °C)
<b>Entalpía de vaporización</b>	12,129 kJ/mol
<b>Entalpía de fusión</b>	0,657 kJ/mol
<b>Presión de vapor</b>	20,8 Pa a 294 K

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3foro>

### 2.4.3 *Aplicaciones y usos*

- El ácido fosfórico concentrado, que puede contener entre 70 y 75% de pentóxido ( $P_2O_5$ ) es importante para la agricultura, ya que forma los fosfatos empleados en la producción de fertilizantes.
- Los fosfatos se usan en la fabricación de cristales especiales para lámparas de sodio y en el recubrimiento interno de lámparas fluorescentes.
- El fosfato monocálcico se utiliza como polvo de repostería. Es importante en la producción de acero y bronce.
- El fosfato trisódico se emplea como agente de limpieza para ablandar el agua y prevenir la corrosión de tuberías.
- El fósforo blanco tiene aplicaciones militares en bombas incendiarias, bombas de humo y balas trazadoras.
- También se usa en fósforos de seguridad, pirotecnia, pasta de dientes, detergentes, pesticidas, etc.
- Los compuestos fosforados se usan también para aclarar las soluciones de azúcar de remolacha y en aleaciones especiales como bronce al fósforo.
- El fósforo blanco se usa en la elaboración de veneno para las ratas, insecticidas y en la industria pirotécnica y el fósforo rojo se usa para fabricar cerillas.

**2.4.4 *Aleaciones.*** Aleaciones cobre fósforo y cobre fósforo plata: Estas aleaciones son usadas para soldar cobre. Se recomiendan para soldar uniones de piezas sometidas a altas vibraciones. Las aleaciones cobre fósforo que no contienen plata se utilizan sobre uniones que no están sujetas a niveles de esfuerzo o vibraciones, siendo ideales para uniones estáticas como las que se encuentran en tuberías de agua y gas que están fijadas en posiciones estáticas.

**2.4.5 Precauciones.** El fósforo blanco es extremadamente venenoso, una dosis de 50 mg puede ser fatal muy inflamable por lo que se debe almacenar sumergido en aceite, el contacto con el agua (Oxígeno) lo haría estallar. Provoca quemaduras si entra en contacto con la piel. La exposición continua al fósforo provoca la necrosis de la mandíbula.

El fósforo rojo no se inflama espontáneamente en presencia de aire y no es tóxico, pero debe manejarse con precaución ya que puede producirse la transformación en fósforo blanco y la emisión de vapores tóxicos al calentarse.

#### **2.4.6 Efectos**

**2.4.6.1 Efectos en la salud.** El fósforo puede ser encontrado en el ambiente más comúnmente como fosfato. Los fosfatos son sustancias importantes en el cuerpo de los humanos porque ellas son parte del material de ADN y tienen parte en la distribución de la energía. Los fosfatos pueden ser encontrados comúnmente en plantas. Los humanos han cambiado el suministro natural de fósforo radicalmente por la adición de estiércol ricos en fosfatos. El fosfato era también añadido a un número de alimentos, como quesos, salsas, jamón. Demasiado fosfato puede causar problemas de salud, como es daño a los riñones y osteoporosis. La disminución de fosfato también puede ocurrir. Estas son causadas por uso extensivo de medicinas.

El fósforo blanco es extremadamente venenoso y en muchos casos la exposición a él será fatal. En la mayoría de los casos la gente que muere por fósforo blanco ha sido por ingerir accidentalmente veneno de rata. Antes de que la gente muera por exposición al fósforo blanco ellos a menudo experimentan náuseas, convulsiones en el estómago y desfallecimiento. El fósforo blanco puede causar quemaduras en la piel, dañar el hígado, corazón y riñones.(LENNTECH, 2013)

#### **2.4.6.2 Efectos ambientales**

**Fósforo blanco:** El fósforo blanco entra en el ambiente cuando es usado en industrias para hacer otros productos químicos y cuando el ejército lo usa como munición. A través de descargas de aguas residuales el fósforo blanco termina en las aguas

superficiales cerca de las fábricas donde es usado. El fósforo blanco no es probablemente esparcido, porque este reacciona con el oxígeno bastante rápido.

Cuando el fósforo termina en el aire a través de los tubos de escape este terminará usualmente reaccionando con el oxígeno al instante para convertirse en partículas menos peligrosas. Pero en suelos profundos y en el fondo de los ríos y lagos el fósforo puede permanecer miles de años y más.

**Fosfatos:** tienen muchos efectos sobre los organismos. Los efectos son mayormente consecuencias de las emisiones de grandes cantidades de fosfatos en el ambiente debido a la minería y los cultivos. Durante la purificación del agua los fosfatos no son a menudo eliminados correctamente, así que pueden expandirse a través de largas distancias cuando se encuentran en la superficie de las aguas. (LENNTECH, 2013)

## 2.5 Cinc

El cinc o zinc es un elemento químico de número atómico 30 y símbolo Zn situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. La etimología de zinc viene del alemán, Zincken o Zacken, para indicar el aspecto con filos dentados del mineral calamina, luego fue asumido para el metal obtenido a partir de él.(ENCICLOPEDIA, 2011)

Figura 20. Azul pálido grisáceo



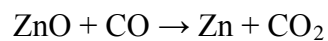
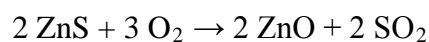
Fuente: <http://es.comservicios.com/recursos-minerales/>

**2.5.1 Obtención.** La producción del cinc comienza con la extracción del mineral, que puede realizarse tanto a cielo abierto como en yacimientos subterráneos. Los minerales

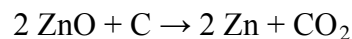
extraídos se trituran con posterioridad y se someten a un proceso de flotación para obtener el concentrado. (ENCICLOPEDIA, 2011)

Los minerales con altos contenidos de hierro se tratan por:

**Vía seca:** primeramente se tuesta el concentrado para transformar el sulfuro en óxido, que recibe la denominación de calcina, y a continuación se reduce éste con carbono obteniendo el metal (el agente reductor es en la práctica el monóxido de carbono formado). Las reacciones en ambas etapas son:



Otra forma más sencilla y económica de reducir el óxido de cinc es con Carbono. Se colocan los dos moles o porciones molares de óxido de cinc (ZnO), y un mol de Carbono (C), en un recipiente al vacío para evitar que el metal se incendie con el aire en el momento de purificarse, dando como resultado nuevamente óxido de cinc. En esta etapa, la reducción del óxido de cinc, se expresa de la siguiente manera:



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

Los tipos de cinc obtenidos se clasifican según la norma ASTM en función de su pureza:

- SHG, Especial Grado Alto (99,99%)
- HG, Grado Alto (99,90%)
- PWG, Principal Grado Occidental (98%)



## 2.5.2 Características

**2.5.2.1 Características generales.** El cinc es un metal o mineral, a veces clasificado como metal de transición aunque estrictamente no lo sea, ya que tanto el metal como su especie dispositiva presentan el conjunto orbital completo.

Este elemento presenta cierto parecido con el magnesio, y con el cadmio de su grupo, pero del mercurio se aparta mucho por las singulares propiedades físicas y químicas de éste (contracción lantánida y potentes efectos relativistas sobre orbitales de enlace).

Es el 23° elemento más abundante en la Tierra y una de sus aplicaciones más importantes es el galvanizado del acero. (Wikipedia, 2013)

Figura 21.Cinc puro



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cinc>

Es un metal de color blanco azulado 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.

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, aleaciones y pequeñas cargas el más importante.

### 2.5.2.2 Características físicas

Tabla 6. Características físicas del cinc

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Estado ordinario</b>	Sólido (diamagnético)
<b>Densidad</b>	7140 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	692,68 K (420 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	1.180 K (907 °C)
<b>Entalpía de vaporización</b>	115,3 kJ/mol
<b>Entalpía de fusión</b>	7,322 kJ/mol
<b>Presión de vapor</b>	192,2 Pa a 692,73 K

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cinc>

**2.5.3 Aplicaciones y usos.** La principal aplicación del cinc, cerca del 50% del consumo anual es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión, protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el cinc actúa como ánodo de sacrificio.

Figura 22. Óxido de cinc.



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cinc>

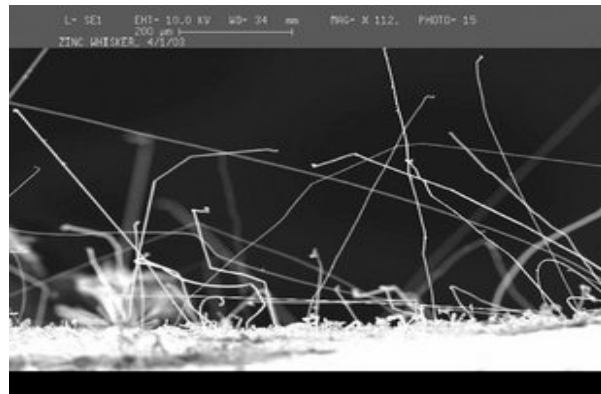
### 2.5.3.1 Otros usos

- Baterías de Zn-AgO usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas espaciales por su óptimo rendimiento por unidad de peso y baterías cinc-aire para computadoras portátiles.
- Piezas de fundición inyectada en la industria de automoción. Metalurgia de metales preciosos y eliminación de la plata del plomo.
- Utilizado en fabricación de pinturas al óleo, para fabricar el color blanco de cinc, utilizado para crear transparencias en la pintura.
- Utilizado en la fabricación de latón, junto con cobre, piezas de fundición inyectada en la industria de automoción.

**2.5.4 Aleaciones.** Las aleaciones más empleadas son las de aluminio (3,5-4,5%, Zamak; 11-13%, Zn-Al-Cu-Mg; 22%, Prestal, aleación que presenta súper plasticidad) y cobre (alrededor del 1%) que mejoran las características mecánicas del cinc y su aptitud al moldeo. Es componente minoritario en aleaciones diversas, principalmente de cobre como latones (3 a 45% de cinc), alpacas (Cu-Ni-Zn) y bronce (Cu-Sn) de moldeo.

**2.5.5 Precauciones.** El cinc metal no está considerado como tóxico pero sí algunos de sus compuestos como el óxido y el sulfuro. En la década de los 40 se observó que en la superficie del acero galvanizado se forman con el tiempo "bigotes de cinc" que pueden liberarse al ambiente provocando cortocircuitos y fallos en componentes electrónicos. Estos bigotes se forman tras un período de incubación que puede durar días o años y crecen a un ritmo del orden de 1 mm al año. El problema causado por estos bigotes se ha agudizado con el paso del tiempo por haberse construido las salas de ordenadores y equipos informáticos sobre suelos elevados para facilitar el cableado. Además, disminuye la longitud necesaria para provocar el fallo y los pequeños voltajes de funcionamiento impiden que se alcance la temperatura de fusión del metal provocando fallos crónicos. (ENCICLOPEDIA, 2011)

Figura 23. Pelos de cinc formados sobre acero galvanizado



Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cinc>

### 2.5.6 Efectos

**2.5.6.1 Efectos en la salud.** El zinc es una sustancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de zinc, el agua potable también contiene cierta cantidad la cual puede ser mayor cuando es almacenado en tanques de metal.

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe muy poco zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del zinc puede incluso producir defectos de nacimiento.

En el Ambiente de trabajo el contacto con zinc puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal. Esta pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad. El zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres. (LENNTECH, 2013)

**2.5.6.2 Efectos ambientales.** El zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de zinc está todavía creciendo. Esto

significa básicamente que más y más zinc termina en el ambiente. El agua es contaminando con zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente.

Algunos peces pueden acumular zinc en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminadas con zinc, cuando el zinc entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria.

Finalmente, el zinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto. (LENNTECH, 2013)

## 2.6 Bronce fosfórico

El bronce fosfórico es una aleación de cobre con 78.5 al 81.5% y un significativo fósforo contenido hasta el 1%. El fósforo se agrega como agente de desoxidación. Estas aleaciones son notables para su dureza, bajo coeficiente de fricción, y fino grano.

También mejora fluidez del metal fundido y de tal modo mejora la colabilidad, y mejora las características mecánicas mediante la limpieza encima de límites de grano. El aumento del contenido de fósforo conduce a la formación de un muy duro  $\text{Cu}_3\text{P}$  (fosfuro de cobre), dando por resultado una forma frágil del bronce, que tiene una gama de usos estrecha.

Figura 24. Bronce fosfórico



Fuente: [http://www.abasteinsa.com/?page\\_id=190](http://www.abasteinsa.com/?page_id=190)

## 2.7 El bronce fosfórico en la industria

**2.7.1 Introducción.** Consiste en piezas de bronce con un porcentaje de cobre mayor al 78.5 % y resto estaño, plomo y otros, según la aleación.

### 2.7.1.1 Composición química

Tabla 7. Composición química del bronce fosfórico

ELEMENTO	PARTICIPACIÓN %
Cu	78.5 – 81.5
Sn	9 – 11
Pb	9 – 11
Zn	0.75
P	0.05 – 1

Fuente: A.L. CASILLAS. Maquinas. 23 Ed. España: Edición Hispanoamérica

NOTA: Para fundición en colada continua el fósforo presente debe ser máximo de 1.5%.

### 2.7.1.2 Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tracción: 380 MPa.
- Resistencia a la deformación permanente: 205 MPa.
- Elongación: 16% en 50 mm.
- Dureza: 102 HB.
- Modulo elástico en tensión a 20°C: 170 MPa.
- Resistencia a la fatiga: 170 MPa.

(CONALBRONCES, 2013)

### 2.7.1.3 Otras características

- Densidad a 20°C: 8.77 kg/dm<sup>3</sup>.
- Cambio de volumen por enfriamiento: 1.6%.

**2.7.2 Demanda.** La demanda del bronce fosfórico en la provincia de acuerdo a las consultas bibliográficas realizadas y relacionándolas con el tipo de industrias existentes en la provincia, la demanda es justificable, ya que el bronce fosfórico se utiliza en partes de máquinas, rodamientos, tapones, coronas de transmisión, etc. Y se aplica en la mayoría de las industrias, incluso en talleres pequeños. Este tema se encuentra ampliado de mejor manera en el capítulo 4.

**2.7.3 Necesidades.** Las necesidades son varias ya que el bronce fosfórico es un material que tiene buenas propiedades de trabajo en frío combinadas con su gran resistencia a la corrosión por ataque atmosférico, hacen que este material sea muy utilizado. Entre una de las necesidades más amplias esta que se lo utiliza en piezas muy pequeñas como bocines pernos, etc., los cuales son hechos en talleres pequeños. Pero que se les hace difícil adquirirlo por su alto costo, pero dicha necesidad será satisfecha si se logra producir este material en la provincia. Lo cual abarataría los costos.

#### **2.7.4 Aplicaciones**

- Tiene eficientes propiedades de deslizamiento y estanqueidad a la presión hidrostática y de vapor. Funciona eficientemente para cojinetes, tejuelas de cojinetes, bushings para cargas de altas y bajas velocidades, piñones, tornillos sin fin, válvulas, bombas, tapones para fluidos de baja presión y para instalaciones de vapor. En electricidad se aplica para anillos colectores en máquinas eléctricas.(LOARCA, 2013)

Figura 25. Casquillos, cojinetes, enganches



Fuente: <http://tecnolowikia.wikispaces.com/Aplicaciones+del+Bronce>

- Es apto para su aplicación en piezas para industrias químicas, accesorios, cojinetes y bushings para pequeñas cargas y piezas resistentes al agua del mar.
- Es excelente para emplearse bajo condiciones severas. Admite, por su condición, pequeños esfuerzos sometidos al golpe. Se recomienda principalmente para chumaceras y tejas de gran desgaste, perfecto deslizamiento, guías de válvulas, tejas de émbolos, bushings de cabeza y bridas.
- Debido a sus grandes propiedades de plasticidad y antifricción, puede ser usado para chumaceras donde las condiciones de lubricación no sean perfectas, ya que el alto contenido de plomo evita el agarrotamiento. Es aconsejable con líquidos sulfurosos en la industria del papel, no raya los ejes de contacto, para chumaceras sobre camas de acero de bajo carbono, pistas de rodaduras de cojinetes de bolas, tejas para metal antifricción, chumaceras para torno y chumaceras en contacto con aguas minerales.
- Es recomendado para usos de chumaceras y tejas que soporten fuertes cargas, incluso sometidas a golpeteo. Es resistente a la corrosión y a los ácidos. También se recomienda para ruedas dentadas, maquinaria, engranajes, bushings para motores de aviación, asientos de válvulas y accesorios de alta calidad.
- Tiene poca ductilidad, siendo recomendado para trabajos que precisen gran dureza de material cuando el límite de distorsión esté garantizado. Se recomienda también para casquillería y chumaceras que soporten grandes cargas a pequeñas velocidades, por su dureza es un bronce que precisa de más engrase que lo normal. También para coronas de tornillos sin fin, engranajes, aparatos hidráulicos de alta presión, maquinaria eléctrica y frigorífica.
- Tiene buenas propiedades de trabajo en frío combinadas con su gran resistencia a la corrosión por ataque atmosférico y por agua. Se utiliza en piezas para condensadores, tornillos, tuercas y cubiertas de protección en aplicaciones marinas. Tratados térmicamente se utilizan para ejes motrices, aletas, piezas de bombas, cojinetes y bujes.(LOARCA, 2013)



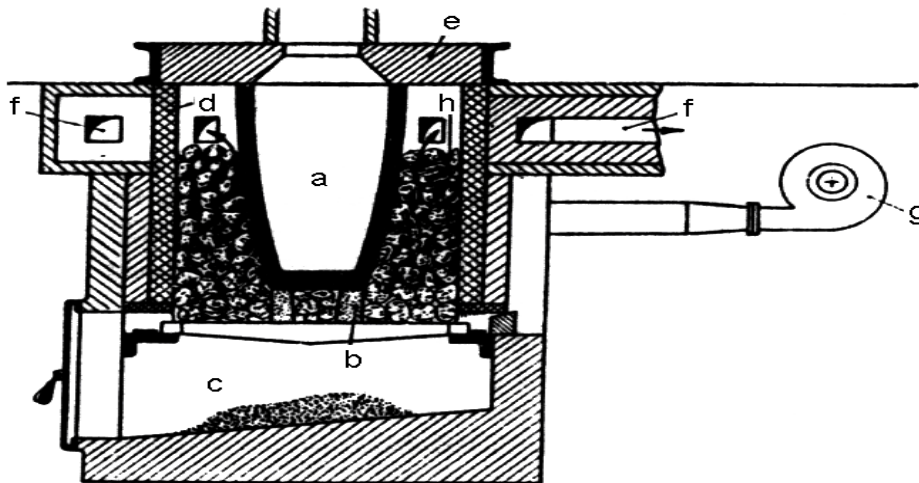
## 2.8 Tipos de hornos que se utilizan para fundir materiales no ferrosos

### 2.8.1 Hornos utilizados en el proceso de obtención del bronce fosfórico

**2.8.1.1 Horno de crisol, fuel-oíl.** Este es el tipo más sencillo de horno, y todavía se encuentra en algunas fundiciones pequeñas que trabajan aleaciones de metales no ferrosos. También se puede fundir hierro fundido pero en pequeñas cantidades. Está compuesto de un crisol de grafito o alúmina, apoyado sobre zócalos de refractario que están situados en el centro de la recámara en la cual se produce la combustión para formar la llama necesaria para fundir el metal sólido situado en el crisol. El crisol alcanza temperaturas muy elevadas, fundiendo de este modo el metal (ver Figura 26). (EDUARDO, 1987)

Horno de crisol fijo: **d** – Ladrillo refractario; **a** – crisol; **b** – zócalo de refractario; **g** – ventilador; **f** – chimenea; **e** – cenicero.

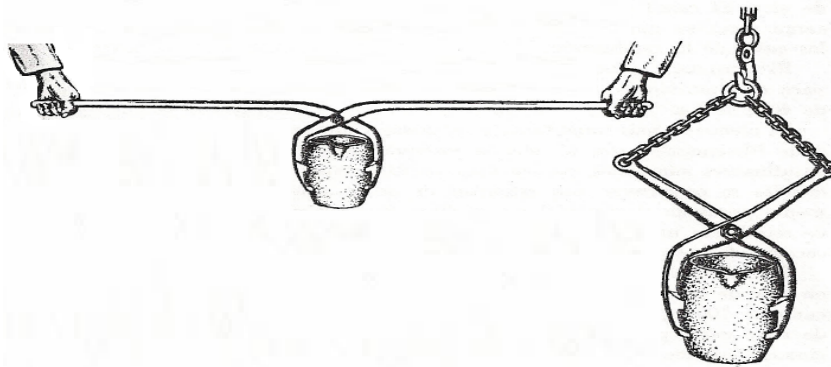
Figura 26. Horno de crisol fijo



Fuente: CAPELLO Eduardo, "Tecnología de la Fundición"

**2.8.1.2 Horno de crisol inclinable, con precalentamiento del aire.-** Los hornos de crisol fijo tienen el grave inconveniente de que el metal debe ser extraído en pequeñas cantidades, con cucharas, a menos que la colada se efectúe directamente con el mismo crisol, en cuyo caso debe ser cogido y extraído del horno en alguna de las formas que indica (ver Figura 27). (EDUARDO, 1987)

Figura 27. Extracción de un crisol de un horno fijo



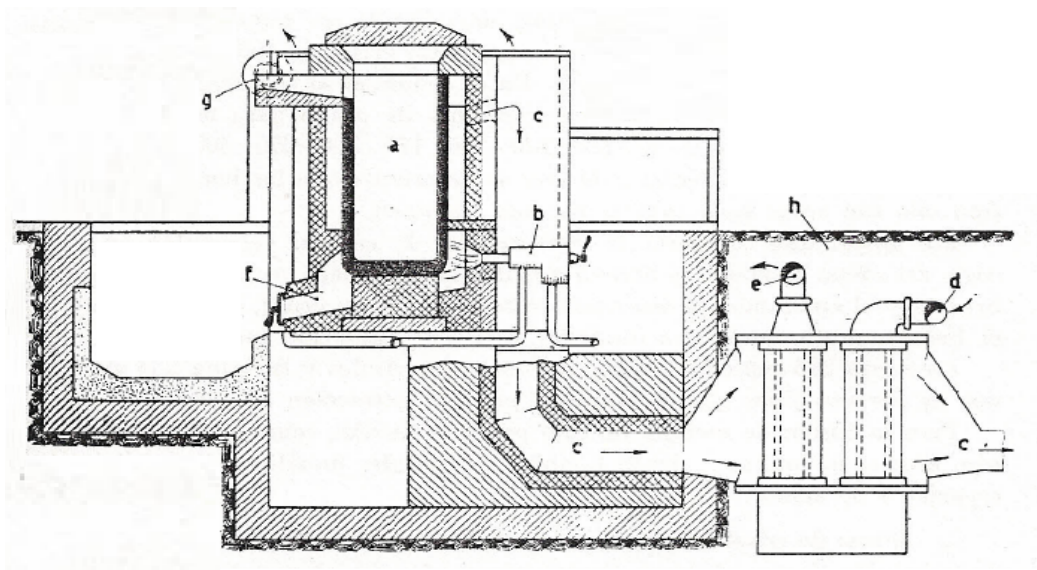
Fuente: CAPELLO Eduardo, “Tecnología de la Fundición”

Para evitar este inconveniente y para utilizar el calor sensible de los gases de la combustión, se construyeron los hornos de crisol inclinable mecánica o hidráulicamente y que pueden tener, un sistema de precalentamiento del aire (ver Figura 28).

Este horno funciona calentado con fuel-oíl, pero, al igual que los del tipo precedente, puede adaptarse para cualquier combustible. La temperatura normal de calentamiento es de 350 a 400°C.

Horno de crisol inclinable: **a**–Crisol; **b**– quemador de petróleo; **f**–canal de limpieza; **g**– par de pernos para girar el horno. (EDUARDO, 1987)

Figura 28. Horno de crisol inclinable



Fuente: CAPELLO Eduardo, “Tecnología de la Fundición”

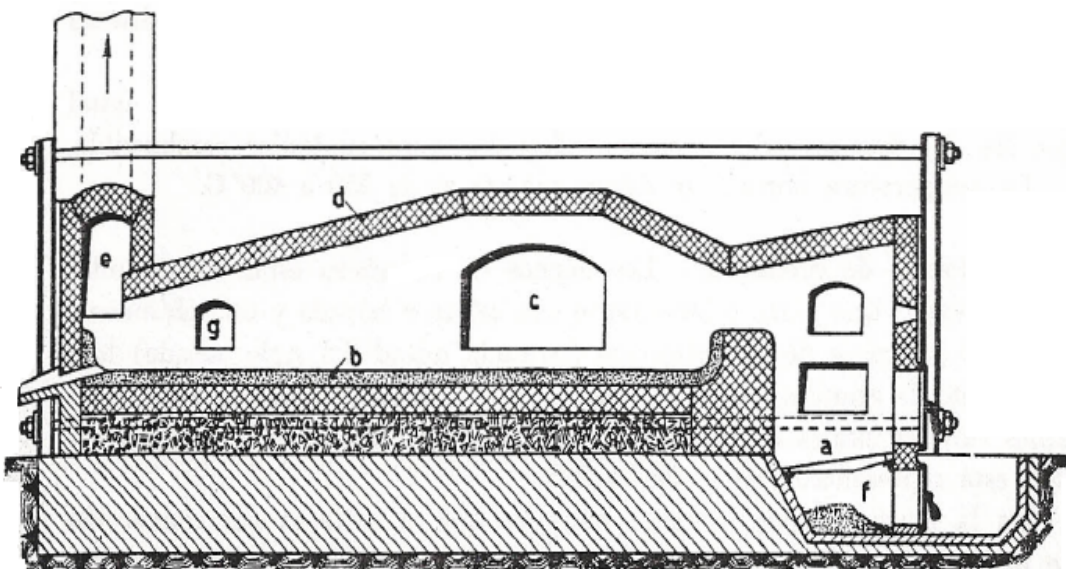
**2.8.1.3 Hornos de reverbero.** Los hornos de reverbero están constituidos por un hogar, una plaza o laboratorio con solera y bóveda y una chimenea. Desde el principio de su aplicación han sido objeto de grandes modificaciones, pero éstas no han afectado a sus principios fundamentales de funcionamiento (ver Figura 29).

En la plaza se pone la carga metálica que se calienta por convección de la llama, que laroz a por la irradiación de la bóveda y las paredes. La denominación hornos de reverbero expresa este concepto de irradiación o reverberación.

La plaza se construye por apisonado de los materiales o con ladrillos ácidos, mientras que la bóveda se construye en sectores móviles con ladrillos de sílice: esto permite efectuar rápidamente la carga, distribuirla bien y cambiar fácilmente los elementos deteriorados de la bóveda. Se construyen con una capacidad hasta de 40 toneladas. Su funcionamiento, a diferencia de los cubilotes, es intermitente. La carga y la colada se efectúan con la ayuda de grúas. (EDUARDO, 1987)

Horno de reverbero: **a**–hogar de parrilla o de gas-oíl; **b**–solera; **c**–puerta de carga; **d**–bóveda; **e**–paso de los gases quemados a la chimenea; **f**–cenicero; **g**–puerta de trabajo.

Figura 29.Hornos de reverbero



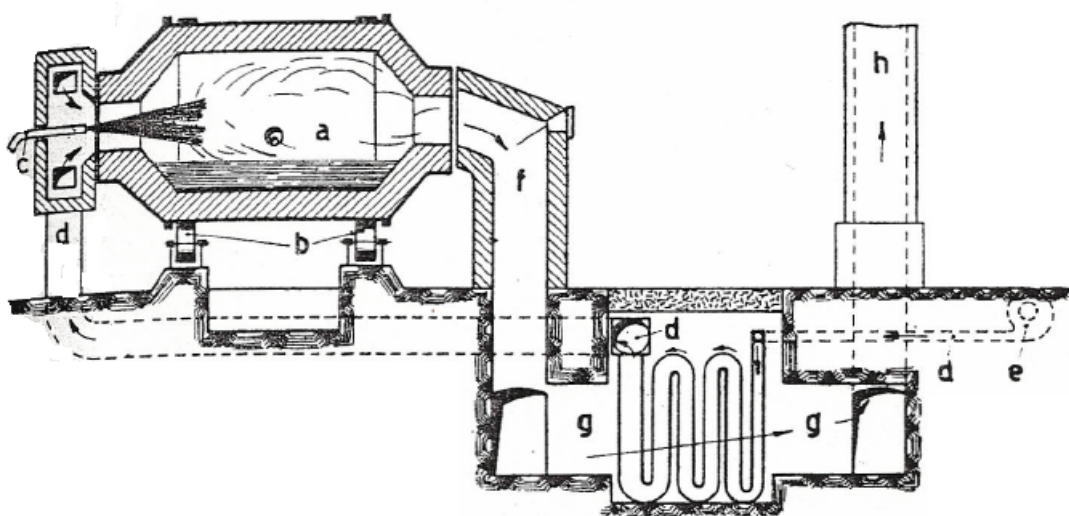
Fuente: CAPELLO Eduardo, “Tecnología de la Fundición”

**2.8.1.4 Hornos oscilantes y giratorios.** Esta clase de hornos nacieron de la necesidad de aumentar la transmisión del calor de las paredes del laboratorio o cámara a la masa de fundición, o sea de aumentar el rendimiento térmico (ver Figura 30). Se realiza del modo siguiente: la carga sólida es introducida después de haber calentado el laboratorio a  $\cong 700^{\circ}\text{C}$ ; si se emplea el procedimiento «dúplex», se introduce el metal líquido; en el primer caso se produce una oscilación bastante limitada (unos  $45^{\circ}$ ), que somete toda la masa metálica a la acción de los gases calientes. Cuando la masa está fundida, se aumenta la oscilación de modo que todo el recubrimiento entre en contacto, alternativamente, con la llama y con el metal: la máxima oscilación o la rotación se aplican cuando el metal está cubierto de escoria: ello asegura una mezcla eficaz y, a la vez, la máxima homogeneidad del baño.

El revestimiento del horno es, generalmente, de material silíceo o extra aluminoso, y su calidad varía según los materiales que deban fundirse. Los hornos oscilantes y los giratorios pueden, sin dificultad, ser calentados con fuel-oíl, gas o carbón en polvo. (EDUARDO, 1987)

Horno oscilante o giratorio: **a**—plaza; **b**—pares de rodillos de mando; **c**—quemador; **d**—conducto del ventilador; **e**—ventilador; **g**—cámara de precalentamiento; **h**—chimenea.

Figura 30. Hornos oscilantes y giratorios



Fuente: CAPELLO Eduardo, “Tecnología de la Fundición”

## CAPÍTULO III

### 3. OBTENCIÓN DEL BRONCE FOSFÓRICO

#### 3.1 Diagrama de flujo del proceso para la obtención del bronce fosfórico

Se abordan las etapas principales del proceso de fundición. Se dan criterios sobre la elaboración de la tecnología de fundición y la plantilla. Se detalla en la preparación de las mezclas para moldes y machos, tanto en lo referido a sus composiciones, como en lo relacionado a su preparación; así como en el proceso de moldeo propiamente dicho.

El desarrollo en la obtención de productos fundidos se manifestó tanto en Europa como en Asia y África. Los romanos explotaron yacimientos de hierro en Estiria (Australia) de donde obtenían el metal para sus armas, instrumentos de trabajo y de uso doméstico. Hoy en día los países desarrollados, al calor de la revolución científico-técnica contemporánea, acometen las tareas de mecanización y automatización, la implantación de nuevas tecnologías y el perfeccionamiento de las existentes.

**3.1.1** *Etapas del proceso de fundición.* La posibilidad de fundir un metal o una aleación depende de su composición, temperatura de fusión y tensión superficial del metal fundido. Todos estos factores determinan su fluidez. Se utilizan tres tipos de fundición:

**3.1.1.1** *En lingoteras.* Se usa la fundición de primera fusión a la que se añaden los elementos de aleación necesarios que posteriormente se depositan en lingoteras de colada por gravedad o a presión.

**3.1.1.2** *Colada continua.* En este tipo se eliminan las bolsas de aire y las secreciones, tanto longitudinales como transversales. Mediante este sistema se obtienen barras, perfiles, etc.

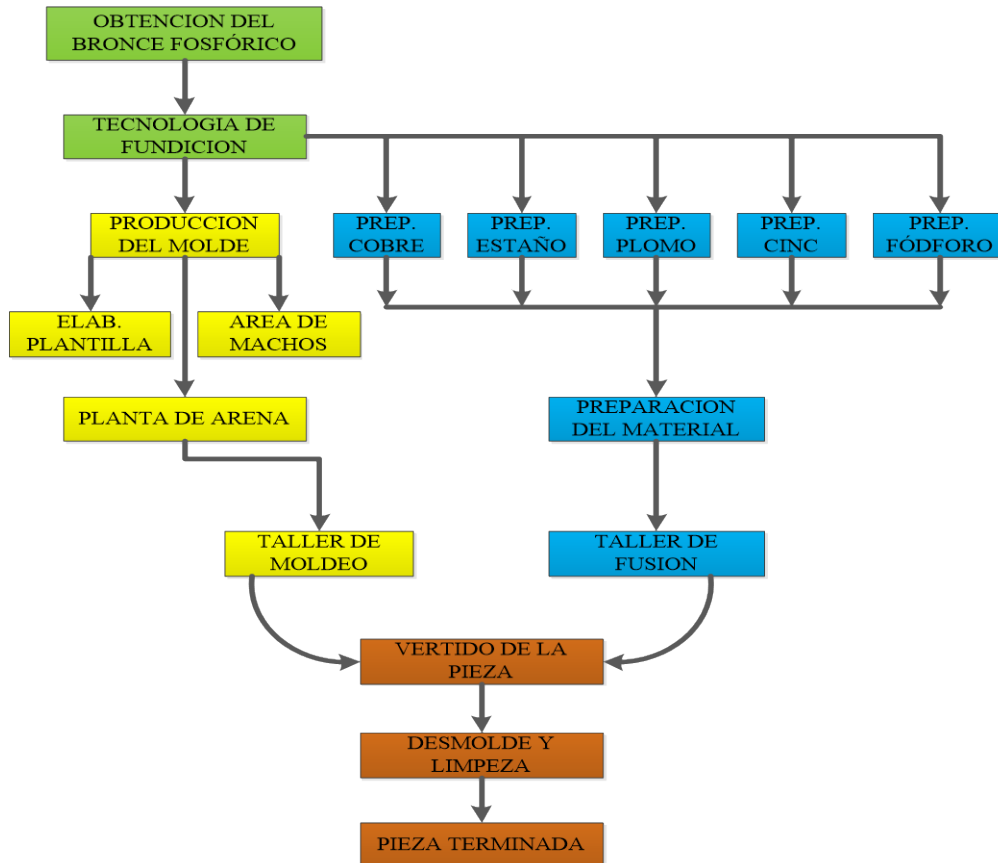
**3.1.1.3 Fundición en moldes.** En este trabajo se extraen piezas completas, utiliza el método de fundición en molde que es el método más utilizado en el taller de fundición.

Hay que destacar que el proceso de obtención de pieza por fundición por diferentes procesos los cuales son:

1. Preparación de mezcla
2. Moldeo
3. Fusión
4. Vertido
5. Desmolde, limpieza, acabado

Cada uno de ellos dispondrá de su respectiva tecnología y se desarrollarán como dos flujos de producción paralelos los cuales en determinado momento se unirán para darle forma y terminación a la pieza como se muestra en el diagrama de procesos.

Figura 31. Diagrama de proceso para obtener bronce fosfórico.



Fuente: Autor

### 3.2 Hoja de proceso

Tabla 8. Hoja de proceso

Método actual		<b><u>HOJA DE PROCESO (tipo material)</u></b>						
Método propuesto	X							
SUJETO DEL DIAGRAMA	<b>OBTENCIÓN DEL BRONCE FOSFÓRICO</b>					FECHA: 2013-10-18		
El diagrama empieza con el almacenaje de la materia prima, combustible y finaliza en el almacenaje del producto terminado.						HECHO POR: L.A.		
						DIAGRAMA N° 01		
						HOJA N° 1		
DISTANCIA (METROS)	TIEMPO (MINUTOS)	SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA					N° DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
		●	⇒	■	□	▼		
						▼	▼ 1	Almacenaje de materia prima.
						▼	▼ 2	Almacenaje de combustible.
	30	●					● 1	Realizar el moldeo de las probetas.
3	5		⇒				⇒ 1	Transporte de diésel a tanque reservorio de horno crisol.
	15	●					● 2	Llenar tanque reservorio con 20 galones de diésel.
	5	●					● 3	Encender horno de crisol.
	60	●					● 4	Precalentar horno de crisol.
	20	●					● 5	Pesar materia prima.
	15	●					● 6	Quitar las escorias existentes de trabajos anteriores.
		●					● 7	Secar el molde para que el colado sea continuo y cerrarlo.
18	10		⇒				⇒ 2	Transportar materia prima pesada hacia donde se encuentra horno de crisol.

Fuente: Autor

Tabla 8. Hoja de proceso (Continuación)

	10	○					○ 8	Colocar material fungible (cobre).
	40				ⓓ		ⓓ 1	Esperar que se funda en cobre.
	5	○					○ 9	Colocar materiales más fungibles (estaño, plomo, cinc, fósforo).
	20				ⓓ		ⓓ 2	Esperar que se fundan los materiales más fungibles.
		○					○ 10	Precalear cucharara para recibir la colada para evitar que esta se enfríe.
	10	○					○ 11	Recibir el material fundido en la cucharara y de manera continua verter el material fundido en el molde.
	1440				ⓓ		ⓓ 3	Esperar que se enfríe el material en el molde.
	20	○					○ 12	Retirar las probetas del molde.
	40	○					○ 13	Cortar probetas y retirar rebabas.
	10			■			■ 1	Inspeccionar las probetas obtenidas y seleccionar la mejor.
	30	○					○ 14	Maquinar las probetas seleccionadas.
						▼	▼ 3	Almacenamiento de producto terminado.
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		

Fuente: Autor

Luego de realizada la hoja de proceso, procedemos a realizar la respectiva tabla de resumen del total de las actividades que se emplearon para realizar el proceso de obtención del bronce fosfórico.



Tabla 9. Resumen de la hoja de proceso

<b>RESUMEN</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>
Operación	14	260	
Transporte	2	15	21
Demora	3	1500	
Inspección	1	10	
Almacenaje	3		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>1785</b>	<b>27</b>

Fuente: Autor

### 3.3 Preparación de la materia prima

La materia prima principal que se utilizó es la chatarra de cobre. Una vez que se tiene todos los materiales que intervienen en la obtención del bronce fosfórico se procede a la cuantificación de cada uno, de acuerdo a la siguiente Tabla.

Tabla 10. Porcentajes teóricos de materiales, para obtener el bronce fosfórico

<b>ELEMENTO</b>	<b>PARTICIPACIÓN (%)</b>
Cu	78.5 – 81.5
Sn	9 – 11
Pb	9 – 11
Zn	0.75
P	0.05 – 1

Fuente: Autor

Para obtener la cantidad en peso de cada uno de los elementos se ha tomado como referencia el porcentaje del cobre con el 79% igual a 10kg; y se aplicó una regla de tres simple.

$$\frac{B}{A} = \frac{Y}{X} = k \qquad \frac{B(\text{Cu})}{A(\text{Sn})} = \frac{Y(\% \text{Cu})}{X(\% \text{Sn})} = k$$

$$\text{Sn} = \frac{\text{Cu} \times \% \text{Sn}}{\% \text{Cu}}$$

$$\text{Sn} = \frac{10\text{Kg} \times 9\%}{79\%} = 1,139\text{Kg}$$

$$\text{Sn} = 1,140\text{Kg}$$

Tabla 11. Porcentajes y pesos de materiales utilizados, para obtener el bronce fosfórico

<b>ELEMENTO</b>	<b>% UTILIZADO</b>	<b>CANTIDAD UTILIZADA EN (KG)</b>
Cu	79	10,000
Sn	9	1,140
Pb	9	1,140
Zn	0.75	0,095
P	0.5	0,063

Fuente: Autor

Una vez cuantificados los materiales en la balanza y de acuerdo al rango teórico establecido tenemos un peso total aproximado de los materiales de 12,438 Kg. La balanza que se utilizó se muestra en la figura 32, es una balanza analógica y no es muy exacta.

Figura 32. Balanza utilizada para pesar los materiales



Fuente: Autor

### **3.4 Preparación del horno de crisol para la obtención de bronce fosfórico**

Una vez que la materia prima esta lista, procedemos a preparar el horno de la siguiente manera.

1. Cargamos combustible en el tanque reservorio (20 galones de diésel).
2. Encendemos, y dejamos que se precaliente aproximadamente por una hora y media hasta acercarnos a la temperatura de fusión del cobre que es el material menos fungible, aproximadamente 1084,62 °C.
3. Una vez que las escorias de fundiciones anteriores empiezan a fundirse procedemos a retirarlos.

### **3.5 Introducción de los materiales menos fungibles en el horno**

Luego de que el horno se ha precalentado a una temperatura superior a la del material a colocar en el crisol, se procede a colocar la primera carga en este caso del material menos fungible que es el cobre, el cual tiene un punto de fusión de 1084,62 °C.

### **3.6 Introducción de los materiales más fungibles**

Como siguiente paso y una vez que se ha fundido el cobre (una hora y media), procedemos a colocar la segunda carga de materiales entre los cuales están el estaño con un punto de fusión de 232 °C, el plomo con un punto de fusión de 327 °C, el cinc con un punto de fusión de 420 °C y el fósforo con un punto de fusión de 44 °C.

### **3.7 Secado y preparación de la cuchara para recibir la colada**

Las cucharas se secan y calientan con mecheros que funcionan con gas natural, al preparar la cuchara para la fusión se realiza la reparación corriente del revestimiento: se eliminan de las paredes y el fondo de la cuchara los lobos de escoria y metal junto con la capa de revestimiento, después el revestimiento su restituye, se seca y su calienta.

Durante la reparación general el revestimiento usado se retira de la cuchara por completo y se sustituye por uno nuevo.

Antes de verter el metal el revestimiento de las cucharas se calienta hasta 500-600° C, y para la colada de los moldes, que requieren elevadas temperaturas de la fundición, hasta 700—750° C. Enseguida después de calentarse las cucharas se llenan de masa fundida.

Figura 33. Horno crisol en funcionamiento



Fuente: El autor

### **3.8 Colado del material líquido en los moldes (probetas)**

Antes de la colada la fundición debe ser limpiada de la escoria. Las pérdidas de temperatura de la fundición durante el vaciado del horno, la transportación y el vertimiento de una cuchara a otra, si esto está previsto, debe tenerse en cuenta. Al vaciar la fundición del horno de crisol las pérdidas de temperatura constituyen 20-40°C, y al verterse de una cuchara a otra 30-50° C.

Durante el llenado del molde el fundidor debe observar con atención el movimiento de la masa fundida de la cuchara al molde. En el momento inicial del llenado es necesario girar la cuchara suave mente sin sacudidas, no obstante, lo suficientemente rápido para llenar el sistema de bebederos y la bacía. En lo sucesivo el fundidor debe girar la cuchara con tal velocidad, que el nivel de la masa fundida en la bacía permanezca en lo posible constante. Se debe llevar la colada con especial atención en el momento de finalizar el llenado del molde; después de aparecer la masa fundida en el respiradero el

fundidor debe reducir la velocidad de giro de la cuchara, para que el metal no rebose de la bacía y del respiradero.

Al vaciar el metal en los moldes se deben observar estrictamente las medidas de seguridad:

1. Las cucharas se deben llenar con metal no más de  $7/8$  de altura para de esta forma evitar que la colada se riegue.
2. Las cucharas con más de 500 kg de capacidad de colada deben estar dotadas de un mecanismo para la inclinación y el giro con transmisión a tornillo sin fin y auto frenado; el mecanismo de giro debe estar protegido con una cubierta.
3. Las vías de rieles, por las cuales se desplazan las cucharas con el metal fundido deben ser estrictamente horizontales.
4. Los pasillos por donde se va a circular con la cuchara llena de metal fundido deben estar secos (libres de cualquier líquido) puesto que al caer metal líquido al piso húmedo puede ocurrir una explosión.
5. Los fundidores deben trabajar con ropa de trabajo: chaquetas de lona y pantalones, botas de fieltro u otro calzado especial, guantes, sombrero y gafas protectoras.

Figura 34. Secado de molde



Fuente: Autor

Imagen 35. Probetas de bronce fosfórico obtenidas



Fuente: Autor

Una vez realizado el desmolde se obtuvo un total de material útil 9,4 Kg con una pérdida de material igual al 25%, este material se perdió en escoria ya que la materia prima en su mayoría fue chatarra. Pero esta cantidad de material es más que suficiente para realizar los análisis necesarios.

## CAPÍTULO IV

### 4. ESTUDIO DE LA DEMANDA INDUSTRIAL DEL BRONCE FOSFÓRICO

#### 4.1 Diagnóstico de las industrias que utilizan el bronce fosfórico

Realizadas las respectivas investigaciones de las aplicaciones del bronce fosfórico en la industria, tenemos como resultado que este material se aplica en cualquier industria por más pequeña que esta sea siempre tendrá en sus máquinas un componente que sea hecho de este material.

De acuerdo a la consulta realizada en la Cámara de Industrias de Chimborazo, las 17 empresas industriales que están asociadas a esta entidad tienen partes de máquinas que están hechas de este material, por lo que se vio en la necesidad de realizar una encuesta en cada una para de esta manera poder determinar si se tiene o no demanda de este material en la Provincia de Chimborazo.

#### 4.2 Determinación de la demanda industrial en la provincia

**4.2.1** *Análisis de la demanda.* El análisis de la demanda se realizó mediante fuentes de información primarias, la información primaria fueron las encuestas realizadas a las industrias asociadas. En vista de que la población es tan pequeña no se aplicó ninguna fórmula para determinar la población a la cual se debía realizar las encuestas y se vio en la necesidad de realizar la encuesta a las 17 empresas que están asociadas a la Cámara de Industrias de Chimborazo, para de esta manera tener un estudio seguro.

**4.2.2** *Como hacer el pronóstico de la demanda.* El pronóstico de la demanda consiste en hacer una estimación de nuestras futuras ventas de uno o varios productos, para un periodo de tiempo determinado. El realizar el pronóstico de la demanda nos permitirá elaborar nuestra proyección o presupuesto de ventas y, a partir de ésta, poder elaborar las demás proyecciones o presupuestos. (NEGOCIOS, CRECE, 2013)

**4.2.3** *Métodos para pronosticar la demanda.* Veamos a continuación algunos de los métodos más usados para hallar el pronóstico de la demanda:

**4.2.3.1** *Análisis de registros históricos.* Consiste en analizar nuestras ventas pasadas y hacer una proyección de las mismas, por ejemplo, si hemos notado que nuestras ventas en los últimos meses han aumentado en un 10%, entonces, lo lógico sería que para este mes que se aproxima también aumenten en un 10%, pero si además notamos que este próximo mes es de temporada alta para el tipo de producto que comercializamos, y que además hemos decidido invertir más en publicidad, entonces podríamos pronosticar que para este próximo mes nuestras ventas aumentarían en un 20%.

Este método requiere que el negocio ya tenga un tiempo de operaciones, para hallar el pronóstico de la demanda para un nuevo negocio o para el lanzamiento de un nuevo producto, sigamos viendo los demás métodos.

**4.2.3.2** *Método de la demanda potencial.* Consiste en hallar primero la demanda potencial de todos los productos similares al nuestro que existan en el mercado al cual nos dirigimos, y luego, en base a dicha demanda potencial, determinar la demanda de nuestros productos, teniendo en cuenta aspectos limitativos tales como el tamaño de nuestra inversión, nuestro capital de trabajo, nuestra capacidad de fábrica, nuestra capacidad de abastecimiento, nuestro esfuerzo de marketing, etc.; pero también, teniendo en cuenta otros aspectos tales como la demanda de nuestra competencia, nuestra experiencia en el negocios, opiniones de personas con experiencia en el mismo tipo de negocio, etc.

**4.2.3.3** *Método de la investigación de mercados.* Consiste en pronosticar nuestras ventas a través de una investigación o estudio de mercado, podemos, por ejemplo, hacer uso de encuestas, en donde algunas de las preguntas podrían ser:

- “¿tiene usted interés en adquirir este producto?”
- “¿estaría dispuesto a probar este nuevo producto?”
- “¿cuánto estaría dispuesto a pagar por este producto?”
- “¿cada cuánto tiempo consume o adquiere productos similares?”



- “¿cuánto gasta en promedio al acudir a negocios similares?”
- “¿con qué frecuencia acude a negocios similares?”

O también podemos hacer uso de otras técnicas de mercado, por ejemplo, podemos visitar negocios similares al nuestro y calcular el promedio de clientes que tienen y el promedio de consumo de cada uno, o podemos hacer pequeñas entrevistas a clientes de nuestros principales competidores o a personas que hayan estado antes en el mismo tipo de negocio que el nuestro, etc.

Como apunte final, debemos decir que para hallar el pronóstico de la demanda no existe un método o fórmula específica, sino que debemos ser creativos, pudiendo, por ejemplo, hacer uso de varios métodos; al final no importa cuál método hayamos usado, lo importante es lograr el mayor aproximado posible.

**4.2.4** *Análisis de la encuesta.* Para el estudio se realizó un total de 17 encuestas esto es el total de industrias asociadas a la Cámara de Industrias de Chimborazo, la encuesta fue realizada el representante de las industrias, y el dato de la cantidad industrias asociadas a esta entidad fue proporcionado por el representante de la misma.

**4.2.5** *Formato de la encuesta.* Ver Anexo A

**4.2.6** *Resultados obtenidos de las encuestas realizadas*

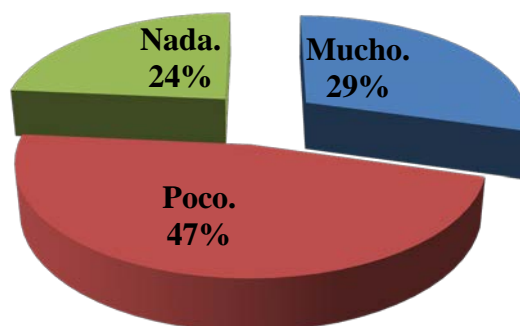
**1. ¿Usted tiene conocimiento sobre el bronce fosfórico?**

Tabla 12. Resultado de personas que tienen conocimientos del bronce fosfórico

Mucho.	5
Poco.	8
Nada.	4
Total	17

Fuente: Autor

Figura 36. Porcentajes obtenidos



Fuente: Autor

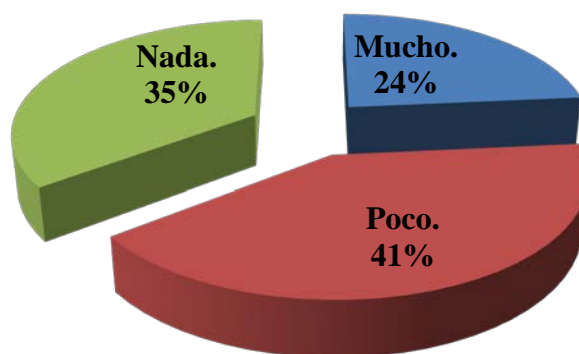
2. ¿En la industria que usted dirige alguna de las partes de las máquinas está hecha de bronce fosfórico?

Tabla 13. Resultado de empresas, dicen tener partes del equipo hechos de este material

Mucho.	4
Poco.	7
Nada.	6
Total	17

Fuente: Autor

Figura 37. Porcentaje obtenido



Fuente: Autor

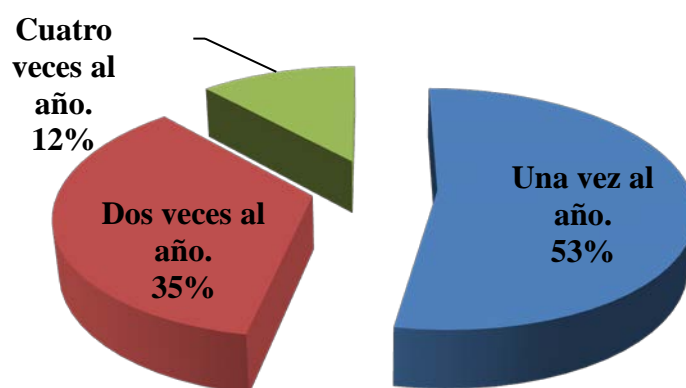
**3. ¿Con qué frecuencia adquieren repuestos para las máquinas hechas de este de bronce fosfórico?**

Tabla 14. Tabla de frecuencia con la que adquieren repuestos de este material

Una vez al año.	9
Dos veces al año.	6
Cuatro veces al año.	2
Total	17

Fuente: Autor

Figura 38. Porcentaje obtenido



Fuente: Autor

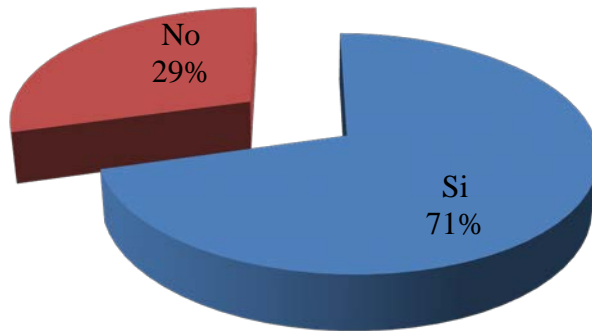
**4. ¿En caso de necesitar para la construcción de repuestos compraría usted bronce fosfórico fabricado en esta provincia?**

Tabla 15. Resultados obtenidos de la encuesta

Si	12
No	5
Total	17

Fuente: Autor

Figura 39. Porcentaje obtenido



Fuente: Autor

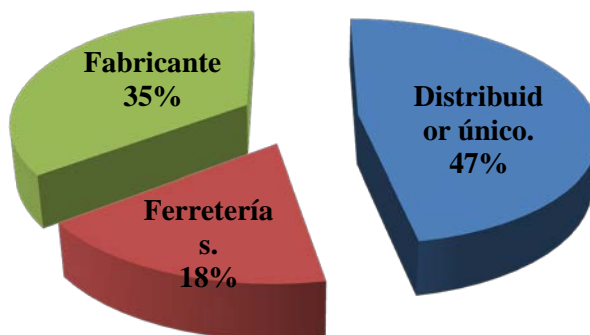
**5. ¿En qué lugar le gustaría adquirirlo?**

Tabla 16. Resultados obtenidos de la encuesta

Distribuidor único.	8
Ferreterías.	3
Fabricante	6
Total	17

Fuente: Autor

Figura 40. Porcentajes obtenidos



Fuente: Autor

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL BRONCE FOSFÓRICO OBTENIDO

#### 5.1 Preparación de la probeta metalográfica

La metalografía estudia la estructura microscópica de los metales y sus aleaciones. Antes de observar un metal al microscopio, es necesario acondicionar la muestra de manera que quede plana y pulida. Plana, porque los sistemas ópticos del microscopio tienen muy poca profundidad de campo y pulida porque así observaremos la estructura del metal y no las marcas originadas durante el corte u otros procesos previos. (GARCÍA, 2013)

Figura 41. Probeta lista para el análisis



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

Las fases de preparación de la probeta metalográfica son las siguientes:

1. Corte de la muestra
2. Montaje (opcional)
3. Desbaste
4. Pulido
5. Ataque químico o electrolítico

**5.1.1 Corte de la muestra.** El corte es un proceso en el que se produce calor, por fricción, y se raya el metal. Si el corte es muy agresivo, no veremos el metal que queremos estudiar sino la estructura resultante de la transformación sufrida por el mismo. Para reducir estos efectos al mínimo, hay que tener en cuenta las siguientes variables: lubricación, corte a bajas revoluciones y poca presión de la probeta sobre el disco de corte. (GARCÍA, 2013)

Figura 42. Cortadora metalográfica



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

Las cortadoras metalográficas están provistas de sistemas de refrigeración, regulación de la velocidad de giro del disco y de la presión de corte.

**5.1.2 Montaje de probetas metalográfica.** Las muestras que son difíciles de manejar debido a sus dimensiones geométricas, o a su naturaleza, normalmente son montadas en algún tipo de soporte o bien son encapsuladas en algún tipo de resina. Existe una variedad de resinas comerciales que normalmente cubren esta función.

En el análisis de productos “precipitados” en la superficie además de encapsular las muestras, es necesario primero depositar mediante una técnica adecuada algún elemento, compuesto o metal que proteja los bordes o el desprendimiento de los mismos. Existe diversa bibliografía que reporta una gama de técnicas que permiten de manera sencilla depositar una gama de materiales. (GARCÍA, 2013)

Figura 43. Prensa de montaje



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

**5.1.3 Desbaste de probetas.** Durante el proceso de desbaste se eliminan gran parte de las rayas producidas en el corte. Se realiza en una pulidora empleando discos abrasivos de distintos diámetros de partícula, cada vez más finos. Cada vez que se cambia de disco, es muy importante limpiar muy bien la probeta con agua abundante para eliminar los posibles restos de partículas del disco anterior, así evitamos que se produzcan rayas por partículas que hayan podido quedar del disco anterior cuando estamos trabajando con un disco de grano más fino. (GARCÍA, 2013)

Figura 44. Pulidora de discos abrasivos

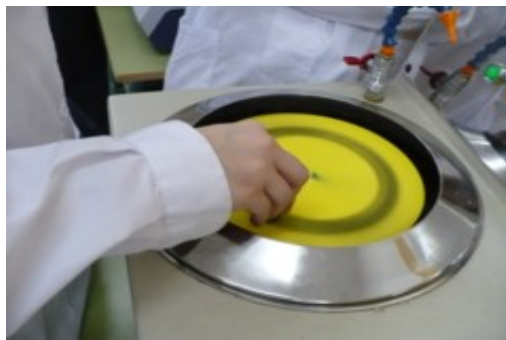


Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

**5.1.4 Pulido de probetas.** Se realiza con paños especiales, del tipo de los tapices de billar. Como abrasivo, se puede utilizar polvo de diamante o alúmina. El primero se aplica con un aceite especial, para lubricar y extender la pasta de diamante y el segundo con agua.

En el pulido apenas hay arranque de material y lo que se pretende es eliminar todas las rayas producidas en procesos anteriores. El pulido finaliza cuando la probeta es un espejo perfecto. (GARCÍA, 2013)

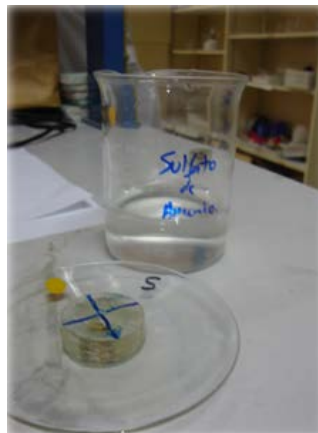
Figura 45. Pulidora de paños especiales



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

**5.1.5 Ataque metalográfico de probetas.** En este punto la probeta es plana y está pulida, es un espejo. El ataque químico pondrá de manifiesto la estructura del metal ya que atacará los bordes de los granos y afectará de manera diferente a las distintas fases presentes en el metal.

Figura 46. Vaso de precipitados o beakers



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>



Para cada metal y aleación se utiliza un reactivo de ataque diferente. En el caso del cobre y sus aleaciones se utilizó (Persulfato de Amonio), que se prepara disolviendo 10 gramos de Persulfato de Amonio en 90 ml de Agua. Cuando el acero es inoxidable se suele realizar un ataque electroquímico. (GARCÍA, 2013)

**5.1.6** *Observación metalográfica.* El microscopio metalográfico se diferencia del ordinario, fundamentalmente, en su sistema de iluminación. La luz no puede atravesar el metal y por tanto la luz entra en el objetivo después de ser reflejada en la probeta metálica.

Los microscopios metalográficos suelen llevar un acoplador para montar una cámara fotográfica o de video ya que, para poder estudiar mejor la estructura del metal, se obtienen microfotografías. En la imagen puede verse la probeta sobre la pletina del microscopio, debajo están los objetivos y a la derecha la fuente de luz. (GARCÍA, 2013)

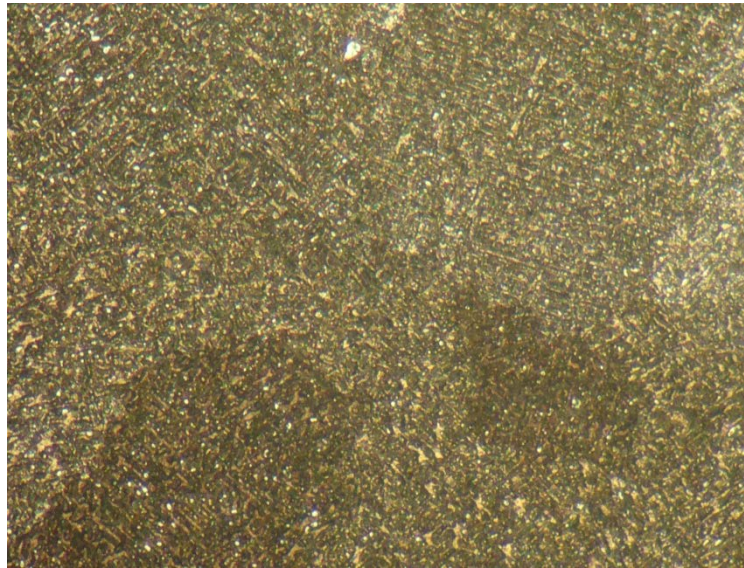
Figura 47. Microscopio metalográfico



Fuente: <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>

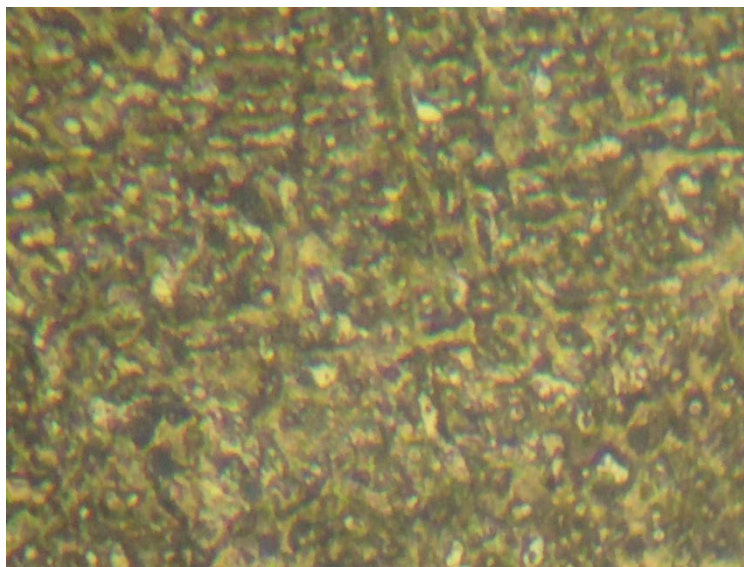
**5.1.7** *Fotografía metalográfica.* Una vez que se realiza el ataque metalográfico se lava la probeta con metanol y se procede a secar; para luego llevarla al microscopio, como paso final obtenemos la fotografía metalográfica del bronce fosfórico.

Figura 48. Imagen Bronce fosfórico a 100x



Fuente: Autor

Figura 49. Imagen Bronce fosfórico a 200x



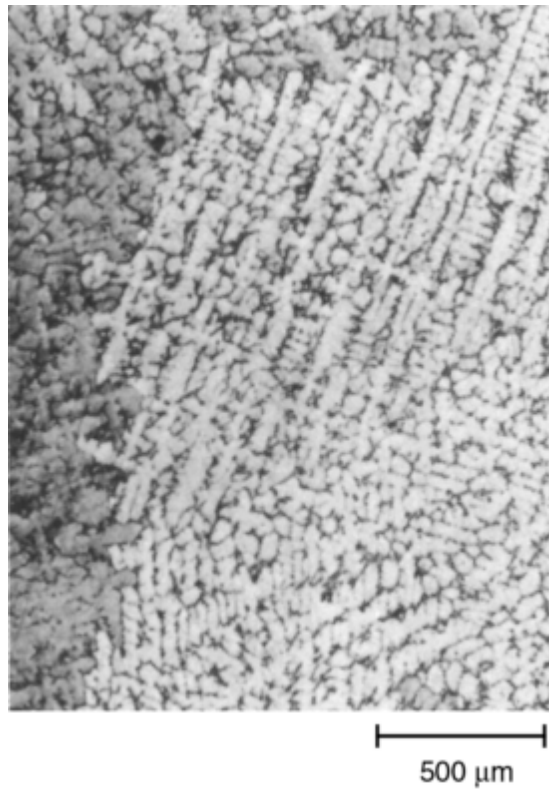
Fuente: Autor

**5.1.8** *Estudio, análisis del bronce fosfórico obtenido.* Para el estudio y análisis se utilizó:

- Análisis comparativo entre la fotografías metalográficas.
- Ensayo de dureza con el durómetro.

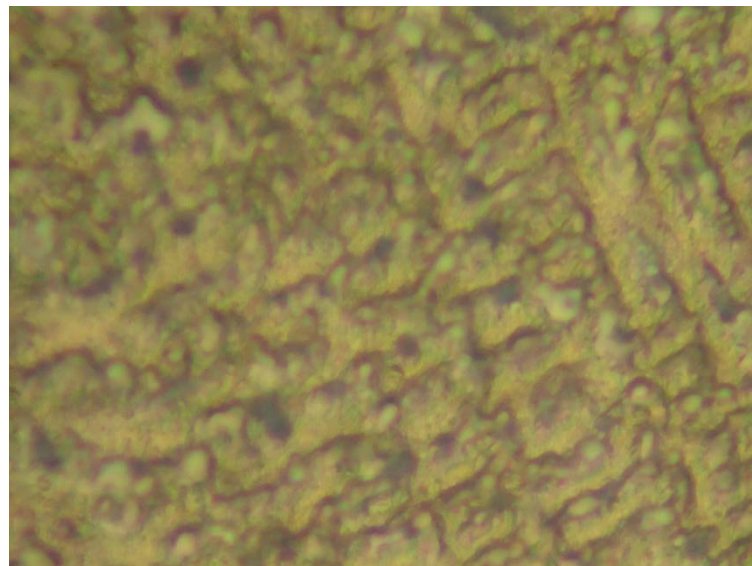
### 5.1.8.1 Análisis comparativo entre la fotografías metalográficas

Figura 50. Imagen patrón ASTM bronce fosfórico 500x



Fuente: AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Metals Handbook

Figura 51. Imagen del Bronce Fosfórico obtenido 500x



Fuente: El autor

**5.1.8.2 Ensayo de dureza Brinell.** El probador de dureza Brinell generalmente consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra. El número de dureza Brinell (HB) es la razón de la carga en kilogramos al área en milímetros cuadrados de la impresión, y se calcula mediante la fórmula:

$$HB = \frac{L}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dónde:

L = carga de prueba, kg.

D = diámetro de la bola, mm.

d = diámetro de la impresión, mm.

Para realizar el cálculo se utilizó los siguientes datos:

k = 10 (Constante del cobre),

Bola = 2,5 mm

Cálculos:

$$HB = \frac{L}{(\pi 2,5/2)(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,03^2})}$$

$$L = k \cdot D^2 = 10(2,5^2) = 62,5 \text{ kg}$$

$$HB = \frac{62,5 \text{ kg}}{(3,927 \text{ mm})(0,222 \text{ mm})}$$

$$HB = \frac{62,5 \text{ kg}}{(3,927 \text{ mm})(0,222 \text{ mm})} = 71,62$$

**5.1.9** *Resultados finales.* Realizados el ensayo de dureza y el análisis comparativo entre imágenes metalográficas podemos deducir que hemos obtenido un bronce fosfórico que se acerca en 70,21% a las características tanto físicas como mecánicas del bronce fosfórico real.

#### **5.1.10** *Conclusiones y recomendaciones metalográficas*

**5.1.10.1** *Conclusiones metalográficas.* Un ensayo de metalografía se realiza con el fin de obtener toda la información que es posible encontrar en la estructura de los diferentes materiales.

Este ensayo se realiza con la ayuda de un microscopio en donde se observó la estructura de ciertas muestras, que nos permitirán concluir si se obtuvo o no el bronce fosfórico, y tamaño de grano.

Una vez que se logró esto, la muestra se podrá relacionar con las propiedades físicas y mecánicas que se desean.

**5.1.10.2** *Recomendaciones metalográficas.* Utilizar el químico adecuado para realizar el ataque metalográfico, ya que si no se selecciona el químico correcto no se tendrá los resultados esperados para el análisis metalográfico.

Para realizar el ensayo de dureza las dos caras de la probeta que se va a someter al esfuerzo deben estar paralelas, para no tener variaciones en los resultados.

Realizar un desbaste totalmente lizo ya que si la probeta queda con rayas, al momento de realizar la observación en el microscopio no se va a apreciar correctamente la imagen.

## **CAPÍTULO VI**

### **6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. Conclusiones**

Se desarrolló exitosamente el proceso para la obtención del bronce fosfórico, para lo cual se realizó un respectivo diagrama de flujo del proceso, en el cual se detalla los pasos a seguir en la obtención de éste material.

De acuerdo al diagnóstico que se realizó a las industrias de Chimborazo mediante la encuesta, se pudo verificar que si el bronce fosfórico se hiciera aquí sería muy ventajoso ya que de esta manera no habría dificultad al momento de necesitar este material en las industrias.

Con las pruebas realizadas a las probetas obtenidas en la fundición se pudo observar lo siguiente: En el análisis metalográfico que se efectuó a la probeta se determinó que la fundición obtenida si es bronce fosfórico. A la muestra se le atacó con el reactivo PERSULFATO DE AMONIO y fue observado con un acercamiento de 500x.

El ensayo de dureza dio un resultado favorable ya que de acuerdo a la dureza que se obtuvo luego de los cálculos se acerca a las características reales de este material.

#### **6.2. Recomendaciones**

Realizar un buen sistema de alimentación al momento de trabajar con aleaciones de cobre, teniendo en cuenta el peso, el tiempo en que se llenara el molde y una velocidad de colado considerable para evitar piezas defectuosas con porosidad.

Tener cuidado de que el metal líquido no esté en contacto con el aire del ambiente ya que éste contiene oxígeno el cual oxida a el material fundido, para evitar esto debemos proteger con una capa aislante que puede ser el vidrio.

Controlar la temperatura de colado ya que si no se lo hace la temperatura será igual a la temperatura de fusión, y el metal se solidificará antes de llenar la pieza y por lo tanto se tendrá un llenado incompleto del molde.

Secar el molde muy bien y realizar desfogaderos de gas para que al momento de colar los gases del interior del molde puedan ser evacuados, así evitar el atrapamiento y la aparición de poros en las piezas finales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMENDARIZ, M. (2006). En *Materiales*. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
- ASKELAND. (1998). En *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores, S.A.
- BARRERO, A. (1963). En *Fundiciones*. Madrid: Dossat.
- CAPELO, E. (1987). En *Tecnología de la Fundición*. Barcelona: Gustavo Gili.
- CONALBRONCES. (2013). *Bronce Fosforado*. Recuperado el 29 de 05 de 2013, de <http://www.conalbronces.com/ver-todas-las-aleaciones/item/17-bronce-fosforado>
- ECURED. (2011). *Cobre*. Recuperado el 20 de 05 de 2013, de <http://www.ecured.cu/index.php/Cobre>
- ECURED. (2013). *Estaño*. Recuperado el 21 de 05 de 2013, de <http://www.ecured.cu/index.php/Esta%C3%B1o>
- EDUARDO, C. (1987). *tecnologia de la Fundicion*. Barcelona: Gustavo Gili, S. A.
- ENCICLOPEDIA.US.ES (2010). *Fosforo*. Recuperado el 27 de 05 de 2013, de <http://enciclopedia.us.es/index.php/F%C3%B3sforo>
- ENCICLOPEDIA.US.ES (2011). *Cinc*. Recuperado el 28 de 05 de 2013, de <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cinc>
- ENCICLOPEDIA.US.ES (2011). *Cobre*. Recuperado el 05 de 20 de 2013, de <http://enciclopedia.us.es/index.php/Cobre>
- ENCICLOPEDIA.US.ES (2011). *Estaño*. Recuperado el 21 de 05 de 2013, de <http://enciclopedia.us.es/index.php/Esta%C3%B1o>
- GARCIA, MARCELINO. (2013). *Cuadernos de Laboratorio, metalografía*. Recuperado el 10 de 09 de 2013, de <http://www.cuadernodelaboratorio.es/metalografia.html>
- GROOVER. (1997). En *Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y sistemas*. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICA S.A.
- GUERRA, ERICK. (2007). *Monografías, estaño peruano 2*. Recuperado el 22 de 05 de 2013, de <http://www.monografias.com/trabajos53/estanio-peruano/estanio-peruano2.shtml>
- LENNTECH. (2013). *Cobre*. Recuperado el 05 de 02 de 2013, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>
- LENNTECH. (2013). *Estaño*. Recuperado el 21 de 05 de 2013, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/sn.htm>



LENNTECH. (2013). *Fosforo*. Recuperado el 28 de 05 de 2013, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm>

LENNTECH. (2013). *Plomo*. Recuperado el 27 de 05 de 2013, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>

LENNTECH. (2013). *Zinc*. Recuperado el 29 de 05 de 2013, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm>

LOARCA, ING. RAUL. (2013). *Cursos de mecatronica, Bronce Fosforado*. Recuperado el 05 de 07 de 2013, de <http://cursosmecatronica.files.wordpress.com/2012/06/bronce-fosforado.pdf>

METALS, A. S. (1972). En *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. Ohio: Metals Park.

NEGOCIOS, CRECE. (2013). *Como hacer el pronostico de la demanda*. Recuperado el 04 de 09 de 2013, de <http://www.crecenegocios.com/como-hacer-el-pronostico-de-la-demanda/>

PEREZ, J. (2005). En *Texto básico de fundicion*. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.

TITOV, E. (1981). En *Tecnología del Proceso de Fundición*. Moscú: MIR.

VEGA, MAYTE GARCIA. (2013). *Plomo*. Recuperado el 25 de 05 de 2013, de <http://www.ecured.cu/index.php/Plomo>

WIKIPEDIA. (2010). *Fosforo*. Recuperado el 27 de 05 de 2013, de <http://enciclopedia.us.es/index.php/F%C3%B3sforo>

WIKIPEDIA. (2013). *Cinc*. Recuperado el 29 de 05 de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Cinc>

WIKIPEDIA. (2013). *Cobre*. Recuperado el 20 de 05 de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

WIKIPEDIA. (2013). *Estaño*. Recuperado el 22 de 05 de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%B1o>

WIKIPEDIA. (2013). *Plomo*. Recuperado el 26 de 05 de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>

ZANDIN, K. M. (2004). En *Manual del Ingeniero Industrial*. España: Mc Graw Hill.

## ANEXO A



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



Esta encuesta está dirigida a industriales, para saber si en su industria se utiliza el bronce fosfórico, y de esta manera ver la posibilidad de producirlo.

**1. ¿Usted tiene conocimiento sobre el bronce fosfórico?**

- Mucho.
- Poco.
- Nada.

**2. En la industria que usted dirige alguna de las partes de las maquinas esta echa de bronce fosfórico.**

- Mucho.
- Poco.
- Nada.

**3. Con que frecuencia adquieren repuestos para las maquinas echas de este de bronce fosfórico.**

- Una vez al año.
- Dos veces al año.
- Cuatro veces al año.

**4. En caso de necesitar para la construcción de repuestos compraría usted bronce fosfórico Fabricado en esta Provincia.**

- Sí.
- No.

**5. En qué lugar le gustaría adquirirlo.**

- Distribuidor único.
- Ferreterías.
- Fabricante.