



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

## **ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA**

**Jairo Renato Jiménez De León**

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández

Guatemala, junio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS  
ORNAMENTALES DE PLATA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JAIRO RENATO JIMÉNEZ DE LEÓN**

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL RUÍZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 07 de abril de 2011.



---

Jairo Renato Jiménez De León

Guatemala 16 de febrero de 2012.

Ingeniero

Julio César Campos Paiz

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Respetuosamente me dirijo a usted, con el propósito de informarle que, luego de haber revisado el trabajo de graduación titulado **“ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA”**, el cual fue presentado por el estudiante **Jairo Renato Jiménez De León**, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su **Examen General Público**, y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,

  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO 4620

Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández

Colegiado No. 4 620.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Materiales de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor del trabajo de graduación titulado, ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA, del estudiante Jairo Renato Jiménez De León, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área

Guatemala, febrero de 2012.

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área materiales de Ingeniería, al Trabajo de Graduación titulado ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA del estudiante **Jairo Renato Jiménez De León**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR

Guatemala, junio de 2012

JCCP/behde



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA**, presentado por el estudiante universitario **Jairo Renato Jiménez De León**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, junio de 2012

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**La memoria de mis abuelos**

Paula Julia Morales, Florencio  
Jiménez Zamora y Felipe De León,  
que en paz descansen.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mi abuela**

María Gálvez, por cuidar de mí siempre.

### **Mis padres**

Carmen De León y Jairo Jiménez, por apoyarme incondicionalmente siempre y en todo aspecto.

### **Mi familia**

Hermanos, padrinos, primos y primas, tíos y tías, y mi cuñada, por todo su apoyo moral y material, y por brindarme afecto sincero.

### **Mis amigos**

A los más cercanos; también a los que no veo desde hace tiempo, compañeros de estudios y de trabajo, porque todos han hecho un aporte valioso a mi vida y me han ayudado a crecer como persona.

### **Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

Catedráticos de la Facultad y en especial de la Escuela de Ingeniería Mecánica, personal administrativo y operativo, porque gracias a todos y cada uno de ellos, esta gloriosa Facultad sigue formando

profesionales de la mejor calidad que contribuyen al desarrollo del país.

**Ingeniero**  
**Víctor Ruiz**

Por su valiosa ayuda en la realización de este trabajo de graduación, asesorándome, guiándome y orientándome en todas las etapas de este proceso.

**Familia López**  
**Torres**

Por su ayuda y colaboración, apoyándome con los equipos e instalaciones y de su laboratorio de mecánica dental.



1.5.2.	Herramientas y procesos .....	26
1.5.3.	Materiales .....	29
1.5.4.	Procesos en la manufactura .....	29
1.5.5.	Oportunidades en la joyería y la relojería .....	30
2.	FUNDICIÓN .....	31
2.1.	Introducción a la fundición .....	31
2.1.1.	Metales utilizados en la fundición .....	32
2.1.2.	Ocupaciones en la fundición .....	32
2.1.3.	Tipos de fundiciones .....	33
2.1.4.	La fundición como pasatiempo .....	33
2.2.	Fundición y colado .....	33
2.2.1.	Solidificación de metales .....	35
2.2.1.1.	Solidificación .....	35
2.2.1.2.	Contracción .....	36
2.3.	Procesos de fundición .....	39
2.3.1.	Tipos de fundición a la arena .....	40
2.3.1.1.	Modelos .....	41
2.3.1.2.	Arena .....	42
2.3.1.3.	Corazones .....	43
2.3.1.4.	Procedimiento de moldeo .....	43
2.3.2.	Entradas, rebosaderos y características de solidificación .....	47
2.3.3.	Vaciado y limpieza de piezas .....	50
2.3.4.	Tecnología del taller de fundición .....	53
2.3.5.	Equipo de fundición .....	54
2.3.5.1.	Cubilote .....	55
2.3.5.2.	Horno de aire .....	58
2.3.5.3.	Hornos de crisol .....	59

2.3.5.4.	Hornos de cuba .....	60
2.3.5.5.	Hornos de reverbero .....	61
2.3.5.6.	Hornos de arco eléctrico .....	62
2.3.5.7.	Hornos de inducción.....	64
2.4.	Procesos especiales de fundición.....	66
2.4.1.	Métodos de fundición en moldes metálicos.....	67
2.4.1.1.	Fundición en matrices .....	68
2.4.1.2.	Fundición por moldes permanentes de baja presión.....	71
2.4.1.3.	Piezas de fundición en molde permanente por gravedad .....	72
2.4.1.4.	Fundición hueca.....	74
2.4.1.5.	Fundición prensada o Corthias .....	75
2.4.2.	Fundición por electroescoria .....	75
2.4.3.	Fundición centrífuga.....	76
2.4.3.1.	Fundición centrífuga real.....	78
2.4.3.2.	Fundición semicentrífuga .....	79
2.4.3.3.	Centrifugado.....	80
2.4.4.	Fundición por revestimiento o de precisión .....	81
2.4.4.1.	Proceso de fundición de precisión a la cera perdida .....	82
2.4.4.2.	Proceso de cáscara en cerámica .....	84
2.4.4.3.	Fundición en molde de yeso .....	86
2.4.4.4.	Proceso de moldeo en cáscara.....	89
2.4.4.5.	Proceso de endurecimiento de moldes con CO <sub>2</sub> .....	90
2.4.4.6.	Moldes de otros materiales .....	92
2.4.5.	Fundición continua .....	95
2.4.5.1.	Proceso de molde alternativo .....	96

2.4.5.2.	Proceso Asarco.....	97
2.4.5.3.	Proceso de fundición continua con molde de latón .....	99
2.4.5.4.	Proceso de enfriamiento directo .....	101
2.5.	Preparación de metales puros.....	102
2.5.1.	Metales puros disponibles comercialmente .....	105
2.5.2.	Reducción.....	136
2.5.3.	Métodos para aumentar la pureza .....	136
2.5.3.1.	Tratamiento con hidrógeno .....	137
2.5.3.2.	Oxidación.....	137
2.5.3.3.	Tratamiento en vacío .....	138
2.5.3.4.	Destilación .....	138
2.5.3.5.	Licuación.....	141
2.5.3.6.	Purificación por cristalización.....	142
2.6.	Acabado de superficies .....	143
2.6.1.	Limpieza .....	144
2.6.1.1.	Elección del método de limpieza.....	145
2.6.1.2.	Baños de líquidos y de vapor.....	146
2.6.1.3.	Chorro.....	150
2.6.1.4.	Acabado por barrilado con abrasivos.....	152
2.6.1.5.	Cepillado con alambre .....	154
2.6.1.6.	Acabado en banda abrasiva .....	155
2.6.1.7.	Pulido.....	157
2.6.1.8.	Pulimento.....	158
2.6.1.9.	Electropulido .....	159
2.6.2.	Revestimientos .....	160
2.6.2.1.	Preparación para los revestimientos.....	166
2.6.2.2.	Material de revestimiento y necesidades del método .....	166

2.6.2.3.	Revestimientos orgánicos .....	167
2.6.2.4.	Pinturas, barnices y esmaltes .....	169
2.6.2.5.	Lacas.....	172
2.6.2.6.	Aplicación de revestimientos orgánicos .....	174
2.6.2.7.	Esmaltes vítreos.....	178
2.6.2.8.	Metalizado.....	180
2.6.2.9.	Metalizado al vacío.....	182
2.6.2.10.	Recubrimiento metálico por inmersión en caliente.....	183
2.6.2.11.	Revestimiento electrolítico .....	185
2.6.2.12.	Protección temporal contra la corrosión .....	188
2.6.3.	Conversiones químicas .....	190
2.6.3.1.	Anodizado .....	190
2.6.3.2.	Revestimientos con cromatos .....	192
2.6.3.3.	Revestimientos con fosfato .....	193
2.6.3.4.	Revestimientos de óxidos químicos .....	194
3.	LA PLATA.....	195
3.1.	Plata.....	195
3.2.	Plata y aleaciones a la plata .....	196
3.2.1.	Aleaciones plata – cobre .....	197
3.2.2.	Plata - cobre – zinc .....	198
3.2.3.	Aleaciones paladio – plata .....	199
4.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA .....	209
4.1.	Proceso de fundición de precisión a la cera perdida.....	209
4.1.1.	Modelado .....	209
4.1.2.	Vaciado (fabricación del molde).....	218

4.1.3.	Preparación del metal para fundir .....	225
4.1.4.	Preparación del molde .....	230
4.1.5.	Colado .....	233
4.1.6.	Extracción de piezas fundidas .....	238
4.1.7.	Limpieza y acabado de piezas fundidas .....	242
CONCLUSIONES .....		257
RECOMENDACIONES .....		261
BIBLIOGRAFÍA.....		265
APÉNDICES.....		267

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Metales.....	2
2.	Yunque.....	5
3.	Red cristalina.....	10
4.	Dilatómetro antiguo.....	11
5.	Artículos fabricados con metales no férreos.....	13
6.	Metales preciosos.....	22
7.	Fundición.....	25
8.	Joyería.....	26
9.	Trabajo artístico en metal.....	29
10.	Celdas unitarias.....	36
11.	Modelos para fundición.....	42
12.	Arena sílica.....	43
13.	Fundición en moldes de arena.....	47
14.	Molde con corazón y pieza fabricada.....	50
15.	Máquina de corte y rectificado.....	53
16.	Horno de cubilote.....	57
17.	Horno de aire.....	59
18.	Crisoles.....	60
19.	Horno eléctrico de cuba.....	61
20.	Horno de reverbero.....	62
21.	Horno eléctrico de arco directo.....	63
22.	Horno de arco eléctrico indirecto.....	64
23.	Horno de inducción.....	65

24.	Moldes metálicos .....	68
25.	Fundición por matriz.....	71
26.	Molde permanente de baja presión.....	72
27.	Molde para fundición por gravedad.....	74
28.	Proceso de fundición por electroescoria .....	76
29.	Proceso de fundición centrífuga real.....	79
30.	Proceso de fundición semicentrífuga .....	80
31.	Máquina centrífuga .....	81
32.	Piezas fundidas por el proceso a la cera perdida .....	84
33.	Molde de cáscara cerámica .....	86
34.	Partición del molde de yeso .....	88
35.	Moldeo en cáscara.....	90
36.	Molde de caucho de uretano.....	93
37.	Molde de caucho de silicón.....	94
38.	Colada continua .....	95
39.	Máquina de colada continua .....	97
40.	Fabricación de barras por colada continua .....	99
41.	Proceso de colada continua.....	100
42.	Colada continua y laminación en caliente .....	102
43.	Diagrama de fase.....	103
44.	Diagrama del proceso de acabado superficial .....	145
45.	Máquina desengrasadora .....	147
46.	Chorro de abrasivo a presión.....	151
47.	Cepillado con alambre .....	155
48.	Rectificadora de cinta.....	157
49.	Herraje en acabado pulido .....	158
50.	Pieza acabada con pulimento .....	159
51.	Pieza acabada por electropulido.....	160
52.	Piezas atacadas por la corrosión .....	162

53.	Piezas acabadas por revestimiento electrolítico con zinc.....	164
54.	Acabado por revestimiento <i>Topcoat</i> .....	165
55.	Piezas tratadas con revestimientos orgánicos .....	169
56.	Piezas acabadas con pintura .....	170
57.	Pieza acabada con barniz .....	171
58.	Pieza acabada con esmalte .....	172
59.	Fliscorno acabado en laca transparente .....	174
60.	Aplicación de revestimiento por aspersion electrostática .....	177
61.	Pieza de arte elaborada con esmaltes vítreos.....	180
62.	Proceso de metalizado .....	182
63.	Botellas metalizadas por alto vacío .....	183
64.	Inmersión caliente .....	184
65.	Cromado decorativo .....	188
66.	Anodizado .....	191
67.	Tropicalizado .....	193
68.	Piezas revestidas con fosfato de manganeso .....	194
69.	Artículos de plata.....	195
70.	Aleación plata – cobre .....	197
71.	Aleación cuaternaria.....	198
72.	Aleación paladio – plata .....	199
73.	Molde maestro de látex .....	211
74.	Molde maestro abierto.....	212
75.	Extracción de la maqueta base .....	212
76.	Interior del molde maestro.....	213
77.	Impresión negativa del volumen de la maqueta base .....	213
78.	Diseño que se seleccionó para la pieza a fundir .....	215
79.	Lámina de cera.....	216
80.	Modelo de cera.....	216
81.	Modelo de cera, visto de perfil.....	217

82.	Sobre de revestimiento .....	219
83.	Aplicación de la primera capa de revestimiento (pasta primaria) .....	220
84.	Recipiente en el cual se preparó el revestimiento.....	221
85.	Colocación del cilindro de cartón .....	223
86.	Cilindro de cartón lleno de revestimiento .....	223
87.	Máquina vibradora .....	224
88.	Cilindro de revestimiento sin la envoltura de cartón.....	225
89.	Crisol hecho de revestimiento.....	228
90.	Crisol con bórax .....	229
91.	Crisol con el metal fundido.....	229
92.	Molde (cilindro) dentro del horno .....	232
93.	Horno eléctrico.....	232
94.	Molde dentro del horno .....	233
95.	Crisol con la plata para fundir .....	236
96.	Aplicación de la llama a la plata.....	236
97.	Aplicación de la llama al cilindro .....	237
98.	Centrífuga detenida.....	238
99.	Cilindro retirado de la centrífuga .....	239
100.	Cilindro enfriado con agua .....	240
101.	Cilindro fracturado.....	240
102.	Pieza de plata fundida entre el revestimiento .....	241
103.	Pieza de plata recién fundida fuera del cilindro.....	241
104.	Pieza fundida después de retirar el exceso de revestimiento .....	242
105.	Cabina o cámara para la realización del arenado.....	243
106.	Compresor de aire .....	244
107.	Interior de la cabina de arenado .....	245
108.	Boquilla lanzadora de arena .....	245
109.	Tubo de alimentación de arena.....	246
110.	Pieza fundida después de la limpieza.....	246

111.	Motor eléctrico.....	247
112.	Fresa 703 de carburo de tungsteno .....	248
113.	Fresa 703 de carburo de tungsteno .....	248
114.	Disco abrasivo grueso .....	249
115.	Disco abrasivo delgado .....	249
116.	Disco abrasivo delgado .....	249
117.	Corte del bebedero.....	250
118.	Corte del bebedero.....	250
119.	Cilindro abrasivo.....	251
120.	Cilindro abrasivo.....	251
121.	Pieza después de ser pulida .....	251
122.	Disco de caucho.....	252
123.	Disco de caucho.....	252
124.	Cilindro de caucho.....	253
125.	Cilindro de caucho.....	253
126.	Pieza después del pulido.....	253
127.	Disco de fieltro y pasta .....	254
128.	Disco de fieltro y pasta .....	254
129.	Perforación del asa .....	255
130.	Pieza terminada .....	256
131.	Pieza terminada .....	256

## TABLAS

I.	Densidad de los metales .....	7
II.	Densidades de metales fundidos .....	9
III.	Metales no féreos.....	13
IV.	Características de la mayoría de los metales no féreos.....	16
V.	Operaciones de trabajo artístico.....	27

VI.	Contracción por solidificación aproximada de algunos metales comunes .....	38
VII.	Demasías para contracción comunes para la preparación de modelos .....	39
VIII.	Metales puros disponibles comercialmente .....	106
IX.	Valores numéricos de las propiedades y características de los elementos .....	200
X.	Propiedades de algunos metales y aleaciones .....	202
XI.	Puntos de fusión .....	204
XII.	Temperaturas de fusión de metales seleccionados .....	204
XIII.	Características físicas de los metales puros .....	205
XIV.	Energías libres de formación de óxidos por átomo de oxígeno en kilocalorías a tres temperaturas .....	207

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\text{cm}^3$	Centímetros cúbicos
$\lambda$	Conductividad calorífica
$\Delta$	Delta
$\rho$	Densidad ( $\text{g /cm}^3$ )
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
$^{\circ}\text{F}$	Grados Fahrenheit
K	Grados Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ )
g	Gramos
J	Joules
K	Kilo( $10^3$ )
Lb	Libras por pulgada cuadrada
m	Metros
$\text{mm}^2$	Milímetros cuadrados
E	Módulo de elasticidad
N	Newton
Plg	Pulgadas (pulg)
$\text{plg}^2$	Pulgadas cuadradas
$\Omega$	Resistividad eléctrica específica
W	Watts (Vatios)



## GLOSARIO

<b>AFS</b>	Siglas de Asociación Americana de Fundidores (en español), entidad que normaliza la preparación de arenas y los ensayos de ellas, Índice de finura de arena AFS.
<b>BHN</b>	Brinnell Hardness Number, o número de dureza Brinnell (DB), Número relacionado a la carga aplicada y el área de la superficie de la huella hecha por un balín penetrador.
<b>Corazones de fundición</b>	Cuando una pieza de fundición debe tener una cavidad o hueco, tal y como un agujero para un tornillo, debe introducirse al molde alguna forma de corazón. Un corazón se define algunas veces como cualquier proyección de arena dentro del molde.
<b>Decantación</b>	La decantación (del latín <i>decantatio</i> ) es un método físico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden ser formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos.
<b>Diagrama de fase</b>	En termodinámica y ciencia de materiales se denomina diagrama de fase a la representación gráfica de las fronteras entre diferentes estados de la

materia de un sistema, en función de variables elegidas para facilitar el estudio del mismo.

**DIN**

DIN es el acrónimo de Deutsches Institut für Normung (en español, Instituto Alemán de Normalización).

**Estructura  
dendrítica**

Es una estructura arbórea del sólido que crece cuando se solidifica un líquido sub-enfriado. Ocurre cuando la nucleación es débil y el líquido se sub-enfría antes de que se forme el sólido.

**Eutético**

Eutético es una mezcla de dos componentes con punto de fusión (solidificación) o punto de vaporización (licuefacción) mínimo, inferior al correspondiente a cada uno de los compuestos en estado puro.

**Frontera de grano**

El borde, frontera, o límite de grano es la superficie de separación entre dos cristales de un mismo gran policristal.

**Hierro blanco y  
hierro gris**

El término de hierro fundido es aplicado a una familia de aleaciones ferrosas que contienen más del 2% de carbono. Incluye al hierro gris, maleable, dúctil (conocido como nodular por algunos autores), blanco, con elevado nivel de aleación y con grafito compacto, según varios autores entre los que se encuentran: Walton (1981), Guirshovich (1966), y otros.

**Micrón de presión**

Unidad de presión que equivale a  $10^{-6}$  metros o  $10^{-3}$  milímetros de mercurio.

**Negro de humo**

El negro de humo es un tipo de Negro de Carbón (material producido por la combustión incompleta de los productos derivados del petróleo) que se produce por la combustión incompleta de combustibles ricos en compuestos aromáticos que se queman en recipientes planos.

**Parciales dentales**

Una prótesis dental, es un elemento artificial destinado a restaurar la anatomía de una o varias piezas dentarias, restaurando también la relación entre los maxilares, a la vez que devuelve la dimensión vertical, y repone tanto los dientes como las estructuras periodontales.

**Sistema eutéctico**

Un sistema eutéctico es aquel en el cual cierta combinación de los componentes presenta completa solubilidad en estado líquido, pero

solubilidad sólida limitada, lo que significa que cuando una aleación eutéctica solidifica, los átomos de los metales componentes se segregan para formar regiones de los metales originales casi puros.

### **Soldadura blanda**

La soldadura heterogénea consiste en realizar uniones en las que el material de aportación tiene menor punto de fusión (y distintas características químico-físicas) que el material base, realizándose la unión soldada sin fusión del material base y mediante la fusión del material de aportación que se distribuye entre las superficies de la unión, muy próximas entre sí por acción capilar.

### **Soldadura fuerte**

La soldadura blanda se distingue de la soldadura fuerte por la temperatura de fusión del material de aporte. La soldadura blanda utiliza aportaciones con punto de fusión por debajo de los 450 °C y la soldadura fuerte por encima de los 450 °C.

### **Vaciado**

Es un procedimiento para la reproducción de esculturas o relieves.

## RESUMEN

Los metales tienen propiedades que son deseables para la manufactura de productos, y el trabajo con metales se llama metalistería. La densidad de los metales varía con la temperatura, si se aplica calor a un metal, este se expande y este fenómeno es llamado dilatación térmica. Los metales se dividen en férreos y no férreos, entre los cuales se encuentran los metales preciosos. En el trabajo con metales, tanto férreos como no férreos, se encuentra la fundición, este proceso consiste en fabricar una pieza de una forma deseada con un metal o metales determinados, y consta de una serie de pasos secuenciales que se realizan en un orden definido.

Existe una modalidad de trabajo artístico con metales del cual se origina la joyería, y consiste en fabricar artículos de diseños hermosos, y esto se puede hacer con una gran variedad de metales y procesos. La plata es un metal precioso que tiene la mayor conductibilidad eléctrica. En este trabajo de graduación se describe cómo se realizó el procedimiento experimental de fundición artesanal para fabricar una pieza ornamental de plata, empleando el proceso de fundición a la cera pérdida, para lo cual se fabricó un modelo de cera de la pieza que se deseaba fabricar, a continuación se fabricó un molde con el modelo de cera, utilizando un revestimiento comercial de uso en la mecánica dental.

Después se preparó la plata que se fundiría, limpiándola y fundiendo previamente un bloque o lingote para facilitar la fundición definitiva, el molde terminado se precalentó para eliminar el modelo de cera que se encontraba adentro y para que tuviera una temperatura adecuada al momento de fundir el

metal y de esa manera evitar el choque térmico cuando el metal caliente ingresara al molde. Después de hacer el colado se extrajo la pieza fundida del molde para limpiarla y darle el acabado final, de esta forma se analizó técnicamente el proceso de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Establecer un procedimiento práctico, adecuado, conveniente y económico para lograr exitosamente la fundición de forma artesanal de piezas ornamentales de plata.

### **Específicos**

1. Identificar los procesos existentes para trabajar la plata, como metal, enfocándose en su uso o aplicación para fines ornamentales.
2. Determinar la técnica de fundición adecuada para el propósito de elaborar piezas artesanales de plata, ya que estas, por su naturaleza son relativamente pequeñas.
3. Identificar las variables, tanto dependientes como independientes, que intervienen y afectan los resultados del proceso de fundición de piezas de plata para propósitos ornamentales.
4. Definir el proceso de acabado para las piezas de plata fundidas en forma artesanal, dado el estado en el que terminan al ser fundidas, y considerando que son para propósitos ornamentales.



## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en un trabajo de graduación, respaldado por información teórica acerca de los temas: la plata y fundición. Los cuales constituyen el punto de partida para la búsqueda de un procedimiento artesanal con el cual se logre exitosamente la realización del proceso de fundición de piezas ornamentales de plata.

En lo que respecta a la plata, se enfoca en los aspectos de interés respecto al propósito del presente proyecto, considerando a la plata, tanto el metal, como el mineral y el elemento químico.

De igual forma, en lo referente a la fundición, se trata el tema de manera general en forma superficial, para enfocarnos en las técnicas, procesos y tecnología de interés respecto al propósito principal del presente proyecto.

Mediante la investigación y experimentación implicadas en la realización de este proyecto, se busca identificar las variables y factores de principal interés que intervienen y afectan el resultado de la fundición artesanal de piezas ornamentales de plata, para que, a partir de los resultados observados, puedan establecerse lineamientos y parámetros que guíen y orienten en la realización de este proceso de fundición, obteniéndose así la estructuración de una guía para el proceso de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata.



# **1. ANTECEDENTES**

## **1.1. Metalistería**

Una de las más antiguas artesanías conocidas por el hombre civilizado, ha conservado su importancia a través de todos los cambios ocurridos a lo largo de miles de años, mientras tantas civilizaciones han surgido, se han desarrollado y desaparecido, dejando su lugar a otras.

### **1.1.1. Metales**

Los metales, por sus notables propiedades, son deseables para la manufactura de productos. Por ejemplo, son excelentes conductores del calor y la electricidad, son opacos y se pueden abrillantar con facilidad, son fuertes, tenaces y dúctiles y se maquinan con facilidad.

La metalurgia es la ciencia y tecnología de los metales y su comportamiento. Al científico especializado en metales y su empleo se le conoce como metalurgista.

Figura 1. **Metales**



Fuente: <http://tecnokent.files.wordpress.com/2009/12/metales.jpg>. Consulta 23 de mayo de 2011.

### **1.1.2. Metalistería en general**

Durante la mayor parte de la historia de la civilización, el herrero ha sido el único artesano en metales en la mayor parte de las comunidades. Los especialistas de las poblaciones pueden haber trabajado metales preciosos y había otros, como los cerrajeros, que elevaron el trabajo de la herrería a niveles más altos, pero en las comunidades rurales, si alguien necesitaba alguna cosa en metal, el herrero era quien hacía este trabajo. Esto significaba que el herrero promedio era un artesano adaptable que podía abandonar su fragua y hacer trabajos sobre un banco, manejando desde pequeñas cerraduras hasta maquinaria agrícola de gran tamaño.

De todos modos, y mientras que los caballos se ocuparon del transporte y de la energía, el herrero se encontraba ocupado casi totalmente en la atención de vehículos de tracción animal y de equipo agrícola. El herrero tenía a su cargo el trabajo inacabable de herrador, teniendo que mantener herrados a los

caballos. La aparición del automóvil vino a cambiar este aspecto, y al irse reduciendo el uso de los caballos se hizo menor la necesidad del trabajo tradicional del herrero, y mayor la necesidad de la ingeniería en general. La Primera Guerra Mundial aceleró este proceso, debido en parte a las necesidades bélicas, pero también debido a que los tractores alcanzaron un mayor grado de eficiencia y confiabilidad, y ya eran capaces de hacer más que los caballos. Se requería muy poca herrería tradicional para respaldar estas nuevas técnicas.

El efecto fue que muchos herreros fueron dejando el negocio, pues sus servicios y habilidades fueron menos solicitados en los años siguientes a la guerra. La necesidad del arte de la herrería ya no se encontraba en las pequeñas herrerías locales, pero muchos herreros encontraron buen trabajo en las industrias, en donde los requerimientos de la producción exigían el uso de equipos demasiado complejos o grandes, que no estaban al alcance de los herreros normales. Muchos otros artesanos conservaron sus fraguas y yunques, pero ampliaron su campo de operación para incluir el mantenimiento de equipo agrícola o dar servicio a los vehículos de motor. Buen número de modernos talleres de ingeniería en general, de garajes y estaciones de servicio, se derivaron de las viejas herrerías.

Es en contra de este trasfondo que debe enmarcar sus pensamientos cualquiera que actualmente se encuentre interesado en la herrería. Al mismo tiempo que la herrería puede ser la habilidad primaria, la presencia de muchos otros proyectos que implican la herrería, ya sea como la parte principal del trabajo o como la base de un desarrollo del mismo trabajo, que requiere habilidades en otras ramas de la metalistería para completar el trabajo de que se trata. En consecuencia, el herrero moderno debe poder aumentar su habilidad como tal, con la habilidad de poder hacer otros trabajos en metal.

Una cosa que se logre hacer empleando una variedad de conocimientos, puede ser un proyecto muy satisfactorio para su ejecutor, y un objeto muy atractivo para su usuario.

Gran parte del trabajo sobre metal, asociado con la herrería, es ejecutado con herramientas de mano o ciertas herramientas eléctricas portátiles que pueden considerarse como extensión de la mano. Si la herrería es la actividad principal, es poco probable que se justifique el uso de equipos de trabajo pesado con metales.

Tiene que haber un ligero cambio de actitud. Cuando se trabaja acero caliente es imposible utilizar medidas muy exactas, y tiene que existir cierta tolerancia, estas mediciones se hacen a ojo. Gran parte de la habilidad en la herrería puede describirse como un arte. Se puede lograr una forma agradable y correcta sin utilizar muchos instrumentos de medición ni calibradores. El herrero observa el desarrollo de una curva bajo los impactos de su martillo, y sabe si es correcta. En muchas de las cosas hechas por un herrero, no tiene importancia si hay una diferencia de unos cuantos milímetros de la medida planeada.

Cuando se trabaja sobre un banco y se hacen conjuntos que tienen varios componentes es posible, en caso necesario, trabajar con tolerancias muy reducidas. En una cerradura se necesitará que sus partes estén hechas lo más cercanas a su verdadero tamaño y, en un reloj, estas tolerancias deben ser mucho más reducidas, si se desea que funcione como tal. Estas cosas tienen que ser comprobadas por algunos instrumentos de medición, como micrómetros y verniers. Es obvio que ciertas cosas hechas en el banco no requieren tolerancias mejores que las logradas en el yunque, pero cuando se están

moldeando piezas mediante el empleo de la lima y de la segueta, el artesano siempre debe estar pendiente de tratar de lograr la mayor precisión posible.

Figura 2. **Yunque**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Yunque>. Consultado el 23 de mayo de 2011.

## **1.2. Densidad y dilatación térmica de metales y aleaciones**

La densidad y la dilatación térmica de los metales y las aleaciones, se explica de la siguiente manera, primero lo referente a la densidad de los metales y las aleaciones, y a continuación se explica el tema de la dilatación térmica de los metales.

### **1.2.1. Densidad de los metales y aleaciones**

Se denomina densidad  $d$  del metal, la masa de la unidad de volumen de este metal. Conociendo la masa  $m$  y el volumen  $V$  del metal, se puede calcular  $d$ :

$$d = m/V.$$

El volumen específico  $V$  del metal, caracteriza el volumen de la unidad de masa de este metal, y es por consiguiente, una magnitud recíproca de la densidad:

$$V = 1/d$$

De la primera de las dos fórmulas anteriores, se infiere que la determinación de la densidad del metal se reduce a la determinación de la masa y el volumen de la muestra que se ensaya. La masa se mide con una balanza analítica. En cuanto a la determinación del volumen, esta puede realizarse por dos métodos: picnométrico e hidrostático. El método picnométrico se reduce a determinar el volumen del líquido desplazado al sumergir en este la muestra metálica sometida a ensayo.

La precisión con que se halla el volumen mediante este procedimiento viene determinada por la apreciación de la división de la probeta utilizada, y la nitidez del borde del menisco del líquido en esta. Habitualmente, esta precisión no supera el 1% y es insuficiente para medir la densidad al efectuar una investigación metalográfica, puesto que las variaciones de las densidades de las aleaciones como resultado del temple, la deformación plástica en frío, etc. No superan, de ordinario, el 1%.

Sin embargo, para los fines técnicos, el método picnométrico –simple y rápido- puede utilizarse con éxito. Como líquido en que se sumerge la muestra es necesario elegir benceno, alcohol y otras sustancias de este tipo que poseen buena capacidad humectante.

Existe una variedad más exacta de la picnometría, es el método de ponderación triple, y por último está el método más preciso, idóneo para los

finés de investigación, el método hidrostático, el cual se basa en la ley de Arquímedes. Por su complejidad, no trataremos éstos métodos en este trabajo, ya que no son aplicables al propósito del mismo y solo se han incluido a manera de información básica general.

Tabla I. **Densidad de los metales**

<b>Numero del grupo del sistema periódico de Mendeleiev</b>	<b>Metal</b>	<b>Densidad a 18 ° C, g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Volumen atómico</b>
1	Li	0,53	13,0
	Na	0,97	23,7
	K	0,86	45,5
	Rb	1,53	56,2
	Cs	1,87	71,0
2	Be	1,82	4,9
	Mg	1,74	14,0
	Ca	1,55	25,8
	Sr	2,60	33,2
	Ba	3,50	38,2
3	Al	2,69	10,03
	Y	5,51	19,45
	La	6,15	22,59
4	Ti	4,54	10,7
	Zr	6,53	13,97
	Hf	11,4	13,98
5	V	6,0	8,92
	Nb	8,57	11,0
	Ta	16,6	11,2
6	Cr	7,19	7,32
	Mo	10,2	9,42
	W	19,3	9,63

Continuación de la tabla I.

<b>Numero del grupo del sistema periódico de Mendeleiev</b>	<b>Metal</b>	<b>Densidad a 18 ° C, g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Volumen atómico</b>
7	Mn	7,43	7,52
	Re	21,2	8,78
8	Fe	7,87	7,10
	Ru	12,28	8,28
	Os	22,48	8,49
9	Co	8,9	6,70
	Rh	12,44	8,37
	Ir	22,4	8,62
10	Ni	8,5	6,67
	Pd	12,0	9,28
	Pt	21,4	9,12
11	Cu	8,96	7,10
	Ag	10,50	10,27
	Au	19,3	17,22
12	Zn	7,13	9,16
	Cd	8,65	13,01
	Hg	13,55	14,26
13	Ga	5,9	11,82
	In	7,31	15,83
	Tl	11,85	17,25
14	Ge	5,36	13,44
	Sn	7,98	16,30
	Pb	11,34	18,27
15	As	5,72	13,11
	Sb	6,62	18,20
	Bi	9,8	21,33

Fuente: LÍVSHITS, B. G. Propiedades físicas de metales y aleaciones. p. 348.

Tabla II. **Densidades de metales fundidos**

<b>Metal o aleación</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Lb/Plg<sup>2</sup></b>
Aluminio	2,643	0,0955
Latón	8,554	0,3090
Hierro gris	7,208	0,2604
Acero	7,849	0,2836
Magnesio	1,746	0,0631
Zinc	7,048	0,2546

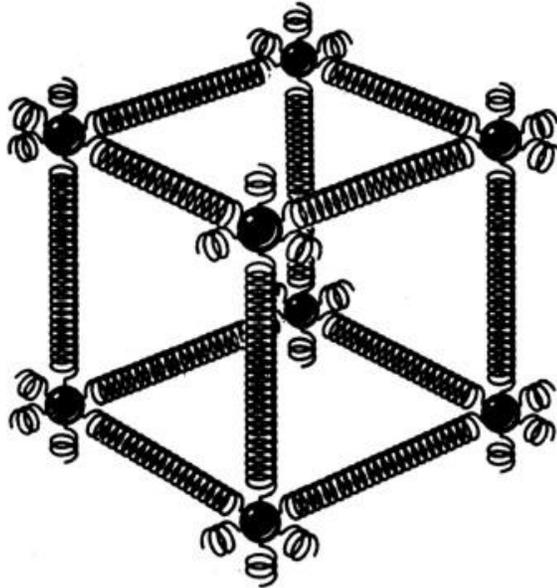
Fuente: Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. p. 227.

### **1.2.2. Dilatación térmica de los metales**

Una propiedad ordinaria de los sólidos es su dilatación durante el calentamiento. La dilatación es un aumento de la distancia interatómica en la red. Figúrese dos átomos entre los cuales el izquierdo está fijado en un punto A y el derecho oscila con respecto a un punto B, con la particularidad de que la amplitud de la oscilación aumenta con la elevación de la temperatura desde una temperatura inicial T1 hasta una temperatura final T2. Cuando el átomo oscilante se aleja del fijo, se engendra una fuerza de atracción K1 y cuando el primer átomo se acerca, surge una fuerza de repulsión K2. La fuerza K2 siempre es mayor que la K1. Puesto que  $K2 \gg K1$ , resulta que al aumentar la amplitud de oscilación con el ascenso de la temperatura, la distancia entre los átomos crece.

Si se traslada este elemental modelo considerado a un cuerpo tridimensional (una red), obtenemos el fenómeno de dilatación térmica.

Figura 3. Red cristalina, los átomos están representados por las esferas de las esquinas y las fuerzas interatómicas por los resortes



Fuente:

<http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Dilataci%C3%B3n&lang=2&from2=84&from3=16>. Consultado el 23 de mayo de 2011.

#### 1.2.2.1. Dilatación térmica y efecto volumétrico de las transformaciones (dilatometría)

Como ya se ha señalado, las transformaciones internas en los metales y las aleaciones se caracterizan por el cambio del volumen, de las dimensiones lineales y del coeficiente de dilatación. El método dilatométrico se basa en el estudio de estos cambios. En los trabajos de investigación científica y de control goza de amplia difusión el dilatómetro diferencial óptico de Chevenard.

Figura 4. **Dilatómetro antiguo**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Dilataci%C3%B3n\\_t%C3%A9rmica](http://es.wikipedia.org/wiki/Dilataci%C3%B3n_t%C3%A9rmica). Consultado el 23 mayo de 2011.

### **1.3. Metales no férricos**

Los metales no férricos se identifican como metales NF, y a continuación se explica qué son, cuáles son, sus características y propiedades, así como también sus usos y aplicaciones.

#### **1.3.1. Metales NF**

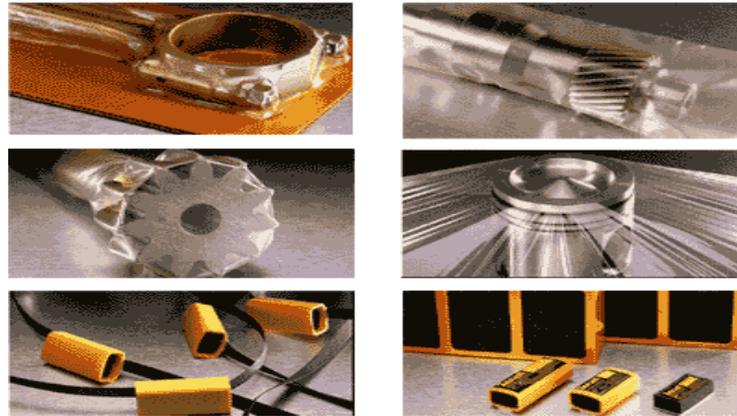
Los metales férricos (ferrosos), en particular el acero y el hierro gris, ocupan un lugar tan predominante en la economía que, para su exposición, los metales se dividen usualmente en grupos de férricos y no férricos. En la actualidad, ya sea con base en su peso o volumen, el hierro de lingote o arrabio es la forma de metal refinado más barata disponible. En consecuencia, el uso de metales no férricos en general puede justificarse sólo con base en alguna

propiedad especial que los metales férreos no tengan, o alguna ventaja de proceso que ofrezca un metal no férreo.

La relación de resistencia a peso con frecuencia es importante. El aluminio, el magnesio y el berilio (uno de los metales más raros), tienen densidades de un cuarto a un tercio de la del acero. Aunque la resistencia, más bien que el peso es la base de diseño más frecuente, en muchos casos, en particular en la fundición, el proceso limita el espesor mínimo de la sección y los productos hechos con metales férreos son mucho más fuertes que lo requerido en el diseño. El mismo producto hecho con metal no férreo más débil, pero menos denso, puede tener todavía la resistencia adecuada con menos peso. Aun cuando el costo por libra del metal no férreo puede ser mayor, el costo final de los productos puede ser comparable.

Sobre una base de resistencia a peso, el acero endurecido es todavía superior a la mayoría de los metales no férreos, pero algunas aleaciones no férreas con resistencia ligeramente menor por unidad de peso, pueden ofrecer otras propiedades de mayor valor que las del acero endurecido. Entre las aleaciones que se muestran en la tabla III, las clasificadas como aleaciones ligeras tienen de un cuarto a un tercio la densidad del hierro o acero. Las llamadas aleaciones pesadas tienen densidades aproximadas de una a una y media veces la del acero.

Figura 5. **Ejemplo de artículos fabricados con metales no férreos**



Fuente: <http://hipermetaleswl.blogspot.com/2010/04/metales-no-ferrosos.html>. Consultado el 23 mayo de 2011.

Tabla III. **Metales no férreos**

<b>Metales No Férreos</b>	
<b>Aleaciones Ligeras</b>	<b>Aleaciones Pesadas</b>
Base de aluminio	Base de Cobre
Base de Magnesio	Base de Zinc
Base de Titanio	Base de Níquel
Base de Berilio	Base de Estaño
	Base de Plomo

Fuente: Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. p.134.

La resistencia a la corrosión comúnmente es alta. En general, la resistencia a la corrosión de la mayoría de los metales no férreos es superior a todos los metales férreos, con excepción del acero inoxidable, y el acero inoxidable no ofrece la ventaja en costo de los aceros simples al carbono de

baja aleación. Esta resistencia mayor a la corrosión es la razón más frecuente para seleccionar los metales no férreos.

La resistencia a la corrosión es importante por varias razones. La corrosión afecta no sólo a las propiedades mecánicas del material, sino también a la apariencia de un metal que depende de su resistencia a la corrosión. Cuando la apariencia es importante, los metales férreos comúnmente usados, casi siempre requieren alguna clase de acabado y tratamiento de protección a la superficie. En muchos metales no férreos no son necesarios los acabados de protección, aún bajo condiciones que producirían corrosión severa en el acero. La apariencia distintiva de muchos metales no férreos es muy deseable en muchos productos.

Excelentes propiedades térmicas y eléctricas. Aunque el hierro es el material magnético de uso más frecuente, que tiene alta permeabilidad y baja histéresis magnética, el hierro puro es un material pobre para imanes permanentes. Los mejores imanes permanentes usan aleaciones con alto contenido de níquel, aluminio y cobalto. La plata, el cobre y el aluminio tienen conductividades eléctricas y térmicas mucho más altas que cualquiera de los materiales no férreos y comúnmente se usan en lugar del acero cuando son importantes esas propiedades.

El zinc se usa en grandes cantidades. El zinc es un ejemplo típico de un metal cuyo uso en tonelajes relativamente grandes depende no tanto de sus propiedades mecánicas, o aun de su resistencia superior a la corrosión, como de una ventaja especial de proceso. El zinc es débil, cuesta más del doble por libra que el hierro de lingote o el acero de bajo carbono y aun con la buena resistencia a la corrosión usualmente necesita acabados metálicos para obtener buena apariencia, pero su bajo punto de fusión permite su uso en la fundición

por inyección en molde con vidas de moldes de más larga duración que con cualquier otro metal comúnmente fundido.

Los metales NF son imprescindibles en la industria metalúrgica para la fabricación de multitud de productos. Se clasifican en metales pesados y metales ligeros.

Se consideran como metales pesados aquellos cuya densidad es mayor de  $5 \text{ kg/dm}^3$  y como ligeros aquellos que no llegan a esa densidad de  $5 \text{ kg/dm}^3$ . Los principales metales pesados son: cobre, zinc, estaño, plomo, níquel, cromo, tungsteno, molibdeno, cobalto, manganeso, antimonio, cadmio, bismuto, mercurio. Y los metales preciosos: plata, oro y platino. Los metales ligeros más frecuentemente empleados son el aluminio, el magnesio, el titanio y el berilio. La mayoría de los metales en estado puro son blandos y poseen sólo una resistencia mecánica reducida. Las propiedades de los metales puros pueden mejorarse mediante aleación e incluso pueden obtenerse con ello determinadas nuevas propiedades.

Se entiende por alear el mezclar dos o más metales en estado líquido. Mediante la aleación aumentan casi siempre la dureza y la resistencia mientras que en cambio disminuye el alargamiento. La conductibilidad eléctrica empeora.

En el trabajo con arranque de viruta se forman virutas más favorables. Las aleaciones tienen siempre un punto de fusión inferior al del metal contenido en la aleación que posea el punto de fusión más elevado y puede incluso llegar a ser inferior al del metal que lo tuviera más bajo en la aleación. El color de un metal también se altera mediante aleación. La resistencia a la corrosión también empeora generalmente mediante la aleación en los metales no féreos.

Cuanto más alto sea el grado de pureza de un metal, tanto más elevados son su punto de fusión y su conductibilidad eléctrica.

Tabla IV. **Características de la mayoría de los metales no férricos**

<b>Aplicaciones</b>			
<b>Metal</b>	<b>Características principales</b>	<b>Puro o como metal base</b>	<b>Como constituyente de aleación</b>
Antimonio	Duro, frágil	Ninguna	1% - 12% endurece el plomo Aleaciones de fusibles
Berilio	Metal estructural más ligero Razón alta resistencia a peso Frágil, transparente a los rayos X	Estructuras de aviones y cohetes, ventanas de tubos de rayos X	2% endurece al cobre
Bismuto	Suave, frágil, coeficiente de resistividad altamente negativo	Uso restringido por el costo Elementos especiales de resistencia	Aleaciones para fusibles
Cadmio	Resistencia a la temperatura más alta que el estaño o aleaciones con base de plomo, resistente a la corrosión	Recubrimiento, especialmente en acero, aleaciones de cojinetes, soldaduras	Aleaciones de cojinete, soldaduras
Cerio	Suave, maleable, dúctil	Rara	Piedras de encendedores, hierro modular, eleva la resistencia a la cedencia plástica del Al, Mg, Ni, Cr

Continuación de la tabla IV.

<b>Aplicaciones</b>			
<b>Metal</b>	<b>Características principales</b>	<b>Puro o como metal base</b>	<b>Como constituyente de aleación</b>
Cobalto	Débil, frágil, muy resistente a la corrosión	Rara	Aleaciones para alta temperatura, imanes permanentes, caras duras de herramientas de acero
Columbio (Niobio)	Alto punto de fusión, resistente a la corrosión	Reactores nucleares, proyectiles, cohetes, tubos electrónicos	Aleaciones para alta temperatura, aceros inoxidable, aceros nitridados
Germanio	Frágil, resistente a la corrosión, semiconductor	Diodos, transistores	Rara
Oro	Dúctil, maleable, débil, resistente a la corrosión	Chapeado, joyería, trabajo dental, contactos eléctricos	Rara
Indio	Suave, bajo punto de fusión	Ninguna	Endurecedor para la plata y el plomo, resistencia a la corrosión en cojinetes
Iridio	El metal más resistente a la corrosión	Ninguna	Endurecedor para joyería de platino, aleaciones de contacto

Continuación de la tabla IV.

<b>Aplicaciones</b>			
<b>Metal</b>	<b>Características principales</b>	<b>Puro o como metal base</b>	<b>Como constituyente de aleación</b>
Plomo	Débil, suave, maleable, resistente a la corrosión	Equipo químico, acumuladores eléctricos, recubrimiento de techos, plomería	Mejora la facilidad de maquinado del acero y de la mayoría de las aleaciones no férreas, soldaduras, aleaciones de cojinetes
Manganeso	Resistencia moderada, dúctil	Rara	Al 2% aceros de baja aleación, al 12% aceros resistentes a la abrasión, aceros inoxidable
Mercurio	Líquido a la temperatura ambiente	Termómetros, interruptores	Aleaciones de bajo punto de fusión, amalgama con plata para uso dental
Molibdeno	Alto punto de fusión, alta resistencia a temperatura elevada, se oxida rápidamente a alta temperatura	Alambre de alta temperatura, uso estructural con protección de la superficie, contactos de interruptor de mercurio	Aceros de baja aleación, aleaciones de alta temperatura, acero inoxidable, aceros para herramientas
Platino	Dúctil, resistente a la corrosión	Catalizador químico, contactos eléctricos	Joyería, aleaciones dentales
Rodio	Alta reflectividad, libre de películas de óxido, químicamente inerte	Espejos, plateado	Con platino y paladio

Continuación de la tabla IV.

<b>Aplicaciones</b>			
<b>Metal</b>	<b>Características principales</b>	<b>Puro o como metal base</b>	<b>Como constituyente de aleación</b>
Selenio	Propiedades eléctricas y ópticas especiales	Rectificadores, fotoceldas	Facilidad de maquinado del acero inoxidable
Plata	La más alta conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión en atmósferas sin azufre	Monedas, joyería, loza de mesa, contactos eléctricos, plateado, catalizador, reflectores	Aleaciones para latonado y soldadura, aleaciones para cojinetes
Silicio	Semiconductor, propiedades eléctricas y ópticas especiales	Rectificadores, transistores, fotoceldas	Acero eléctrico, hierro fundido, fundiciones no ferrosas
Tantalio	Alto punto de fusión, dúctil, resistencia a la corrosión	Insertos quirúrgicos, capacitores, herraje químico, tubos electrónicos	Herramientas cortantes de carburo de tantalio
Estaño	Suave, débil, maleable, resistente a la corrosión	Plateado, envases para pasta dentífrica	Bronces, soldaduras, aleaciones de cojinetes
Titanio	Densidad entre el acero y las aleaciones ligeras, alta resistencia, resistente a la corrosión	Equipo marino, químico, proceso de alimentos, equipo aeronáutico, cohetes, ortopédico y ortodoncia	Aleaciones de alta temperatura, acero inoxidable, aleaciones de aluminio, herramientas de carburo de titanio

Continuación de la tabla IV.

<b>Aplicaciones</b>			
<b>Metal</b>	<b>Características principales</b>	<b>Puro o como metal base</b>	<b>Como constituyente de aleación</b>
Tungsteno	El metal con más alto punto de fusión, fuerte, alto módulo de elasticidad, resistente a la corrosión	Filamentos de lámparas, contactos, objetivos de rayos X, reactores nucleares	Aleaciones de acero, aceros para herramienta, aleaciones para alta temperatura, herramientas de carburo de tungsteno
Vanadio	Resistencia moderada, dúctil	Rara	Aleaciones de acero, acero para herramienta, desoxidante de no féreos
Zirconio	Resistencia moderada, dúctil, resistencia a la corrosión	Partes estructurales en reactores nucleares	Aceros inoxidables

Fuente: Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. p. 156.

### **1.3.1.1. Normalización de los metales no féreos y de sus aleaciones**

En los metales puros según DIN 1700, detrás del símbolo químico se indica generalmente el grado de pureza del metal en porcentaje, así, por ejemplo, Zn 99,99 es un cinc fino con un grado de pureza del 99,99%. En el cobre, por el contrario, el grado de pureza se indica mediante las letras de A hasta F. Aquí el F-Cu es más puro que el A-Cu. Para el E-Cu (cobre electrolítico) lo único decisivo es la conductibilidad eléctrica. Los tipos de cobre

exentos de oxígeno se caracterizan por medio una S antepuesta, SF-Cu, por ejemplo, es un cobre exento de oxígeno con un grado de pureza del 99,9%.

Las aleaciones de los metales no férreos (NF) se clasifican en aleaciones de fusión o aleaciones de forja. Las aleaciones de fusión poseen para la actual forma de colar, propiedades más favorables para la colada. Se prestan por ello para la fabricación de piezas fundidas. Las aleaciones de forja se pueden deformar (modelar) bien sin recurrir al arranque de viruta, tanto en frío como en caliente. Se pueden hacer con estas aleaciones: barras, alambres, chapas, tubos y perfiles.

Las aleaciones de metales NF se designan por el metal que entra en mayor proporción en la aleación, el metal básico posponiéndole las expresiones aleación de fusión o aleación de forja, por ejemplo, aluminio-aleación de fusión, o níquel-aleación de forja. En las aleaciones de cobre, según la nueva normalización, se citan después del metal básico uno o dos de los metales de la aleación, empezándose casi siempre la denominación con la palabra aleación, por ejemplo aleación cobre-estaño o aleación cobre-níquel-zinc.

### **1.3.2. Metales preciosos**

Se llaman metales preciosos los que no son atacables por la mayoría de los productos químicos y que, ni aun bajo la acción del calor, se combinan con el oxígeno del aire. Generalmente se presentan en la naturaleza en estado libre (sin combinar). Los metales preciosos más importantes son: la plata (Ag), el oro (Au) y el platino (Pt). Menor importancia tienen el iridio (Ir), el osmio (Os), el paladio (Pd), el rodio (Rh) y el renio (Re), estos últimos de la familia del platino, los cuales se caracterizan por la suavidad, buena conductividad eléctrica y muy alta resistencia a la corrosión por ácidos y sustancias químicas comunes.

Figura 6. **Metales preciosos (Oro y plata)**



Fuente: <http://criss-creacioneskristal.blogspot.com/2010/02/metales-preciosos-el-oro.html>.

Consultado el 23 mayo del 2011.

#### **1.4. Fundamentos de la fundición**

La fundición es el proceso que hace que el material líquido llene una cavidad y se solidifique en una forma útil. Es un método básico de producir formas. Excepto por un muy reducido volumen de pocos metales producidos por métodos electrolíticos o químicos puros, todo el material que se usa en la manufactura de metal se funde en alguna etapa de su proceso. Las fundiciones de todas clases de metales, en tamaños desde una fracción de una onza a muchas toneladas, se usan directamente con o sin proceso posterior de formado, para muchos artículos de manufactura. Aun los materiales que se consideran como de forja, principian como lingotes fundidos antes del trabajo de deformación en el estado sólido que los coloca en su condición final.

### **1.4.1. El proceso**

El proceso se inicia con un modelo. El proceso de fundir o colar, consiste de una serie de pasos secuenciales realizados en un orden definido. Primero, debe escogerse o construirse un modelo que representa el producto terminado. Los modelos o patrones pueden ser de estilos diferentes, pero siempre tienen la forma de la parte terminada, y, aproximadamente el mismo tamaño que la parte terminada, con dimensiones ligeramente aumentadas, para permitir la contracción y las tolerancias adicionales en las superficies por maquinarse. En algunos procesos de fundición, sobre todo los que se realizan con moldes de metal, el modelo real puede ser solamente una consideración de diseño con el molde llenando la función de un negativo del modelo, como se hace con todos los moldes.

Los ejemplos pueden ser moldes para lingotes, fundición en dado y fundiciones en moldes permanentes. La mayoría de las partes de plástico se hacen en moldes de este tipo, pero con los plásticos, el proceso con frecuencia se llama moldeo más bien que fundición.

Con el modelo se construye un molde. En algunos procesos de fundición, el segundo paso es preparar un molde de material que puede hacerse que fluya en contacto estrecho con el modelo y que tenga suficiente resistencia para mantener esa posición. El molde está diseñado de tal modo que puede abrirse para quitar el modelo. El modelo puede tener aditamentos que forman pasajes en el molde para servir como canales para el flujo de material en la cavidad. Si el modelo no tiene estos aditamentos, estos canales, o corredores, deben cortarse en el material de moldeo. En cualquier caso, debe cortarse o formarse una abertura al exterior del molde llamada bebedero.

La cavidad del molde se llena con material fundido. El metal líquido se vierte a través de los canales para llenar la cavidad. Después que ha pasado tiempo suficiente para que ocurra la solidificación, se abre el molde. El producto está entonces listo para eliminar el metal en exceso que se ha solidificado en los corredores, se limpia para sacar cualquier material de moldeo remanente y se inspecciona para determinar si han ocurrido defectos en el proceso. La fundición así producida es un producto terminado del taller de fundición. Este producto ocasionalmente puede usarse así, pero con más frecuencia necesita procesos adicionales, tales como el maquinado para mejorar las calidades de la superficie y las dimensiones y, por tanto, es materia prima para otra área de proceso.

La fundición es una gran industria. El tonelaje producido por los talleres de fundición en Estados Unidos es muy grande, asciende a casi 20 millones de toneladas (18 millones de toneladas métricas) al año. Los talleres de fundición están dispersos en todo Estados Unidos, pero se concentran principalmente en la parte oriental del país y la costa occidental, en las dos áreas donde se realiza el trabajo principal de manufactura.

Los talleres de fundición tienden a especializarse. Debido a las diferencias en los problemas y el equipo relacionados con la fundición de materiales diferentes, la mayoría de los talleres de fundición se especializan en la producción de fundiciones ya sean férreas o no férreas. Relativamente en pocos talleres de fundición se producen fundiciones de ambas clases de materiales en cantidades apreciables.

Pocos talleres de fundición son grandes y emplean varios cientos de trabajadores, pero la mayoría son pequeños con uno a cien empleados.

La mayoría de los talleres grandes son talleres de fundición cautivos, propiedad de compañías manufactureras que usan toda o casi toda la producción del taller filial. La mayoría de las fundiciones pequeñas son de propietario independiente y contratan a fabricantes para la venta de sus fundiciones. Algunos talleres de fundición, con más frecuencia los grandes, pueden producir un artículo de suficiente demanda para que la planta entera se dedique a la fabricación de ese producto en una operación del tipo de producción continua. Sin embargo, la mayoría, operan como talleres con órdenes de trabajo que producen artículos diferentes, uno a la vez, y que cambian continuamente de un producto a otro, aunque la duplicación de algunas partes pueda llegar a miles.

Figura 7. **Fundición**



Fuente: <http://www.bazus.com/noticias/default.asp?nid=34>. Consultado el 24 mayo del 2011.

## 1.5. Trabajo artístico y joyería

Dentro del trabajo artístico con metales se encuentra la joyería, entre otras técnicas o prácticas, para las cuales existen herramientas, utensilios e instrumentos específicos.

### 1.5.1. Introducción al trabajo artístico y a la joyería

En el trabajo artístico se hacen artículos de hermoso diseño con una gran variedad de metales y procesos. El trabajo de joyería es análogo, excepto que los artículos son más pequeños, más complicados y casi todos son para uso personal. En la platería se hacen cubiertos, vajillas y similares con plata *Sterling* (esterlina).

Figura 8. Joyería



Fuente: <http://hugueth.wordpress.com/2011/04/14/oro-joyeria/>. Consultado el 24 mayo del 2011.

### 1.5.2. Herramientas y procesos

Además de las operaciones con herramientas utilizadas para el trabajo en banco y con lámina, se utilizan muchos procesos especiales en el trabajo

artístico (tabla V). También se realizan el perfilado y formado, y las operaciones de decoración de la superficie, tales como perforado y aplanado, acanalado, abocinado, coloreado y grabado con ácido. En la joyería y la platería se utilizan otros decorados de superficies como grabado con buril, esmaltado, fileteado, repujado y filigrana.

Tabla V. **Operaciones de trabajo artístico**

<b>Operaciones de corte</b>	<b>Equipo utilizado</b>
calado y recortado	sierra de arco, sierra cinta, sierra de joyero
cizallado	tijera para lámina, tijera cizalla de banco
abrasión	esmeril y abrasivos
punzonado	punzones y sacabocados
grabado con ácido	liquidos y protectores para grabar
<b>Operaciones de formado</b>	<b>Equipo utilizado</b>
doblado	herramientas dobladoras de lámina
rechazado	máquina y herramientas para rechazado
repujado manual sin molde	martillos y formas
realzado	martillos y formas
perfilado	martillo y herramientas perfiladoras
burilado	martillo y buriles
estampado	martillo y herramientas estampadoras
realzado en hoja metálica	herramientas para moldear o modelar
estriado	martillo y herramientas para estriar
abovedado	martillo y herramientas para abovedar
festoneado	herramientas para festonar
abocinado	martillo y herramientas abocinadoras
<b>Operaciones de sujeción</b>	<b>Equipo utilizado</b>
soldadura blanda	equipo para soldar
soldadura fuerte	equipo para soldar
remachada	herramientas remachadoras
adherencia	cementos y adhesivos

Continuación de la tabla V.

<b>Operaciones de acabado</b>	<b>Equipo utilizado</b>
esmaltado	materiales y horno para esmaltar
aplanado	martillos y bigornetas para aplanar
bruñido	compuestos y máquina para bruñir
coloreado	productos químicos y calentadores
revestimientos	lacas, pinturas y plástico en aerosol

Fuente: FEIRER, John L. Metalistería, arte y ciencia del trabajo con metales. p. 241.

El grabado con buril es perfilar un dibujo en una superficie de metal con herramientas puntiagudas, en la joyería se suele hacer con máquina, pero el grabado a mano se suele hacer como pasatiempo o como trabajo artesanal. El repujado es semejante al perfilado de hojas delgadas de metal. Para hacer que el dibujo resalte o quede en relieve, se coloca el metal sobre una sustancia blanda, por ejemplo brea, y se martilla con punzones por el frente y el reverso. La filigrana es el arte de doblar alambre muy delgado en formas complicadas. Para el esmaltado se hornea una capa permanente, vítrea, de color, sobre el metal, por lo general, cobre o plata.

Figura 9. Trabajo artístico en metal



Fuente: [http://bolibar.productes.net/taller\\_metalisteria.htm](http://bolibar.productes.net/taller_metalisteria.htm). Consultado el 24 mayo del 2011.

### **1.5.3. Materiales**

Por lo general, se utilizan metales no férricos para el trabajo artístico y la joyería, las láminas más comunes son las de cobre, latón, aluminio, bronce y peltre, cuyo espesor es desde alrededor de calibre 36 (0,13 mm) para perfilado hasta calibre 18 (1 mm) para realzado y perforado. Además, se utilizan alambres, barras y varillas metálicos. Así mismo, se emplean plata y oro, pero son costosos.

### **1.5.4. Procesos en la manufactura**

Casi todas las operaciones en el trabajo artístico son similares a las que se emplean en la industria para configurar piezas de metal.

### **1.5.5. Oportunidades en la joyería y la relojería**

Hay miles de personas empleadas como joyeros, reparadores de joyas, relojeros, orfebres y plateros. Los joyeros son operarios especializados que hacen y reparan anillos, prendedores y otros ornamentos, utilizando herramientas de mano y algunas máquinas pequeñas, como un torno de joyero. Trabajan con oro, plata, platino y otros metales preciosos y con piedras preciosas y semipreciosas. Los plateros se especializan en el diseño y construcción de cubiertos, vajillas y otros objetos de plata.

A muchas personas les gusta hacer trabajos artísticos y de joyería como pasatiempo. Es una actividad muy buena para el tiempo libre, porque se necesitan sólo unas cuantas herramientas de mano y un espacio pequeño, y porque los costos son bajos con relación al valor del artículo terminado.

## **2. FUNDICIÓN**

### **2.1. Introducción a la fundición**

La fundición o vaciado del metal es un proceso muy importante para el trabajo con metales. Se utiliza para producir miles de artículos diferentes, desde placas dentales hasta prensas hidráulicas gigantescas. El arte de la fundición o vaciado de metal data de hace más de 5 000 años y sigue siendo una de las industrias básicas en el mundo. Fundición es también el nombre dado a un taller en donde se funden productos de metal. Muchos productos metálicos que se utilizan en los hogares contienen piezas fundidas. Todo, desde las perillas de puertas, joyería y muebles hasta muchas piezas de bicicletas, automóviles, aviones y otros vehículos tienen piezas hechas por fundición.

La fundición es y ha sido una de las industrias más importantes para reciclar metales, por que mucha chatarra de metal se utiliza como materia prima en las fundiciones.

La fundición incluye hacer un molde, el cual tiene una cavidad o abertura con la forma del producto que se va a fundir. Se vierte o cuela el metal fundido en el molde y se deja enfriar y endurecer. Con ello, adopta la forma de la cavidad del molde.

### **2.1.1. Metales utilizados en la fundición**

La mayor parte de las piezas de fundición se hacen con metales férreos, en particular hierro gris, acero y hierro maleable. Alrededor del 75% de los operarios de fundición trabajan en fundiciones de metal férreo. Los otros trabajan en fundiciones de metales no férreos, en donde se funden aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, plomo y zinc.

### **2.1.2. Ocupaciones en la fundición**

En las fundiciones emplean ingenieros, científicos, técnicos, operarios especializados, semiespecializados y trabajadores. El ingeniero y el metalurgista controlan la calidad del metal. También, un ingeniero examina las piezas fundidas y moldes y supervisa a muchos técnicos en fundición. Los modelos los hacen personas muy especializadas y expertas en trabajar con madera y metal, llamados modelistas. Los moldes de la fundición los hacen operarios especializados y semiespecializados. Al operador del horno se le llama fundidor, así como también al operario que vacía el metal fundido.

Las piezas terminadas las acaban operarios llamados cinceladores, esmeriladores y acabadores. En conjunto, alrededor de 450 000 personas trabajan en fundición en Estados Unidos (1990). De este número, alrededor de 80 000 laboran en puestos profesionales, de oficina, administrativos y de ventas. Hay casi 8 000 ingenieros, químicos, metalurgistas y otros científicos en la industria.

### **2.1.3. Tipos de fundiciones**

Hay dos tipos básicos de fundiciones: trabajo sobre pedido y producción. La fundición para trabajo sobre pedido, a veces es pequeña, y hacen muchos tipos diferentes de piezas de todos los tamaños y pesos, en cantidades limitadas. A veces, hacen una sola pieza que les piden. La fundición para producción suele ser grande. El trabajo está limitado, en general, a unos cuantos modelos con los cuales se hacen miles de piezas. Casi todo el trabajo de fundición en Estados Unidos se hace en la zona de los Grandes Lagos, en la costa del pacífico y en Alabama.

### **2.1.4. La fundición como pasatiempo**

Para las personas a quienes les agrada hacer modelos, la fundición de piezas pequeñas puede ser un pasatiempo (*hobby*) fascinante. Se pueden hacer piezas o accesorios pequeños para modelos de aviones, trenes o embarcaciones con moldes de arena, yeso o metal. A quienes les interesa la joyería pueden hacer moldes con yeso para hacer broches, anillos y otras piezas. También se pueden hacer muchas otras piezas.

## **2.2. Fundición y colado**

El objetivo de la fundición y colado de un metal puro es principalmente cambiar su forma para asegurarse así la obtención de otra adecuada para un trabajo subsecuente. La fusión hace posible en las aleaciones, la mezcla de los constituyentes metálicos deseados, de tal manera que se logre la composición requerida.

Aunque los factores que se incluyen para obtener con seguridad las formas complicadas de colados comerciales, constituyen un campo importante de estudio, este es más bien un campo altamente especializado y no se puede tratar fácilmente con una exposición concisa. Por esta razón, no se trata aquí con detalle este tema, sino que se supone que la fabricación de un colado en el laboratorio se utiliza sólo como un medio para obtener una muestra adecuada a su uso posterior.

Si el metal que se va a colar es frágil, y por consiguiente no se puede fabricar por laminación, trefilación, etc., se debe emplear luego tal como se obtiene del colado. En este caso, el colado de una forma terminada, como una probeta de tensión, puede ser necesario, aunque en la mayoría de los trabajos, se puede utilizar como probeta adecuada un simple lingote cilíndrico.

La mayoría de las operaciones de fundición y colado se efectúan al aire, con o sin cubiertas protectores parciales, pero es necesario tener vacío o una atmósfera de fusión formada de gas noble, si se desea una contaminación mínima. Tales técnicas refinadas se requieren a menudo al fundir metales comunes como cobre, hierro o níquel y son absolutamente necesarias para la mayoría de los materiales reactivos como circonio, titanio o vanadio.

Excepto por el procedimiento de aleación que se efectúa, no hay diferencia esencial en el manejo de un metal puro o una aleación, por consiguiente, no se hará una descripción separada de los procedimientos a seguir en estos dos casos. Cuando se hace colado de un metal puro, no importa por supuesto, el modo de obtener con seguridad un material homogéneo, ya que no será posible la segregación de componentes, pero si interesa todo lo relacionado con la sanidad del colado y la posible contaminación con la atmósfera durante la fundición o el colado.

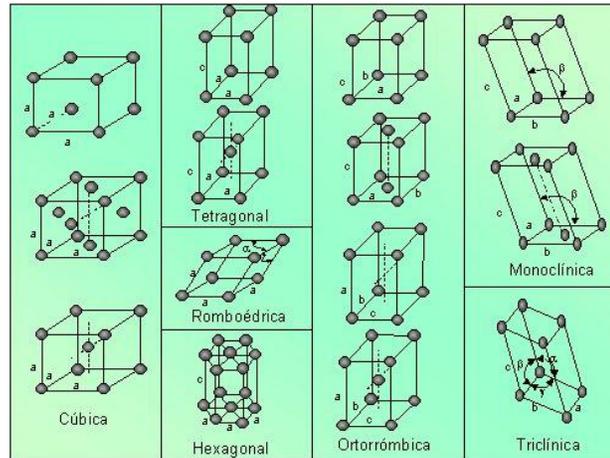
## **2.2.1. Solidificación de metales**

El proceso de fundición implica un cambio de estado del material, desde líquido a sólido, con el control de la forma establecida durante el cambio de estado. Los problemas asociados con el proceso, entonces, son aquellos conectados con los cambios del estado físico y los cambios de propiedades como pueden ser influenciados por la variación de temperatura. La solución a los múltiples problemas de la fundición puede lograrse sólo con un entendimiento del proceso de solidificación y los efectos de la temperatura en los materiales.

### **2.2.1.1. Solidificación**

La energía en forma de calor agregado a un metal cambia el sistema de fuerzas que ligan a los átomos juntos. Eventualmente, conforme se agrega calor, los enlaces que unen a los átomos se rompen y los átomos son libres de moverse como un líquido. La solidificación es el procedimiento inverso, el calor que emite el material fundido debe disiparse. Si se considera solamente un metal puro, el punto de solidificación ocurre a una temperatura única para el líquido entero. Conforme desciende la temperatura, los átomos son cada vez menos móviles y finalmente asumen su posición con otros átomos en la malla espacial de la celda unitaria, la cual crece para formar un cristal.

Figura 10. **Representación de las celdas unitarias**



Fuente: <http://personales.upv.es/~avicente/curso/unidad3/naturaleza2.html>. Consulta 24 de mayo de 2011.

### 2.2.1.2. **Contracción**

La contracción ocurre en tres etapas. Uno de los problemas más importantes en el proceso de fundición son los de la contracción. La cantidad de contracción que ocurre varía según el material que se funde, pero también está influenciado por el procedimiento y técnicas de fundición.

La primera etapa de contracción es en el líquido. En el proceso de fusión, preparatorio al colado de fundiciones, el metal siempre se calienta bastante arriba de la temperatura de fusión. El calor adicional arriba del necesario para fusión se llama sobrecalentamiento. Esto es necesario para que el líquido tenga fluidez y para que los aditivos fríos se mezclen con el metal antes de la colada. El sobrecalentamiento permite la transferencia del metal y su contacto con equipo frío sin iniciar la solidificación, y asegura que transcurra suficiente tiempo antes de que ocurra la solidificación para permitir el manejo del material.

Durante la transferencia se pierde un poco de sobrecalentamiento del metal líquido desde el equipo de fusión al molde. Sin embargo, conforme el metal se cuela en el molde, debe permanecer suficiente sobrecalentamiento para asegurarse de que el molde se llenará. La pérdida de sobrecalentamiento resulta en contracción y densidad aumentada, pero no causa problemas serios en la fundición. El cambio de volumen puede compensarse si se cuela material adicional en la cavidad del molde, conforme se pierde el sobrecalentamiento. Existe una excepción cuando la cavidad es de un diseño tal, que parte del metal puede solidificarse y evitar el flujo del metal líquido para reponer la contracción.

Contracción de solidificación. La segunda etapa de la contracción ocurre durante la transformación de líquido a sólido. El agua es la excepción a esta regla, pero la mayoría de los materiales son más densos como sólidos que como líquidos. El metal se contrae conforme cambia de líquido a sólido. En la tabla VI se muestra la contracción volumétrica de solidificación para algunos de los metales comunes. La contracción a esta etapa puede reponerse en parte, debido a que el metal no está todavía solidificado. Si se mantiene abierta una trayectoria adecuada, el metal líquido puede fluir de las zonas calientes para reponer la mayor parte de la contracción.

Sin embargo, debe recordarse, que en la formación de la estructura dendrítica (crecimiento de los cristales en forma de columna hacia el centro de las secciones pesadas de la fundición) de grano se han dejado pequeñas bolsas completamente encerradas con material líquido. Dependiendo de las características del material y del tamaño de las bolsas de líquido, la contracción localizada formará diminutos vacíos distribuidos al azar, los cuales se conocen como microporosidad. La microporosidad causa una reducción en la densidad y tiende a reducir la contracción que puede observarse en la superficie de una fundición.

Tabla VI. **Contracción por solidificación aproximada de algunos metales comunes**

<b>Metal</b>	<b>Contracción volumétrica en porcentaje</b>
Hierro gris	0 – 2
Acero	2,5 - 4
Aluminio	6,6
Cobre	4,9

Fuente: Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. p. 218.

La contracción que ocurre durante la solidificación y la microporosidad que con frecuencia la acompaña, se reducen al mínimo en los materiales que están cerca de la composición eutéctica (solidificación a una sola temperatura que es menor que la de los componentes individuales de la aleación). Parece que esto se debe a la solidificación más uniforme con bajo gradiente de temperatura y más nucleación al azar que produce una estructura de grano fino.

Macroporosidad. La porosidad de una fundición puede amplificarse por la evolución de gas antes y durante la solidificación. El gas puede formar bolsas o burbujas, o puede entrar en los vacíos de microporosidad para alargarlos. Por lo general, el gas desarrollado es hidrógeno, el cual puede combinarse con el oxígeno disuelto para formar vapor de agua. Estas aberturas de largo tamaño, dispersas aleatoriamente en el metal sólido, se conocen como Macroporosidad.

La contracción en el estado sólido. La tercera etapa de la contracción es la que ocurre después de que tuvo lugar la solidificación y es la causa principal del cambio dimensional a un tamaño diferente del modelo que se usa en el molde. Aunque la contracción de solidificación puede contribuir en algunos casos, la contracción del metal sólido es el principal elemento de la contracción del modelista, la cual debe compensarse si se hace el modelo más grande. Como

se muestra en la tabla VII, esta contracción varía considerablemente con diferentes metales.

Un cambio dimensional real debe ser igual al coeficiente de la expansión (y contracción) del material multiplicado por las dimensiones y por el cambio de temperatura en grados. En la práctica, se añaden valores aproximadamente promedio a cada dimensión, con frecuencia por el uso de reglas de modelista para la contracción, cuya longitud real es mayor que la indicada por las marcas de calibración.

Tabla VII. **Demasías para contracción comunes para la preparación de modelos**

<b>Metal</b>	<b>Porcentaje de demasía</b>
Hierro gris	1
Acero	1,0 – 2,0
Aluminio base	1,0 – 1,5
Magnesio base	1,0 – 4,0
Cobre base	1,0 – 2,0

Fuente: Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. p. 220.

### **2.3. Procesos de fundición**

Los procesos de fundición consisten en hacer los moldes, preparar y fundir el metal, vaciar el metal en el molde, limpiar las piezas fundidas y recuperar la arena para volver a usarla. El producto de la fundición es una pieza colada (fundida, vaciada o de fundición) que puede variar desde una fracción de kilogramo hasta varias toneladas, también puede variar en su composición, ya que prácticamente todos los metales y aleaciones se pueden fundir.

La fundición se ha practicado desde el año 2000 a. de J. C. y el proceso utilizado entonces, es poco diferente en principio del aplicado en la actualidad. Los talleres de fundición del siglo XX tienen ahora muchos propósitos: ellos pueden fundir el hierro y luego maquinar el producto.

Sin embargo, la investigación ha traído consigo aplicaciones y adaptaciones que hasta entonces no se habían considerado dentro del alcance de la industria de la fundición. Las altas cifras de producción, el buen acabado de las superficies, las pequeñas tolerancias en las dimensiones y la mejoría en las propiedades de los materiales, han permitido fundir partes de forma complicada ya sea de gran tamaño o pequeño.

### **2.3.1. Tipos de fundición a la arena**

Existen dos métodos diferentes por los cuales la fundición a la arena se puede producir. Se clasifica en función de tipo de modelo usado, ellos son: (1) modelo removible y (2) modelo disponible (desechable).

En el método empleando modelo removible, la arena es comprimida alrededor del modelo el cual se extrae más tarde de la arena. La cavidad producida se alimenta con metal fundido para crear la fundición. Los modelos desechables son hechos de poliestireno y en vez de extraer el modelo de la arena, se vaporiza cuando el metal fundido es vaciado en el molde.

Para entender el proceso de fundición, es necesario conocer cómo se hace un molde y qué factores son importantes para producir una buena fundición.

Los principales factores son:

- Procedimiento de moldeo
- Modelo
- Arena
- Corazones
- Equipo mecánico
- Metal
- Vaciado y Limpieza

#### **2.3.1.1. Modelos**

El modelo es una parte esencial en la manufactura de fundiciones por la mayoría de los procedimientos. El medio de moldeo se empaca alrededor del modelo, de manera tal que permita separar el modelo del molde y que deje una imagen en la superficie sin dañar al molde. La manufactura de modelos es un arte, ya que la mayoría de los modelos se hacen en talleres especializados. Los grandes talleres de fundición, con frecuencia operan su propio taller de modelos para la manufactura, mantenimiento y reparación. Los pequeños talleres de fundición adquieren los servicios de suministro de modelos, de talleres modelistas independientes.

Figura 11. **Modelos para fundición**



Fuente: <http://www.fabrinco.com/aplicacion.php?id=63>. Consulta 24 de mayo de 2011.

#### **2.3.1.2. Arena**

Es el principal material estructural para el molde. La arena sílica ( $\text{SiO}_2$ ) se encuentra en muchos depósitos naturales, y es adecuada para propósitos de moldeo porque puede resistir altas temperaturas sin descomponerse. Esta arena es de bajo costo, tiene gran duración y se consigue en una amplia variedad de tamaños y formas de granos. Por otra parte, tiene una alta relación de expansión cuando está sometida al calor y tiene cierta tendencia a fusionarse con el metal. Si contiene un alto porcentaje de polvo fino, puede ser un peligro para la salud.

La arena sílica pura no es conveniente por sí misma para el trabajo de moldeo, puesto que adolece de propiedades aglomerantes. Las propiedades aglomerantes se pueden obtener por adición de 8 a 15% de arcilla.

Figura 12. **Arena sílica**



Fuente: <http://www.hotfrog.com.mx/Companies/Grupo-Arenas-y-Gravas-Silicas/Arena-Silica-4553>. Consulta 24 de mayo de 2011.

### **2.3.1.3. Corazones**

Los corazones son cuerpos de material de moldeo, usualmente en forma de insertos que excluyen el flujo de metal para formar superficies internas en una fundición. Se considera que el cuerpo es un corazón cuando está hecho de arena verde y solamente si se extiende a través de la cavidad para formar un agujero en la fundición. Los corazones de arena verde se forman en el modelo por el procedimiento usual de moldeo.

### **2.3.1.4. Procedimiento de moldeo**

Los moldes se clasifican según los materiales usados.

- a. Moldes de arena en verde. Es el método más común que consiste en la formación del molde con arena húmeda, usada en ambos procedimientos previamente descritos.

- b. Moldes con capa seca. Dos métodos son generalmente usados en la preparación de moldes con capa seca. En uno, la arena alrededor del modelo a una profundidad aproximada de 10 mm se mezcla con un compuesto de tal manera que se seca y se obtiene una superficie dura en el molde. El resto del molde está hecho con arena en verde ordinaria. El otro método es hacer el molde entero de arena en verde y luego cubrir su superficie con un rociador de tal manera que se endurezca la arena cuando el calor es aplicado.

Los rociadores usados para este propósito contienen aceite de linaza, agua de melaza, almidón gelatinizado y soluciones líquidas similares. En ambos métodos el molde debe secarse de dos maneras: por aire o por una antorcha para endurecer la superficie y eliminar el exceso de humedad.

- c. Moldes con arena seca. Estos moldes son hechos enteramente de arena común de moldeo mezclada con un material aditivo similar al que se emplea en el método anterior. Los moldes deben ser cocidos totalmente antes de usarse, siendo las cajas de metal. Los moldes de arena seca mantienen esta forma cuando son vaciados y están libres de turbulencias de gas debidas a la humedad. Los moldes con capa seca y los moldes de arena seca son ampliamente usados en fundiciones de acero.
- d. Moldes de arcilla. Los moldes de arcilla se usan para trabajos grandes. Primero se construye el molde con ladrillo o grandes partes de hierro. Luego, todas estas partes se emplastecen con una capa de mortero de arcilla, la forma del molde se empieza a obtener con una terraja o esqueleto del modelo. Luego se permite que el molde se seque completamente de tal manera que pueda resistir la presión completa del

metal vaciado. Estos moldes requieren de mucho tiempo para hacerse y su uso no es muy extenso.

- e. Moldes furánicos. Este proceso es bueno para la fabricación de moldes usando modelos y corazones desechables. La arena seca de grano agudo se mezcla con ácido fosfórico el cual actúa como un acelerador. La resina furánica es agregada y se mezcla en forma continua el tiempo suficiente para distribuir la resina. El material de arena empieza a endurecerse casi de inmediato al aire, pero el tiempo demora lo suficiente para permitir el moldeo.

El material usualmente se endurece de 1 a 2 horas, tiempo suficiente para permitir alojar los corazones y que puedan ser removidos en el molde. En uso con modelos desechables la arena de resina furánica puede ser empleada como una pared o cáscara alrededor del modelo que estará soportado por arena de grano agudo o en verde o puede ser usada como el material completo del molde.

- f. Moldes de CO<sub>2</sub>. En este proceso la arena limpia se mezcla con silicato de sodio y esta es apisonada alrededor del modelo. Cuando el gas de CO<sub>2</sub> es alimentado a presión en el molde, la arena mezclada se endurece. Piezas de fundición lisas y de forma intrincada se pueden obtener por este método, aunque el proceso fue desarrollado originalmente para la fabricación de corazones.
- g. Moldes de metal. Los moldes de metal se usan principalmente en fundición en matriz de aleaciones de bajo punto de fusión. Las piezas de fundición se obtienen de formas exactas con una superficie fina, esto elimina mucho trabajo de maquinado.

- h. Moldes especiales. Plástico, cemento, yeso, papel, madera y hule, todos éstos son materiales usados en moldes para aplicaciones particulares.

Los procesos de moldeo en fundición comercialmente ordinaria pueden ser clasificados como:

- a. Moldeo en banco. Este tipo de moldeo es para trabajos pequeños, y se hace en un banco de una altura conveniente para el moldeador.
- b. Moldeo en piso. Cuando las piezas de fundición aumentan en tamaño, resulta difícil su manejo, por consiguiente, el trabajo es hecho en el piso. Este tipo de moldeo se usa para prácticamente todas las piezas medianas y de gran tamaño.
- c. Moldeo en fosa. Las piezas de fundición extremadamente grandes son moldeadas en una fosa en vez de moldear en cajas. La fosa actúa como la base de la caja, y se usa una capa separadora encima de él. Los lados de la fosa son una línea de ladrillos y en el fondo hay una capa gruesa de carbón con tubos de ventilación conectados al nivel del piso. Entonces los moldes de fosa pueden resistir las presiones que se desarrollan por el calor de los gases, esta práctica ahorra mucho en moldes costosos.

Figura 13. **Fundición en moldes de arena**



Fuente: [http://www.fundimoldes.com/esp/prod\\_servFundicion.htm](http://www.fundimoldes.com/esp/prod_servFundicion.htm). Consulta 24 de mayo de 2011.

### **2.3.2. Entradas, rebosaderos y características de solidificación**

Los conductos que llevan el metal vaciado a la cavidad del molde, los cuales son conocidos como sistema de alimentación, está usualmente constituido por una vasija de vaciado, comunicado a un canal de bajada o conducto vertical conocido como bebedero, y a un canal a través del cual el metal fluye desde la base del bebedero a la cavidad del molde. En piezas grandes de fundición, un corredor puede usarse, el cual toma el metal desde la base del bebedero y lo distribuye en varios canales localizados alrededor de la cavidad. El propósito de este sistema es, primeramente, colocar el metal dentro de la cavidad.

Como quiera que sea, el diseño del sistema de alimentación es importante e involucra un número de factores.

- El metal debe entrar a la cavidad con el mínimo de turbulencias como sea posible, y cerca del fondo de la cavidad del molde en el caso de fundiciones pequeñas.
- La erosión de los conductos o superficies de la cavidad deben ser evitadas por regulación apropiada del flujo del metal, o por el uso de arena seca de corazones. Las entradas y corredores formados resisten mejor la erosión que aquellos que están cortados.
- El metal debe entrar en la cavidad así como proporcionar una solidificación direccional si es posible. La solidificación debe progresar desde la superficie del molde a la parte de metal más caliente de modo que allí es donde el metal caliente abastece para compensar la contracción.
- Se debe prever que no entre la escoria u otras partículas extrañas a la cavidad del molde. Una vasija de vaciado, próxima a la parte superior del agujero del bebedero, se obtiene para prever en los moldes grandes y facilitar el vaciado y eliminar la escoria para que no entre al molde. El metal debe ser vaciado de tal manera que la vasija de vaciado y el agujero del bebedero estén llenos todo el tiempo. Los canales desnatadores, pueden utilizarse para atrapar la escoria u otras pequeñas partículas dentro del segundo agujero del bebedero.

El canal del molde está restringido de modo que todo el tiempo permite que las partículas floten en el rebosadero dentro del desnatador. Un colador que está hecho de arena seca cocida o de material de cerámica y que sólo puede usarse en la vasija de vaciado para controlar el flujo del metal y para permitir sólo la entrada del metal limpio.

Los rebosaderos que se obtienen proporcionan en los moldes la alimentación del metal líquido a la cavidad principal de la pieza para compensar las contracciones. Estas pueden ser tan grandes en sección, así como el resto del metal líquido, tan grande como sea posible, y pueden localizarse cerca de las secciones grandes que pueden estar sujetas a una gran contracción. Si estas se colocan en la parte superior de la sección, la gravedad puede ayudar a la alimentación del metal en la propia pieza fundida.

Los rebosaderos ciegos son como rebosaderos con cúpula, se localizan en la mitad de la tapa de la caja, los cuales no tienen la altura completa de la tapa. Estos están por lo normal colocados directamente sobre el canal, donde el metal alimenta dentro de la cavidad del molde y entonces complementa el metal caliente cuando el vaciado está completándose.

La contracción volumétrica usualmente ocurre cuando el metal se solidifica resultando una cavidad debido a la contracción, si la solidificación no es dirigida, de modo que algunos huecos causados por la contracción toman lugar en el canal, rebosadero o bebedero. La contracción ocurre en el área donde el metal vaciado tiene una gran estancia. En cada caso, los huecos de contracción causados, pueden ocurrir en las áreas de mayor temperatura, y el diseño del molde debe ser modificado, así como cambiar esta tendencia si dicho hueco es perjudicial para la pieza fundida.

Los insertos metálicos llamados enfriadores son algunas veces usados para controlar la solidificación llevando el calor lejos del metal que se está solidificando a una rapidez mayor. Los compuestos químicos exotérmicos pueden acumularse en la parte más próxima a la pieza fundida de tal manera que el calor es retenido en esa área.

Figura 14. **Molde con corazón y pieza fabricada**



Fuente: <http://www.prototipos.eu/moldes%20arena%20impresoras-3D.html>. Consulta 25 de mayo de 2011.

### **2.3.3. Vaciado y limpieza de piezas**

En talleres y fundiciones de producción pequeña, los moldes se alinean en el piso conforme se van haciendo, y el metal es tomado entonces en pequeñas cucharas de vaciado. Cuando se requiere más metal o si un metal más pesado es vaciado, se han diseñado cucharas para ser usadas por dos hombres. En fundiciones grandes, que están comprometidas en la producción en masa de piezas fundidas, el problema de manejo de moldes y de vaciado de metal se resuelve colocando los moldes sobre transportadores y haciéndolos pasar lentamente por una estación de vaciado.

La estación de vaciado puede ser localizada permanentemente cerca del horno o el metal puede ser traído a ciertos puntos por equipo de manejo aéreo. Los transportadores sirven como un almacén de lugar para los moldes, los cuales son transportados a un lugar de limpieza. Después que la pieza de fundición ha solidificado y enfriado a una temperatura deseable para su manejo,

esta es sacudida del molde. Muchas ocasiones, esto se hace a un molde vibrándolo y ventilándolo.

Los polvos son colectados por un colector de polvos ciclónico que entretiene la arena y es colectada en forma limpia, luego es transportada a la estación de acondicionamiento. Todas las piezas de fundición son retenidas sobre una parrilla de barras del vibrador.

Las piezas de fundición no ferrosas no presentan mucho problema de limpieza, por otra parte se vacían a temperaturas más bajas que el hierro o acero, y la arena tiene poca tendencia a adherirse a la superficie. Las entradas y bebederos son cortados, uno y otro en una prensa o con una sierra de banda, a mano o en máquinas rotatorias de brochado, son usualmente suficientes para preparar las piezas de fundición para las operaciones de maquinado.

Las piezas de fundición de hierro y acero quedan cubiertas con una capa de arena, y con un raspador es algo difícil de remover. Las entradas y rebosaderos de fundición de hierro se deben romper y eliminar, pero para remover los de la fundición de acero, es necesario un cortador de antorcha, un cortador de alta velocidad o uno de volante.

Para limpiar las piezas de fundición, se utilizan métodos severos, dependiendo del tamaño, género y forma de las piezas. El equipo más comúnmente usado es el rotatorio, molino cilíndrico de caída. En este tipo de equipo rotatorio, las piezas se limpian por la acción de la caída de unas sobre otras cuando el molino está rotando. Máquinas grandes de este tipo tienen capacidad por sobre una tonelada por carga. La máquina consiste en un barril de limpiado, formado por un transportador de cortina continuo. El trabajo es que

debajo de la caída se localiza una unidad de soplado justo alrededor de la carga y un tiro metálico es soplado sobre las piezas de fundición.

Después de que golpea la carga, el tiro cae a través de los agujeros en el transportador y es llevado con toda la carga a un separador y al almacén de tolva. Desde allí estas son alimentadas a la unidad de soplado. La unidad es descargada por el movimiento en reversa del transportador de cortina. Un colector de impurezas es instalado con la máquina para eliminar polvos que originen un riesgo.

Las unidades de soplado se pueden usar separadamente para limpieza de piezas de fundición. La arena de grano angular golpea en repetidas ocasiones a las piezas de fundición dentro de una cabina de soplado, removiendo todo indicio de materia y dándole a la pieza de fundición una mejor apariencia en la superficie limpia. En las piezas de fundición que van a ser plateadas o galvanizadas frecuentemente se hace la limpieza de estas, en una solución de ácido diluido y luego se enjuagan en agua caliente. Las piezas de fundición grandes, las cuales son difíciles de manejar a mano, se pueden obtener limpias por medios hidráulicos.

Las piezas son colocadas en un tablero rotatorio, y un flujo de agua bajo una presión considerable baña la pieza y elimina la arena de la pieza.

En suma a estos procesos de limpieza, muchas piezas de fundición requieren de una cierta cantidad de esmerilado para eliminar la tez de fundición y cortar algunos defectos. En sitios portátiles, y esmeriles con estructura de vaivén son usados en este trabajo. Las ruedas abrasivas de corte libre operan alrededor de una cierta velocidad de 2 900 m/min, son también recomendadas.

Figura 15. **Máquina de corte y rectificado controlada electrónicamente, para la limpieza de piezas de fundición.**



Fuente: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/28153-Vorkauf-en-la-Biemh-2008.html>. Consulta 25 de mayo de 2011.

#### **2.3.4. Tecnología del taller de fundición**

Aun cuando el proceso de fundición puede usarse para formar casi cualquier metal, ha sido necesario desarrollar métodos diferentes para acomodar materiales diferentes y satisfacer requisitos diferentes. Cada método tiene ciertas ventajas sobre los otros, pero todos tienen limitaciones, algunos están restringidos a aplicaciones especiales.

La durabilidad y precisión del molde afectan los costos. Por supuesto, hay diferencias económicas basadas en el tiempo, cuidado y habilidad necesarios para producir un buen artículo y el costo del equipo necesario para realizar el trabajo. Además de estos factores directos de costo, hay dos factores indirectos determinantes para que un método sea adecuado para producir una fundición. Uno es la capacidad de un material de moldeo para soportar las temperaturas a las cuales los metales líquidos deben colarse.

Las aleaciones de baja temperatura de fusión pueden colarse por casi cualquier método, suponiendo que el análisis económico global muestre que son satisfactorias para la cantidad, tipo y tamaños considerados. Además, las aleaciones de alta temperatura están restringidas a ser fundidas por métodos que incluyen materiales de moldeo con alta capacidad refractaria (habilidad de resistir el calor). Otra diferencia importante entre los procesos es su capacidad de transferir con exactitud las dimensiones y detalles del modelo original a la fundición terminada.

En general, los procesos que realizan el mejor trabajo serán más costosos de operar, aunque esto no siempre es cierto en cantidades grandes de manufactura en las cuales algunos costos, tal como el equipo, se prorratan en un número suficientemente grande para que su efecto en el costo unitario sea menor.

### **2.3.5. Equipo de fundición**

El volumen de metal líquido necesario a cierto tiempo, varía desde pocas libras a varias toneladas en las operaciones del tipo de fundición por lote, con un suministro continuo de metal fundido, por lo general hierro, requerido por muchos grandes talleres de producción de fundición. La cantidad de material disponible puede variar por el tamaño y tipo del equipo de fundición y el número de unidades en operación.

El tipo de equipo depende de los requerimientos de temperatura. Las temperaturas necesarias para fundir ocurren en los márgenes de 200 a 300 °C para el plomo, bismuto y aleaciones de estaño. De 550 a 800 °C para el aluminio y las aleaciones de magnesio. De 1 148 a 1 400 °C para hierros fundidos, y tan altas como 1 540 °C para aceros. Las temperaturas reales de

colada serán de 50 a 200 °C más altas, dependiendo del grado de sobrecalentamiento deseado. El volumen, la relación de fusión y las temperaturas requeridas, influenciarán la elección del equipo de fundición.

### **2.3.5.1. Cubilote**

Mucho del hierro fundido colado se procesa en un tipo especial de horno llamado de cubilote. En construcción y operación el cubilote es similar a un alto horno. Un cubilote consiste de una chimenea cilíndrica, de 20 a 30 pies de altura con un diámetro interior de 18 a 84 pulgadas, montado en patas que proporcionan un espacio abierto abajo del fondo del cilindro. La envolvente de acero está revestida con material refractario para que soporte las altas temperaturas necesarias para fundir el hierro. El fondo del cilindro está cerrado con puertas con bisagras que están cubiertas con arena de fundición para su protección.

La materia prima se introduce en capas. El cubilote se carga con capas de coque, arrabio, chatarra y material fundente en capas múltiples para fundir el volumen de metal por colar en una horneada. Las cargas originales no pueden acumularse arriba de la altura de la puerta de carga, pero conforme el metal se funde y baja, y el coque se quema, se pueden agregar nuevas cargas en la parte superior.

El aire forzado ayuda a la combustión. Después que el coque se ha encendido, se introduce un soplo de aire cerca de la base del cilindro a través de aberturas llamadas toberas. El metal fundido escurre hacia abajo a través de la cama de coque a un pozo en el fondo donde se acumula hasta que el horno se sangra. El sangrado requiere perforar un agujero con una barra a través de

un ladrillo especial, conocido como el pecho, en la base del cubilote para permitir que el metal fundido corra a un cucharón para su distribución.

Los cubilotes pueden operarse por tan poco tiempo como una hora o menos cada día, para fundir pocas cargas en pequeños talleres de fundición, o puede operarse continuamente durante una semana o más, cuando existe la necesidad. Como en casi todo el equipo de calefacción revestido con refractario, ocurren daños cuando se calientan y enfrían, por lo general en cada paro se realiza trabajo de mantenimiento o reparación.

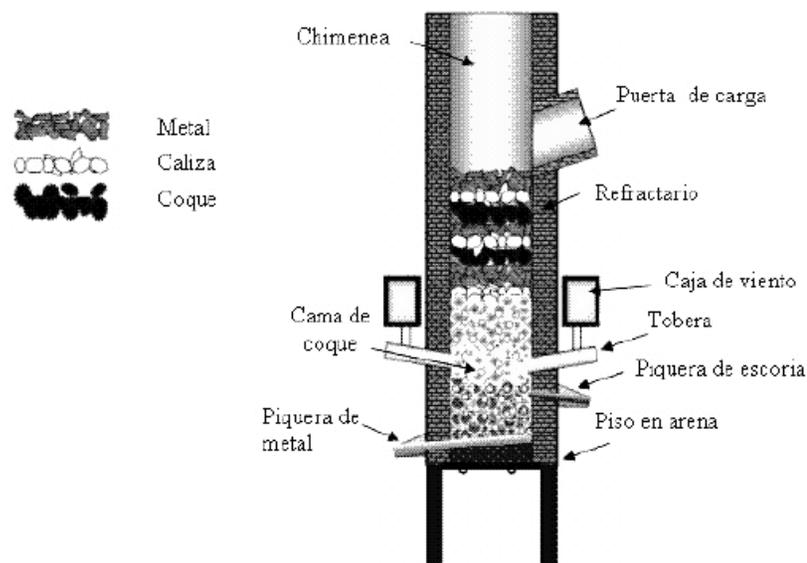
Control de la composición: carga, temperatura, tiempo. La composición del metal sangrado de un cubilote se controla principalmente por la reposición del material cargado en el horno, aunque el método de operación del cubilote influye mucho en la composición del producto final. La exposición al ambiente altamente carbonatado (coque) a altas temperaturas, provoca que el hierro tome carbono con un aumento en porcentaje que depende del contenido original de carbono, temperatura y duración de la exposición.

El contenido de carbono se mantiene bajo, principiando con hierros de bajo carbono, tanto arrabio como chatarra, y evitando que el metal fundido permanezca en el cubilote más allá del tiempo necesario. Al mismo tiempo que se agrega carbono, el 10 – 30% del silicio y manganeso originalmente presentes, se pierde. Estas pérdidas, las cuales pueden anticiparse, por lo general se compensan agregando arrabio especial con alto silicio o alto manganeso, o ambos, a las cargas. El enriquecimiento en manganeso puede realizarse agregando ferromanganeso en el cucharón.

Las adiciones de plomo, molibdeno y níquel pueden enfriar demasiado al metal, por tanto, las aleaciones que requieren grandes cambios, son más susceptibles de hacerse en un horno separado.

Las consideraciones ambientales obligan a cambios. El uso de cubilotes en años recientes ha cambiado debido a que las emisiones de chimenea han rebasado los niveles aceptables. Tales emisiones pueden controlarse mediante el uso de barredores de chimenea, pero el costo de dicho equipo ha restringido su uso a grandes talleres de fundición capaces de realizar fuertes inversiones. Los talleres de fundición más pequeños no usan ya los cubilotes para fundir hierro y los sustituyeron por hornos eléctricos de inducción. El énfasis adicional en las condiciones ambientales desde la segunda guerra mundial, ha provocado que muchos talleres pequeños discontinúen su operación.

Figura 16. **Esquema de un horno de cubilote típico**



Fuente: [http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0120-62302006000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0120-62302006000200006&script=sci_arttext). Consulta 25 de mayo de 2011.

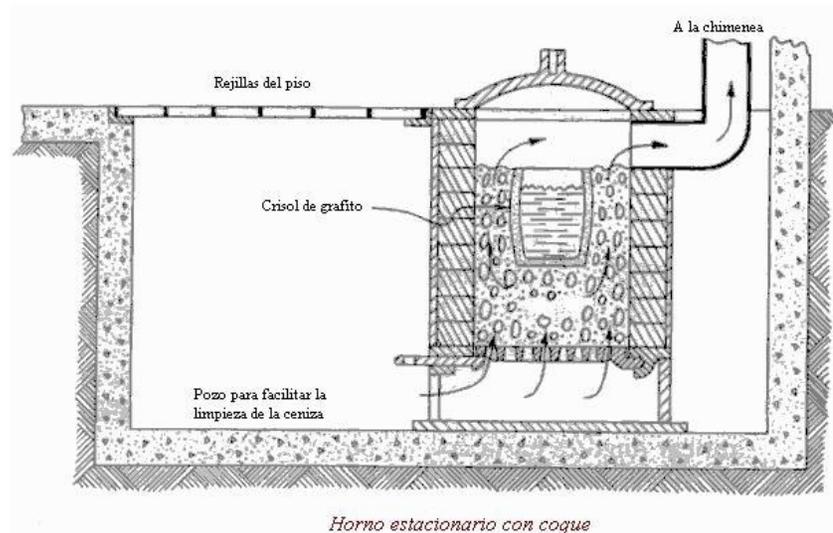
### **2.3.5.2. Horno de aire**

Algo de hierro fundido se produce con hornos de aire, pero el trabajo principal de este equipo es la fundición y refinación del hierro para hacerlo maleable. El hierro maleable está hecho de hierro blanco que requiere un control más estricto de composición que la variedad gris.

Su construcción es similar a un horno de hogar abierto. El horno de aire es una estructura de ladrillo grande del tipo de reverbero. El horno puede cargarse en frío si se levanta la parte superior del trabajo de ladrillería en sus marcos de soporte (tapas de boca) con una grúa. Después de resellar, se produce calor quemando gas, aceite, o carbón pulverizado forzado sobre la superficie de la carga a través de boquillas. El horno también puede cargarse con metal fundido directamente de un cubilote. El hierro puede mantenerse por almacenamiento temporal, pueden agregarse aleaciones, o en el proceso llamado dúplex, debe tener lugar refinación adicional para producir hierro maleable.

Control de la composición. Los cambios en la composición del metal que ocurren en un horno de aire son diferentes de los que tienen lugar en el cubilote. El silicio y el manganeso se pierden durante la fusión en la misma manera, pero conforme el metal se mantiene a sus temperaturas más altas, de 1 400 a 1 600 °C, se vuelve a ganar silicio de la escoria y de los refractarios del horno para reemplazar gradualmente el que se había perdido antes. A estas mismas altas temperaturas, el carbono se perderá del material por la oxidación rápidamente a menos que se tomen precauciones. Las pérdidas de carbono pueden reducirse si se usa una llama reductora (razón alta de combustible a aire) o puede compensarse por la adición de material carbonáceo, tal como coque o carbón pulverizado.

Figura 17. **Horno de aire estacionario con coque**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/moldeo-fundicion/moldeo-fundicion3.shtml>.

Consulta 25 de mayo de 2011.

### 2.3.5.3. **Hornos de crisol**

Una gran cantidad de fundición no férrea para trabajo en pequeños volúmenes se lleva a cabo en hornos de crisol que puede extraerse. El tamaño de crisol está limitado debido a la necesidad de maniobra. Después de colocarse el crisol en un horno para quemar gas o aceite, se carga con arrabio y metal de chatarra. El horno se enciende y se deja operando con un soplo de aire para intensificar el calor y circularlo alrededor del crisol hasta que el metal se ha fundido y ha alcanzado una temperatura satisfactoria para la colada. En ese momento, el horno se apaga y si es necesario se hacen adiciones con el cucharón.

El crisol se levanta del horno con tenazas especiales y se coloca en un soporte con anillo que sirva como mango de colada. El horno de crisol opera bajo condiciones similares a las de fusión con flama abierta con una absorción de gases resultantes del aire y de los productos de combustión. Esta condición pobre puede corregirse en gran parte si se coloca una tapa ajustada en el crisol para excluir los gases del medio ambiente.

Figura 18. **Crisoles**



Fuente: <http://www.importcruz.com/paginas/otros.htm>. Consulta 25 de mayo de 2011.

#### **2.3.5.4. Hornos de cuba**

Los hornos de cuba, usados para fundir grandes cantidades de metales no férreos, se hacen en tamaños que pueden manejar hasta varios cientos de libras en una horneada. La construcción general del horno es similar a la de uno tipo de crisol. Sin embargo, la cuba es más grande que el crisol y es una parte permanente del horno. Las cubas son de acero o hierro fundido y deben revestirse con una capa delgada de material refractario para evitar la

contaminación del metal fundido. Los tamaños más pequeños son estacionarios, y el metal debe sacarse con cucharón.

Los tamaños más grandes con capacidad para una tonelada o más de material, se diseñan de modo que pueda inclinarse para vaciar el metal fundido en cucharones para su distribución en los moldes.

Figura 19. **Horno eléctrico de cuba**



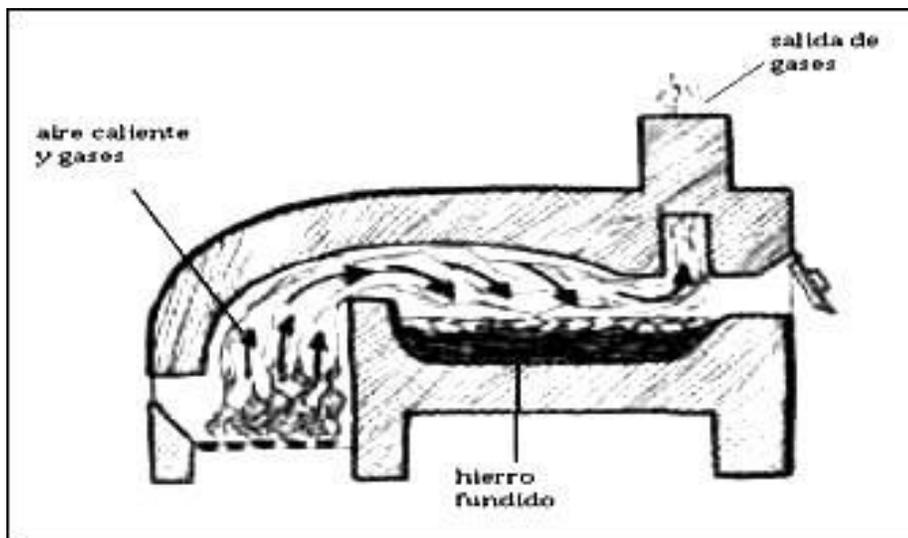
Fuente: <http://www.all.biz/es/buy/goods/?category=2235>. Consulta 25 de mayo de 2011.

#### **2.3.5.5. Hornos de reverbero**

Algunos de los talleres más grandes de fundición funden los materiales no férricos en hornos de reverbero que corren la llama calentadora directamente en la superficie del material cargado como en un horno de aire o de hogar abierto. Como hornos estacionarios, pueden construirse para manipular una capacidad casi ilimitada. La absorción de gas de los productos de combustión en contacto con la superficie expuesta de metal es alta, pero hay ventajas en la alta

capacidad y alta relación de fusión que puede llevarse a cabo de esta manera. Los hornos de reverbero pequeños del tipo basculante se usan para la fusión rápida de cantidades de metal.

Figura 20. **Vista transversal de un horno de reverbero**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/siderurgia/siderurgia2.shtml>. Consulta 26 de mayo de 2011.

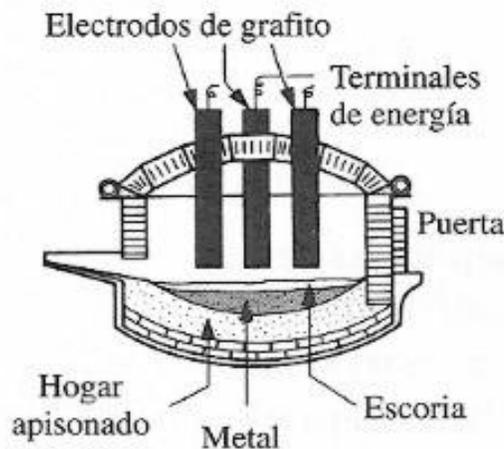
#### **2.3.5.6. Hornos de arco eléctrico**

El arco eléctrico es una fuente de calor de alta intensidad que puede usarse para fundir cualquier metal por vaciar. Las dos clases de hornos calentados eléctricamente usan una fuente de calor de arco.

La calidad del metal es buena. El horno de arco eléctrico directo, en el cual el arco corre del electrodo de carbono al metal que se va a fundir, se usa sobre todo para la fusión de aceros de herramienta y materiales de aleación en

los cuales la composición y las propiedades desarrolladas deben controlarse con mucho cuidado. Debido a que no es necesario el oxígeno para la combustión, el horno puede estar cerrado herméticamente para excluir el aire y otros gases. Los electrodos se espacian automáticamente por sí mismos de la superficie del charco fundido después de que el arco se ha iniciado, y el control de temperatura se establece por la potencia suministrada a estos electrodos, los cuales pueden ser de más de 1 pie de diámetro en los hornos más grandes. El horno está montado de modo que puede inclinarse para vaciarlo después de que se ha terminado el proceso de fusión.

Figura 21. **Horno eléctrico de arco directo**

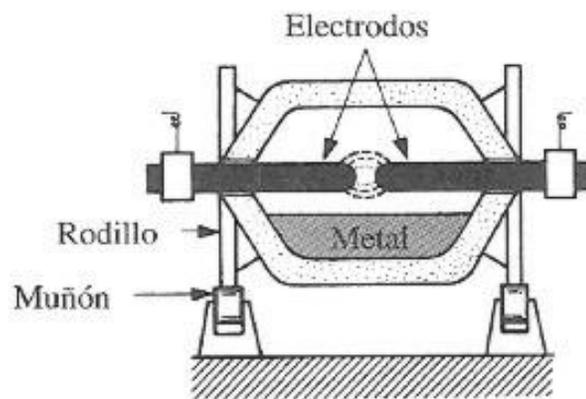


Fuente: <http://tecnometalesferrosos.blogspot.com/2009/02/procesos-de-obtencion-del-acero.html>. Consulta 26 de mayo de 2011.

El horno de arco eléctrico indirecto se usa sobre todo para fusionar las aleaciones con base de cobre. Se puede usar para otros metales también. El horno consiste en una envolvente cilíndrica de acero revestida con material refractario. El calor se produce por un arco que se inicia y mantiene entre

electrodos opuestos. El calor se radia para aumentar la temperatura del revestimiento completo del horno, lo mismo que de la carga. La oscilación en el horno hace que el metal fundido fluya sobre el material refractario calentado y capte calor por combustión, lo mismo que por radiación.

Figura 22. **Horno de arco eléctrico indirecto**



Fuente: <http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d12.htm>. Consulta 26 de mayo de 2011.

### 2.3.5.7. Hornos de inducción

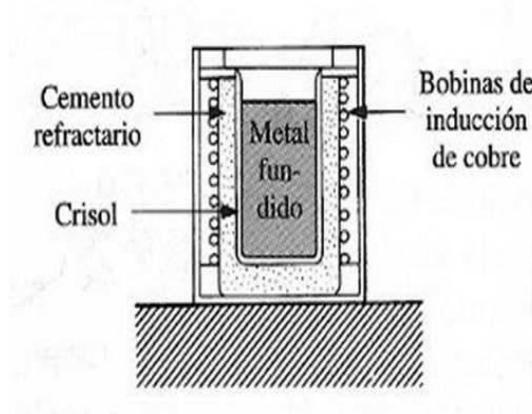
En apariencia, un horno de fusión por inducción se semeja a un horno del tipo de crisol o de cuba.

El calor se produce por un flujo interno de corriente inducida. La energía se suministra al horno en forma de corriente alterna de alta frecuencia que se pasa a través de conductores en el cuerpo del horno para establecer un campo magnético variable de alta frecuencia, al cual pasa a través del metal que se calienta. El metal, que es en sí un conductor, tiene voltajes inducidos que

causan el flujo de corrientes parásitas, y, debido al flujo de la corriente eléctrica a través de la resistencia (el mismo metal) causa calor, la temperatura del metal se eleva.

El costo de operación es alto, la calidad es buena. Los hornos de inducción son equipo especializado y de costos iniciales más bien altos. El costo operacional depende sobre todo del costo de la energía eléctrica en la localidad en la cual se usan. Sin embargo, producen rápida fusión sin productos de combustión y, por tanto, reducen al mínimo la oxidación, la absorción de gas en el líquido y la contaminación ambiental.

Figura 23. **Horno de inducción**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/moldeo-fundicion/moldeo-fundicion2.shtml>.

Consulta 26 de mayo de 2011.

## 2.4. Procesos especiales de fundición

Los procesos utilizados para obtener las piezas fundidas dependen de la cantidad a que deba producirse el metal que se va a fundir, y lo complicado de la parte. Todos los metales se pueden fundir en moldes de arena, no habiendo restricción en cuanto a tamaño. Sin embargo, casi siempre los moldes de arena son moldes de un solo propósito y se destruyen completamente después de que el metal ha solidificado. Es un tanto obvio, que el uso de un molde permanente, tendrá como consecuencia una grande economía en los costos de fabricación.

Un resumen de los diferentes métodos especiales de fundición que se tratarán en este trabajo de graduación, son los siguientes:

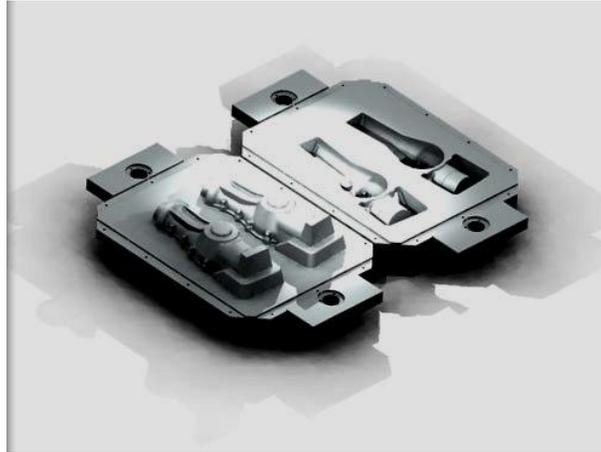
- Fundición en moldes metálicos
  - En matriz
  - Baja presión
  - Por gravedad o molde permanente
  - Fundición hueca
  - A presión o Corthias
  
- Fundición centrífuga
  - Centrífuga real
  - Semicentrífuga
  - Centrifugada

- Fundición de precisión o por revestimiento
  - Método cera perdida
  - Proceso de cáscara en cerámica
  - Moldes de yeso
  - Moldeo en cáscara
  - Proceso de molde endurecido, CO<sub>2</sub>
  - Moldes de madera, papel y hule
  
- Fundición de colado continuo
  - Moldes alternativos
  - Fundición extruida
  - Moldes estacionarios
  - Fundición de colado directo de láminas

#### **2.4.1. Métodos de fundición en moldes metálicos**

Los moldes permanentes deben estar hechos de metales capaces de resistir altas temperaturas. Debido a su gran costo se recomiendan solamente cuando se va a producir en grandes cantidades. Aun cuando los moldes permanentes no son prácticos para piezas grandes y para aleaciones de altas temperaturas de fusión, se les usa ventajosamente para piezas no férreas de tamaño pequeño y mediano producidas en grandes cantidades.

Figura 24. **Moldes metálicos**



Fuente: <http://www.euromodels.es/disenio-3d-02.html>. Consulta 26 de mayo de 2011.

#### **2.4.1.1. Fundición en matrices**

La fundición en matrices es un proceso en el cual el metal líquido es forzado a entrar a presión en el molde metálico conocido como matriz. Por razón de que el metal solidifica bajo una presión desde 0,6 a 275 MPa, la pieza de fundición se configura a la cavidad de la matriz en igual forma y acabado superficial que esta. La presión usual es de 10,3 a 14 MPa.

La fundición en matriz es el proceso de molde permanente más ampliamente usado. Y hay dos métodos que se utilizan:

- Cámara caliente
- Cámara fría

La principal distinción entre las dos está determinada por la localización de la olla de fusión. En el método de cámara caliente, la olla de fusión está incluida

con la máquina, y el cilindro de inyección queda sumergido en el metal líquido todo el tiempo. El cilindro de inyección es movido ya sea por presión de aire o por presión hidráulica, la que fuerza al metal al interior de las matrices para completar la pieza fundida. Las máquinas que se usan en el proceso de cámara fría, tienen un horno separado, y el metal se introduce al cilindro inyector, ya sea a mono o por medios mecánicos. Después, la presión hidráulica fuerza al metal al interior de la matriz.

El proceso es rápido, por razón de que la matriz y el corazón son permanentes. La superficie suave no sólo le proporciona buena apariencia sino que también disminuye el trabajo requerido de preparación para un acabado de plateado u otro trabajo de acabado. Los espesores de pared pueden ser más uniformes que la fundición a la arena y consecuentemente se requiere menos metal. Los promedios de producción de cantidades óptimas son de 1 000 a 200 000 piezas. El peso mecánico de piezas en latón en fundición en matriz es de 2,3 Kg, pero en aluminio son arriba de 50 Kg comúnmente.

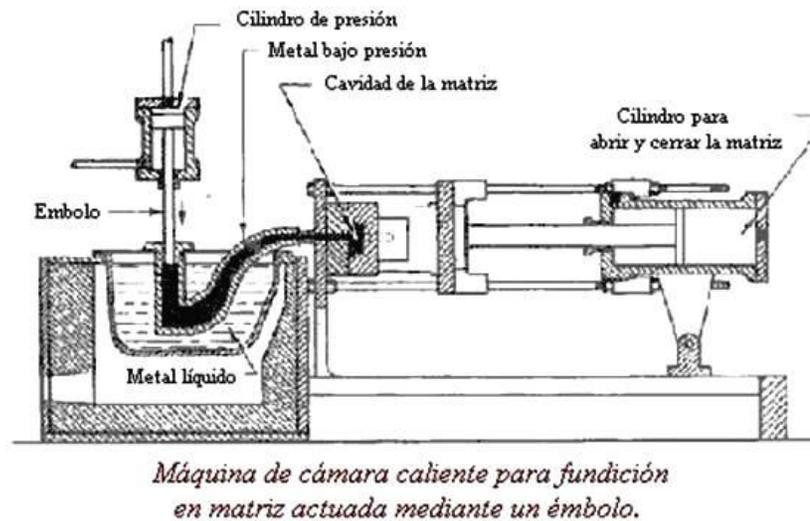
Las fundiciones pequeñas o medianas pueden fabricarse en ciclos promedio de 100 a 800 alimentaciones por hora. El tamaño puede ser controlado en forma precisa y sólo puede ser necesario un pequeño maquinado y a veces no. Las partes perdidas son bajas, entonces el bebedero, canal y entradas pueden ser fundidos nuevamente. El proceso elimina operaciones de maquinado tales como el barrenado y ciertos tipos de cuerdas. Las tolerancias varían de acuerdo al tamaño de la pieza de fundición y de la calidad del metal usado. Para fundiciones pequeñas, los promedios de tolerancias son de  $\pm 0,03$  a  $\pm 0,25$  mm. Las tolerancias más cerradas se obtienen cuando se emplean las aleaciones de zinc en fundición en matriz.

Una de las limitaciones de la fundición en matriz es el alto costo de los equipos y matrices. Este no es un factor importante en producciones masivas, pero sí es una limitante en trabajos pequeños. Por otra parte, la vida de la matriz disminuye conforme aumenta la temperatura del metal. Pero también en algunos casos de enfriado existe un efecto indeseable sobre el metal a menos que las temperaturas altas se mantengan. Los metales que tienen un alto coeficiente de contracción deben ser eliminados del molde lo más rápido posible a causa de la incapacidad del molde de contraerse con la pieza fundida.

Aunque existen ciertas limitaciones en forma, el proceso puede producir piezas de fundición muy grandes.

Las piezas de fundición en matriz se han limitado a aleaciones de bajo punto de fusión, pero con un aprovechamiento gradual de metales de alta resistencia al calor para matrices, este proceso se puede utilizar ahora para numerosas aleaciones. Fundiciones de hierro gris y aleaciones de bajo contenido de carbono y aleaciones de acero se han producido en matrices de una aleación de molibdeno sinterizado, pero el proceso es comercialmente limitado a aleaciones no férreas.

Figura 25. **Fundición por matriz en cámara caliente**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/moldeo-fundicion/moldeo-fundicion3.shtml>.

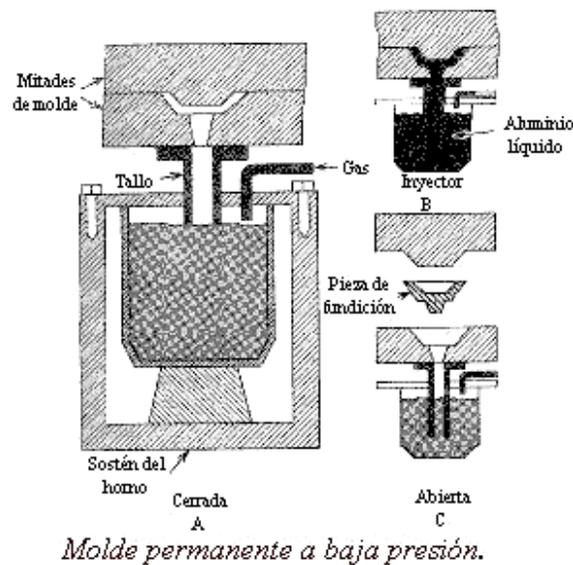
Consulta 26 de mayo de 2011.

#### **2.4.1.2. Fundición por moldes permanentes de baja presión**

En el proceso de moldes permanentes de baja presión, el molde metálico está montado sobre un horno de inducción, el horno está sellado y se le inyecta gas bajo presión, que se utiliza para forzar el metal líquido en el horno a través del refractario calentado en el tallo en la cavidad. Algunas veces se usan bombas de vacío para remover el aire atrapado en el molde y para asegurar una estructura más densa y un llenado rápido. Piezas pequeñas pueden permanecer en el molde hasta enfriarse por un minuto o menos, pero en piezas de fundición con peso arriba de 30 Kg, se tiene conocimiento que pueden permanecer por un periodo de sólo 3 min.

El proceso es más económico si el promedio de producción es en cantidades de 5 000 a 50 000 piezas por año. Las piezas producidas por este método son de buena densidad, están libres de inclusiones, tienen buena precisión dimensional, y las pérdidas por sobras son comúnmente menores del 10% y pueden ser tan bajas como el 2%.

Figura 26. **Molde permanente de baja presión**



Fuente: [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1\\_V.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_V.html). Consulta 26 de mayo de 2011.

### 2.4.1.3. Piezas de fundición en molde permanente por gravedad

Este método utiliza un molde permanente hecho de metal o grafito. Los moldes se recubren usualmente con una sustancia refractaria y luego con negro de humo, la cual reduce los efectos del enfriamiento en el metal y facilita la remoción de la pieza de fundición. No se utiliza presión excepto la obtenida por

la altura del metal en el molde. El proceso se usa satisfactoriamente para piezas de fundición, tanto férreas como no férreas, aunque este último tipo, no presenta muchos problemas como las piezas de fundición férreas debido a las bajas temperaturas de vaciado.

El tipo más simple del molde permanente está abisagrado de un lado del molde, teniendo en el otro lado del molde dispositivos para mantener juntas las dos mitades. Algunas máquinas de alta producción, están dispuestas en forma circular y tienen moldes colocados en varias estaciones. El ciclo de trabajo consiste en verter el metal, enfriamiento y expulsión de la pieza, soplado de los moldes, recubrimiento de ellos, y en algunos casos colocación de los corazones. En este tipo de moldes se pueden utilizar corazones tanto de metal, como de arena seca.

Los moldes permanentes producen piezas libres de arena, con buen acabado y buenos detalles en la superficie. Se adaptan especialmente a la producción de piezas pequeñas y de tamaño medio y son capaces de mantener tolerancias que van desde 0,064 a 0,25 mm. El alto costo inicial del equipo y el costo del mantenimiento de los moldes puede considerarse como una desventaja de este proceso, por el cual se obtienen productos tales como pistones de aluminio, utensilios de cocina, partes de refrigerador, planchas eléctricas y pequeños discos para engrane.

Las piezas de fundición en hierro empiezan a incrementarse a su producción por este método. Las matrices se alinean con corazones de arena y se pueden obtener espesores de 6 mm. En este proceso se utilizan pequeñas cantidades de arena, comparado con el proceso de fundición a la arena, el costo de limpieza es bajo y se obtiene una mayor exactitud.

Figura 27. **Molde para fundición por gravedad**



Fuente: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Moldes-para-la-fundicion-por-gravedad-55647.html>. Consulta 26 de mayo de 2011.

#### **2.4.1.4. Fundición hueca**

La fundición hueca es un método de producir piezas huecas en moldes metálicos. El metal líquido se vierte en el molde, el cual se voltea inmediatamente, de modo que el metal líquido salga. El resultado, son partes de paredes delgadas, cuyo espesor depende del efecto de enfriamiento producido por el molde y el tiempo que dure su operación. El fundido se remueve por la abertura a la mitad del molde. Este método se usa solamente para objetos ornamentales, estatuillas, juguetes y otras novedades. Los metales utilizados para estos objetos son: plomo, zinc, y varias aleaciones de bajo punto de fusión.

A las partes fundidas en esta forma, se les puede pintar o darles un acabado para que simulen bronce, plata y otros metales más caros.

#### **2.4.1.5. Fundición prensada o Corthias**

Este método de fundición se asemeja a los procesos tanto de gravedad como el hueco, pero difiere algo en la forma en que se efectúa la operación. Se vacía una cantidad definida de metal en el interior de un molde con un extremo abierto y un corazón se alimenta de una manera muy ajustada con algo de presión, ocasionando que el metal sea forzado con cierta presión hacia el interior de los huecos del molde. Tan pronto como el metal rellena las cavidades, se retira el corazón dejando una pieza hueca de paredes delgadas. Este proceso, desarrollado en Francia por Corthias, tiene aplicación limitada, principalmente a piezas ornamentales de diseño abierto.

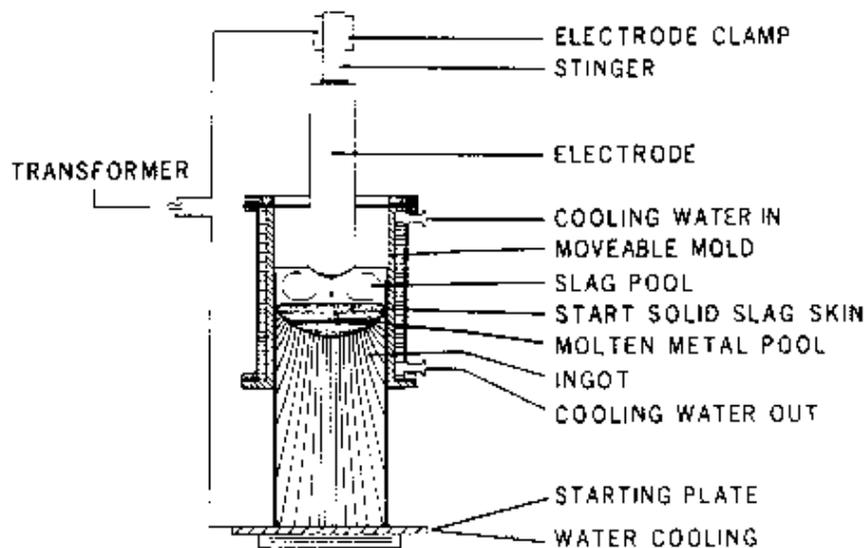
Los moldes no metálicos pueden aprovecharse para aleaciones de bajo, medio y alto punto de fusión. Otros moldes tienen limitaciones de temperatura tan bueno como sea el metal para el cual son deseables. En los moldes no metálicos usados, se obtienen piezas con precisión dimensional y buen acabado superficial el cual tiende a reducir costos.

#### **2.4.2. Fundición por electroescoria**

El proceso de fundición por electroescoria es poco usual y no emplea horno. En cambio, para la fusión se consumen electrodos formando de manera sorpresiva una cubierta de escoria, debajo de la cual se encuentra el metal líquido que va a alimentar un molde permanente enfriado por agua. Luego, el metal líquido continuamente gotea o corre en el molde, y además no se mantiene en contacto con la atmósfera por la capa de escoria. No son necesarias las entradas ni los bebederos, y usualmente los electrodos son retirados del molde y en consecuencia el llenado se realiza del fondo hacia la parte superior.

Los estudios realizados indican que los metales fundidos de esta forma pueden ser superiores a los forjados. Una aplicación interesante sucede cuando el material del electrodo es cambiado en contenido de carbono y afecta variando las propiedades en la pieza fundida.

Figura 28. **Proceso de fundición por electroescoria**



Fuente: [http://html.rincondelvago.com/aceros\\_proceso-de-refusion-por-electroslag.html](http://html.rincondelvago.com/aceros_proceso-de-refusion-por-electroslag.html).

Consulta 26 de mayo de 2011.

### 2.4.3. **Fundición centrífuga**

La fundición centrífuga es el proceso de hacer girar el molde mientras solidifica el metal, utilizando así la fuerza centrífuga para acomodar el metal en el molde. Se obtienen mayores detalles sobre la superficie de la pieza y la estructura densa del metal adquiere propiedades físicas superiores. Las piezas de formas simétricas se prestan particularmente para este método, aun cuando se pueden producir otros muchos tipos de piezas fundidas.

Por fundición centrífuga se obtienen piezas más económicas que por otros métodos. Los corazones en forma cilíndrica y rebosaderos o mazarotas se eliminan. Las piezas tienen una estructura de metal densa con todo y las impurezas que van de la parte posterior al centro de la pieza, pero que frecuentemente se maquinan. Por razón de la presión extrema del metal sobre el metal, se pueden lograr piezas de secciones delgadas tan bien como en la fundición estática.

Los moldes permanentes se han usado frecuentemente en la fundición centrífuga de magnesio. Desde entonces las piezas de fundición de magnesio son forzadas nuevamente al molde, las piezas se enfrían más rápidamente y el aire o gas atrapados entre el molde y el material se eliminan. Esto es considerablemente difícil en muchos casos en los cuales los moldes permanentes no son usados a causa de la expansión debida al calentamiento del molde, y a la contracción de la pieza fundida debido al enfriamiento.

Aunque en la fundición centrífuga hay limitaciones en el tamaño y forma de las piezas fundida, se pueden hacer desde anillos de pistón de pocos gramos de peso y rodillos para papel que pesen arriba de 40 toneladas, bloques de máquinas en aluminio, piezas de fundición de hierro para barcos se hacen utilizando fundición centrífuga. Si el metal puede ser fundido, se puede vaciar en el método centrífugo, pero en el caso de pocas aleaciones, los elementos más pesados tienen la tendencia a separarse del metal base. Esta separación es conocida como segregación gravitacional.

Los métodos de fundición centrífuga se pueden clasificar como sigue:

- Fundición centrífuga real
- Fundición semicentrífuga

- Centrifugado

#### **2.4.3.1. Fundición centrífuga real**

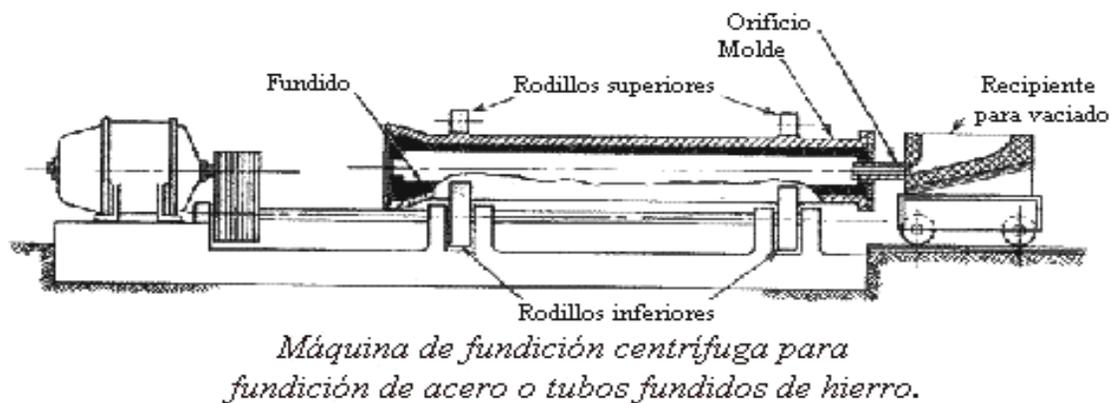
La fundición centrífuga real se utiliza para fabricar tubos, camisas y objetos simétricos que se vacíen haciendo girar el molde alrededor de sus ejes, ya sea el horizontal y el vertical. El metal se mantiene contra las paredes del molde mediante la fuerza centrífuga, y no se hace necesario un corazón para formar la cavidad cilíndrica en el interior. Existen dos tipos de moldes de ejes horizontales usados para la producción de tubos de hierro fundido. Los moldes metálicos de gran espesor tienen una capa de refractario que permite que el metal líquido empiece a solidificar rápidamente y para que la solidificación del molde proceda de las paredes del molde hacia el interior del tubo fundido.

De esta manera la solidificación sucede de una forma adecuada que asegura solidez de la pieza con impurezas en la pared interna. El molde se enrolla rápidamente al mismo tiempo que el metal líquido se introduce y la acción de enrollado no se para hasta que la solidificación se completa. El espesor de la pared producida para el tubo está controlado por la cantidad de metal vaciado en el molde.

Otro tipo de fundición centrífuga horizontal usa un espesor de arena altamente aislante en la entrecara del molde y la pieza. Cuando el metal se introduce, el natural aislamiento de la arena previene la solidificación direccional y entonces el metal solidifica de la pared hacia la cara interior del tubo al mismo tiempo. Esto puede causar un esponjamiento a la mitad de la sección de menor densidad que tiene inclusiones atrapadas.

El método de colado horizontal es similar al proceso seguido en la fundición de tubos largos, y el diámetro interior debe ser un verdadero cilindro que requiere un mínimo de maquinado. En el colado vertical, la cavidad interior toma la forma de un paraboloide. El declive de los lados del paraboloide depende de la velocidad de rotación. Con objeto de reducir la diferencia entre los diámetros interiores en las partes inferior y superior del cilindro, las velocidades de giro son mayores para el colado vertical que para el horizontal.

Figura 29. **Proceso de fundición centrífuga real**



Fuente: [http://www.iuteb.edu.ve/carreras/sistemas/contenidos/pro-ind/pi\\_uni1.html](http://www.iuteb.edu.ve/carreras/sistemas/contenidos/pro-ind/pi_uni1.html). Consulta 26 de mayo de 2011.

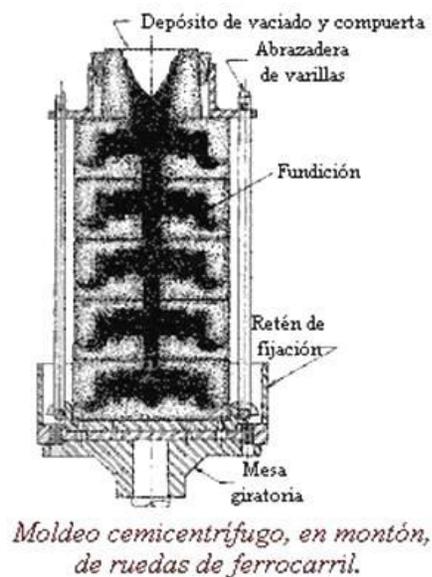
#### **2.4.3.2. Fundición semicentrífuga**

En fundición semicentrífuga, el molde se llena completamente y se enrolla alrededor del eje vertical y se emplean rebosaderos y corazones. El centro de la pieza fundida generalmente es sólido, siendo menor la presión allí, la estructura formada no es muy densa y las inclusiones y aire atrapado que se obtienen están presentes. Este método es normalmente usado para partes en las cuales el centro de la pieza puede ser maquinado. El número de piezas hechas en un

molde, depende del tamaño de la pieza fundida y de lo conveniente de su manejo, así como del acomodo de los moldes. La velocidad de rotación para esta forma de colados no es tan grande como para el proceso de centrifugado real.

El proceso produce una estructura densa en la circunferencia exterior, en tanto que el metal del centro se elimina por maquinado.

Figura 30. **Proceso de fundición semicentrífuga**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/moldeo-fundicion/moldeo-fundicion3.shtml>.

Consulta 26 de mayo de 2011.

### 2.4.3.3. Centrifugado

En el método centrifugado, se colocan varias cavidades de colados en torno a la porción exterior de un molde y el metal se suministra a las cavidades por medio de alimentadores radiales desde el centro. Se pueden utilizar moldes

simples o arreglados en montón. Las cavidades de los moldes se llenan a presión, ocasionada por la fuerza centrífuga del metal a medida que el molde gira. El método centrífugo no está limitado para objetos simétricos, se pueden producir piezas de forma irregular, tales como tapas de cojinetes o pequeñas abrazaderas. La profesión dental usa este proceso para incrustaciones de piezas de oro.

Figura 31. **Máquina centrífuga utilizada para la fundición centrifugada en la mecánica dental y en joyería**



Fuente:

[http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya7/7centrifuga\\_fundicion\\_cera\\_perdida.htm](http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya7/7centrifuga_fundicion_cera_perdida.htm).

Consulta 26 de mayo de 2011.

#### **2.4.4. Fundición por revestimiento o de precisión**

La fundición por revestimiento o de precisión, emplea técnicas que permiten superficies lisas, mucha exactitud en fundiciones que están hechas para aleaciones férreas y no férreas. No existe otro método que pueda asegurar la producción de piezas de partes difíciles. Este proceso se utiliza en piezas de fundición para aleaciones no maquinables y metales radiactivos. Existe un

número de procesos empleados, pero todos se incorporan a la arena, cerámica, yeso o de cáscara de plástico, hechos a partir de un modelo exacto en el cual el metal es vaciado. Aunque la mayoría de las piezas fundidas son chicas, el proceso por revestimiento se ha usado para producir piezas con pesos sobre 45 Kg.

Las ventajas de las técnicas por revestimiento o precisión son: (1) se pueden fundir piezas de formas intrincadas con relieves, (2) se obtienen piezas con superficies lisas y sin líneas de partición, (3) la exactitud dimensional es buena, (4) ciertas partes no maquinables se pueden fundir en forma preplaneada. Y (5) puede ser usada para sustituir fundiciones en matriz donde existen canales muy cortos. Por otro lado, el proceso es caro, está limitado para piezas chicas y presenta algunas dificultades cuando tiene corazones. No se pueden hacer agujeros menores de 1,6 mm y no puede ser más profundos que 1½ veces el diámetro.

#### **2.4.4.1. Proceso de fundición de precisión a la cera perdida**

Este proceso deriva su nombre del hecho de que el modelo de cera utilizado en el proceso, es seguidamente fundido en el molde, dejando una cavidad que tiene todos los detalles del modelo original. El proceso, como se practicaba originalmente por los artesanos en el siglo XVI, consistía en formar el objeto en cera, a mano. El objeto de cera o modelo era luego cubierto con una envoltura de yeso. Cuando el yeso endurecía, se calentaba el molde en un horno, fundiendo la cera y al mismo tiempo, se obtenía mayor secado y endurecimiento del molde. La cavidad resultante, conteniendo todos los detalles complicados de la forma original de la cera, era luego llenada con metal.

Al enfriar se rompía la cubierta de yeso dejando libre la pieza fundida. En piezas grandes tales como las estatuas, se utilizaban corazones de yeso para obtener paredes relativamente delgadas en ellas.

En este proceso se requiere que la parte que se va a moldear se haga con acero o latón. A partir de esta réplica se hace un molde dividido, de bismuto o de una aleación de plomo. Después que se vierte la cera en el interior del molde dividido y tiene lugar la solidificación, el molde se abre y el modelo de cera se retira. En la operación de formado, el molde se mantiene en un tornillo de banco enfriado por agua, y la cera calentada se inyecta en su interior con presión considerable. Algunas veces se utiliza resina termoplástica de poliestireno en lugar de cera.

Algunos modelos se ensamblan con las entradas y rebosaderos necesarios, calentando las superficies de contacto (soldadura de la cera) con un alambre caliente. Este conjunto es luego soportado en una caja de moldeo. Se espolvorea dentro de la caja un material refractario finamente molido, adelgazado con un agente mezclador como alcohol o agua, es vaciado en la caja después de haber espolvoreado previamente el modelo con una mezcla fina de harina de sílice.

Después de haber fraguado el yeso, se coloca el molde con la parte superior hacia abajo y se calienta en un horno durante varias horas para expulsar la cera por fusión y evaporación, y para secar el molde. El colado se podrá realizar por gravedad, al vacío, por presión o fundición centrífuga. El rango de presión que generalmente se usa en la operación de vaciado va desde 0,02 a 0,2 MPa. Una vez que se enfría el molde, se destruye el yeso. Después se cortan las entradas y los alimentadores, se limpian las piezas por medio de esmerilado, chorro de arena y otras operaciones de acabado.

Figura 32. **Piezas fundidas por el proceso a la cera perdida, después de destruir el molde de yeso, colocadas en racimo**



Fuente: [http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya3/3cera\\_perdida\\_problemas.htm](http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya3/3cera_perdida_problemas.htm).  
Consulta 27 de mayo de 2011.

#### **2.4.4.2. Proceso de cáscara en cerámica**

Este proceso, semejante al de la cera perdida, también implica retirar de una cubierta refractaria, el modelo caliente disponible (desechable). El modelo se hace con cera o con un plástico de bajo punto de fusión, y con frecuencia se juntan algunos de ellos mediante soldadura de cera en un racimo. El costo de la producción de los modelos de plástico es menor que los modelos de cera, con el cual se forma la vasija de vaciado. El racimo de modelos se sumerge rápidamente en una lechada de cerámica y se espolvorea con material refractario. Este proceso llamado estucado, se repite hasta que la cáscara es de 4,8 a 12,7 mm de espesor.

Luego se funde el modelo extrayéndolo del molde, el cual es primero secado y luego se somete al fuego de 980 a 1 095 °C con objeto de quitarle toda la humedad y material orgánico. El molde libre de cualquier línea de

partición, es generalmente vaciado en forma inmediata y después se elimina del horno. La cáscara se rompe de la pieza fundida a medida que tiene lugar el enfriamiento. Se tiene buena exactitud y buen acabado en las superficies con metales tanto férreos como no férreos.

Las tolerancias de  $\pm 0,13$  mm no son poco comunes, y como tolerancias de fundición pueden proporcionarse por acuñado o por apresto (operación consistente en preparar un objeto parcialmente manufacturado antes de someterlo a una nueva manipulación o trabajo), pero el costo se incrementa.

Algunas veces se utiliza el mercurio congelado en lugar de la cera o del plástico. Se hace un molde metálico o matriz de la parte que se va a colar, junto con las entradas necesarias, así como el agujero del bebedero. Una vez ensamblados y listos para el vaciado, se les sumerge parcialmente en un baño frío y se llena con acetona que actúa como lubricante. Como el mercurio se vacía en el molde, la acetona es desplazada. La congelación tiene lugar en un baño líquido mantenido aproximadamente a  $-60$  °C y se completa en 10 min más o menos.

Los modelos se retiran del molde y se recubren con una lechada de cerámica fría, repitiendo la inmersión hasta que la cáscara ha adquirido un espesor de alrededor de 3,1 mm. El mercurio se funde y se retira de la cáscara a la temperatura ambiente y después de un corto periodo de secado, se calienta a alta temperatura, resultando una forma dura permeable. Luego la cáscara se coloca en una caja, envolviéndola con arena, se precalienta y se llena con metal. Las piezas se hacen usualmente por el método centrífugo. Aunque el proceso proporciona piezas de gran exactitud, es poco usado por los altos costos de producción y el riesgo que se acompaña en el manejo del mercurio.

Figura 33. **Molde de cáscara cerámica**



Fuente: [http://luisguillermovallejo.com/english/?page\\_id=37](http://luisguillermovallejo.com/english/?page_id=37). Consulta 27 de mayo de 2011.

#### **2.4.4.3. Fundición en molde de yeso**

La mezcla a base de yeso usada en fundiciones por revestimiento, seca rápidamente con buena porosidad, pero no es permanente, es destruido en el momento en que la pieza fundida se retira del molde.

Los modelos se hacen de un bronce fácil de maquinar y se llevan a tolerancias precisas, al igual que en la mayoría de procesos de moldeo, como en el moldeo en arena, los modelos deben fabricarse en dos secciones separables para poder formar cada una de las tapas del molde. Los modelos se colocan en tableros inferiores de cajas normales de moldeo. Antes de recibir el yeso, se les atomiza con un compuesto separador. El yeso, que es una amalgama con agentes reforzadores y fraguantes, se mezcla en seco y se le

añade agua. Luego se vacía sobre los modelos y el molde se vibra ligeramente para asegurar que la amalgama llenó todas las pequeñas cavidades.

El yeso fragua en unos cuantos minutos, retirándose de la caja por medio de un cabezal de vacío. Toda la humedad se extrae de los moldes horneándolos en un horno con transportador, a temperaturas alrededor de 815 °C. Después del vaciado, las piezas se retiran rompiendo el molde. Cualquier excedente de yeso se elimina en una operación de lavado.

La porosidad del molde para la salida de algunos gases desarrollados en él, se controla por el contenido de agua del yeso. Cuando se seca el molde, el agua disipada deja numerosos conductos finos que actúan como agujeros de ventilación. Además de tener una adecuada porosidad, los moldes de yeso tienen la resistencia estructural necesaria para resistir las piezas fundidas, y suficiente elasticidad para permitir algo de contracción del metal durante su enfriamiento.

Los moldes de yeso son convenientes solamente para aleaciones no férreas. Aunque ha probado ser excelente material de moldes para latón amarillo, ciertos bronce, magnesio y también pueden ser usadas aleaciones de aluminio. La amplia variedad de pequeñas piezas fundidas hechas mediante este proceso incluye diferentes partes de avión, engranes pequeños, levas, manijas, partes para bombas, pequeñas tapas y otros numerosos artículos de forma complicada.

Una de las principales ventajas del colado de yeso es el alto grado de precisión. Esto, aunado a lo terso de las superficies obtenidas, le permite al proceso competir favorablemente con la fundición a la arena en la producción de partes que requieren un maquinado considerable. A causa de la baja

conductividad térmica del yeso, el metal no se enfriará rápidamente, y pueden colarse secciones verdaderamente delgadas. Existe una pequeña tendencia hacia la porosidad interna en las piezas hechas en moldes de yeso, además no se tiene dificultad de las inclusiones de arena.

En general, el proceso compite con más éxito con la fundición en matrices, empleando las aleaciones de alta temperatura tales como el latón, mejor que con metales como el zinc y el aluminio. A altas temperaturas, los moldes metálicos tienen una vida relativamente corta, con los moldes de yeso que se usan sólo una vez, la temperatura no es problema.

Para piezas sencillas, se pueden mantener tolerancias de  $\pm 0,13$  mm, requiriéndose ligeramente mayor si las dimensiones cruzan la línea de separación. El proceso se puede utilizar para producciones, tanto pequeñas como de gran cantidad.

Figura 34. **Partición del molde de yeso**



Fuente: [http://www.abuelosenred.net/group/todovidrio/forum/topics/fundicion-en-molde-de-yeso?xg\\_source=activity](http://www.abuelosenred.net/group/todovidrio/forum/topics/fundicion-en-molde-de-yeso?xg_source=activity). Consulta 27 de mayo de 2011.

#### **2.4.4.4. Proceso de moldeo en cáscara**

El molde en este proceso, se hace de una mezcla de arena de sílice seca y resina fenólica, formándolo en metales de cascarones delgados, los cuales se sujetan juntos para el vaciado. La arena libre de arcilla se mezcla primero, ya sea con urea o con resina de fenol formaldehído, y en seguida la mezcla se coloca en el interior de una caja basculante o en una máquina sopladora. Deberá usarse un modelo de metal, el cual se calienta a una temperatura alrededor de 230 °C y se rocía con un agente separador a base de silicio antes de colocarlo en la parte superior de la caja basculante.

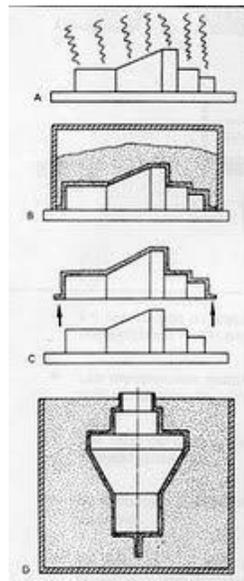
Luego se invierte esta, ocasionando que la mezcla de arena caiga sobre el modelo, y es mantenida por 15 a 30 segundos antes de regresarla a su posición original. El modelo queda cubierto con una pequeña cáscara de 3,1 a 4,7 mm de espesor adherida y luego se coloca en un horno, se cura el cascarón de ½ a 1 min hasta que queda rígido. La cáscara es finalmente retirada del modelo por pernos empujadores y las mitades del molde se unen con grapas, resinas adhesivas u otros dispositivos.

Luego son colocados en una caja, sosteniéndose la una contra la otra, o por un material de soporte, como perdigones o grava. Algunos se vacían mientras se mantienen apoyados en el piso, con un contrapeso en la parte superior.

Las ventajas de este proceso incluyen tolerancias muy precisas de 0,2% a 0,5%, bajo costo de limpieza y superficies tersas. Se requiere poca destreza en el moldeo y la arena que se requiere es poca. El moldeo por cáscara se puede adaptar fácilmente a la automatización. La desventaja de este proceso es que

requiere modelos metálicos y equipo totalmente costoso para hacer y calentar los moldes.

Figura 35. **Moldeo en cáscara**



Fuente: <http://modeleriaind2008.blogspot.com/2008/10/procesos-y-equipos-para-la-fundicin.html>. Consulta 27 de mayo de 2011.

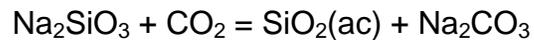
#### **2.4.4.5. Proceso de endurecimiento de moldes con CO<sub>2</sub>**

El proceso de endurecimiento de los moldes y los corazones utilizando CO<sub>2</sub> y el empleo de un aglomerante de base líquida de silicato de sodio, es ampliamente usado. Debido a sus ventajas inherentes y a la rapidez con la cual endurece el molde, actualmente es usada en muchas fundiciones. En forma breve, el procedimiento consiste en el mezclado de arena seca de sílice o de otra convencional (número de finura AFS alrededor de 75) con 3½ a 5% de silicato de sodio como aglomerante líquido. Luego queda lista para su uso, y

puede ser colocada en cajas de moldeo y de corazones por máquinas de moldeos normales, sopladores de corazones o a mano.

La arena no debe contener humedad ni arcilla, pero en algunos casos se le pueden agregar otros ingredientes como: polvo de carbón vegetal, brea, grafito o polvo de madera para mejorar ciertas propiedades como la colapsibilidad.

Al terminar su compactación, se fuerza el CO<sub>2</sub> en el interior del molde o del corazón a una presión alrededor de 0,1 MPa. La reacción es un poco complicada, pero se le representa usualmente por la siguiente ecuación química:



El gel de sílice que se forma, endurece y actúa como cemento para juntar los granos de arena. El método de introducción del gas, muy importante para el éxito del proceso, debe ser simple, rápido y uniforme a través del cuerpo de arena, y no debe ser incómodo de aplicar. El tiempo para endurecer un cuerpo de arena de tamaño pequeño o mediano es de 15 a 30 segundos. Para pequeños corazones gasificados, debe colocarse sobre la caja de corazones un cabezal bien ajustado en forma de embudo.

Los moldes muy grandes se pueden endurecer colocando una cubierta sobre ellos, haciendo pequeños agujeros en el interior del molde, o introduciendo el gas en el interior de un agujero o ventila de modelo.

En algunos casos el bebedero queda en los extremos de la tapa y de la base, y para vaciar las piezas se pueden acomodar varios moldes uno seguido de otro como los libros entre soportes.

Los moldes o corazones por CO<sub>2</sub> se pueden hacer rápidamente, no se requiere hornear, puede emplearse mano de obra semiexperta, la superficie de fundición terminada es buena, y se puede usar la misma arena para corazones y moldes.

Algunos agentes aglutinantes de silicato de sodio permiten una cierta seguridad de acción sin CO<sub>2</sub>, y permiten resistencia al corte de 0,6 MPa, y resistencia a la compresión de 2 MPa. Carbón marino o carbón en cantidades de 2% es el aditivo más usado para que al proporcionar vibraciones, la arena se pueda eliminar de la pieza y pulverizar. Los vibradores especiales de arena tienen materiales carbonáceos y son también utilizados.

Muchas de las arenas con aglutinantes de silicato pueden ser vibradas relativamente fácil si se utilizan materiales orgánicos en la mezcla: la arena puede ser usada nuevamente si se agrega 30% de arena nueva, sin embargo, lo económico de la regeneración de la arena está en tela de juicio.

Los moldes tienen una vida corta de almacenaje y algunas veces la pobre colapsibilidad ocasiona problemas. Se está incrementando el uso en industrias de la fundición para metales férreos y no férreos.

#### **2.4.4.6. Moldes de otros materiales**

Diversos materiales, tales como el hule, el papel y la madera se pueden utilizar para moldes de metales con bajas temperaturas de fusión. Las joyas y artículos pequeños se vacían con éxito en moldes de hule. En este trabajo se utiliza frecuentemente una aleación de 98% de estaño, 1% de cobre y 1% de antimonio.

Figura 36. **Molde de caucho de uretano**



Fuente: <http://www.cholotube.biz/ver-videos-moldes-y-fundiciones-como-hacer-moldes-de-caucho-de-silicona%3Bakq-MWUs8xE.html>. Consulta 28 de mayo de 2011.

Un ejemplo es, el hule con silicones Dow Corning, producto conocido como Silastic®. Este material puede ser usado para modelos de fundición de cera, plástico o en aleaciones de bajo punto de fusión. Los moldes estando a 260 °C se pueden reproducir con fino detalle, como se quiera, con un promedio de alta fidelidad. El material es tan flexible que puede ser extraído de formas complejas sin dificultad.

Figura 37. **Molde de caucho de silicón similar al Dow Corning**



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/silicone-rubber-similar-dowcorning-394643129.html>. Consulta 28 de mayo de 2011.

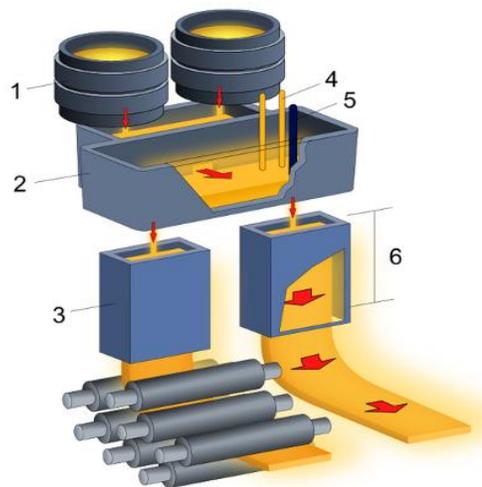
El proceso Shaw es una mezcla de arena con silicato de etilo hidrolizado y otros ingredientes que permiten el recubrimiento del molde que va a ser pelado del modelo. El modelo necesita no ser de cera o mercurio, en el estado como vaciado, el material viene a ser como hule. Entonces se elimina el modelo, el molde se enciende y luego se cuece para proporcionarle rigidez, permeabilidad y alta calidad de acabado en la superficie del molde. El proceso Shaw se adapta para formas complejas y el modelo es útil nuevamente, pudiéndose adaptar para operaciones automáticas, pero relativamente implica tiempo y costo, excepto para ciertas fundiciones.

Los tipos (modelos de caracteres) para una página completa de los periódicos, se vacían en un molde llamado tapete, sobre el cual se han hecho las impresiones del tipo y las ilustraciones, sobre papel húmedo. El metal para tipos se vacía en el molde después de que el papel ha secado. La madera de grano frontal también se utiliza como material para moldes, para aleaciones de bajo punto de fusión, cuando se requiere un número limitado de piezas simples.

### 2.4.5. Fundición continua

La investigación y los trabajos experimentales han probado que hay muchas oportunidades para lograr costos económicos en la fundición continua de metales. En suma, los metales como punto de partida para la fundición continua tienen un alto grado de solidez y uniformidad, no poseída por otros métodos de producción de barras y tochos. En forma breve, el proceso consiste en vaciar continuamente el metal fundido en el interior de un molde, el cual tiene las facilidades para enfriar rápidamente el metal hasta el punto de solidificación, y en seguida, extraerlo del molde. Los siguientes procesos son típicos.

Figura 38. Colada continua (1. Crisol, 2. Cuchara de colada, 3. Molde, 4. Control de temperatura, 5. Tapón, 6. Entre 0,5 y 2 m)



Fuente: [http://cerezo.pntic.mec.es/rlopez33/bach/tecind1/Tema\\_7/moldeo.html](http://cerezo.pntic.mec.es/rlopez33/bach/tecind1/Tema_7/moldeo.html). Consulta 28 de mayo de 2011.

#### **2.4.5.1. Proceso de molde alternativo**

En este proceso, por ejemplo, para fundir planchas se utiliza un molde de cobre alternativo enfriado por agua, la carrera hacia abajo se sincroniza con la velocidad de descarga de la plancha. El metal líquido es vaciado en un horno mantenedor, y se descarga en el molde después de haber sido medido a través de un orificio de 22 mm a la válvula de la aguja. El tubo de descarga es de 29 mm de diámetro y libera al metal a un promedio de 3,78 Kg/s.

El metal fundido se distribuye transversalmente en el molde por medio de una pieza horizontal atravesada que queda sumergida. El nivel del metal se mantiene todo el tiempo constante. La velocidad de vaciado del metal líquido se controla mediante una válvula de aguja que sale por la parte superior del horno mantenedor. A medida que el metal se enfría en la parte inferior del molde, es descargado a velocidad constante, entrando a los rodillos separadores. Estos van sincronizados con el movimiento hacia abajo del molde y están montados justamente arriba de una sierra circular que corta los planchones a las longitudes requeridas.

Los planchones de bronce así producidos, se transforman en láminas y cintas mediante laminado en frío. También se producen en la misma forma, grandes cantidades de piezas redondas de 178 a 254 mm de diámetro, para procesos de extrusión en caliente.

Figura 39. **Máquina de colada continua**



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/slab-continuous-casting-machine-326970465.html>. Consulta 28 de mayo de 2011.

#### **2.4.5.2. Proceso Asarco**

Este proceso difiere de otros procesos continuos en que la matriz formadora o molde, queda integrado con el horno, y no hay problema para controlar el flujo de metal. El metal se alimenta por gravedad al interior del molde desde el horno y se va solidificando continuamente, y es extraído por los rodillos inferiores. Una parte importante de este proceso es la matriz de grafito enfriada por agua, que es autolubricada, es resistente a los choques térmicos y no es atacada por las aleaciones a base de cobre.

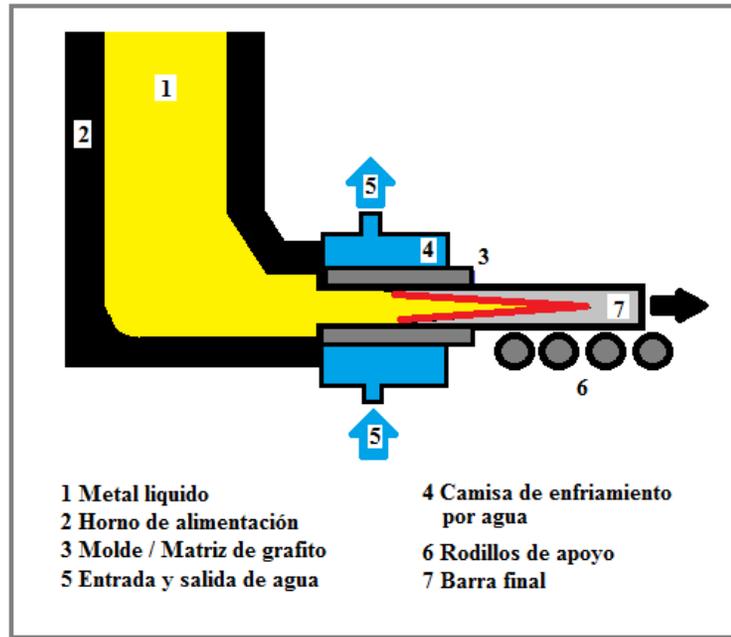
El extremo superior del metal líquido, actúa como un rebosadero y compensa por cualquier contracción que pudiera ocurrir durante la solidificación, en tanto que actúa simultáneamente como una trayectoria para la disipación de los gases desarrollados. Estas matrices se maquinan fácilmente a la forma requerida y se pueden obtener productos que varían de 10 a 230 mm

en diámetro. La producción múltiple a partir de una matriz simple permite el vaciado de barras de menor sección recta.

Al iniciar el proceso, se coloca entre los rodillos extractores una barra del mismo perfil que la que se va a colar, en el interior de la matriz. Esta barra se engarza (se encadena o traba) con una longitud corta de la que se va a fundir. A medida que el metal líquido entra en la matriz, funde en el extremo superior de la barra, formando una unión perfecta. El ciclo de colado comienza luego con los rodillos extractores y el metal fundido solidifica de continuo a medida que se va enfriando y es extraído de la matriz. Cuando la fundición deja el horno, llega finalmente al piso de corte donde es cortada a la longitud deseada, estando todavía en movimiento.

Un receptor oscilante toma la pieza y la descarga en posición horizontal, y de ahí va a las operaciones de inspección y enderezado. El proceso ha probado tener éxito para el cobre fosforoso y muchos de los bronce normales. Se pueden emplear las aleaciones para producir piezas redondas, tubos cuadrados o formas especiales. Las propiedades físicas son superiores a las obtenidas mediante moldes permanentes y fundición a la arena.

Figura 40. **Fabricación de barras por colada continua en molde de grafito**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo\\_en\\_grafito](http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_en_grafito). Consulta 28 de mayo de 2011.

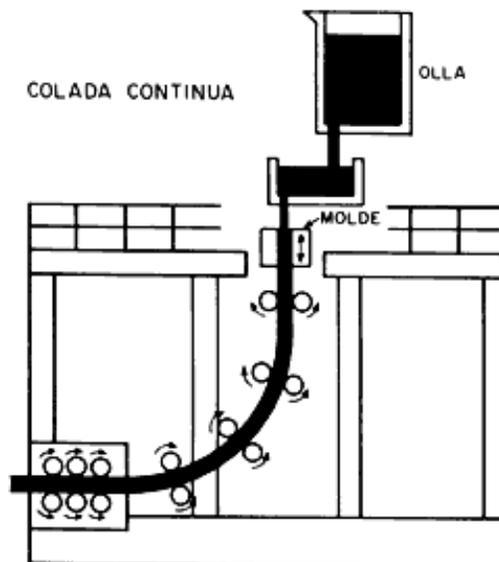
### 2.4.5.3. **Proceso de fundición continua con molde de latón**

El proceso de fundición continua para aceros al carbono y aceros aleados usando moldes de latón o cobre de grandes espesores, los cuales permiten una velocidad de flujo de calor que es suficiente para prevenir que el molde sea dañado por el metal que se empieza a vaciar. Los moldes de latón o cobre tienen una alta conductividad de calor, por lo que no son mojados por el acero líquido. La sección transversal usada varía alrededor de 7 a 57 mm<sup>2</sup>. El metal es suministrado al molde por medio de una boquilla colocada en un vertedero o caja de colado. El vertedero es a su vez alimentado desde una olla convencional.

El enfriamiento rápido del molde es esencial para el éxito de este proceso y da como resultado una mejoría en la vida del molde, menor segregación, menor tamaño del grano y una mejor superficie. Realmente el metal que está próximo a las paredes del molde solidifica sólo unos cuantos centímetros debajo de la superficie superior y se contrae ligeramente a partir de las paredes del molde. A medida que la sección fundida abandona el molde frío pasa por una sección que controla la velocidad de enfriamiento y en donde los rodillos guadores impiden la expansión de la pieza fundida.

Debajo de esta área están los rodillos extractores que controlan la velocidad a la cual la pieza debe pasar por el área de corte. Los colados se cortan a las longitudes requeridas por medio de un soplete de oxiacetileno. Los colados se rolan, forjan o extruyen en lupias, tochos o planchones.

Figura 41. **Proceso de colada continua**



Fuente: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec\\_7.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec_7.htm).

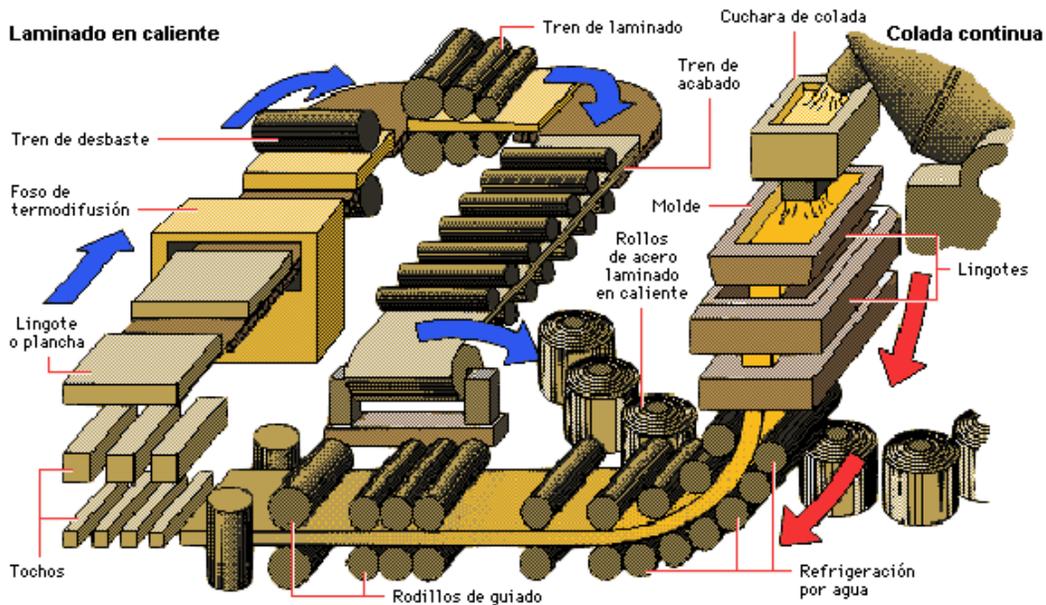
Consulta 28 de mayo de 2011.

#### **2.4.5.4. Proceso de enfriamiento directo**

En este proceso se vacían en forma continua, lingotes de aluminio y de aleaciones de aluminio, formando una cáscara en un molde vertical estacionario, enfriado por agua. La solidificación se complementa por la aplicación directa de agua abajo del molde. Al comenzar, el molde está tapado por un bloque colocado sobre un elevador o por medio de un falso lingote. El metal líquido es alimentado desde un horno a través de vertederos y conductos, regulando el flujo manual o automáticamente por medio de un flotador controlador, de modo que coincide con la rapidez del colado que se controla mediante el elevador, o de rodillos impulsores. Se pueden producir piezas de secciones arriba de 1 m<sup>2</sup>.

Las longitudes, 2,5 a 3,8 m de largo, limitados por la carrera del elevador, o bien cuando se emplean rodillos, los lingotes se cortan a las longitudes finales. La calidad superficial es adecuada tal y como sale del colado para ciertas aleaciones y productos, o puede requerir quitar una delgada capa superficial, para otras aleaciones, o para aplicaciones más críticas.

Figura 42. Colada continua y laminación en caliente

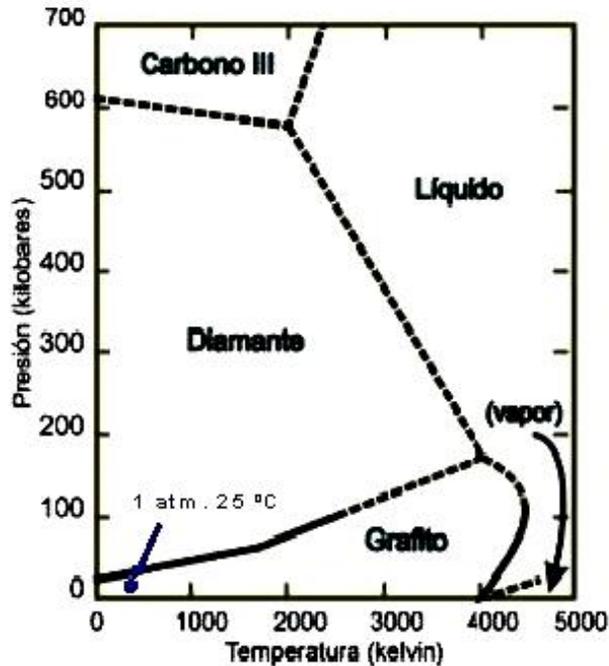


Fuente: <http://html.rincondelvago.com/acero-y-hierro.html>. Consulta 28 de mayo de 2011.

## 2.5. Preparación de metales puros

Las cantidades mínimas de impurezas tienen efectos profundos sobre las propiedades del metal. Por consiguiente, para tener datos de investigación confiables y significativos, es necesario usar metales de alta pureza. El nivel de pureza requerido depende de la sensibilidad de la propiedad medida a las diferentes impurezas presentes. Por ejemplo, con sólo un 0,001% de carbón es suficiente para causar el fenómeno del punto de cedencia en una prueba de tensión en hierro, y en general, las propiedades mecánicas son muy sensitivas a la composición. Por otro lado, para la determinación de un diagrama de fase confiable, la pureza de los metales utilizados puede no ser tan crítica.

Figura 43. Ejemplo de un diagrama de fase, diamante



Fuente: <http://www.oviedocorreio.es/personales/carbon/curiosidades/diamantes.htm>. Consulta 30 de mayo de 2011.

En la mayoría de los casos, el investigador tiene oportunidad de escoger entre las diferentes clases de metales que empleará en su trabajo, algunos tipos tienen purezas equivalentes, pero las impurezas son diferentes. Al estimar la importancia de la pureza debe tenerse en mente que en general el porcentaje atómico de impurezas es más importante que el porcentaje en peso, ya que el efecto de cantidades pequeñas de elementos solubles es generalmente proporcional a su porcentaje atómico o fracción mol.

También la pureza absoluta de metales ligeros que contienen impurezas de metales pesados viene a ser mucho mayor que la de los metales pesados

que contienen el mismo porcentaje en peso de impurezas. Si el aluminio de pureza 99,99% contiene 0,01% en peso de impurezas de peso atómico medio 50, contiene solamente unos 0,0054 en porcentaje atómico de impurezas. La situación inversa se obtiene al tratar con metales básicos de peso atómico elevado que contienen impurezas de peso atómico bajo.

Cuando sea posible, se deben comprar los metales puros, en lugar de prepararlos en el laboratorio. Es muy difícil preparar metales en pequeña escala con la pureza que se logra en operaciones a gran escala, a causa de la relación más favorable de superficie a masa en la operación a gran escala. Sin embargo, otros factores en juego tal como la experiencia, saber cómo hacer las cosas y equipo especial que los productores de metales ha ensamblado durante largo tiempo.

Hace unos años existía la tendencia general, tanto entre los productores, como entre los consumidores de metales, a ignorar las impurezas no metálicas, particularmente las del nitrógeno, hidrógeno y oxígeno, para las que no se disponía de métodos analíticos adecuados.

Afortunadamente esta situación no prevalece. Con el desarrollo de los métodos de análisis de fusión de gas al vacío y las técnicas relativas, se halla frecuentemente información analítica sobre tales impurezas. De cualquier forma, es bueno recordar que un metal puede ser muy impuro aun si el análisis espectrográfico demuestra que se tiene una pureza elevada respecto a las impurezas metálicas.

### **2.5.1. Metales puros disponibles comercialmente**

La tabla VIII menciona la mayoría de los metales de interés para la investigación. Esta indica algunos de los tipos más puros que se pueden encontrar, junto con ciertos análisis típicos, varios proveedores y formas en las cuales se vende el metal. No se incluyen los precios ya que son muy variables. Sin embargo, cabe afirmar la frecuencia con que los grados más puros se pueden encontrar con las firmas especializadas en patrones espectrográficos. Tales patrones se venden normalmente en lotes de unos cuantos gramos y, naturalmente, se pide un precio muy elevado para esos metales especialmente purificados.

En general, el grado más puro reconocido por los autores del libro Técnicas de metalurgia experimental, es el que se enlista primero, siguiéndole en orden otros tipos. Cuando se pudo obtener un análisis típico se dio este, pero lamentablemente en muchas de las clases falta esta información.

Las fuentes indicadas son las que se consideran más satisfactorias según la experiencia de los autores del libro mencionado en el párrafo anterior, pero a menudo se pueden encontrar buenos proveedores que no figuran en la lista por falta de espacio.

Tabla VIII. Metales puros disponibles comercialmente

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Aluminio	99,99	0,002 Fe 0,002 Cu 0,002 Si <0,001 Mg 0,000X Na <0,001 Ca 0,000X Ba 0,000X Ga* 0,000X Zn* 0,000X Pv* 0,000X Sn*	Lingote Recortado	1	
	99,80 – 99,85	0,07 Si 0,014 Ga 0,000X Mg 0,000X Ti 0,000X Mn 0,000X Zn 0,000X Cu Mo* V* Pb* Fe (la mayor parte del remanente)	Lingote recortado	1	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Anti- mo- nio	99,89	0,030 Fe 0,040 S 0,030 As tr Pb 0,010 Cu 0 Zn 0 Bi 0 Se	Masivo	2	Marca "Lone Star"
	99,84	0,030 Fe 0,040 S 0,020 As 0,010 Pb 0,010 Cu 0 Zn 0 Bi 0 Se		2	Marca "RRM"
Arsé- nico	99,0	No se cita	Masivo		
	99,5	No se cita	Escorias cristalinas	4	Patrón espectrográfico
Bario	99,0	No se cita	Lingote	3	
	98,0	No se cita	Rodillo	3	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Bario	98	0,14 N2 0,25 Mg 0,20 Ca	Rodillo de 20 mm de diám., biletos de colado	5	
	98 +	0,05 Al 0,25 Ca 1,0 Sr 0,12 Mg	Biletos, rodillo extrudado	12	
Berilio	~ 98 +	0.10 Al "más Mg residual" 0,1 Fe 0,03 Si (también ~ 1 % Be O) 0,05 Cu 0,05 Mn	Masivo	6	El análisis citado es para el metal reducido, el cual está invariablemente contaminado con 1 - 2 % de MgF <sub>2</sub> - BeF <sub>2</sub> : Estas sales se pueden eliminar fácilmente durante una fusión al vacío. (un metal de pureza similar se puede obtener de 7)

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Berilio	~ 99,3	0,08 Al 0,0009 Ca 0,013 Cr 0,005 Cu 0,085 Fe 0,005 Mg 0,024 Mn 0,014 Ni 0,075 Si 0,2 Be 0	Lingote		
Bismuto	99,99 +	<0,0002 Cu 0,0001 Fe 0,0001 Ag (no se detectaron otros elementos)	Torta de colado	8,00	
	99,9	No citado	Lingote	3	
Boro	99,50	0,16 C 0,28 Fe	Polvo	5,00	
	98,60	0,32 C 0,80 Fe	Polvo	5,00	
Cadmio	99,99	0,0009 Pb 0,0015 Cu (no se detectaron otros elementos)	Torta de colado	8	(orden máxima de 1 Lb)

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Cadmio	99,92	0,0128 Cu 0,0595 Pb 0,00048 Fe 0,0028 Zn	Torta de colado	9	
	99,86	0 Cu 0,02 Pb 0,10 Fe 0,02 Zn	Torta de colado	10	
Calcio	99,7	0,02 C 0,15 Al 0,10 Mg 0,03 N 0,001 Fe	Masa cristalina ¼ a 14 pulgadas	11,00	Calcio destilado
	99,7	0,02 N 0,15 Mg 0,021 Fe 0,0015 Mn 0,001 Cu 0,0005 Ni 0,001 Cr	Cristal destilado, rodillo de 10 cm	12,00	Calcio destilado
	99	0,12 N 0,4 Mg 0,006 Fe 0,003 Mn 0,001 Cu 0,005 Ni 0,001 Cr	Biletes de 100 Lbs., rodillo extrudado	12,00	Calcio destilado

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Cerio	98,5	No se cita	Lingote	3	
Cesio	99,9	No se cita	En vidrio al vacío	3	
Cromo	99,0	0,04 Fe 0,01 Cu 0,01 Pb 0,01 C 0,02 S 0,02 H 0,01 N 0,45 O	Placas pequeñas, gránulos, polvo	11	Nota: el contenido de O <sub>2</sub> es más bajo que en la del tipo de arriba
	99,3	0,4 Fe 0,01 S 0,03 H 0,17 O			
	99,85	No se cita	Gránulos	4	
Cobalto	99,99	No se cita	Esponja	4	Patrón espectrográfico
	99,9	0,05 Fe tr Mn 0,02 Si no C 0,04 Ni 0,01 Cu 0,003 S	Placa electrolítica		

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Co-balto	99,5	<0,0001 N2 <0,01 O2 <0,0001 H2 tr Ca <0,01 C 0,15 Fe tr Mg 0,3 Ni 0,05 Si	Lingote fundido al vacío	13	
	98,5 – 99,0	0,02 – 0,06 Cu 0,01 – 0,04 S 0,06 – 0,16 Fe 0,15 – 0,40 Ni 0,14 – 0,06 Mn 0,10 – 0,40 CaO <0,10 C		14	
	99,0	0,40 Ni 0,047 Fe 0,002 Cu 0,05 C 0,018 CaO 0,03 Mn 0,019 S 0,043 Si	Roldanas	15	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Co-lum-bio	99,9 ?	0,01 C tr Fe tr Ti tr Ta tr Sn tr Zr	Alambre de hoja de polvo	16	Patrón espectrográfico
	99,99	No citado	Polvo de 50 mallas	4	
	99,5	No citado	Lingote	3	
Co-bre	99,999	<0,00007 Fe <0,0001 Sb <0,0001 Pb <0,0001 Sn <0,0001 Ni <0,00001 Bi <0,00003 Ag <0,0002 As <0,00005 Cr <0,00001 Si <0,0002 Te <0,0001 Se <0,0001 S	Rodillo de colado continuo	8	Se dispone del cobre más puro

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Cobre	99,99 +	<0,0001 N2 <0,0001 O2 <0,0001 H2 <0,001 As tr Bi <0,002 Fe	Lingote fundido al vacío	13	
Cobre	99,99 +	<0,0001 Pb <0,0005 Ni <0,003 Ag <0,0001 S tr Sn tr Zn  0,0001 Ag 0,0000 O2 0,0032 S 0,001 Fe 0,0002 As 0,0005 Sb 0,0000 Bi 0,0003 Pb 0,0013 Ni 0,0000 Se + Te no P no Si	Cuadrados de cátodo	42	Cátodo de cobre contiene algo de hidrógeno

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Cobre	99,98 +	0,002 Ag 0,0000 O <sub>2</sub> 0,0025 S 0,0015 Fe 0,0008 As 0,0028 Sb 0,0000 Bi 0,0004 Pb 0,0016 Ni 0,0031 Se + Te 0,0000 P 0,0015 Si	Usualmente rodillos y formas redondas	42	O. F. H. C. (libre de oxígeno, alta conductividad) cobre
Galio	99,99	0,0001 Si 0,00005 Mg 0,00025 Ca 0,0060 Cu 0,0065 Fe 0,0050 Pb 0,0004 Sn (espectrográficamente no se detectaron otros elementos)	Masivo	17	Se vende usualmente en recipientes de vidrio o de caucho como metal que funde a ~ 30 ° C
	99,9	Ninguno citado	Masivo	3	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Ger- ma- nio	99,999	0,00025 Si 0,00005 Mg 0,0001 Ca 0,0003 Cu 0,0001 Fe 0,0002 Pb (espectrográficamente no se detectaron otros elementos)	Masivo	17	
Oro	99,995	<0,001 Ag <0,001 Pd <0,005 Cu	Polvo de 40 mallas	18	Oro de alta fineza
	99,96	<0,03 Ag <0,01 Pd <0,005 Cu	Placa rodillo alambre	18	Oro de finura comercial
Haf- nio	99,0	0,15 – 0,084 Si 0,018 – 0,074 Al <0,003 Ti <0,003 – 0,006 Fe 0,70 – 0,89 Zr 0,003 – 0,004 N2 0,037 – 0,043 O2 0,003 – 0,004 N2	Barra cristalina	19	Probablemente no es un producto comercial regular
	99,3	Ninguno citado		3	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Indio	99,99 +	0,0003 Fe 0,00025 Al 0,002 Pb (No se detectaron otros elementos)	Varilla Extrudada	8	
	99,9	Ninguno citado	Lingote	3	
	99,999 ?	0,0005 Mg		20	
	99,95	0,007 Cu tr Pb 0,01 Zn 0,01 Sn		20	
Iridio	99,995	Ninguno citado	Esponja	4	Patrón espectrográfico
	99,99	Ninguno citado	(alambre de 1,6 mm diám.)	4	Patrón espectrográfico
	99,9	Trazas de otros metales platínidos, más hierro, níquel, cobre, plomo, cadmio y silicio	Placa, hoja, banda y alambre	40	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Hie- rro	99,95	<0,001 N2 <0,02 O2 <0,005 H2 <0,001 Al <0,001 Cr <0,001 Co <0,001 W <0,001 Cu <0,001 Mn <0,001 Mo <0,001 Ni <0,001 Sn <0,001 Ti <0,005 C <0,01 Si	Lingote de colado al vacío	13	
	99,9	0,001 Impurezas metálicas 0,08 O2 0,01 C no S no P no N		21	Puron
	99,8	0,005 – 0,03 C 0,1 – 0,2 O2 0,005 – 0,05 N2	Polvo	22	Carbonilo de hierro

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Hierro	99,9 +	0,03 C tr Si no Mn 0,011 S	Placas electrolíticas	23	Hierro electrolítico
Lantano	98,0	A completar el balance principalmente con torio, 1,25 Fe		5	
	99,0	Ninguno citado	Lingote	3	
Plo- mo	99,999 +	<0,0001 Bi 0,0001 Cu 0,0002 Fe	Varilla colada	8	
	99,99 +	0,0004 Ag 0,0003 Cu 0,005 Bi 0,0002 Zn 0,0001 Cd 0,0002 Fe 0,0001 As + Sb - Sn 0,0001 Ca + Ni		2	Tipo Doe Run

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Plo- mo	99,99 +	0,0004 Ag 0,0005 Cu 0,001 Bi 0,0002 Zn 0,0002 Fe 0,0001 As 0,0015 Sb 0,0001 Cd tr Ca + Ni		2	Tipo "U. S. S. Electrolytic"
Litio	99,6	0,009 Si 0,03 Fe + Al 0,09 Ca 0,02 Na 0,07 metales pesados 0,02 N2	Masivo	25	Clase de bajo sodio (otros tipos contienen cerca de 0,65 Na)
	99,6	0,005 Na 0,02 Ca 0,005 K 0,06 N2 0,001 Fe	Masivo	26	Del tipo de bajo sodio (otros tipos contienen cerca de 0,6 Na)

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Magnesio	99,98	0,005 Al 0,004 Ca 0,0006 Cu 0,003 Fe 0,005 Mn 0,0005 Ni 0,001 Pb 0,004 Si 0,001 Zn 0,005 Ag 0,001 Na	Barra redonda, lingote cortado, planchas de colado	12	Magnesio de alta pureza (99,95 Mg garantizado) Fe + Ni + Cu no exceden de 0,005 %
	99,97	0,009 – 0,024 Al <0,001 Cu 0,001 Fe 0,003 Mn 0,0005 Ni <0,02 Zn <0,01 Si <0,003 – 0,005 B <0,0002 Be <0,015 Ca 0,002 Pb	Barras redondas	27	Pureza especial (Mn + Fe + B menor de 0,006, todo lo demás menos de 0,02)

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Mag- nesio	99,9 +	0,0005 Al 0,0013 Cu 0,030 Fe 0,0048 Mn <0,001 Ni <0,005 Si <0,00005 B	Barras redondas	27	Tipo electrolítico comercial
Man- gane- so	99,97	0,004 C 0,0135 S <0,001 Ca <0,001 Cu <0,001 Fe <0,001 Mg <0,001 Ag Ausentes espectrográficamente: Al, Sb, As, Cd, Cr, Co, Pb, Mo, Ni, K, Si, Sn, Ti, W, V, Zn.	Hojuelas electrolíti- cas	28	
	99,99	Ninguno citado	Piezas quebradas	4	Patrón espectrográfico
Mer- curio	99,9999	Residuo máx. 0.0001	Líquido	29	Mercurio redestilado
Molib- deno	99,9	0,005 Fe 0,003 C	Rodillo y placa	16	Polvo tipo 124

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Molibdeno	99,9	0,015 C 0,10 O2 0,02 Ni	Polvo		Los datos analíticos detallados sobre molibdeno son muy dispersos
	99,9	Ninguno citado	Placa, alambre, polvo	30	
	99,9	Ninguno citado	Polvo	21	
Niquel	99,9 +	<0,001 N2 <0,005 O2 <0,0001 H2 <0,001 Al <0,001 Ca 0,02 Co <0,001 Mg <0,001 Mn <0,001 Si <0,001 Sn <0,005 C 0,01 Cu 0,04 Fe	Lingote fundido al vacío	13	Patrón espectrográfico
	99,99	Ninguno citado	Esponja	4	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Ni-quel	99,9	Ninguno citado	Polvo	3	Carbonilo de níquel
	99,85	0,1 Co 0,01 – 0,03 Cu 0,01 – 0,04 Fe tr C tr S	Cuadrados de cátodo	41	Níquel electrolítico
	~ 99,6	0,1 Fe 0,037 C 0,019 S 0,006 Si 0,013 Cu (~ 0,1 Co)	Pastillas		
Os-mio	99,995	Ninguno citado	Esponja	4	Patrón espectrográfico
	?	Ninguno citado	Polvo	3	
Pala-dio	99,995	Ninguno citado	Esponja, alambre	4	Patrón espectrográfico
	99,9	Ninguno citado	Polvo o sólido	3	
	99,99	Trazas de otros metales platínidos, más hierro, níquel, cobre, plomo, cadmio y silicio	Placa, hoja, banda y alambre	40	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Platino	99,999	Ninguno citado	Esponja, alambre	4	Patrón espectrográfico
	99,99	Trazas de otros metales platínidos, más hierro, níquel, cobre, plomo, cadmio y silicio	Placa, hoja, banda y alambre	40	
	99,9	Ninguno citado	Polvo o sólido	3	
Potasio	99,0	Ninguno citado	Rodillos	3	
Praseodimio	?	Ninguno citado	Lingote	3	
Renio	99,9	Ninguno citado		31	Patrón espectrográfico
	99,99	Ninguno citado	Polvo	4	
Rodio	99,995	Ninguno citado	Esponja, alambre	4	Patrón espectrográfico
	99,9	Trazas de otros metales platínidos, más hierro, níquel, cobre, plomo, cadmio y silicio	Placa, hoja, banda y alambre	40	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Rodiodio	?	Ninguno citado	Rodillo, placa, alambre, polvo	3	
Rubiodio	99,9	Ninguno citado	En vidrio al vacío	3	
Rutenio	99,995	Ninguno citado	Esponja	4	Patrón espectrográfico
	99,9	Trazas de otros metales platínicos, más hierro, níquel, cobre, plomo, cadmio y silicio	Esponja o polvo	40	
Selenio	99,99 +	<0,001 Te Si presente tr As tr desfallecientes de Cu tr desfallecientes de Fe (No se detectaron otros elementos)	Pastillas	8	Patrón espectrográfico
	99,99	Ninguno citado	Perdigones	4	
	99,95	Ninguno citado	Pastillas	3	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Selenio	99,85	0,08 Te 0,015 Fe 0,002 Fu 0,006 Pb	Polvo		
	99,7	0,12 Te 0,13 Cenizas 0,001 Cu 0,01 Fe			
Silicio	99,8 +	0,005 – 0,015 Fe 0,02 – 0,03 Al 0,0005 – 0,0015 Mn tr – 0,01 Ca tr – 0,004 Cr 0,02 – 0,04 C 0,005 – 0,01 P tr – 0,004 Ca + Ni 0,002 – 0,005 Ti + Zr 0,03 – 0,08 O <sub>2</sub> 0,004 – 0,0022 H <sub>2</sub> 0,004 – 0,013 N <sub>2</sub>	Polvo de 30 mallas o más fino	11	
	99,99	Ninguno citado	Cristales	4	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Plata	99,99 +	0,0001 Pb 0,0001 Cu 0,0003 Fe (No se detectaron otros elementos)	Cristales	8	Plata de alta finura
	99,99	<0,005 Cu <0,001 Pb <0,001 Fe tr Mg	Placa, rodillo, alambre	18	
	99,97	0,02 Cu 0,002 Pb 0,001 Fe tr Mg	Placa, rodillo, alambre	18	
Sodio	99,9 +	<0,0001 Cr 0,00005 Fe 0,0002 Hg 0,0150 K 0,0067 Li 0,0035 S 0,0021 Si 0,0002 Ba <0,0001 Ni <0,0001 Pb <0,0001 Cu <0,0001 Mn <0,0001 Cl	Ladrillo	32	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Sodio	99,9 +	<0,0001 Cd 0,0002 Cs <0,0001 Co 0,035 Ca 0,00017 Al 0,0002 B 0,004 C 0,0011 P tierras raras <0,00005	Ladrillo	32	
	99,9	Ninguno citado	Rodillo	3	
Es-tron-cio	99,0	Ninguno citado	Rodillo	3	
	98,0 +	0,06 Al 0,25 Ca 0,55 Ba 0,25 Mg	Bilete, rodillo extrudado	12	
	99 ?	0,20 Ba 0,05 N2 0,25 Mg 0,50 Ca	Bilete, rodillo	5	
Tanta-lío	99,9	0,3 máx. Fe 0,03 máx. C	Rodillo, placa	16	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Tantalio	99,7	0,03 máx. Fe 0,05 máx. C 0,05 máx. W 0,15 máx. Cb	Polvo	16	Polvo tipo 268
Telurio	99,9 +	Ninguno citado	Polvo	8	Patrón espectrográfico
	99,99	Ninguno citado	Polvo	4	
	99,5	Ninguno citado	Varillas, polvo	3	
	99,7	0,07 Se 0,03 Cu			
Talio	99,99 +	0,001 Cu 0,002 Pb Bi<0,0001 Sb, As, no Fe	Varilla colada	8	
	99,9 +	Ninguno citado	Rodillos	3	
Torio	99,5	Ninguno citado	Rodillos, polvo	3	
	98 - 99	Ninguno citado	Polvo	5	
Estaño	99,997	0,0005 Pb  0,0005 Cu 0,0015 Fe 0,0001 As	Barras pequeñas	34	Estaño de alta pureza para patrón espectrográfico

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Estaño	99,997	<0,0001 Sb 0,0001 Bi + Ag + In <0,0001 Bi <0,0001 Ag no In 0,0025 Pb + Cu + Fe 0,0001 As + Sb	Barras pequeñas	34	Estaño de alta pureza para patrón espectrográfico
	99,99 +	0,0018 Fe 0,0005 Pb tr Cu tr Sb 0,0003 Ni	Bolas de 5 cm de diámetro	34	Estaño de tipo altamente comercial
	99,99	0,004 Sb 0,031 As 0,029 Pb 0,007 Bi 0,025 Cu 0,009 Fe no Ag no S tr Ca + Ni no Cd		2	Marca comercial Strait
Titanio	99,9 +	0,03 C 0,02 Si	Barra cristalina	35	

Continuación de la tabla VIII.

<b>Metal</b>	<b>Pureza</b>	<b>Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)</b>	<b>Forma</b>	<b>Proveedores (ver la lista al final de la tabla)</b>	<b>Observaciones</b>
Tita- nio	99,9 +	0,02 Fe  0,03 Al 0,01 N2 0,04 Mn (Cu, Cr, Pb, Mo, Mg, Ni, V, W, Sn y otros en no más de 0.01 cada uno)	Barra cristalina	35	Tipo No. 1 (Especificaciones A. S. T. M. tentativas)
	99,3	0,08 W 0,05 C 0,08 N2 0,12 Fe 0,2 máx. R2O3	Lingote, placa, rodillo, alambre	36	
Vol- fra- mio	99,9 +	0,03 máx. KCl 0,02 máx. SiO2 0,02 máx. R2O3 0,02 máx. CaO 0,052 O2	Polvo, - 200 mallas	16	Polvo tipo 425
	99,9 +	Ninguno citado	Alambre	30, 21	
Ura- nio	99,9	Ninguno citado	Rodillo o torneadura	3	
Vana- dio	99,8	0,05 C 0,07 O2 0,003 H2 0,08 N2	Gotas, lingote, barra forjada o rolada, placa, hoja	11	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Vanadio	99,7	0,05 Si 0,05 Fe <0,05 Al <0,001 N <sub>2</sub> <0,001 Cr A balancear O <sub>2</sub>	Masivo, pastillas	38	
Cinc	99,999	<0,0002 Pb 0,0005 Fe 0,000052 Cd	Planchas de colado	35	Tipo químicamente puro
	99,999	<0,0002 Pb <0,00005 Cd	Planchas de colado	35	Espectrográficamente puro
	99,99	0,007 máx. Pb 0,005 máx. Fe 0,005 máx. Cd	Plancha de colado	35	Tipo especial de alta pureza.
	99,99 +	0,0006 Cd 0,0007 Pb 0,0003 Cu 0,0002 Fe 0,0004 Ag (no se detectaron otros elementos espectrográfica o químicamente)	Torta de colado	8	

Continuación de la tabla VIII.

Metal	Pureza	Impurezas principales (porcentaje en peso, * = algunas veces se detectan)	Forma	Proveedores (ver la lista al final de la tabla)	Observaciones
Cinc	99,99 +	0,0026 Pb 0,0012 Cd 0,0009 Fe 0,0003 Cu	Placa	39	Cinc electrolítico
Circonio	99,9 +	<0,005 – 0,06 Si <0,003 – 0,021 Al <0,003 – 0,007 Ti <0,003 – 0,020 Fe 0,004 – 0,12 Hf 0,005 – 0,054 O2 0,005 – 0,034 N2	Barra cristalina	19	
	98,5	1,9 Hf 0,15 C 0,10 N2 0,07 O2 0,75 Fe 0,04 Cr 0,01 Ni 0,015 Si	Esponja, lingote	24	
Notas a la tabla (Proveedores)					
1. Aluminum Company of America. Pittsburg, 19, Pa. 2. National Lead Co., Research Laboratories, 105 York St, Brooklyn 1, N. Y. 3. A. D. Mackay, Inc., 198 Broadway, Nueva York 7, N. Y.			23. National Radiator Co., 223 Central Ave., Johnstown, Pa. 24. Titanium Alloy Mfg. Co. National Lead Co., 111 Broadway, Nueva York 6, N. Y. 25. Maywood Chemical Works, Ill West Hunter Ave., Maywood, N. J.		

Continuación de la tabla VIII.

<p>4. Jarrell - Ash Co., 167 Newbury St. Boston 16 Masss.</p> <p>5. Cooper Metallurgical Associates, Box 1791, Cleveland 5, Ohio.</p> <p>6. Brush Beryllium Co., Cleveland, Ohio</p> <p>7. The Beryllium Corp., Reading, Pa.</p> <p>8. American Smelting &amp; Refining Co., 19 Nassau St., Nueva York, N. Y.</p> <p>9. United States Smelting, Refining &amp; Mining Co., 75 Federal St., Boston, Mass.</p> <p>10. St Joseph Lead Co., 250 Park Ave., Nueva York, N. Y.</p> <p>11. Electro Metallurgical Co., Div. Of Union Carbide &amp; Carbon Corp. 30 East 42 St. Nueva York 17, N. Y.</p> <p>12. Dominion Magnesium Ltd., 320 Bay St.</p> <p>13. National Research Corp., 70 Memorial Drive, Cambridge, Mass.</p> <p>14. The Pyrites Co., Inc., Wilmington, Del.</p> <p>15. African Metals Corp., 25 Broad St., Nueva York, N. Y.</p> <p>16. Fansteel Metallurgical Corp., North Chicago, Ill.</p> <p>17. Eagle - Picher Co., Research Dept. Post Office Box 290, Joplin, Mo.</p> <p>18. Handy &amp; Harman, 82 Fulton St. Nueva York 7, N. Y.</p>	<p>26. Metalloy Corp. 527 Marquette Ave., Minneápolis, Minn.,</p> <p>27. Dow Chemical Co., 1000 Main St. Midland, Mich.</p> <p>28. Electro Manganese Corp., Knoxville, Tenn.</p> <p>29. F. W. Berk and Co., Inc., 420 Lexington Ave. Nueva York, N. Y.</p> <p>30. General Electric Co., Cleveland Wire Works, Cleveland 14, Ohio.</p> <p>31. A. D. Melanen, University of Tennessee, Knoxville, Tenn.</p> <p>32. E. I. du Pont de Nemours &amp; Co., Inc., Wilmington 98, Del.</p> <p>33. Eimer &amp; Amend, 635 Greenwich St., Nueva York, N. Y.</p> <p>34. Vulcan Detinning Co., Sewaren, N. J.</p> <p>35. New Jersey Zinc Sales Co., Front and Fletcher Streets, Nueva York 7, N. Y.</p> <p>36. Titanium Metals Corp., 60 E. 42nd St., Nueva York, N. Y.</p> <p>37. Rem - Cru Titanium, Inc., Midland, Pa.</p> <p>38. Vanadium Corporation of America, 420 Lexington Ave., Nueva York, N. Y.</p> <p>39. American Zinc. Company of Illinois, S. of American Zinc, Lead &amp; Smelting Co., 1602 Paul Brown Bldg., St. Louis, Mo.</p> <p>40. Baker &amp; Co., Inc., 113 Astor St., Newark 5, N. J.</p>
--	---

Continuación de la tabla VIII.

19. Foote Mineral Co., 410 Eighteen West, Chelton Building, Filadelfia 44, Pa.	41. International Nickel Co., 67 Wall St., Nueva York, N. Y.
20. Indium Corporation of America 1557 Lincoln Building, 60 East 42 St. Nueva York, N. Y.	42. Cualquier proveedor de cobre comercial
21. Westinghouse Electric Co., Bloomfield, N. J.	* American Agents for Johnson, Matthey & Co., Ltd, Londres, Inglaterra.
22. Antara Products Division, General Aniline & Film Corp., 230 Park Ave. Nueva York, N. Y.	

Fuente: SEYBOLT, A. U. y J. E. Técnicas de metalurgia experimental. p. 317.

### **2.5.2. Reducción**

Aunque las fuentes comerciales de metales puros se deberían utilizar hasta donde fuera posible, hay ocasiones en que es necesario al investigador preparar sus propios materiales. Esta preparación puede entrañar una reducción real de metal, partiendo de sus compuestos, o puede ser simplemente cuestión de aumentar la pureza de algún metal preparado comercialmente por un tratamiento químico o físico adecuado.

### **2.5.3. Métodos para aumentar la pureza**

Existen varios métodos para aumentar la pureza de los metales, a continuación se explica de manera general en que consisten algunos de esos métodos.

### **2.5.3.1. Tratamiento con hidrógeno**

Es una práctica común el uso de hidrógeno seco para reducir el óxido superficial de los polvos metálicos, y también el oxígeno disuelto contenido en los metales sólidos como el hierro.

También se realiza un tratamiento con hidrógeno húmedo, para remover el carbón del hierro, (estos procesos están más relacionados con el tema de: a metalurgia de polvos, y atmósferas controladas). Esta técnica debería ser aplicable a otros metales como el níquel y el cobalto.

Es posible reducir el contenido de oxígeno de muchos metales por la introducción de una atmósfera de hidrógeno durante las últimas etapas de la operación de fusión, y es preferible efectuar esta operación en un horno de fusión al vacío, de modo que después de completar la etapa de reducción con hidrógeno, se pueda bombear fuera del fundido el hidrógeno disuelto, de otra manera pudieran encontrarse defectos por gas en el colado.

### **2.5.3.2. Oxidación**

La purificación por oxidación se restringe generalmente a las operaciones de fusión en donde las impurezas fácilmente oxidables se oxidan preferentemente y se eliminan como escoria en la parte superior del fundido. Esta técnica se limita generalmente en el laboratorio, a la remoción de impurezas que forman productos de oxidación gaseosa, como el carbón. Por ejemplo, se puede eliminar el carbón del hierro o níquel puros, añadiendo un exceso de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  o  $\text{NiO}$ , para formar  $\text{CO}$ . Después de la remoción del carbón, se puede eliminar el oxígeno mediante un tratamiento con hidrógeno y

evacuación, tal como se acaba de mencionar en el párrafo anterior (Tratamiento con hidrógeno).

La refinación pirometalúrgica del oro es un arte antiguo y, en principio, consiste en oxidar y eliminar así las impurezas de metales básicos. Smart, Smith y Phillips (Autores del libro *Preparation and some properties of high purity copper*, *Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. Inst. Metals Div.*, 143, 272 – 286. 1941), describen una oxidación controlada de cobre de alta pureza para eliminar las impurezas de azufre, mediante un soplado del cobre fundido con oxígeno, hasta que el contenido de este alcanza el 1,5%. Seguidamente se cuela el cobre y se purifica después por electrólisis, con lo cual se elimina el oxígeno.

#### **2.5.3.3. Tratamiento en vacío**

El recocido y la fusión al vacío son técnicas que primeramente evitan que los metales se impurifiquen por reacción con el aire. Sin embargo, ciertas impurezas volátiles, notablemente el Ca, Mg, Mn, Zn y H<sub>2</sub>, se pueden eliminar de esta manera. El hidrógeno se puede eliminar fácilmente de todos los metales por un recocido al vacío.

#### **2.5.3.4. Destilación**

El cinc muy puro se ha preparado comercialmente durante muchos años, debido a su presión de vapor alta a temperaturas moderadas. Se hace por destilación un cinc espectrográficamente puro. Otros metales que se han purificado de una manera similar son: el cadmio, calcio, magnesio, manganeso, mercurio y sodio. El magnesio y el manganeso se pueden encontrar actualmente con una pureza muy alta en forma de metales electrolíticos y es

mucho más fácil obtener manganeso metálico puro por electrólisis que por destilación.

Los metales mencionados se pueden encontrar comercialmente en un estado de pureza satisfactorio, por consiguiente, no hay mucha necesidad de purificarlos con una destilación posterior.

Sin embargo, existen otros metales susceptibles de mejorar su pureza por destilación. Forman una lista parcial el berilio, cromo, litio, selenio, germanio, silicio, sodio, estroncio y telurio. La velocidad de destilación se aumenta por:

- Temperatura de evaporación más alta.
- Ausencia de otro gas en la atmósfera que no sea el vapor del metal mismo (alto vacío).
- Gran área de superficie de evaporación del metal.
- Condensación rápida, para proveer un gradiente de concentración máxima.

Estas condiciones indican que se debería conducir la destilación a la temperatura más alta posible, consistente con una velocidad de evaporación rápida pero controlada. Sin embargo, si la temperatura es demasiado elevada, las impurezas que tengan una presión de vapor algo más baja, se depositarán sobre la superficie condensante.

La destilación se debería conducir en vacío, para evitar el choque del vapor del metal con las moléculas gaseosas, con lo cual baja la velocidad de evaporación. Este efecto es muy marcado, una atmósfera de gas puede reducir en muchos factores las velocidades de destilación. St. Clair y Spendlove (Autores del libro *Rate of Evaporation of Zinc at Low Pressures*, *J. Metals*, 3,

1192 – 1197. 1951), encontraron que para la evaporación del cinc a presiones de 50 a 100 micrones, la velocidad de evaporación era un 60% a 80% de la teórica, pero a 2 000 micrones de presión del aire residual, la velocidad fue solamente de 7% de la teórica.

Como los átomos metálicos son removidos de la superficie del metal fundido, es obvio que la velocidad de evaporación será proporcional a la superficie expuesta al vacío.

Finalmente, para una transferencia de masa eficiente es necesario un gradiente de concentración profundo en átomos evaporados entre las superficies de evaporación y condensación. Por consiguiente, la superficie condensante debería estar fría, preferiblemente enfriada con agua, para remover rápidamente los átomos evaporados de las inmediaciones del condensador.

La evaporación es un proceso lento en la preparación de metales de presión de vapor moderado.

La velocidad de evaporación de un metal en alto vacío está dada por:

$$G = \frac{P}{17.14 * \sqrt{(T/M)}}$$

Donde:

G es la cantidad de metal evaporado en gramos/cm<sup>2</sup>/seg,

M es el peso atómico del metal,

P es la presión de vapor del metal en milímetros,

T es la temperatura absoluta en °K.

Kroll (autor del libro *Melting and Evaporating Metals in a Vacuum*, *Trans. Electrochem. Soc.*, 87, 571 – 583. 1945), proporciona algunos datos adicionales de laboratorio, sobre el tema de técnicas de evaporación de metales.

#### **2.5.3.5. Licuación**

Algunas veces es posible purificar un metal líquido manteniéndolo en una región de temperatura en la cual el líquido está en equilibrio con el sólido, o en la cual contiene realmente a un sólido con una densidad considerablemente mayor. El sólido pesado se hunde hacia el fondo, haciendo posible la decantación del líquido purificado que sobrenada. Esta es la base del proceso Pattinson, para remover plomo de la plata.

Sin embargo, este método no siempre tiene éxito, dependiendo ello de las diferencias en gravedad, si las partículas que se van a eliminar son excesivamente pequeñas, tienden a permanecer suspendidas en el metal, posiblemente a causa de las corrientes térmicas o a una ligera agitación en el fundido. Los óxidos como el MgO, que se forman durante la desoxidación de un fundido probablemente flotarían en la parte superior si el fundido permaneciera quieto durante largo tiempo.

Ahora bien, para tomar ventaja de la ganancia en pureza alcanzada de esta manera, se debería solidificar el fundido en el mismo lugar y recortar luego la parte superior, ya que durante el vaciado, aún si este se realiza por el fondo, habrá suficiente agitación para mezclar de nuevo con el fundido a los constituyentes insolubles.

### 2.5.3.6. Purificación por cristalización

Se puede usar una solidificación lenta y progresiva de un lingote o rodillo, empezando desde uno de los extremos, para reducir la concentración de impurezas en solución sólida, ya que los constituyentes de punto de fusión más alto solidifican primero, produciendo una segregación del metal aleante en el lingote solidificado. Por consiguiente, si se corta el lingote y se descarta la porción ligeramente enriquecida en la impureza no deseada y de esta forma se obtiene una ganancia en pureza.

Pfann (autor del libro *Principles of Zone – Melting, J. Metals*, 4, 747. Julio, 1952), ha descrito los principios de la que él llama fusión zonal, en la que un pequeño incremento de longitud de una barra o rodillo de aleación largo, se funde y solidifica sucesivamente, pasando una zona caliente a lo largo de la barra. Por esta técnica se puede hacer un rodillo más homogéneo o más segregado, dependiendo de que la zona caliente se pase hacia atrás y hacia adelante sobre el rodillo, o en una sola dirección.

Para obtener mejores resultados de purificación, deberá ser pequeña la relación de la concentración de soluto en el sólido a la del líquido durante el proceso de solidificación, y muy baja la velocidad de difusión en el sólido. Una fusión repetida por zonas puede traer como resultado reducciones de varios órdenes de magnitud en la concentración de impurezas, sin la necesidad de un corte intermedio. Esencialmente se recoge el soluto y se arrastra a lo largo de la barra, juntándose en un extremo, requiriéndose así solamente un corte final comparativamente muy pequeño, de acuerdo con la longitud de la barra.

## **2.6. Acabado de superficies**

Los productos que se han terminado a su forma y tamaño apropiados, con frecuencia requieren algún tipo de acabado de superficie para que cumplan satisfactoriamente su función. En algunos casos, es necesario mejorar las propiedades físicas del material de la superficie para resistencia a la penetración o a la abrasión. En muchos procesos de manufactura se deja sobre la superficie del producto: polvo, virutas, grasa u otro material dañino. Los ensambles se hacen de materiales diferentes o de los mismos materiales procesados en diferentes modos, que pueden requerir algún tratamiento especial de la superficie para proporcionar uniformidad de apariencia.

Algunas veces el acabado de la superficie puede llegar a ser un paso intermedio en el proceso. Por ejemplo, la limpieza y el pulido usualmente son esenciales antes de cualquier clase de proceso de recubrimiento. Algunos de los procedimientos de limpieza también se usan para mejorar la tersura de la superficie en partes hermanadas, y para eliminar rebabas y aristas agudas, las cuales pueden ser dañinas en el uso. Otra necesidad importante para el acabado de la superficie es la protección contra la corrosión en una diversidad de medios ambientales.

El tipo de protección proporcionada dependerá principalmente de la exposición anticipada, con debida consideración al material que se protege y a los factores económicos implícitos.

La satisfacción de los objetivos anteriores necesita el uso de muchos métodos de acabado de la superficie, que incluyen cambio químico de la superficie, trabajo mecánico que afecta las propiedades de la superficie,

limpieza por una variedad de métodos, y la aplicación de revestimientos protectores orgánicos y metálicos.

### **2.6.1. Limpieza**

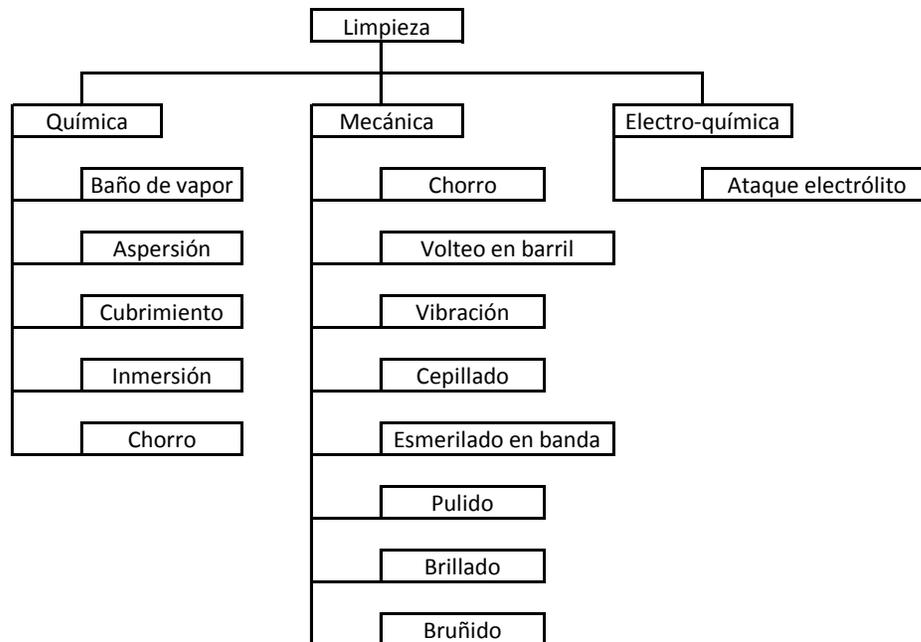
Pocos procesos para dar forma y dimensiones, producen artículos que sean usables sin algún tipo de limpieza, a menos que se tomen precauciones especiales. El trabajo en caliente, el tratamiento térmico y la soldadura, causan oxidación y formación de escamas por la alta temperatura en la presencia de oxígeno. Por la misma razón, las fundiciones usualmente están revestidas con escamas u óxidos. Si se hacen en moldes de arena, pueden tener granos de arena fundidos o adheridos a la superficie. El residuo de los fluidos enfriadores, lubricantes y otros materiales de proceso, es común en muchas partes manufacturadas.

Además de las películas de grasa del proceso, con frecuencia se usan revestimientos protectores de grasas, aceites o ceras para evitar la herrumbre o corrosión en las partes que se almacenan durante cierto tiempo antes de ponerse en uso. Aun si las partes están limpias al término de la manufactura, rara vez permanecen así por mucho tiempo. Después de un corto período de almacenamiento, la corrosión y el polvo de la exposición atmosférica requieren limpieza para su mejor condición o para permitir procesos adicionales.

Algunas veces la limpieza tiene asociada la mejora del acabado. Algunos métodos para producir formas, producen características de la superficie no satisfactorias tales como aristas agudas, rebabas y marcas de herramienta, las cuales pueden afectar la función, facilidad de manipulación y apariencia del producto. Algunos procesos de limpieza, cuando menos parcialmente, mezclan juntas las irregularidades de la superficie para producir reflexión uniforme de la

luz. Las mejoras de las cualidades de la superficie pueden lograrse con la eliminación de puntos altos por corte o por flujo plástico conforme se realiza la limpieza.

Figura 44. **Diagrama del proceso de acabado superficial**



Fuente: *Acabado de superficies*. Materiales y procesos de fabricación, Industria metalmecánica y de plásticos. p. 812.

### 2.6.1.1. Elección del método de limpieza

Como se puede ver en la gráfica anterior, hay muchos métodos diferentes de limpieza disponibles. El más adecuado para cualquier situación particular depende de varios factores. Naturalmente, el costo es siempre una consideración de peso, pero la razón para la limpieza es la que afecta la

elección. La conveniencia en la manipulación, mejora de la apariencia, eliminación del material extraño que puede afectar la función, o el establecimiento de una superficie químicamente limpia, como un paso intermedio en el proceso, todas pueden requerir métodos diferentes. Debe darse consideración a las condiciones iniciales y al grado de mejora deseado o requerido.

Los métodos adecuados para ciertos materiales no son del todo satisfactorios para usarse en otras clases de material.

La limpieza y la protección contra la corrosión, algunas veces están asociadas. Ciertos métodos de limpieza proporcionan beneficios múltiples. Como se indicó, la limpieza y la mejora del acabado con frecuencia se combinan. Quizá de importancia aún más grande es la combinación de la protección contra la corrosión con la mejora del acabado, aunque la protección contra la corrosión con frecuencia es un segundo paso más que incluye un revestimiento en una superficie ya limpia con algún otro material, o conversión química.

#### **2.6.1.2. Baños de líquidos y de vapor**

Son comunes los solventes en forma de líquido y en forma de vapor. Los métodos más ampliamente usados de limpieza hacen uso de un medio limpiador en forma de líquido o vapor. Estos métodos dependen de una acción solvente o química entre los contaminantes de la superficie y el material de limpieza. Existen muchos métodos de limpieza y una variedad de materiales para la elección, dependiendo del material base por limpiar, los contaminantes que se van a eliminar, la importancia y el grado de limpieza y la cantidad que se va a tratar (Ej. La máquina desengrasadora).

Figura 45. **Máquina desengrasadora**



Fuente: <http://www.revistatope.com/art.bautermic%20tratamientos.html>. Consulta 31 de mayo de 2011.

Los solventes de petróleo son buenos para grasas y aceites. Entre los trabajos comunes de limpieza más demandados está la eliminación de grasa y aceite, depositada durante la manufactura o intencionalmente dejada en el trabajo para proporcionar protección. Uno de los modos más eficientes para eliminar este material es por el uso de solventes que disuelven la grasa y el aceite pero que no tienen efecto en el metal base. Los derivados de petróleo tales como el solvente *Stoddard* y la kerosina se emplean comúnmente para este propósito, pero como introducen cierto riesgo de incendio, algunas veces se sustituyen con solventes clorinados, tales como el tricloroetileno, que está libre de esta falla.

El agua acondicionada usualmente es de bajo costo. Uno de los materiales más económicos de limpieza es el agua. Sin embargo, rara vez se usa sola, aún si el contaminante es perfectamente soluble en agua, debido a

que la impureza del agua misma puede contaminar la superficie de trabajo. Dependiendo de su uso, el agua se trata con varios ácidos y álcalis para hacerla adecuada al trabajo por realizar.

El decapado apropiado puede eliminar selectivamente los óxidos de hierro. El agua que contiene ácido sulfúrico en una concentración de 10% a 25% y a una temperatura de aproximadamente 65 °C se usa comúnmente en un proceso llamado decapado, para eliminar los óxidos de la superficie o escamas en el hierro y el acero. El trabajo se sumerge en una solución contenida en grandes tanques, por un período predeterminado después del cual se enjuaga para detener la acción química.

El control inadecuado del tiempo, temperatura o concentración en el baño de decapado puede resultar en picado de la superficie debido a una reacción química desigual. La mayoría de los baños de decapado se tratan con inhibidores químicos que disminuyen el efecto químico del ácido en el metal base, pero que tienen poco efecto sobre la propiedad que ataca los óxidos.

Muchos aditivos para agua son mezclas de marca registrada. Muchos de los líquidos comunes de limpieza se hacen de aproximadamente 95% de agua que contiene limpiadores alcalinos tales como sosa cáustica, carbonato de sodio, silicatos, fosfatos y boratos. Las proporciones se varían para los diferentes propósitos y están disponibles bajo diferentes marcas para aplicaciones específicas.

La aplicación depende del material y del propósito. Los limpiadores líquidos pueden aplicarse de diferentes modos. El desengrasado, sobre todo en partes pequeñas, con frecuencia se hace en un baño de vapor. Esto realiza un excelente trabajo en la eliminación de la grasa pero tiene la desventaja de que

no es capaz de eliminar virutas y otras clases de impurezas que pudieran estar presentes. El desengrasado por vapor usualmente se realiza en un tanque especial que se calienta en el fondo para vaporizar el solvente y enfriarse en la parte superior para condensar el solvente.

El trabajo frío se suspende en el vapor y causa la condensación del solvente, el cual disuelve la grasa y gotea cayendo al fondo del tanque. La diferencia en volatilidad entre el solvente y las grasas permite que el vapor permanezca sin cambio y que realice un trabajo uniforme de limpieza.

Con frecuencia el trabajo mecánico se combina con la acción química. La aspersión, cepillado y métodos de sumersión, también se usan con los limpiadores líquidos. En casi todos los casos, el trabajo mecánico para causar la rotura de la película en la superficie y el movimiento de partículas, se combina con acción química y de solventes. El trabajo mecánico puede ser agitación del producto en un baño, el movimiento del agente de limpieza como en la aspersión, o el uso de un tercer elemento tal como en el frotado o el cepillado. En algunos casos, se aplican vibraciones sónicas o ultrasónicas, ya sea a la solución o a las piezas de trabajo, para acelerar la acción de limpieza.

La actividad química se aumenta con temperaturas más altas y concentración óptima del agente de limpieza, ambas de las cuales deben en ciertos casos controlarse estrechamente para obtener una acción eficiente.

Es importante eliminar los productos químicos. El lavado y el enjuagado para eliminar los líquidos de limpieza, usualmente es necesario para evitar películas y manchas. El secado rápido de las soluciones acuosas en los productos de hierro y acero se necesita algunas veces para evitar la formación de herrumbre. Si la masa del producto es suficientemente grande, el calor

captado en el baño de limpieza puede ser suficiente para causar el secado rápido, de otra manera pueden requerirse soplos de aire o fuentes externas de calor.

### **2.6.1.3. Chorro**

El chorro proporciona acción mecánica. El término chorro se usa para referirse a todos aquellos métodos de limpieza en los cuales el medio de limpieza se acelera a alta velocidad y choca contra la superficie por limpiar. La alta velocidad puede proporcionarse por agua o aire, dirigidos a través de una boquilla o por medios mecánicos con una lanzadora giratoria. El agente de limpieza puede estar ya sea en medios sólidos húmedos o secos, tales como arena, abrasivo, granos de acero o granalla, o pueden ser solventes líquidos o vapores combinados con material abrasivo.

Debe considerarse la seguridad del operador. Los medios sólidos se usan para eliminar la contaminación frágil de la superficie tal como la escama de tratamiento térmico que se encuentra en las forjas y fundiciones. Los granos de acero han reemplazado a la arena y otros abrasivos del tipo refractario en cierta extensión debido al riesgo reducido a la salud (silicosis) y una tendencia reducida a la pulverización. Sin embargo, la arena puede usarse sin riesgo para el operador cuando las partes son suficientemente pequeñas para manipularse a mano en el interior de una cámara diseñada apropiadamente, provista con un colector de polvo.

La superficie se fatiga y se endurece por trabajo. Además de la limpieza, las partículas sólidas pueden mejorar el acabado y las propiedades de la superficie del material en el cual se usan. El chorro tiende a aumentar el área de la superficie y establecer esfuerzos a la compresión que pueden causar un

alabeo en las secciones delgadas, pero que en otros casos puede ser provechoso al reducir la probabilidad de falla por fatiga. Cuando se usa para este último propósito, el proceso comúnmente se conoce como martillado con granalla.

Lodos acuosos. Los solventes líquidos o vaporizados pueden, por ellos mismos, lanzarse en chorro contra una superficie para limpieza a alta velocidad de películas de aceite y grasa con ambas acciones, química y mecánica. El agua que contiene productos químicos inhibidores de la herrumbre, pueden llevar en suspensión, partículas abrasivas finas que proporcionan una acción del tipo de corte por esmerilado, para mejorar el acabado al mismo tiempo que realizan la limpieza. Al método de chorro que usa este principio comúnmente se le conoce como pulimento líquido.

Figura 46. **Chorro de abrasivo a presión**



Fuente: <http://simasa.com.mx/blog/tag/limpieza-de-superficies/>. Consulta 31 de mayo de 2011.

#### **2.6.1.4. Acabado por barrilado con abrasivos**

El tiempo de mano de obra directa y el costo son mínimos. El acabado en barril, barrilado, la acción giratoria y el tambor giratorio, son términos que usan operaciones similares que consisten en empaquetar partes juntas, con ciertos medios de limpieza en un cilindro o tambor, que puede girarse para causar movimiento entre las partes y los medios de limpieza. Los medios pueden ser abrasivos (ya sean finos o gruesos), estrellas de metal, trozos o bolas, piedras, virutas de madera, aserrín o cereales. De hecho, cualquier material capaz de producir acciones abrasivas y de pulimento puede usarse.

El trabajo puede hacerse húmedo o en seco, dependiendo de los materiales con los que se trabaja, las clases de acabados de superficie deseados y la clase de equipo disponible. El tiempo requerido para completar el trabajo puede variar de una a diez horas o algunas veces aún más, pero aún así, usualmente es un proceso barato, debido a que pueden tratarse a la vez, cantidades relativamente grandes. El único trabajo humano que se realiza es cargar y descargar el cilindro o tambor.

Las partes delgadas están expuestas a daños en el barrilado. El proceso referido como barrilado o tambor giratorio es más un proceso de limpieza en la fundición para la eliminación de escama, arena adherida y defectos menores del tipo de protuberancias, para fundiciones férreas y no férreas. Las partes pequeñas o de medio tamaño, usualmente en una variedad de formas y tamaños, se empaquetan para llenar un barril casi completamente. Usualmente se agregan para ayudar en la acción de limpieza, estrellas de metal, trozos y bebederos sueltos. Conforme se gira el barril lentamente, las partes se deslizan unas contra otras para producir una acción de limpieza.

Se debe tener cuidado de no colocar partes con una variedad muy grande de tamaños en la misma carga, para evitar dañar las piezas más débiles y pequeñas. Algunas partes con secciones delgadas débiles pueden requerir el uso de dispositivos de fijación para evitar el daño.

El término acabado en barril se usa para referirse a la acción giratoria, el desbarbado, pulimento y bruñido, son ejemplos de este proceso. Las diferencias entre todos los métodos de limpieza en barril son más bien pequeñas, consisten principalmente en el medio que se usa y el propósito del trabajo. Como ya se indicó, las partes en el barrilado deslizan una contra otra, la acción giratoria, el desbarbado y el pulimento, se llevan a cabo usando una cantidad relativamente grande de material abrasivo para realizar la limpieza, en tanto que el bruñido depende del impacto y la alta presión en el deslizamiento de bolas o pasadores para limpiar, pulir y comprimir las superficies de trabajo.

La mayoría de las acciones giratorias, pulimento y bruñido se hace en húmedo con jabones, detergentes, lubricantes o inhibidores químicos presentes en la mezcla para acelerar las operaciones y producir resultados más uniformes.

Poco impacto y endurecimiento por el trabajo en el acabado vibratorio. Muchos fabricantes producen ahora acabadores vibratorios en los cuales las partes pequeñas pueden alisarse y pulirse con resultados similares a los de la acción giratoria o pulimento en barril. Las partes se mezclan con materiales abrasivos en una tolva que vibra para proporcionar movimiento a todo su contenido. La relación de abrasivo a trabajo es alta. El movimiento vibratorio causa que las piezas individuales de trabajo se muevan lentamente, giran, y asumen todas las posiciones exponiendo sus superficies a la acción cortante del abrasivo.

Como en un acabado en barril, la operación usualmente se hace en húmedo para producir resultados mejores y más rápidos.

#### **2.6.1.5. Cepillado con alambre**

Algunas operaciones de limpieza deben realizarse rápida y fácilmente con el uso de un cepillo de alambre que gira a alta velocidad (cardorotatoria). Además de la limpieza, el contacto y el frotamiento de los extremos del alambre a través de la superficie de trabajo, producen una mejora de la superficie por una acción del tipo de bruñido. Las aristas agudas y las rebabas pueden eliminarse. Los arañes, puntos gruesos y las imperfecciones mecánicas similares pueden mejorarse principalmente por el flujo plástico, el cual también tiende a endurecer la superficie del material por trabajo.

La mayoría del cepillado con alambre se hace bajo control manual, pero donde las superficies pueden hacerse accesibles y la cantidad por tratar es suficientemente grande para la viabilidad económica, deben habilitarse máquinas para cepillado automático.

Las aplicaciones comunes del cepillado con alambre son: la limpieza de fundiciones, tanto férreas como no férreas, la limpieza de salpicaduras y escoria de las soldaduras, y la eliminación de herrumbre, corrosión y pintura de cualquier objeto cuyo material base sea lo suficientemente fuerte para soportar el cepillado. El cepillo de alambre produce un patrón distintivo en la superficie y junto con la limpieza, algunas veces se usa para producir una superficie decorativa.

Figura 47. **Cepillado con alambre**



Fuente: <http://www.tyrolit.es/page.cfm?vpath=divisiones/metalfabrication/toolbrushes>. Consulta 31 de mayo de 2011.

#### **2.6.1.6. Acabado en banda abrasiva**

El respaldo detrás de la banda proporciona soporte. En diversas clases de máquinas se pueden impulsar bandas de tela, continuas reductivas con abrasivo para proporcionar un movimiento cortante en línea recta para rectificado, alisado y pulido de las superficies de trabajo. Las superficies planas son las superficies más comunes que se trabajan con las bandas de tela. Para esta superficie, una mesa o platina detrás de la banda, proporciona el soporte para producir una superficie plana cuando se mantiene el trabajo contra la banda.

Pueden trabajarse algunas superficies curvas cuando la banda pasa sobre un tambor o polea, y las aristas algunas veces se desbarban contra una banda suelta que no tiene respaldo de soporte. La mayoría del pulimento en banda abrasiva se opera manualmente, aunque se pueden acabar grandes láminas de

acero, bronce, aluminio, plástico y de otros materiales en máquinas completamente automáticas.

Relación entre la velocidad de eliminación y la calidad de acabado. La velocidad de corte y la calidad del acabado de la superficie obtenido con revestimientos abrasivos, depende principalmente del tamaño del abrasivo que se use. El tipo de abrasivo y la velocidad de corte también muestran cierta influencia. Cuando se desean acabados finos, como un pulimento metalúrgico, se usa una sucesión de abrasivos cada vez más finos, y cada uno elimina las marcas de arañes del abrasivo precedente hasta que se alcanza la calidad deseada. Los abrasivos finos se usan sobre todo cuando el objetivo principal es mejorar el acabado.

Cuando se usan granos gruesos, pueden eliminarse cantidades significativas de material.

Las superficies planas iniciales en las fundiciones, forjas, conjuntos soldados y otros objetos de trabajo, algunas veces se establecen por el esmerilado en banda. Sin embargo, es más común cuando el objetivo es principalmente eliminar material, usar ruedas de esmeril de construcción sólida. Las aletas de las líneas de partición en las fundiciones y las forjas, con frecuencia se eliminan, y las conexiones de puertas, imperfecciones o puntos sobresalientes en todas las clases de partes, se disminuyen mediante ruedas de esmeril.

Las rebabas y las aristas agudas también se eliminan por esmerilado, aunque esto se limita usualmente a lotes de pequeño tamaño, debido a que están disponibles métodos más económicos cuando las cantidades son suficientemente grandes.

Figura 48. **Rectificadora de cinta (banda abrasiva)**



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/garboli-srl/rectificadoras-de-cinta-56341-367347.html>.

Consulta 31 de mayo de 2011.

### **2.6.1.7. Pulido**

El término pulido puede interpretarse para indicar cualquier procedimiento sin precisión que proporciona una superficie brillante, pero por lo general se usa para referirse a un proceso de acabado de superficie que usa una rueda abrasiva flexible. Las ruedas pueden ser de fieltro o hule con una banda abrasiva, de discos múltiples revestidos con abrasivos, hojas revestidas con abrasivo, de fieltro o telas a las cuales se agrega abrasivo suelto conforme se necesita, o de abrasivos en una matriz de hule.

El pulido es un proceso para emparejar superficies. Estas ruedas difieren de las ruedas de esmeril en que son flexibles, lo cual las capacita para aplicar presión relativamente uniforme a la superficie de trabajo, y les permite tomar la forma de la superficie.

Usualmente el pulido se hace a mano libre, excepto cuando la cantidad es grande. El proceso puede tener varios objetivos. El interés puede ser solamente mejorar el acabado para apariencia. El acabado de superficie puede ser importante como capa inferior para el recubrimiento electrolítico, el cual tiene capacidad limitada para mejorar la calidad de la superficie sobre la cual se va a colocar. El pulido puede ser también importante como un medio de mejorar la resistencia a la fatiga de productos expuestos a esta clase de falla.

Figura 49. **Herraje en acabado pulido**



Fuente: <http://www.herrajesdiamante.com.ar/acabados-herrajes-diamante.html>. Consulta 01 de junio de 2011.

#### **2.6.1.8. Pulimento**

La sola diferencia entre el pulimento y el pulido es que, para el pulimento, un abrasivo fino en vehículo de cera o sustancia similar, se carga en la superficie de una rueda flexible. Los objetivos son similares. Con abrasivo más fino, el pulimento produce acabado de más alta calidad y lustre, pero elimina solamente pequeñas cantidades de metal. Con ambos, pulido y pulimento,

sobre todo en los metales más suaves, el flujo plástico permite el llenado de poros, arañes y otras fallas de la superficie, para mejorar tanto la apariencia como la resistencia a la corrosión.

Figura 50. **Pieza acabada con pulimento**



Fuente: <http://ingesaerospace-mechanicalengineering.blogspot.com/2010/09/tribologia-factores-que-condicionan-la.html>. Consulta 01 de junio de 2011.

#### **2.6.1.9. Electropulido**

Si una pieza de trabajo se suspende en un electrolito, y se conecta el ánodo en un circuito eléctrico, suministrará metal al electrolito en un proceso inverso al revestimiento electrolítico. El material se eliminará con más rapidez de los puntos altos de la superficie que de las depresiones y, por lo tanto, aumentará la tersura promedio. El costo del proceso es prohibitivo para superficies muy gruesas, debido a las grandes cantidades de metal que deben eliminarse para mejorar el acabado de la superficie, comparado con el trabajo que sería necesario para el mismo grado de mejora por pulido mecánico.

El electropulido es económico únicamente para mejorar una superficie que ya está casi en el estado deseado o requerido, o para pulir formas irregulares y complejas, las superficies de las cuales no son accesibles al pulido mecánico y al equipo de pulimento.

Figura 51. **Pieza acabada por electropulido**



Fuente: <http://www.servilab.com.co/polish.html>. Consulta 01 de junio de 2011.

### **2.6.2. Revestimientos**

Muchos productos, en particular aquellos expuestos a la vista y aquellos expuestos a cambio por el medio ambiente con el cual están en contacto, necesitan cierto tipo de revestimiento para mejorar la apariencia o para la protección contra el ataque químico. Todas las superficies recién creadas están expuestas a la corrosión, aunque la relación de ocurrencia varía notablemente con el material, el medio ambiente y las condiciones. Para todos los propósitos prácticos, algunos materiales son muy resistentes a la corrosión debido a que sus propios productos de la corrosión resisten la corrosión adicional.

Por ejemplo, una superficie recién maquinada en una aleación de aluminio, inmediatamente será atacada por el oxígeno en el aire. El revestimiento inicial de óxido de aluminio protege al metal restante y prácticamente detiene la corrosión, a menos que ocurra un cambio en el medio ambiente. Las relaciones de corrosión dependen estrechamente del medio ambiente. Dichas relaciones aumentan con la elevación de la temperatura y concentración mayor del químico atacante.

La corrosión deteriora la apariencia y las propiedades. La necesidad de protección contra la corrosión para el mantenimiento de la apariencia es obvia. A menos que esté protegido, un objeto hecho de acero brillante principiará a mostrar herrumbre después de pocas horas de exposición a la atmósfera. Además del cambio de apariencia, la pérdida real de material, cambio de dimensiones y disminución de la resistencia, la corrosión puede ser la causa de la pérdida eventual del servicio, o la falla de un producto. El material que debe soportar cargas en aplicaciones estructurales, sobre todo cuando las cargas son de naturaleza típica, pueden fallar por fatiga si se permite que tenga lugar la corrosión.

La corrosión ocurre con más facilidad en materiales altamente fatigados, donde ataca las fronteras entre granos, de tal manera que causa puntos de concentración de esfuerzos que pueden ser núcleos de falla por fatiga.

Figura 52. **Piezas atacadas por la corrosión**



Fuente: <http://lafraguacr.org/2011/04/06/la-corrosion-de-los-materiales-solidos-con-los-que-se-construyen-estas-infraestructuras/>. Consulta 01 de junio de 2011.

La corrosión se reduce por el diseño apropiado. Las correcciones para los problemas de corrosión incluyen la elección de materiales que resisten el ataque del medio ambiente al cual están expuestos. La selección o control del medio ambiente para disminuir los efectos de la corrosión, y el uso de corrosión selectiva colocando materiales con mayor susceptibilidad a la corrosión cerca de aquellos que se protegen. Esto último se ejemplifica por el uso de barras de magnesio en los tanques de agua caliente. El magnesio es el blanco para la corrosión, en tanto el mismo esté presente, la corrosión en las paredes de acero del tanque es insignificante.

Otro recurso contra la corrosión, cuando los otros no son prácticos, consiste en revestir las superficies que necesitan protección con un material que excluye los elementos del medio ambiente que son dañinos.

Muchos revestimientos mejoran la apariencia. Además de estabilizar la apariencia al resistir la corrosión, los revestimientos con frecuencia son muy

valiosos para proporcionar control del color, cambio en apariencia y variedad, la cual puede ser importante como atractivo de ventas. Ciertos revestimientos, tales como rellenos, pintura y otros con cuerpo substancial, mejoran la tersura de las superficies, llenando los poros y cavidades. Algunos materiales de revestimiento pueden proporcionar apariencia uniforme para productos hechos de ensamblajes de diferentes materiales.

Algunos revestimientos mejoran las propiedades. Los revestimientos de diversos tipos pueden usarse para cambiar o mejorar las propiedades de la superficie. El endurecimiento de superficie del acero, por ejemplo, es un método para cambiar las propiedades de la superficie, pero, en la mayoría de sus formas, el endurecimiento de superficie no consiste en agregar un revestimiento.

Resistencia al desgaste por revestimiento electrolítico. La dureza y resistencia al desgaste, pueden proporcionarse en una superficie por revestimiento electrolítico con materiales duros. El revestimiento con cromo de calibradores y otras partes expuestas a la abrasión, se usa con frecuencia para aumentar su vida contra el desgaste. Los revestimientos de materiales plásticos y mezclas asfálticas se colocan algunas veces en superficies para amortiguar el sonido. Los beneficios adicionales de protección contra la corrosión usualmente se obtienen al mismo tiempo.

Figura 53. **Piezas acabadas por revestimiento electrolítico con zinc**



Fuente: <http://www.atotech.com/es/mercados/automovil/tecnologia-de-tratamiento-de-superficies-para-aplicaciones-de-automocion/revestimientos-funcionales/revestimiento-electrolitico-con-zinc-y-aleaciones-de-zinc.html>. Consulta 01 de junio de 2011.

El coeficiente de fricción se aumenta o disminuye. La fricción característica de una superficie, puede variarse en cualquier dirección por la aplicación de un revestimiento. Pueden aplicarse hule o algunos otros materiales plásticos para aumentar las características de fricción. Un ejemplo puede ser la aplicación de compuestos especiales aplicados a las cubiertas o fondos de botes pequeños para disminuir la probabilidad de resbalamiento. Otros materiales plásticos, los fluorocarbonos que son buenos ejemplos, se aplican a las superficies donde se desea el deslizamiento debido a que proporcionan muy bajo coeficiente de fricción.

Protección mecánica. Los plásticos de muchas clases, principalmente los del tipo termoplástico, debido a que son más fáciles de aplicar y también fáciles de eliminar después, si es necesario, se usan para la protección mecánica. El material altamente pulido puede revestirse con plástico, el cual se desprende después, para evitar la abrasión y los arañes durante el procesado. Es práctica común revestir los filos de herramientas de corte, sumergiéndolos en material termoplástico para proporcionar protección mecánica durante la manipulación y almacenamiento. Se obtienen beneficios múltiples en muchos casos, por ejemplo, el revestimiento plástico en los alambres de una canastilla de lavadora de platos, suministra protección contra la corrosión para los mismos alambres, protección mecánica para los platos que se colocan en la canasta y amortiguación del sonido.

Figura 54. **Acabado por revestimiento *topcoat* para buques mercantes**



Fuente: <http://www.nauticexpo.es/prod/hempel/revestimientos-de-acabado-topcoats-para-buque-mercante-y-barco-profesional-21594-241833.html>. Consulta 01 de junio de 2011.

### **2.6.2.1. Preparación para los revestimientos**

La limpieza se agrega al costo del producto. La limpieza por uno o más de los métodos expuestos antes en este capítulo, usualmente son esenciales antes de que se aplique cualquier clase de revestimiento. En prácticamente cualquier caso, se necesita una superficie limpia y seca para la adhesión del revestimiento. La calidad del acabado de la superficie antes del revestimiento, puede variar a través de una gama amplia, dependiendo de la clase de revestimiento y su propósito.

Ya sea que deba usarse o no, con una combinación de limpieza y operación de alisado, dependerá en cierta forma del proceso previo, lo mismo que en el acabado final deseado. Algunos revestimientos, tales como los plásticos más pesados, pueden disimular grandes fallas e imperfecciones, pero otros, tales como las lacas de acabado y los revestimientos metálicos, mejoran la calidad del acabado sólo en un grado muy pequeño. Con los últimos, los arañes, fallas de superficie y aun las masas de herramienta, continuarán mostrándose en la superficie final, aun cuando el revestimiento tienda a mezclarlas y suavizarlas.

### **2.6.2.2. Material de revestimiento y necesidades del método**

Se necesita una gran variedad de materiales de revestimiento y un gran número de métodos de aplicación para cumplir todos los requisitos. La variedad de los materiales por revestir es, naturalmente, grande. Bajo ciertas circunstancias, cualquier material estructural puede requerir revestimiento. En pocos casos puede ser deseable revestir un material sin cambiar la apariencia, pero en la mayoría de los casos, la apariencia, tanto de textura como de color,

se cambia en alto grado. Aunque se afecta por algunos revestimientos, la tersura de la superficie usualmente es un resultado de los procesos previos.

Sin embargo, sin cambio importante en la calidad de la superficie, se pueden proporcionar diferentes acabados de superficie con uniformidad de apariencia mediante la aplicación de un revestimiento adecuado.

Muchos materiales satisfacen muchas necesidades. Los productos manufacturados necesitan una variedad de propiedades de la superficie, están expuestos a todas las clases de ambientes y deben soportar amplios grados de exposición. Puede esperarse que los revestimientos de superficie proporcionen propiedades físicas que aún no están presentes, y proporcionar protección contra ácidos, álcalis, humedad, temperatura y otras condiciones ambientales que pueden afectar la función o la vida del producto. La vida esperada de un revestimiento varía ampliamente, aquellas que proporcionan la mejor vida usualmente son las de más alto costo.

Como en muchas otras situaciones, el material que se usa resulta ser un compromiso en la elección del más barato que proporcione servicio satisfactorio. La vida deseada varía con las aplicaciones. Algunas veces todo lo que se requiere es protección temporal para el tránsito o el almacenaje. En otros casos, por ejemplo con equipo químico, la vida entera del producto puede depender del revestimiento escogido.

### **2.6.2.3. Revestimientos orgánicos**

Los revestimientos orgánicos se usan para proporcionar colores agradables, para suavizar superficies, para proporcionar uniformidad tanto en color como en textura, y para que actúe como una película protectora para

controlar la corrosión. Por lo general, los revestimientos de resinas orgánicas, no suministran ninguna calidad de inhibir químicos. En cambio, simplemente proporcionan una película de separación entre la superficie por proteger y el ambiente corrosivo. Por lo tanto, las propiedades importantes son: continuidad, permeabilidad y características de adhesión.

Pocos revestimientos son plenamente impermeables o permanentes. Si la película es simplemente una barrera mecánica, es obvio que la continuidad o falta de porosidad es esencial para la protección contra la corrosión. Los revestimientos orgánicos diferentes y los materiales de trabajo diferentes por cubrir, requieren diferentes espesores del material de revestimiento para producir una película libre de poros. La permeabilidad es una medida de la capacidad de una película para pasar vapor de agua y otros gases a través de ella misma. Los revestimientos proporcionan la mejor protección a los materiales que tienen baja permeabilidad.

El paso de los gases no depende de la porosidad, en cambio es más probable que sea un mecanismo de absorción seguido por difusión a través del material de revestimiento. La adición de pigmentos puede alterar materialmente las características de permeabilidad de un vehículo particular. Uno de los más eficientes en reducir la permeabilidad es el aluminio en el tipo de hojas.

La adhesión está asociada con la limpieza. La capacidad de cualquier película orgánica para adherirse a la superficie de un metal (adhesión) depende principalmente del grado de limpieza de la superficie en sí. Sin embargo, algunos materiales se adhieren con más firmeza en una superficie a la que se le ha dado ligera rugosidad mediante algún proceso tal como chorro de arena, en tanto que otros pueden requerir tratamiento químico del metal base para la formación de una película de óxido o fosfato para tener adhesión satisfactoria.

Figura 55. **Piezas tratadas con revestimientos orgánicos**



Fuente: <http://www.galdesa.com/es/recubrimientos-laminares-y-organicos>. Consulta 01 de junio de 2011.

#### **2.6.2.4. Pinturas, barnices y esmaltes**

La pintura es un término genérico que ha llegado a significar la aplicación de cualquier clase de revestimiento orgánico por cualquier método. Debido a esta interpretación, también se usa en general para describir una amplia clase de productos. De acuerdo con la definición original y como se usa en la actualidad, la pintura es una mezcla de pigmento en un aceite secante. El color y la opacidad se suministran por el pigmento. El aceite sirve como un vehículo para el pigmento y además crea una robusta película continua conforme se seca.

El secado consiste en la oxidación y la polimerización. Los aceites secantes, uno de los más comunes es el aceite de linaza, se vuelve sólido cuando las áreas de gran superficie se exponen al aire. El secado se inicia con

una reacción química de oxidación. La polimerización irreversible acompaña la oxidación para completar el cambio de líquido a sólido. La pintura es similar a un plástico termofraguante. Las mezclas de pintura usualmente contienen también secadores y adelgazadores. Los secadores están compuestos de plomo, manganeso y otros metales que aceleran la acción de secado, después de que se ha esparcido el material.

Los adelgazadores son líquidos tales como espíritus de petróleo o turpentina, que se usan para ajustar la consistencia de la mezcla de pintura.

Figura 56. **Piezas acabadas con pintura**



Fuente: [http://www.alytan.es/es/seccion\\_pintura\\_acabados.php](http://www.alytan.es/es/seccion_pintura_acabados.php). Consulta 02 de junio de 2011.

Por lo general el barniz es claro. El barniz es una combinación de resinas naturales o sintéticas y aceite secante, también contiene algunas veces solventes volátiles. El material seca por una reacción química en el aceite secante a una película clara o ligeramente ambarina. Una solución de resina en un solvente volátil sin aceite secante se llama barniz de espíritu, o laca.

Figura 57. **Pieza acabada con barniz**



Fuente: <http://www.furniturehandicap.com/quimby/index.html>. Consulta 02 de junio de 2011.

El pigmento en el barniz crea el esmalte. El esmalte es una mezcla de pigmento y barniz. Las resinas en el barniz permiten que el material se seque a una superficie más tersa, más dura y más brillante que la producida por las pinturas comunes. Algunos esmaltes se hacen con resinas termofraguantes que deben hornearse para que sequen por completo. Estos esmaltes horneados proporcionan una tenacidad y durabilidad que usualmente no ofrecen las pinturas y esmaltes ordinarios.

Figura 58. **Pieza acabada con esmalte**



Fuente: [http://maurometalart.blogspot.com/2010\\_09\\_05\\_archive.html](http://maurometalart.blogspot.com/2010_09_05_archive.html). Consulta 02 de junio de 2011.

Grandes cambios de apariencia, protección limitada. Las pinturas, barnices y esmaltes se usan para revestir una amplia variedad de productos. Por supuesto, uno de los principales usos para las pinturas es el revestimiento de las estructuras, tanto interiores como exteriores. Los barnices se restringen principalmente al acabado de la madera, donde se desea mostrar el color natural y la textura. Los esmaltes se mezclan para producir diferentes acabados, existen en muchos colores y pueden usarse en casi cualquier clase de producto.

Los productos pequeños manufacturados en cantidad, son susceptibles de revestirse con esmaltes sintéticos del tipo de horneado (resina manufacturada) debido al corto tiempo de secado requerido.

#### **2.6.2.5. Lacas**

Las lacas se levantan fácilmente. El término laca se usa para referirse a acabados que consisten de materiales termoplásticos disueltos en solventes de

secado rápido. Una combinación común es nitrato de celulosa disuelto en butil acetato. Las lacas actuales son estrictamente de secado al aire, y forman películas muy rápidamente después de que se aplican, por lo general por aspersión. No ocurre cambio químico durante el endurecimiento de las lacas, por tanto, la película seca puede volverse a disolver en el adelgazador. El acetato de celulosa se usa en vez de nitrato de celulosa en algunas lacas, debido a que no es inflamable.

Los vinilos, hidrocarburos clorinados, acrílicos y otros termoplásticos sintéticos o resinas, también se usan para producir lacas.

Son de uso común debido a que secan rápido. Las lacas claras se usan como películas protectoras en materiales tales como bronce pulido, pero la mayoría están pigmentadas y se usan como revestimientos de color. Las lacas pigmentadas se llaman algunas veces esmaltes de laca. Las lacas se usan para revestir productos manufacturados debido a su fácil aplicación y velocidad de secado.

Figura 59. **Fliscorno acabado en laca transparente**



Fuente:

[http://www.instrumentosonesdepasion.es/catalogo.php?id=4&id\\_marca=116&id\\_categorias=13](http://www.instrumentosonesdepasion.es/catalogo.php?id=4&id_marca=116&id_categorias=13).

Consulta 02 de junio de 2011.

#### **2.6.2.6. Aplicación de revestimientos orgánicos**

Los materiales tipo pintura se aplican por inmersión, brocha y aspersión.

Mínimo costo de mano de obra por la inmersión. La inmersión es común para aplicar revestimientos protectores a las forjas y fundiciones para evitar la herrumbre durante el almacenaje y el proceso, y para servir como primarios para el acabado final. Muchos otros productos hechos en grandes cantidades también se acaban por inmersión. La inmersión puede hacerse manualmente con las partes colgadas en estantes de secado hasta que se terminan. Con frecuencia, las partes se cuelgan en transportadores que las sumergen en tanques de pintura y las elevan después para llevar las partes a través del ciclo de secado al aire, o algunas veces a través de un horno para secado acelerado.

La aplicación de la inmersión se limita a partes que no tienen recesos, bolsas o formas que puedan sostener la pintura líquida o evitar que fluya a una capa uniforme.

El uso de la brocha es costoso. La pintura con brocha es lenta y se usa poco en el trabajo de manufactura, excepto para piezas grandes, pesadas o de forma rara que no pueden moverse o manipularse en el área de aspersión de pintura. La brocha y el rodillo se usan para revestir superficies estructurales tales como paredes y techos de edificios. El uso de la brocha permite aprovechar el material de revestimiento, ya que prácticamente no se desperdicia ninguno, y el frotamiento mecánico de una brocha o un rodillo proporciona cierta acción de limpieza que puede producir mejor adhesión.

La velocidad y la calidad se obtienen por la aspersión. Con mucho, la mayor cantidad de revestimientos orgánicos se aplica industrialmente por aspersión. Este método se usa sobre todo con lacas y esmaltes de secado rápido. El corto tiempo de secado provoca que las partes lleguen a estar libres de polvo muy rápidamente, de modo que pueden moverse fuera del área de aspersión y se puede aprovechar este método de aplicación rápida. La aspersión se hace en casetas diseñadas para este propósito, donde la ventilación adecuada arrastra los vapores y las partículas de aspersión lejos del operador.

Las instalaciones grandes con frecuencia usan una cortina de agua en la parte trasera de la caseta para coleccionar las partículas de aspersión que no llegan al artículo que se pinta, para un posible ahorro. La pintura por aspersión de carrocerías de automóviles y otros objetos grandes que se mueven por transportadores, se hace automáticamente con cabezas aspersoras, algunas

estacionarias y algunas móviles, ajustadas para aspersar una capa uniforme sobre el objeto.

El revestimiento uniforme por medio de aspersión electrostática. Los objetos pequeños, usualmente colgados en un transportador de cadena, pueden pintarse con un método de aspersión electrostática, en el cual las partículas de pintura se aspersan a través de un campo electrostático de alto voltaje. Cada partícula de pintura toma una carga eléctrica del campo, y es atraída hacia el artículo que se va a pintar, el cual está conectado a tierra. Este método permite mejor uso de la pintura que la aspersión común, pero aún más importante, permite que el revestimiento se distribuya por sí mismo en forma más uniforme sobre todo el objeto.

La fuerza electrostática también puede usarse para arrancar gotas o escurrimientos que se forman por la gravedad a lo largo de las aristas inferiores de los objetos recién pintados. Esto se hace pasando las partes sobre un electrodo cargado electrostáticamente, que ejerce la fuerza necesaria para hacer tensión en el revestimiento pesado de la arista.

Figura 60. **Aplicación de revestimiento por aspersion electrostática**



Fuente: [http://www.pinelec.com/layers/nuestros\\_servicios/1\\_pintura\\_electrostatica/index.html](http://www.pinelec.com/layers/nuestros_servicios/1_pintura_electrostatica/index.html).

Consulta 02 de junio de 2011.

Frecuentemente se usa el calor para acelerar el secado. Como se indicó, los revestimientos orgánicos con frecuencia se hacen al aire libre. Algunos solventes y vehículos son tan volátiles que el secado se lleva a cabo casi inmediatamente. Otros requieren varios días para el secado, otros requieren temperaturas elevadas para que tenga lugar la necesaria polimerización. El calor para el secado y la aceleración de las reacciones químicas, puede proporcionarse por diversos tipos de hornos. Algunos hornos son del tipo de lote, en los cuales se colocan estantes de partes por períodos específicos.

Otros son de los tipos continuos, construidos sobre sistemas de transportadores que regulan el tiempo de exposición por la longitud del horno y la velocidad de operación del transportador.

Los hornos que circulan aire caliente, pueden calentarse con cualquier clase de combustible o electricidad, quizá lo más común es el quemado de gas. Muchos revestimientos se secan por calor radiante con lámparas infrarrojas. Estas pueden distribuirse para envolver el objeto de forma similar a la de un horno de aire caliente, o pueden colocarse en bancadas largas o paneles.

#### **2.6.2.7. Esmaltes vítreos**

La porcelana consiste de vidrio fundido. El esmalte vítreo o porcelana, en realidad es una capa delgada de vidrio fundido en la superficie de un metal, usualmente acero o hierro. El polvo de vidrio en partículas de tamaño fino obtenidas en molienda de bolas, se llama frita. La frita se mezcla con arcilla, agua y óxido de metal, para producir el color deseado, formando un lodo delgado llamado barbotina o engobe. Esta se aplica a la superficie preparada de metal por inmersión o aspersion y, después del secado, se quema aproximadamente a 800 °C para fusionar el material a la superficie de metal.

Para un revestimiento de alta calidad, se aplica más de una capa para ocluir la porosidad fina de punta de aguja.

Excelente protección contra la corrosión. El vidrio aplicado de esta manera tiene alta resistencia y usualmente es lo suficientemente flexible para soportar la flexión del acero dentro de los límites elásticos del metal base. Los revestimientos tienen excelente resistencia a la corrosión atmosférica y a la mayoría de los ácidos. Los esmaltes vítreos pueden ser adecuados para usarse en una amplia gama de temperaturas. Algunos tipos especiales se han usado para la protección contra la corrosión en las toberas de escape para motores de avión. Si se considera la alta calidad de protección, los esmaltes vítreos son relativamente baratos y tienen muchos usos.

Durante un tiempo, muchos sartenes de cocina se manufacturaron con material de este tipo, pero su uso ha sido reemplazado en gran parte por los aceros inoxidable y el aluminio. Los revestimientos para tanques de agua caliente, recipientes para ácidos suaves y el uso donde los materiales deben tener resistencia a la corrosión y a humos de alta temperatura, son aplicaciones importantes para este revestimiento.

Revestimientos de cerámica para protección especial. El advenimiento de los cohetes y proyectiles ha introducido un campo totalmente nuevo, en el cual la protección contra la corrosión a alta temperatura es esencial. El esmalte de porcelana ha sido satisfactorio en algunas de estas aplicaciones, pero comúnmente se usan revestimientos de cerámica con características refractarias mejores. Algunos se aplican en la misma forma que el esmalte de porcelana. Otros se fusionan a las superficies de metal con el intenso calor de un chorro de plasma.

Figura 61. **Pieza de arte elaborada con esmaltes vítreos**



Fuente: <http://www.relojes-especiales.com/foros/vintages/relojes-omega-con-esmaltes-1946-1956-a-86023/>. Consulta 02 de junio de 2011.

#### **2.6.2.8. Metalizado**

La aspersion de metales, o metalizado, es un proceso en el cual un alambre de metal, o polvo, se alimenta en una llama de oxiacetileno para calentarse, y entonces, después de fundirse, se arrastra con aire a alta velocidad para chocar contra la superficie de trabajo. Las pequeñas gotas se adhieren a la superficie y se ligan juntas para acumularse como un revestimiento.

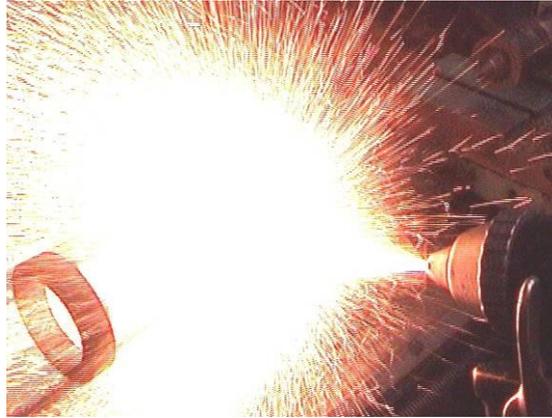
El enlace principalmente es mecánico. La naturaleza del enlace depende mucho de los materiales. Las pequeñas gotas están relativamente frías cuando hacen contacto y pueden de hecho rociarse en madera, acero y otros materiales inflamables. Poco, o algún flujo líquido, ayuda a la acción de enlace.

Si existe suficiente afinidad entre los materiales, puede establecerse un tipo de soldadura que influye los enlaces atómicos. El enlace principalmente es mecánico en la mayoría de los casos, y la aspersion de metal por lo general se hace en superficies que se han acondicionado intencionalmente para que tengan rugosidad que ayude al enlace mecánico.

Los materiales anódicos causan corrosión selectiva. El zinc, aluminio y cadmio, los cuales son anódicos con respecto al acero y, por lo tanto, proporcionan protección de corrosión preferencial, usualmente se rocían en capas delgadas, que promedian casi 0,25 milímetros (0,010 pulgadas) de espesor, como recubrimientos protectores. Debido a que los revestimientos rociados tienden a ser porosos, se usan revestimientos de dos o más veces de este espesor de materiales catódicos, tales como el estaño, plomo y níquel. Los materiales catódicos protegen sólo al aislar el material base de su medio ambiente.

Reconstrucciones por aspersion de metal. Otra aplicación importante para la aspersion de metal es en operaciones de salvamento (de piezas) para las cuales puede usarse una amplia variedad de metales. Las superficies, usualmente después de que se les da textura rugosa, se rocían con metal que se acumula a dimensiones de sobretamaño. El material en exceso se máquina entonces hasta alcanzar la dimensión deseada. Las partes costosas con superficies de cojinete gastadas, o las partes nuevas que se han maquinado a bajo tamaño, pueden algunas veces salvarse con este procedimiento relativamente barato.

Figura 62. **Proceso de metalizado**



Fuente: <http://www.metalizacion.com.mx/Temas/Metalizado.htm>. Consulta 02 de junio de 2011.

#### **2.6.2.9. Metalizado al vacío**

Algunos metales pueden depositarse en películas muy delgadas, por lo general para propósitos decorativos o de reflexión, por medio de un depósito de vapor. El metal se vaporiza en una cámara de alto vacío que contiene las partes por revestir. El vapor del metal se condensa en las superficies expuestas en una película delgada que sigue el patrón de la superficie. El proceso para revestir partes pequeñas es barato si se considera sólo el factor tiempo, pero el costo del equipo especial necesario es relativamente alto.

El aluminio es el metal de mayor uso para depositarlo por este método y se usa con frecuencia para decoración o para producir una superficie a espejo en los plásticos. Las películas delgadas usualmente requieren protección mecánica, cubriéndolas con laca o algún material de revestimiento.

Figura 63. **Botellas metalizadas por alto vacío**



Fuente: <http://www.metalnik.es/metalizados.html>. Consulta 02 de junio de 2011.

#### **2.6.2.10. Recubrimiento metálico por inmersión en caliente**

Varios metales, cobre todo el zinc, estaño y plomo, se aplican al acero para protección contra la corrosión, por un proceso de inmersión en caliente. El acero en láminas, barras, tubería o en forma fabricada, apropiadamente limpia y enjuagada, se sumerge en el metal de recubrimiento fundido. Conforme se retira el trabajo, el metal fundido que se ha adherido solidifica para formar una capa protectora. En algunas plantas grandes, la aplicación se hace continuamente, material en rollos se alimenta para la aplicación de los baños necesarios y finalmente se inspecciona antes de volverse a enrollar o cortarse en hojas.

El zinc se aplica en muchas formas. El zinc es uno de los materiales más comunes que se aplican al acero en esta forma. Además de la protección por

exclusión, protección electroquímica (el origen del término hierro galvanizado), ocurre cuando el acero expuesto y el zinc adyacente están conectados por humedad conductora. El zinc es uno de los revestimientos más empleados para la protección contra la corrosión del acero, debido a su bajo costo y fácil aplicación. Además de la inmersión en caliente, puede aplicarse el zinc por revestimiento electrolítico, aspersión y el método Sherard.

El Sherodizado es un proceso por el cual el acero, calentado en la presencia de zinc en polvo, queda recubierto con zinc.

Los requerimientos de estaño y recubrimiento terne, el último usa una mezcla de aproximadamente cuatro partes de plomo por una parte de estaño, también se hacen por inmersión en caliente.

**Figura 64. Lámina tratada mediante un proceso de galvanizado continuo por inmersión caliente**



Fuente: <http://www.arlam.com.mx/laminas/>. Consulta 03 de junio de 2011.

### **2.6.2.11. Revestimiento electrolítico**

Los revestimientos de muchos metales pueden depositarse en otros metales y en materiales no metálicos, cuando se preparan adecuadamente, por electrólisis. Los objetivos del recubrimiento electrolítico son: proteger contra la corrosión, mejorar la apariencia y establecer superficies resistentes al desgaste y a la abrasión, o agregar materiales para el incremento dimensional y para servir como paso intermedio de revestimientos múltiples. Algunos de los metales más comúnmente depositados en esta forma son: el cobre, níquel, cromo, cadmio, zinc, estaño, plata y oro.

La mayoría se usan para proporcionar alguna clase de protección contra la corrosión, pero la apariencia también tiene importante papel en su uso.

Sistema complejo eléctrico y químico. Cuando se aplica potencia de corriente continua con voltaje suficientemente alto a dos electrodos sumergidos en una solución acuosa de sal metálica, las corrientes fluyen a través del circuito y provocan cambios en los electrodos. En el electrodo negativo o cátodo (el trabajo), el exceso de electrones suministrados por la fuente de potencia neutraliza los iones metálicos cargados positivamente en la solución salina para causar que el metal disuelto se deposite en el estado sólido. En el electrodo positivo o ánodo (metal de recubrimiento), el metal pasa a la solución para reemplazar el que se ha eliminado del otro electrodo.

La relación de depositación y las propiedades del material de recubrimiento dependen de los metales que se trabajan, la intensidad de corriente, la temperatura de la solución y otros factores.

El espesor del revestimiento usualmente es bajo. Los espesores de los recubrimientos en general son bajos, en el rango de 2,5 micrones, 0,025 milímetros (0,0001 – 0,001 pulgadas). El cromo se aplica solamente para apariencia y puede usarse en un espesor de sólo la décima parte de estas cantidades, pero cuando se usa para proporcionar resistencia al desgaste y para aumentar dimensiones, como en calibradores, debe aplicarse en espesores hasta de 0,25 milímetros (0,010 pulgadas).

Metales múltiples para propiedades máximas. Algunas veces se recubren varias capas de metales diferentes para máximas propiedades. Por ejemplo, una defensa de acero para un automóvil puede recubrirse primero con cobre para proporcionar buena adhesión y cobertura del acero y para facilitar el pulimento a una superficie tersa, necesaria para un acabado final de alta calidad. Entonces el níquel se recubre sobre el cobre para servir como la protección principal contra la corrosión. Finalmente, se deposita cromo sobre el níquel para servir como un revestimiento duro, resistente al desgaste, brillante de color blanco azulado, sobre el níquel más suave expuesto a ralladuras.

Ofrece muchos problemas, no obstante que es un proceso común. Existen algunos problemas con recubrimiento electrolítico. Los depósitos de formas irregulares pueden variar ampliamente en espesores. Las proyecciones y las superficies expuestas pueden recubrirse con facilidad, pero los recesos, esquinas y agujeros, algunas veces pueden revestirse sólo mediante electrodos especialmente localizados o electrodos de forma especial para adaptarse a la forma de la pieza de trabajo. El recubrimiento electrolítico puede ser costoso debido a que implica el consumo de considerable potencia eléctrica y metal depositado y perdido.

Debido a que los espesores de los recubrimientos usualmente son muy pequeños, el revestimiento tiene poca potencia de ocultamiento, y las imperfecciones de la superficie y las rugosidades usualmente se ven a través del recubrimiento. El pulimento y la limpieza antes y durante el proceso son muy importantes.

El equipo es simple, pero el control cuidadoso es esencial. El equipo necesario para el revestimiento electrolítico es simple cuando se compara con la mayoría de las necesidades de otros procesos, pero las operaciones pueden requerir considerable espacio en la producción debido a los pasos necesarios de limpieza y enjuagado, además del recubrimiento. Todas las operaciones de revestimiento electrolítico requieren una fuente de corriente continua. En la mayoría de los casos, se necesitan sólo de 2 a 4 voltios, pero deben requerirse tantos como 12 voltios cuando el trabajo y el ánodo no pueden colocarse cerca o juntos.

La capacidad de corriente del suministro depende del área total de la superficie por recubrir en una vez. Las áreas más grandes requieren un flujo de corrientes más alto para mantener suficiente intensidad de corriente. El suministro de potencia puede ser, ya sea un generador de corriente continua o un transformador – rectificador, cualquiera de los cuales debe tener control de voltaje para permitir ajustes en la cantidad de trabajo por hacer. Los tanques que se usan para limpieza, enjuagado y recubrimiento usualmente se hacen de acero que puede estar revestido con plástico, hule, plomo u otro material para evitar el ataque químico o la contaminación del electrolito.

Debido a las operaciones necesarias de limpieza y pulimento, con frecuencia está asociado diverso equipo mecánico con este proceso.

Figura 65. **Pieza acabada con un cromado decorativo**



Fuente: [http://www.niquelmart.com/acabados\\_cromoind.html](http://www.niquelmart.com/acabados_cromoind.html). Consulta 03 de junio de 2011.

#### **2.6.2.12. Protección temporal contra la corrosión**

Es bastante común en la industria que transcurra entre la manufactura, ensamble, embarque y uso de las partes, períodos que algunas veces son bastante largos. Durante estos períodos, algunas partes pueden dañarse o destruirse por la corrosión, en lo que concierne a su función. A menos que se pueda establecer un nuevo programa de procesos, la única solución al problema es la adecuada protección contra la corrosión durante el almacenamiento y exposición. Los revestimientos empleados usualmente son materiales orgánicos llamados compuestos de enlodar, que pueden quitarse con facilidad, teóricamente cuando menos, con solventes.

Los aceites, grasas y los plásticos son los de mayor uso. Los dos tipos principales de compuestos que se usan para este propósito son materiales con base de petróleo, que varían desde aceites extremadamente ligeros, a semisólidos y termoplásticos. Los últimos pueden usarse en forma de hojas

para envolver o en forma líquida para inmersión, rociado o aplicación con brocha. La clase de material que se va a proteger y las condiciones bajo las cuales debe existir la protección, efectuarán la elección del material de enlodado.

Para períodos cortos de almacenamiento durante condiciones razonablemente buenas en interiores, quizá se requieren sólo los aceites ligeros, que quizá puedan suministrarse como enfriadores en el último paso de la manufactura. El almacenamiento en exteriores de tales artículos como engranes, cojinetes, cadenas y aun en ensambles complejos con en equipo agrícola, se requiere protección mejor con material capaz de soportar los cambios de temperatura y las condiciones severas. La colocación y eliminación de dicho material usualmente será más difícil.

Con frecuencia, debido a la dificultad de la eliminación, los compuestos para enlodar son materiales del tipo lubricante que no dañan si se mezclan en servicio con los lubricantes regulares.

Los revestimientos evitan el contacto con el medio ambiente. La corrosión por exposición a la atmósfera es el principal problema de protección para los revestimientos temporales. La exclusión del oxígeno y la humedad en el aire es el método usual de protección. Sin embargo, la duración del tiempo de protección es satisfactoria y puede aumentarse por inhibidores químicos en el compuesto de enlodado.

La inmersión o el rociado cuestan poco. El método más común de aplicación de los compuestos de enlodado para partes pequeñas es la inmersión. Las parte grandes que no pueden manipularse con facilidad, pueden rociarse, cubrirse con brocha o por flujo con el compuesto. Es importante que

cualquier superficie por proteger esté limpia y seca cuando se hace la aplicación, para evitar acumular cualesquiera materiales dañinos dentro del revestimiento. La correcta protección requiere espesores uniformes del revestimiento, los espesores reales dependerán de la clase de exposición que tiene que resistirse.

### **2.6.3. Conversiones químicas**

Un método relativamente simple y con frecuencia muy satisfactorio para la protección contra la corrosión es por la conversión del material de la superficie a una composición química que resista el ataque del medio ambiente. Esta superficie de metal convertido consiste en películas inorgánicas relativamente delgadas (rara vez con un espesor de más de 0,025 milímetros o 0,001 pulgadas) que se forman por reacción química con el material base. Una característica importante del proceso de conversión es que los revestimientos tienen poco efecto en las dimensiones del producto.

Sin embargo, cuando se van a encontrar condiciones severas, la superficie convertida puede ser sólo protección parcial, y pueden aplicarse revestimientos de tipos totalmente diferentes sobre ella.

#### **2.6.3.1. Anodizado**

El aluminio, el magnesio y el zinc, pueden tratarse eléctricamente en un electrolito adecuado para producir un revestimiento de óxido resistente a la corrosión. El metal que se trata se conecta al ánodo del circuito, del cual proviene el nombre de anodizado para el proceso. El aluminio se trata comúnmente por anodizado, que produce una película de óxido más gruesa,

pero similar, a la que se forma naturalmente con exposición al aire. El anodizado del zinc tiene uso muy limitado.

El revestimiento producido en el magnesio no es tan protector como el que se forma en el aluminio, pero proporciona cierto valor de protección y aumenta notablemente la protección cuando se usa en combinación con revestimientos de pintura.

El óxido creado a propósito es mejor que el óxido formado naturalmente. Debido a su mayor espesor y resistencia a la abrasión, las películas anódicas ofrecen una mejor protección contra la corrosión y el daño mecánico que la que dan las películas delgadas naturales. Por lo general, el aluminio se trata en electrolito de ácido sulfúrico, que disuelve lentamente el exterior y al mismo tiempo convierte el metal base para producir un revestimiento poroso. El revestimiento puede impregnarse con diversos materiales para mejorar la resistencia a la corrosión. También sirve como una buena base para la pintura y puede colorearse en sí mismo por el uso de tintes.

Figura 66. **Pieza acabada por anodizado**



Fuente: <http://www.electrocromo.es/anodizado.html>. Consulta 03 de junio de 2011.

### **2.6.3.2. Revestimientos con cromatos**

Las dimensiones del zinc aumentan con la corrosión. Por lo general, se considera que el zinc tiene relativamente buena resistencia a la corrosión. Esto es cierto cuando la exposición es a la atmósfera exterior normal, donde se forma una película de corrosión delgada. El contacto ya sea con películas de agua altamente aireadas, o por la inmersión en agua estancada, que contiene poco oxígeno, causa corrosión dispareja y picaduras. Los productos de corrosión del zinc son menos densos que el material base, de modo que la corrosión pesada no sólo destruye la apariencia del producto, sino también puede causar mal funcionamiento por la obstrucción causada en las partes móviles.

Las sales de cromo mejoran la resistencia a la corrosión y facilitan la pintura. La corrosión del zinc puede retardarse substancialmente por la producción de sales de cromo en su superficie. La resistencia a la corrosión de las aleaciones de magnesio puede aumentarse por la inmersión o tratamiento anódico en baños de ácido que contienen dicromatos. El tratamiento con cromato, tanto de zinc como del magnesio, mejora la resistencia a la corrosión, pero se usa también para mejorar la adhesión de la pintura.

**Figura 67. Piezas acabadas con proceso de tropicalizado, introduciéndolas en una solución diluida de cromato de potasio**



Fuente: <http://www.tornillosytuercas.com.mx/acabados.htm>. Consulta 03 de junio de 2011.

### **2.6.3.3. Revestimientos con fosfato**

Se usa sobre todo como una base para la pintura. Los revestimientos con fosfato se usan principalmente en acero, resultan de una reacción química del ácido fosfórico en el metal, para formar un revestimiento no metálico que es esencialmente sales de fosfato. El revestimiento se produce por inmersión de artículos pequeños, o por rociado de artículos grandes, con la solución de fosfatado. Las superficies fosfatadas pueden usarse sólo para resistencia a la corrosión, pero sus aplicaciones más comunes son como base para revestimientos de pintura. Dos de los métodos más comunes de aplicación se llaman parkerizado y bonderizado.

Figura 68. **Piezas revestidas con fosfato de manganeso**



Fuente: <http://www.funalsa.com.mx/procesof.html>. Consulta 03 de junio de 2011.

#### **2.6.3.4. Revestimientos de óxidos químicos**

Cierto número de procesos de marca para ennegrecido se usan principalmente en el acero, para producir revestimientos atractivos de óxido negro. La mayoría de los procesos incluyen la inmersión del acero en una solución de sosa cáustica, que calientan hasta 150 °C (300 °F) y se oxidan fuertemente por la adición de nitritos o nitratos. La resistencia a la corrosión es más bien pobre a menos que se mejore por la aplicación de aceite, laca o cera. Como en el caso de la mayoría de los otros procedimientos de conversión química, este procedimiento también se usa como base para acabados con pintura.

## 3. LA PLATA

### 3.1. Plata

(Ag, del latín *argentum*. Densidad: 10,5 Kg/dm<sup>3</sup>. Punto de fusión: 960 °C.)  
La plata es el metal que tiene mayor conductibilidad eléctrica. Se utiliza para alambres de los cartuchos fusibles o cortacircuitos, y para contactos. Objetos de adorno, cubiertos de mesa y análogos se platean por recubrimiento galvánico. Divisiones especialmente exactas en sextantes, teodolitos e instrumentos astronómicos se realizan en plata y se insertan en latón. La plata tiene la misma dilatación térmica que el latón. Los mejores espejos para instrumentos ópticos van provistos de un recubrimiento de plata. Yacimientos: Méjico, Norte y Sudamérica.

Figura 69. **Artículos de plata**



Fuente: <http://www.platart.com.ar/store/index.php>. Consulta 04 de junio de 2011.

### **3.2. Plata y aleaciones a la plata**

La fotosensibilidad de la plata y de ciertas sales de plata, unida a su facilidad de reducción, son la base de la fotografía. La plata revestida en cobre, latón, níquel y hierro, se utiliza para conductores eléctricos, contactos y equipo químico. Un descubrimiento reciente es el uso de recubrimientos de plata sobre vidrio, cerámicas y mica, a fin de proporcionar una base de conducción para subsecuente electrodeposición de metales en dispositivos electrónicos. La alta reflectividad y la facilidad de electrodeposición, hacen que la plata sea útil en reflectores, vajillas, cubiertos y joyería.

La plata tiene la más alta conductividad eléctrica y térmica de todos los materiales de contacto. Los óxidos de plata se descomponen e temperaturas relativamente bajas debido a la formación de arco, y vuelven a ser plata metálica, manteniendo así baja resistencia de contacto. Las principales desventajas de la plata son: baja dureza, bajo punto de fusión, tendencia a formar películas de sulfuro, y tendencia a aglomerarse sobre un electrodo bajo excesivas condiciones de corriente. Si se agregan elementos de aleación, principalmente cobre, cadmio, zinc, níquel, manganeso, platino, paladio y hierro, tales desventajas serán mínimas.

El efecto de la aleación es incrementar la dureza, elevar el punto de fusión, reducir la pérdida o transferencia de material, incrementar la resistencia a soldarse o a pegarse, aumentar la resistencia a la erosión por la formación de arco e incrementar la resistencia a la corrosión.

### 3.2.1. Aleaciones plata – cobre

Un sistema de aleación plata – cobre es un sistema del tipo eutéctico simple, con el punto eutéctico localizado en 28,1% de cobre y 1 435 °F. La máxima solubilidad del cobre en plata es 8,8% y existe la posibilidad de endurecer por envejecido ciertas composiciones de aleación. La plata esterlina (7,5% de cobre) y la plata para monedas (10% de cobre) son aleaciones templables por envejecido, pero poco uso comercial se da a este tratamiento térmico, debido al estrecho control de temperatura requerido. La aleación eutéctica al 28% de cobre encuentra algún empleo como soldadura fuerte.

La plata para monedas se utiliza para las monedas de plata de Estados Unidos y para contactos eléctricos.

Figura 70. **Moneda de un dólar de los Estados Unidos de América, fabricada de una aleación plata – cobre**



Fuente:

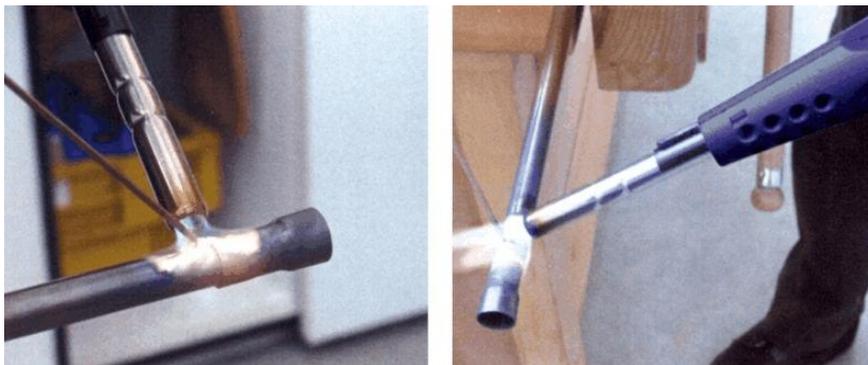
[http://www.coinshome.net/coin\\_instance\\_details.htm?id=.KLBwcl0I\\_cAAAEo2rgYEDnB&locale=es](http://www.coinshome.net/coin_instance_details.htm?id=.KLBwcl0I_cAAAEo2rgYEDnB&locale=es). Consulta 04 de junio de 2011.

### 3.2.2. Plata – cobre – zinc

Las aleaciones a la plata en este grupo se conocen como soldaduras de plata o aleaciones de soldadura fuerte de plata. En adición a la plata, cobre y zinc, a menudo contienen cadmio y estaño. En la soldadura fuerte, el mecanismo físico de enlace es similar al de la soldadura suave, excepto que tiene lugar a mayor temperatura. No hay fusión alguna del material que se une y el enlace se lleva a cabo por penetración interfacial de la aleación de soldadura fuerte. La propiedad importante de estas aleaciones es la temperatura a la cual funden y fluyen libremente dentro de la unión.

Mediante una adecuada variación de composición, es posible obtener aleaciones de soldadura fuerte que funden donde quiera desde 1 100 hasta 1 550 °F. Las aleaciones de soldadura fuerte a la plata se emplean a menudo para unir materiales ferrosos y no ferrosos.

**Figura 71. Proceso de soldadura fuerte con varilla de aporte a base de plata, con una composición de 40% de plata y 60% de aleación cuaternaria de cobre, cinc y cadmio (varilla 40 AG2, norma AWS DIN)**



Fuente: <http://shop.berner.eu/berner/es/productgroup/621259?conversationContext=1>. Consulta 04 de junio de 2011.

### 3.2.3. Aleaciones paladio – plata

Las aleaciones con 1, 3, 10, 40, 50 y 60% de paladio se utilizan ampliamente para contactos eléctricos. La aleación al 60% de paladio se emplea para contactos eléctricos que funcionan a corrientes razonablemente altas y en alambres para resistencias de precisión. Las aleaciones con menor contenido de paladio se utilizan para contactos en relevadores y reguladores de bajo voltaje, mientras que las aleaciones paladio – plata se emplean para soldar acero inoxidable y otras aleaciones resistentes al calor. Las aleaciones paladio – plata que tienen cobre, oro, zinc y platino son templables por envejecimiento y dan altas propiedades mecánicas después del tratamiento térmico.

Figura 72. **Corona dental de aleación paladio – plata revestida con porcelana, con una composición de 57% de paladio y 30% de plata**



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/palladium-silver-alloy-dental-crown-354869230.html>. Consulta 04 de junio de 2011.

Tabla IX. **Valores numéricos de las propiedades y características de los elementos**

Simbolo	Elemento	Densidad $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	P. fusión o congelación ° C	Coefficiente de dilatación lineal $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> (m/m K)
Ag	Plata	10,5	961	20
Al	Aluminio	2,7	660	24
Au	Oro	19,3	1 063	14
Ba	Bario	3,6	726	19
Be	Berilio	1,85	1 283	12
Bi	Bismuto	9,75	271	12
C	Carbono			
	Grafito	2,25	3 550	8
	Diamante	3,52	3 600	1
Ca	Calcio	1,55	850	22
Cd	Cadmio	8,64	321	31
Ce	Cerio	6,8	804	
Co	Cobalto	8,9	1 492	14
Cr	Cromo	7,2	1 900	8,5
Cu	Cobre	8,9	1 083	17
Fe	Hierro	7,86	1 535	12
Ir	Iridio	22,6	2 454	6,6
K	Potasio	0,86	63	84
La	Lantano	6,18	826	
Li	Litio	0,53	180	58
Mg	Magnesio	1,74	650	26
Mn	Manganeso	7,5	1 244	23
Mo	Molibdeno	10,21	2 610	5
Na	Sodio	0,97	98	71
Nb	Niobio	8,4	2 470	7
Ni	Níquel	8,9	1 453	13
P	Fósforo	1,82	44	124
Pb	Plomo	11,35	327	29
Pt	Platino	21,45	1 769	9
Ra	Radio	6	700	
S	Azufre	2,06	113	64

Continuación de la tabla IX.

Simbolo	Elemento	Densidad $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	P. fusión o congelación ° C	Coefficiente de dilatación lineal $\alpha \cdot 10^{-6}$ (m/m K)
Sb	Antimonio	6,69	630	11
Se	Selenio	4,3	220	37
Si	Silicio	2,4	1 420	7
Sn	Estaño	7,3	232	23
Ta	Tantalio	16,6	2 990	7
Th	Torio	11,7	1 820	11
Ti	Titanio	4,52	1 668	9
U	Uranio	18,7	1 890	
V	Vanadio	5,96	1 730	
W	Tungsteno	19,27	3 380	4
Zn	Cinc	7,13	420	30
Zr	Zirconio	6,5	1 852	14
Hg	Mercurio	13,5	-39	181
Cl <sub>2</sub>	Cloro		-101	
H <sub>2</sub>	Hidrógeno		-259	
He	Helio		-272	
N <sub>2</sub>	Nitrógeno		-210	
Ne	Neón		-249	
O <sub>2</sub>	Oxígeno		-219	

Fuente: JÜTZ, Hermann y otros. Prontuario de metales. p. 3.

Densidad = masa dividida por volumen:

$$\rho = m/V \text{ (g/cm}^3, \text{ Kg/dm}^3\text{)}.$$

Ejemplo para la dilatación lineal del aluminio por el calor:

$$\alpha = 24 \text{ m/m K.}$$

Longitud L = 1 200 mm.

Diferencia de temperatura  $\Delta T = 60\text{K}$ .

Aumento de longitud:

$$\Delta l = L \cdot \Delta T = 1,2 \text{ m} \cdot (24 \cdot 10^{-6} \text{ m/m K}) \cdot 60 \text{ K} = 1 \text{ 728 mm.}$$

Para los sólidos, el coeficiente de dilatación cúbica es  $\gamma = 3\alpha$

Tabla X. **Propiedades de algunos metales y aleaciones**

<b>Metal o aleación y composición nominal</b>	<b>Condición</b>	<b>Resistencia tensil 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia a la cedencia 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Elongación porcentaje en 2 pulg</b>	<b>BHN</b>	<b>Módulo de elasticidad, 10<sup>6</sup> Lb/pulg<sup>2</sup></b>
Plata (99,9 +)	Recocido	23	12	45	30	10,5
	Laminado en frío	43	48	6	90	
Plata esterlina (92,5 Ag, 7,5 Cu)	Duro	64	50	4	125	10,5
	Recocido	41	20	26	65	
Aleación de soldadura fuerte de plata (60 Ag, 25 Cu, 15 Zn)	Recocido	58	45	38	110	13
	Estirado en frío	89	75	9	160	
Oro (puro)	Duro	30	...	2	49	
	Recocido	17,5	...	40	28	10,8
Platino (comercial)	Duro	65	...	2	101	
	Recocido	27	...	28	65	22
Platino - iridio (90 Pt, 10 Ir)	Duro	80	...	2	169	
	Recocido	53	34	23	104	25

Continuación de la tabla X.

<b>Metal o aleación y composición nominal</b>	<b>Condición</b>	<b>Resistencia tensil 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia a la cedencia 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Elongación porcentaje en 2 pulg</b>	<b>BHN</b>	<b>Módulo de elasticidad, 10<sup>6</sup> Lb/pulg<sup>2</sup></b>
Platino - rodio (90 Pt, 10 Rh)	Duro	93	...	3	169	
	Recocido	50	18,3	36	79	21,2
Platino - rutenio (90 Pt, 10 Ru)	Duro	145	...	2	210	
	Recocido	91	...	28	156	31,5
Paladio (comercial)	Duro	55	...	...	91	
	Recocido	30	7,6	30	47	16,3
Paladio - plata (60 Pd, 40 Ag)	Duro	100	94	...	176	
	Recocido	47	15	40	87	22,4
Iridio (puro)	Recocido	90	34	...	175	75
Rodio (puro)	Recocido	80	...	...	119	50
Osmio (puro)	Botón fundido con arco eléctrico	...	...	...	400	81
Rutenio (puro)	Forjado	74	...	...	390	60
Molibdeno (99,9 +)	Laminado sin tratamiento térmico	100	75	30	250	46
	Recristalizado	70	50	45	190	
Tantalio (99,9 +)	Lámina recocida	60	45	37	55	27
	Lámina no recocida	110	100	3	123	
Tungsteno (puro)	Alambre duro	600	540	0,8	...	53

Continuación de la tabla X.

<b>Metal o aleación y composición nominal</b>	<b>Condición</b>	<b>Resistencia tensil 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia a la cedencia 1,000 Lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Elongación porcentaje en 2 pulg</b>	<b>BHN</b>	<b>Módulo de elasticidad, 10<sup>6</sup> Lb/pulg<sup>2</sup></b>
Titanio (99,8 +)	Recocido	90	70	2,3	200	16,5
Zirconio (puro)	Recocido	36	16	31	77	11

Fuente: AVNER, Sydney H. Introducción a la metalurgia física. p. 538.

Tabla XI. **Puntos de fusión**

<b>Metal</b>	<b>Grados Fahrenheit</b>	<b>Grados Celcius ( C )</b>
Plomo	621	327
Zinc	787	419
Antimonio	1 166	630
Aluminio	1 214	660
Latón	1 650	900
Hierro	2 768	1 520

Fuente: BLANDFORD, Percy W. Manual de herrería y metalistería. p. 405.

Tabla XII. **Temperaturas de fusión de metales seleccionados**

<b>Metal</b>	<b>°F</b>	<b>°C</b>
Estaño	449	232
Babbitt	462	239
Plomo	621	327

Continuación de la tabla XII.

<b>Metal</b>	<b>°F</b>	<b>°C</b>
Zinc	788	420
Aluminio	1 220	660
Bronce	1 675	913
Latón	1 706	930
Plata	1 761	960
Oro	1 945	1 063
Cobre	1 981	1 083
Hierro Fundido	2 200	1 204
Acero al carbono	2 500	1 371
Níquel	2 651	1 455
Hierro forjado	2 750	1 510

Fuente: FEIRER, John L. Metalistería, arte y ciencia del trabajo con metales. p. 339.

Tabla XIII. **Características físicas de los metales puros**

<b>Sustancia (elemento)</b>	<b>Módulo de elasticidad (E) KN/mm<sup>2</sup></b>	<b>Capacidad Cal. Especif. (20 - 100 °C) J/gK</b>	<b>Calor de fusión J/g</b>	<b>Conductiv. Calorífica <math>\lambda</math> ( ° C) W/m K</b>	<b>Resist. Eléctrica específica <math>\Omega</math> mm<sup>2</sup>/m</b>	<b>Punto de ebullición °C</b>	<b>Símbolo</b>
Aluminio	72	0,896	397	231	0,0265	≈2 500	Al
Antimonio	80	0,21	165	231	0,386	1 635	Sb
Plomo	20	0,128	24	35,3	0,21	1 750	Pb
Cadmio	51	0,233	57	96,2	0,0724	767	Cd
Calcio	23	0,68	329		0,04	1 492	Ca
Cromo		0,44	294		0,15	≈2 500	Cr
Hierro	≈210	0,47	269	72,3	0,1	3 070	Fe
Oro	79	0,13	67	310	0,0206	2 950	Au
Iridio	538	0,134		58,5	0,493	4 527	Ir

Continuación de la tabla XIII.

Sustancia (elemento)	Módulo de elasticidad (E) KN/mm <sup>2</sup>	Capacidad Cal. Especif. (20 - 100 °C) J/gK	Calor de fusión J/g	Conductiv. Calorífica λ ( ° C) W/m K	Resist. Eléctrica específica Ω mm <sup>2</sup> /m	Punto de ebullición °C	Símbolo
Cobalto	215	0,427	273	68,6	0,056	3 185	Co
Cobre	125	0,385	212	395	0,0172	2 595	Cu
Magnesio	29	0,102	208	143	0,043	1 105	Mg
Manganeso		0,486	271	50	0,39	2 041	Mn
Molibdeno	326	0,247	288	142	0,05	5 550	Mo
Sodio		1,165	115	138	0,043	881	Na
Níquel	193		302	92,2	0,069	2 730	Ni
Osmio	570	0,131	147		0,095	4 400	Os
Platino		0,135	101	71,2	0,0981	≈3 800	Pt
Mercurio		0,139	12	8,05	0,9407	356,6	Hg
Selenio		0,377	83			68,5	Se
Plata	82	0,234	106	410	0,0149	2 177	Ag
Silicio	115	0,71	1 665		1 000	2 600	Si
Tantalio	188	0,138		54,5	0,14	4 100	Ta
Titanio		0,616			0,42	3 260	Ti
Uranio		0,106		29,85	0,21	≈3 500	U
Vanadio		0,487				3 000	V
Bismuto	33	0,125	53	8,3	1,11	1 560	Bi
Wolframio	415	0,135	191	162	0,05	≈6 000	W
Cinc	130	0,388	96	113	0,057	908,5	Zn
Estaño	55	0,227	58	66	0,115	2 507	Sn

Fuente: JÜTZ, Hermann y otros. Prontuario de metales. p.5.

Tabla XIV. **Energías libres de formación de óxidos por átomo de oxígeno en kilocalorías a tres temperaturas**

<b>Elemento</b>	<b>Óxido</b>	<b><math>\Delta F</math> a 25 °C</b>	<b><math>\Delta F</math> a 500 °C</b>	<b><math>\Delta F</math> a 1 000 °C</b>
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-122	-110	-99
Antimonio	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-50	-40	-31
Arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-45	-35	-24
Bario	BaO	-126	-115	-104
Berilio	BeO	-132	-121	-109
Bismuto	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-39	-28	-13
Cadmio	CdO	-60	-43	-23
Calcio	CaO	-144	-133	-121
Carbón	CO	-33	-43	-54
Cerio	CeO <sub>2</sub>	-110	-99	-88
Cesio	Cs <sub>2</sub> O	-79	-74	-69
Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-83	-72	-60
Cobalto	CoO	-51	-43	-34
Colombio	Cb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-85	-80	-75
Cobre	Cu <sub>2</sub> O	-35	-28	-21
Galio	Ga <sub>2</sub> O	-75	-64	-53
Germanio	GeO <sub>2</sub>	-71	-105	-99
Oro	Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	10	15
Hafnio	HfO <sub>2</sub>	-129	-119	-107
Hidrógeno	H <sub>2</sub> O	-55	-49	-42
Indio	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-73	-61	-49
Iridio	IrO <sub>2</sub>	-14	-5	26
Hierro	FeO	-59	-51	-43
Lantano	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-145	-134	-122
Plomo	PbO	-45	-34	-23
Litio	Li <sub>2</sub> O	-138	-130	-123
Magnesio	MgO	-138	-127	-114
Manganeso	MnO	-89	-82	-75
Mercurio	HgO	-14	2	25
Molibdeno	MoO <sub>2</sub>	-61	-50	-40
Neodimio	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-140	-134	-129
Níquel	NiO	-52	-43	-32
Osmio	OsO <sub>4</sub>	-18	-5	4

Continuación de la tabla XIV.

Elemento	Óxido	$\Delta F$ a 25 °C	$\Delta F$ a 500 °C	$\Delta F$ a 1 000 °C
Paladio	PdO	-20	-18	-15
Potasio	K <sub>2</sub> O	-82	-75	-68
Praseodimio	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-143	-139	-133
Renio	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	-39	-32	-26
Rodio	Rh <sub>2</sub> O	-17	-12	-6
Rubidio	Rb <sub>2</sub> O	-79	-74	-68
Rutenio	RuO <sub>2</sub>	-20	-11	-0.6
Samario	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-142	-139	-135
Escandio	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-130	-120	-109
Silicio	SiO <sub>2</sub>	-95	-85	-74
Plata	Ag <sub>2</sub> O	-2	5	12
Sodio	Na <sub>2</sub> O	-90	-75	-54
Estroncio	SrO	-133	-122	-109
Tantalio	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-90	-78	-65
Telurio	TeO <sub>2</sub>	-33	-22	-13
Talio	Tl <sub>2</sub> O	-43	-45	-39
Torio	ThO <sub>2</sub>	-140	-130	-119
Estaño	son	-61	-49	-36
Titanio	TiO <sub>2</sub>	-102	-93	-82
Volframio	WO <sub>2</sub>	-60	-52	-43
Uranio	UO <sub>2</sub>	-141	-110	-99
Vanadio	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-97	-91	-83
Itrio	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-140	-130	-119
Cinc	ZnO	-77	-66	-49
Circonio	ZrO <sub>2</sub>	-123	-114	-104

Fuente: SEYBOLT, A. U. y J. E. Burke. Técnicas de metalurgia experimental. p. 200.

## **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE FUNDICIÓN ARTESANAL DE PIEZAS ORNAMENTALES DE PLATA**

### **4.1. Proceso de fundición de precisión a la cera perdida**

Se empleó el proceso de fundición a la Cera Perdida en la realización del procedimiento experimental de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata.

#### **4.1.1. Modelado**

Este es el primer paso del procedimiento de fundición que se realizó para el presente trabajo de graduación. Como se indica en el título de este capítulo, esta fundición se realizó por el método llamado a la cera perdida ya que se trata de piezas ornamentales que por lo general son de un tamaño reducido, y se fuerza el metal fundido hacia dentro del molde mediante centrifugado, para lograr que el metal ocupe todas las cavidades del molde y se reproduzcan todos los detalles de la pieza a fundir, algo que no se podría lograr fundiendo por gravedad si se trata de moldes pequeños.

El objetivo de este paso del proceso es obtener un modelo hecho en cera, de la pieza que se desea realizar en plata. Para lograr esto no se requiere fabricar uno mismo el modelo, puede adquirirse si se encuentran modelos a la venta o si se pueden mandar a hacer a pedido, ya que el modelado en cera por sí solo puede llegar a constituir un trabajo especializado si se realiza a mano. Podría suceder que se produzcan modelos de cera en serie y que se desee reproducir una figura de este tipo.

En algunos talleres de joyería artesanal, por ejemplo, cuando se desarrolla un diseño nuevo para una joya, se fabrica una maqueta base en metal, cuando la maqueta base está terminada se envuelve en un tipo de caucho, luego se vulcaniza (con una prensa especial) para que forme un molde con la impresión negativa de todo el volumen de la maqueta base, este molde se refuerza con yeso en la parte superior e inferior, para que mantenga rígido el caucho y no se deforme cuando sea rellenado con cera, ya que así se obtendrán los modelos de cera que serán réplicas de la maqueta base.

Al hacer todo este trabajo, lo más probable es que se aproveche produciendo más de una pieza o réplica de la maqueta base. Así que si la pieza no es muy compleja y es posible realizarla directamente en cera, eso es lo más conveniente, ya que ahorra tiempo y materiales, además del uso de equipos especiales como la prensa para vulcanizar el caucho.

Otra alternativa para hacer el molde con la maqueta base es utilizar otros materiales como el látex, aunque este se tarda mucho tiempo en secar y endurecer, y hay que aplicar muchas capas de látex a la maqueta base (que no necesariamente debe ser de metal en este caso) para formar una capa lo suficientemente gruesa como para que sirva de molde, y así poder rellenarlo de cera.

Incluso se puede tomar la impresión negativa de la maqueta base con yeso (por ejemplo yeso piedra, de uso en mecánica dental) para crear el molde maestro, todo dependerá de la forma del volumen de la maqueta, y en caso de utilizar yeso, el molde maestro debe ser humedecido antes de rellenar de cera para que esta no se adhiera al molde maestro.

A continuación, en las figuras 38 a 42, se muestra un ejemplo de la fabricación de un molde maestro hecho de látex, a partir de una maqueta base, en este caso de plástico, para rellenar con cera y hacer el o los modelos necesarios para la fundición.

Figura 73. **Molde maestro de látex**



Fuente: Laboratorio dental López.

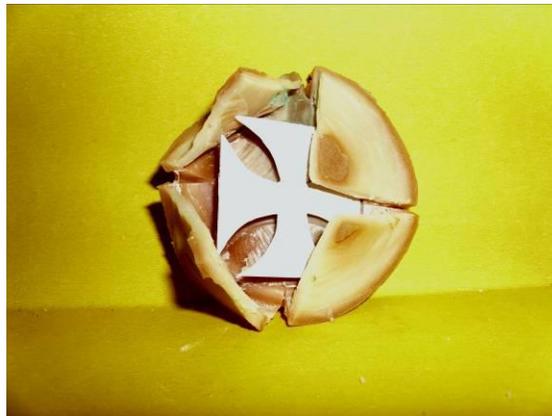
En la figura anterior se puede apreciar el látex endurecido o seco, y se han hecho unos cortes en la superficie para extraer la maqueta base que se encuentra dentro del molde, ya que se le aplicó látex a la maqueta colocándola en un recipiente redondo para que se secase y endureciera tomando la forma de la maqueta en su interior

Figura 74. **Molde maestro abierto, revelando la maqueta base aún en su interior**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 75. **Extracción de la maqueta base del interior del molde maestro**



Fuente: Laboratorio dental López.

**Figura 76. Interior del molde maestro, mostrando la impresión negativa de la maqueta base**



Fuente: Laboratorio dental López.

**Figura 77. Impresión negativa del volumen de la maqueta base, en donde se rellenará de cera para formar el modelo**



Fuente: Laboratorio dental López.

En resumen, si se tiene o se fabrica una maqueta base de la pieza que se desea fundir, la forma en que esta se reproduzca en cera dependerá principalmente del ingenio.

En el caso del proceso experimental realizado para este trabajo de graduación, el modelo de cera se realizó directamente, sin molde o sin reproducir una maqueta base, esto para simplificar el proceso y así poder describir y explicar claramente cada paso, y evitar que el proceso pueda llegar a parecer tedioso o complicado.

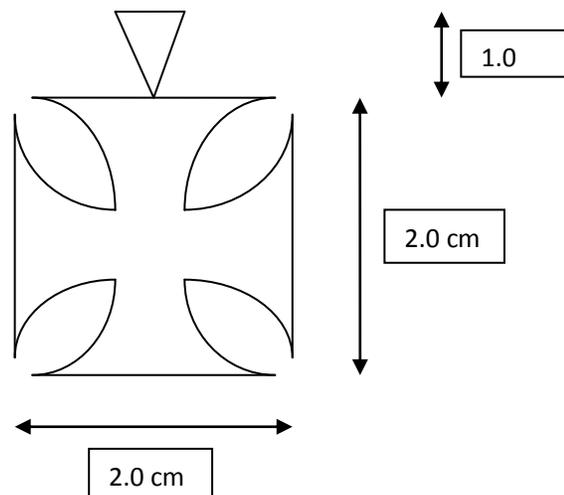
Además es importante indicar que con la cera se pueden hacer varias piezas y unir las aplicando calor, este procedimiento es conocido como soldadura a la cera y no es más que calentar un poco un instrumento metálico para unir piezas o partes de cera, ya sea agregando una pequeña cantidad de cera entre las piezas o simplemente calentando estas un poco con el instrumento que puede ser una pequeña espátula, fue de esta forma como se colocó el asa y el bebedero (mas adelante se explica lo que es el bebedero y su función) a la figura de cera para terminar de hacer el modelo.

El bebedero no necesariamente debe ser de cera, ya que este se puede remover después de revestir el modelo por que queda el en extremo del molde y es fácil retirarlo, esto para no desperdiciar cera en fabricar un bebedero, ya que como se ha indicado antes, la cera se elimina del molde evaporándola y este queda hueco para poder ser relleno con el metal que en este caso es plata.

Seleccionar una figura simple para facilitar la elaboración del modelo de cera. Se decidió realizar una pieza plana, con la forma de un dibujo o símbolo, para esto se calcó el dibujo en una lamina de cera de aproximadamente 15 cm

por 7,5 cm y un grosor de 2 mm aproximadamente, la cual fue adquirida en un depósito dental (al igual que el revestimiento, y también en los depósitos dentales se puede adquirir la mayoría de los instrumentos, utensilios, herramientas y equipos que se utilizaron en el procedimiento de fundición realizado para este trabajo de graduación), estas laminas son utilizadas en la industria de la mecánica dental para hacer modelos de cera de piezas dentales.

Figura 78. **Diseño que se seleccionó para la pieza a fundir**



Fuente: elaboración propia.

Este símbolo es un tipo de cruz, las medidas indicadas son aproximadas, el grosor de la pieza corresponde al grosor de la lámina de cera utilizada para calcar este diseño y así después recortarlo y utilizarlo como modelo. El ancho del espacio interior del asa en este caso es de aproximadamente 0,5 cm y fue determinado aleatoriamente, ya que se debe adecuar al grosor de la cadena de la cual se colgará la pieza, la cual como ornamento será un dije, así que esta

medida o dimensión queda a discreción de quien elabore la pieza o de quien será el usuario de la misma.

Figura 79. **Lámina de cera, de uso en mecánica dental**



Fuente: Laboratorio dental López.

En esta lamina de cera se calcó el dibujo seleccionado para hacer la pieza.

Figuras 80. **Modelo de cera terminado, visto de frente**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 81. **Modelo de cera, visto de perfil**



Fuente: Laboratorio dental López.

Las figuras 80 y 81 muestran el modelo de cera listo para ser revestido, lo que se explica en el paso siguiente (vaciado).

El modelo está montado sobre una especie de cono llamado bebedero, el cual no requiere de medidas específicas, simplemente se debe tomar en cuenta que es por esta parte por donde el metal ingresa al molde cuando ya se ha evaporado la cera y está listo para la fundición (colado), por lo tanto no debe ser más grande que el propio modelo, ya que sería un desperdicio de material y de espacio, así como tampoco debe ser demasiado pequeño como para obstruir el paso del metal fundido que ingresa estando aún en estado líquido al molde durante el proceso de centrifugado, así que ingresa a presión y a una alta velocidad.

En resumen se puede decir que cumple la función de un embudo para guiar el ingreso del metal y su distribución a las cavidades del molde, por eso también se pueden tender conductos directos desde el bebedero hasta partes

específicas del molde para procurar que el metal rellene completamente las cavidades en esas partes del molde, y por esta razón es importante que el bebedero no obstruya, restrinja ni limite el paso del metal a través de él. Puede fijarse una referencia de alrededor del 25% del volumen del modelo para el bebedero.

El peso total del modelo de cera (como se ve en las figuras 80 y 81) fue de: 2,0 gr.

#### **4.1.2. Vaciado (fabricación del molde)**

Para fabricar el molde, el cual se rellena con el metal fundido para formar la pieza, se recubre el modelo de cera ya terminado y montado en el bebedero (ingreso del metal) con un revestimiento refractario, ya que este molde hecho con revestimiento se coloca en un horno para eliminar el modelo de cera de su interior evaporándolo y para precalentar el molde antes de la fundición.

En el proceso realizado para este trabajo de graduación se utilizó un revestimiento utilizado en la industria de la mecánica dental (*X-20 Chrome Investment*, de WHIP MIX Corporation, 361 *Farmington Ave.* Louisville, Kentucky 40217 USA), el cual es un revestimiento de fosfato para elaborar parciales dentales con aleaciones a base de cromo, este revestimiento contiene sílice libre y no debe respirarse el polvo por que puede producir enfermedad pulmonar (silicosis).

Para revestir se mezcla el revestimiento con un poco de agua normal y a temperatura ambiente, se indican 52 ml de agua por cada 400 gr de revestimiento. A continuación debe mezclarse durante un periodo de tiempo de 15 segundos, si se aplica vacío a la mezcla o al modelo revestido para eliminar

burbujas de aire que pueden quedar atrapadas entre la masa de revestimiento, debe hacerse durante un periodo de tiempo de 30 segundos. Este revestimiento se endurece en poco tiempo, aproximadamente entre 10 y 15 minutos, y eleva su temperatura mientras se endurece, por esta razón debe tenerse mucho cuidado de que el modelo de cera no se deforme debido al calor.

Figura 82. **Sobre de revestimiento del que se utilizó en la realización del modelo, presentación de 400 gr**



Fuente: Laboratorio dental López.

Cuando se ha mezclado el revestimiento se puede aplicar una primera capa al modelo de cera para evitar que queden burbujas de aire atrapadas entre el revestimiento y el modelo, aunque esto se puede prevenir si se cuenta con una cámara de vacío para colocar el modelo revestido antes de que se solidifique.

También se le puede aplicar vibración para expulsar las burbujas de aire si se cuenta con un equipo o una mesa de vibración, ya que aún empleando una cámara de vacío hay que sacudir un poco el modelo revestido para asegurar que se eliminen las burbujas completamente, esto se hace golpeando suavemente unas cuantas veces la superficie de la cámara de vacío, no requiere de golpes bruscos ni mucha fuerza, todo esto debe hacerse con mucho cuidado por que podría causar que se deforme el modelo de cera aún cuando ya esté dentro del revestimiento mientras este no se ha endurecido.

Figura 83. **Aplicación de la primera capa de revestimiento (pasta primaria)**



Fuente: Laboratorio dental López.

La figura anterior muestra al modelo de cera, colocado en la base donde se pegará con cera el cilindro para contener el resto del revestimiento.

Para revestir el modelo se coloca pegándolo con cera caliente en una superficie plana, limpia e impermeable, un poco mayor que el modelo, y se coloca un cilindro alrededor del modelo, pegándolo con cera caliente en la base

para asegurarlo y evitar que se escape revestimiento por allí, este cilindro debe ser un poco mas alto que el modelo y puede ser de plástico o de cartón, este cilindro servirá para contener el revestimiento mientras se endurece, por esta razón al modelo revestido en algunos lugares le llaman frasco o cilindro.

Si se aplica una primera capa de revestimiento al modelo, puede dejarse poco denso agregándole más agua de lo recomendado, pero para terminar de revestir y llenar completamente el cilindro debe prepararse suficiente revestimiento para que quede lleno el cilindro y no tener que preparar más revestimiento después, ya que esto podría causar problemas con el molde si no tienen la misma consistencia o si no se adhiere completamente el revestimiento que se agrega después.

**Figura 84. Recipiente en el cual se preparó el revestimiento mezclándolo con agua**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después de llenar el cilindro con revestimiento y cubrir completamente el modelo de cera, se coloca en la cámara de vacío, si se cuenta con una, y se

agita ligeramente la superficie para ayudar a eliminar las burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas dentro del revestimiento, como se explicó anteriormente.

Si no se cuenta con una cámara de vacío, pero sí con un equipo de vibración, se coloca el cilindro también para tratar de eliminar burbujas de aire del revestimiento, aunque con la vibración se corre el riesgo de que el modelo de cera se deforme dentro del revestimiento, de lo cual es imposible darse cuenta hasta terminar la fundición.

En caso de no contar con ninguno de los equipos mencionado anteriormente, puede realizarse el proceso de revestir aplicando cuidadosamente la primera capa, con revestimiento preparado con una densidad adecuada para cubrir completamente las formas del volumen del modelo de cera, y luego dejando endurecer esta primera capa, para luego proceder a aplicar el resto del revestimiento, que puede estar un poco más denso, y llenar el cilindro tratando de agitar o sacudir simultanea y suavemente el cilindro para procurar que no queden burbujas de aire atrapadas, o que en caso de que las haya sea en una cantidad mínima y no afecten la forma del modelo.

**Figura 85. Colocación del cilindro de cartón alrededor del modelo de cera, adhiriéndolo con cera en su base**



Fuente: Laboratorio dental López.

**Figura 86. Cilindro de cartón lleno de revestimiento, cubriendo el modelo de cera, colocado sobre un equipo de vibración para eliminar burbujas de aire**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 87. **Máquina vibradora**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después de llenar el cilindro y cubrir perfectamente el modelo de cera, se deja que el revestimiento se endurezca y solidifique completamente, esto según las indicaciones del producto utilizado en este caso corresponde a 1 hora.

Cuando el revestimiento se ha solidificado se retira el cilindro que se utilizó para contener el revestimiento (cartón o plástico), se retira el bebedero y se limpia la entrada del metal para tratar de dejarla amplia y con una forma adecuada para facilitar el ingreso de la plata fundida.

**Figura 88. Cilindro de revestimiento sin la envoltura de cartón, sin el bebedero y con la entrada del metal limpia y conformada**



Fuente: Laboratorio dental López.

#### **4.1.3. Preparación del metal para fundir**

La preparación del metal para fundir depende del estado en que se encuentra el metal que se utilizará. En la realización de este proceso de fundición se utilizó metal de piezas de joyería que se deseaba reciclar, es decir, piezas que ya no se utilizaban por alguna razón, como por ejemplo, por estar averiadas o rotas, o simplemente por que ya no gustan al propietario. De modo que este trabajo de graduación además de ofrecer una guía para incursionar o iniciarse en la realización del proceso de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata, también sugiere el reciclar piezas que ya no se utilizan para crear una pieza nueva.

Fundir el metal significa llevarlo al estado líquido, esto se logra elevando su temperatura, como se indicó en las tablas de propiedades y características de la plata, su punto de fusión se encuentra entre 960 y 961 °C, esto quiere decir que cuando el metal alcanza esta temperatura se encuentra en estado líquido.

Para elevar la temperatura del metal se utilizó un soplete alimentado con oxígeno y propano, aunque también se utilizó gas metilacetileno propadieno o propileno del que se emplea para soldar tuberías de cobre en instalaciones de refrigeración y aire acondicionado, que se comercializa en botellas de 14,1 Oz a las cuales se les coloca una boquilla reutilizable (el más conocido es el gas MAP de UNIWELD), ya que las botellas de gas son más fáciles de manipular que el equipo de oxígeno – propano y la llama de estas alcanza la temperatura suficiente para elevar la temperatura de la plata a su punto de fusión.

Después de los primeros intentos de fundir, en los cuales se aplicó calor al metal con la llama del equipo de oxígeno – propano, se observó que no se logró mezclar completamente el metal, ya que este provenía de diferentes piezas como se indicó antes, y una de estas piezas era una cadena, la cual en su cierre tenía una pieza con un resorte, el cual estaba hecho de acero y no alcanzó a fundirse y combinarse con el resto del metal, por lo tanto afectaba el comportamiento del resto del metal fundido al momento de forzarlo hacia adentro del molde por medio del centrifugado.

Esto se pudo apreciar cuando el resultado final quedaba incompleto y con muchos defectos en su forma y en su consistencia estructural, un ejemplo de esto es el haber encontrado un trozo del resorte del seguro de la cadena, prácticamente intacto en el fondo del bebedero, así como el hecho de que

algunas partes de las piezas fundidas eran muy suaves o frágiles, y no tenían la resistencia normal de la plata.

Esto pudo deberse a que al momento de realizar el colado, y fundir el metal para hacerlo ingresar al molde, esto se hace relativamente rápido, ya que debe tomarse en cuenta que al fundir el material, luego se debe retirar el cilindro del horno y colocarlo en la centrífuga, para luego volver a aplicar calor al material que empieza a enfriarse en cuanto se retira la llama del mismo, entonces se le dirige la llama nuevamente para volver a elevar la temperatura y proporcionarle un poco de sobrecalentamiento, que sea suficiente para mantener el metal en estado líquido durante el centrifugado y que así el metal llene completamente las cavidades del molde antes de empezar a solidificar.

Por supuesto que todo esto sucede en tan solo unos cuantos segundos, ya que el centrifugado es un proceso muy rápido, pues el metal es forzado hacia dentro del molde en la primera vuelta de la centrífuga, cuando realiza un movimiento de giro brusco en la parte de la centrífuga donde se coloca el cilindro, esto se explicará detenidamente en el paso del colado.

Debido a lo expuesto anteriormente se decidió hacer primero una fundición para agrupar y mezclar el metal, procurando que se combine perfectamente proporcionando suficiente calor y empleando el tiempo que sea necesario para esto, es en este paso que se utilizó el gas en botella que se mencionó antes. Para hacer esta primera fundición fabricamos un pequeño crisol, con la forma de un vaso pequeño, el cual puede estar hecho de revestimiento o de arcilla, ya sea si se va a utilizar el metal de otras joyas o si se utilizará metal nuevo en lingotes, es recomendable agruparlo antes de la fundición final.

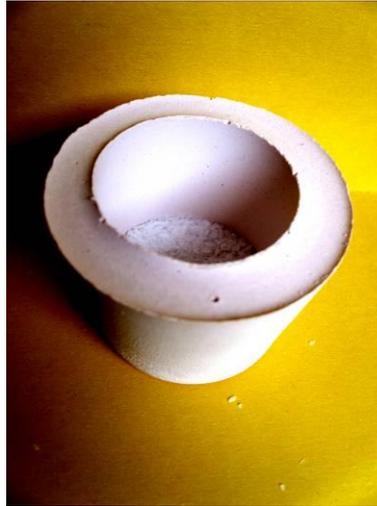
Antes de fundir las piezas de plata, por práctica común en el medio artesanal, se le agrega bórax al metal, esto se debe a que el bórax ayuda a separar las impurezas del metal, también permite que el metal fundido fluya uniformemente sobre el molde y conserva el brillo y el pulido de piezas a soldar, además mezclado con agua se utiliza como fundente al soldar oro y plata. Empíricamente se aplica una pizca de bórax al metal para fundirlo, para cuantificar a cuanto equivale una pizca de bórax, se pesó y se calculó que equivale a una medida de entre el 1 y el 5 % del peso total del metal.

Figura 89. **Crisol hecho de revestimiento para la primera fundición**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 90. **Crisol con bórax para la primera fundición**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 91. **Crisol con el metal fundido en su interior**



Fuente: Laboratorio dental López.

Para fundir el metal, se ajustó la boquilla graduable, para obtener una llama intensa y se precalentó el crisol con un poco de bórax en su interior, suficiente como para cubrir la superficie del fondo del crisol, dirigiendo la llama dentro del crisol y fuera del mismo para tratar de calentarlo completamente. Después se colocaron las piezas de plata dentro del crisol y se dirigió la llama hacia cada una hasta que empezaron a derretirse una a una, y luego se mantuvo la llama para permitir que se combinara y se mezclara completamente el metal de las piezas, ya que podían tener diferentes composiciones y grados de pureza.

Cuando el metal fundido había pasado un tiempo de entre 2 y 3 minutos completamente líquido, se dejó de aplicar calor reduciendo lentamente la llama hasta cerrar completamente la válvula de la boquilla de la botella de gas, se hizo lentamente para evitar que el cambio de temperatura fuera brusco y afectara de manera perjudicial a la plata.

Después de realizar la fundición parcial, se procedió a limpiar la superficie del metal, en la forma en que se solidificó, ya que lo que se obtuvo fue un solo lingote. Si se funde el lingote en una forma fácil de manipular se le puede realizar una limpieza superficial para retirar impurezas insolubles así como escoria y residuos de impurezas quemadas que pueden quedar después de la fundición. La limpieza se realizó con papel de lija, pero se puede realizar con cualquier medio abrasivo con el cual se facilite dejar limpia la superficie del lingote que se prepare para la fundición final.

#### **4.1.4. Preparación del molde**

La preparación del molde en el proceso de fundición realizado para el presente trabajo de graduación consistió en calentar el cilindro, esto se hizo

para eliminar el modelo de cera que quedó dentro del cilindro de revestimiento solidificado, y también para precalentar el molde para fundir.

Para calentar el cilindro se colocó dentro de un horno eléctrico que alcanza una temperatura de 1200 °C, la temperatura del horno debe ser suficiente para evaporar la cera del modelo que se encuentra aún dentro del cilindro de revestimiento, aunque no alcance los 1 200 °C.

El cilindro cambió de color al calentarse y pasó de un color blanco – rosa a un color anaranjado o rojo vivo cuando aún estaba dentro del horno, permaneció allí por un periodo de tiempo de aproximadamente 1 hora, para eliminar completamente la cera y la humedad que hubiera en el revestimiento, así como también para llevar el molde a una temperatura lo suficientemente alta como para que no se produzca un choque térmico cuando, en la fundición, el metal ingrese al molde a alta temperatura.

Al retirar el cilindro del horno se veía de un color blanco hueso, como si se tratara de yeso, pero el cilindro se retira del horno hasta el momento de la fundición, para evitar que pierda calor.

Figura 92. **Colocación del molde (cilindro) dentro del horno eléctrico**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 93. **Horno eléctrico utilizado en la fundición**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 94. **Molde dentro del horno eléctrico a su máxima temperatura**



Fuente: Laboratorio dental López.

#### **4.1.5. Colado**

El colado consiste en fundir la plata para que llene el molde. Fundir la plata quiere decir derretirla, para esto se eleva la temperatura del metal hasta que alcance el punto de fusión de la plata, que como se mencionó anteriormente es de alrededor de 961 °C. Para elevar la temperatura de la plata se utilizó un soplete alimentado por oxígeno y gas propano, equipado con una boquilla multiflama o de regadera, la cual tiene entre 6 y 8 orificios.

Durante la realización del colado en este proceso de fundición, se ajustó la llama del soplete de forma gradual, primero se abrieron las válvulas que controlan las presiones de servicio en los manómetros a la salida de los cilindros de gas y oxígeno, después se encendió la llama del soplete abriendo levemente la válvula, que controla la presión de trabajo del gas propano en el maneral, y sin abrir la válvula del oxígeno, colocando una fuente de fuego en la

boquilla, esta fuente de fuego fue un cerillo aunque se puede utilizar un chispero.

Después de haber encendido la llama en la boquilla, alimentada únicamente con gas propano, se procedió a abrir la válvula de la presión de trabajo del oxígeno en el maneral. Esta válvula debe abrirse lentamente, ya que si se deja salir mucho oxígeno apagará la llama.

Cuando se estabiliza la llama, con las dos válvulas abiertas (propano y oxígeno) se debe buscar un ajuste para obtener una llama lo suficientemente intensa como para fundir el metal, esto se logra abriendo gradualmente cada una de las válvulas hasta que se tiene un flujo de gas y de oxígeno adecuado con una relación aproximadamente igual de propano y de oxígeno, el cual mantenga la llama estable y uniforme, con un color amarillo - anaranjado en su exterior y un tono azul claro en su interior.

En el caso de utilizar gas propano y oxígeno, las válvulas que controlan la presión de servicio en los manómetros pueden abrirse hasta alcanzar su máxima presión, ya que no existe el peligro de la inestabilidad que presenta el gas acetileno. Para el proceso de fundición realizado para el presente trabajo de graduación, los manómetros se fijaron en valores alrededor de 100 a 150 psi.

Después de graduar la llama del soplete, se colocó el metal para fundir en el crisol y se le aplicó una pequeña cantidad de bórax nuevamente, como se indicó en el paso de preparación del metal para fundir. A continuación se retiró el cilindro (molde) del horno y se colocó en la máquina centrífuga para que estuviera listo para el centrifugado en cuanto el metal se fundiera. Luego se

dirigió la llama hacia la pieza de metal para fundir, para elevar su temperatura hasta que alcanzó el punto de fusión de la plata.

Al aplicar la llama al metal se debe cuidar que el fuego tenga un escape ya que si se dirige la llama hacia una pared del crisol esta se revertirá o revotará y podría causar quemaduras a quien está fundiendo, ya que se trata de una llama larga e intensa. Es importante contar con lentes especiales para utilizar con soplete, que permitan ver claramente la aplicación de la llama y el estado del metal, para poder notar cuando el metal esté fundido, completamente líquido, y no pasar demasiado tiempo dirigiendo la llama al metal, ya que esto podría afectar la apariencia o el acabado del metal haciéndolo ver quemado, lo cual podría ser oxidación o contaminación por los gases de la combustión.

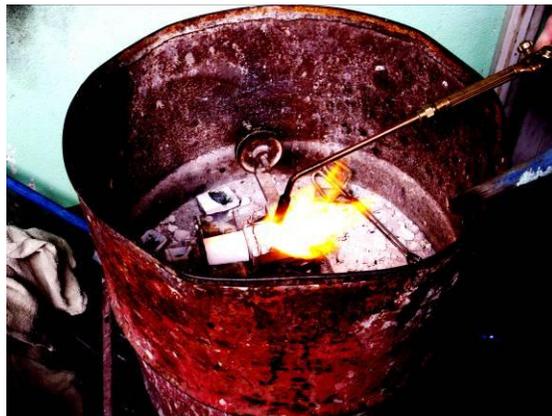
En cuanto el metal llega al estado líquido, se debe proporcionar un poco de sobrecalentamiento para que se mantenga líquido el tiempo suficiente para ser forzado hacia dentro del molde mediante el centrifugado, pero antes de ser centrifugado se debe aplicar calor con el soplete al cilindro, el cual para entonces pudo haber perdido calor mientras se fundía el metal, y a continuación debe dirigirse la llama al metal por última vez antes de accionar la centrífuga.

Figura 95. **Crisol con la plata para fundir en su interior, agregándole bórax, antes de colocar el cilindro en la centrífuga**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 96. **Aplicación de la llama a la plata para fundirla, con el cilindro ya colocado en la centrífuga**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 97. **Aplicación de la llama al cilindro antes de centrifugar**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después de haber elevado la temperatura de la plata hasta su punto de fusión, de haber aplicado calor al cilindro ya colocado en la centrífuga, y de proporcionar sobrecalar a la plata en estado líquido, se acciona la centrífuga.

La centrífuga es una máquina centrifugadora, en este caso se trata de una máquina mecánica (no eléctrica) accionada por un resorte espiral que se precarga girándola entre una y dos vueltas en sentido horario, antes de fundir para poder accionarla cuando el colado está listo.

Se libera y gira libremente en sentido antihorario, hace ingresar el metal en el molde por efecto de la fuerza centrífuga, ya que gira rápidamente y provoca que la parte donde se encuentran colocados el crisol y el cilindro se alinee con la otra parte de la centrífuga en donde hay unos contrapesos, estas dos partes de la centrífuga inicialmente se encuentran en un ángulo de  $90^\circ$  entre ambas como se puede apreciar en las figuras 96 y 97, y cuando la centrífuga empieza a girar realiza un movimiento de latigazo para alinear la

parte del cilindro con la de los contrapesos, y es en este movimiento que el metal se hace ingresar dentro del molde del cilindro.

A lo explicado en este párrafo se le llama centrifugado en el paso del colado. Después solo se espera a que la centrífuga se detenga y a que el cilindro se enfríe para proceder a la extracción de la pieza fundida.

Figura 98. **Centrífuga detenida después de la fundición, final del colado**



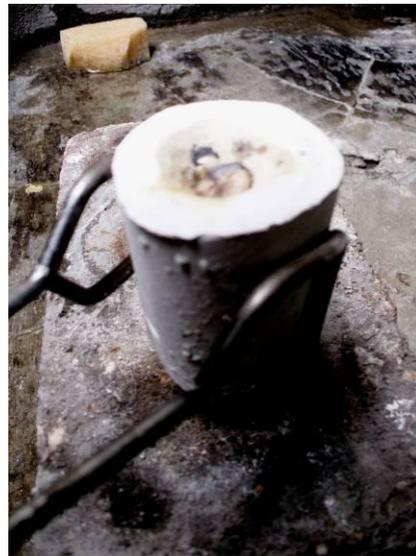
Fuente: Laboratorio dental López.

#### **4.1.6. Extracción de piezas fundidas**

La extracción de las piezas fundidas consiste en romper el cilindro de revestimiento para extraer la pieza, esto se puede hacer con una herramienta o pieza de metal, como por ejemplo acero. Cuando el cilindro se ha enfriado completamente después del colado, ya sea si se dejó enfriar al aire libre o si se sumergió en agua a temperatura ambiente para acelerar el enfriamiento del

cilindro, se golpea el cilindro en los extremos, con la pieza metálica con suficiente fuerza como para romper el revestimiento, pero no con demasiada fuerza como para deformar o romper la pieza fundida.

Figura 99. **Cilindro retirado de la centrifuga después del colado, aún caliente**



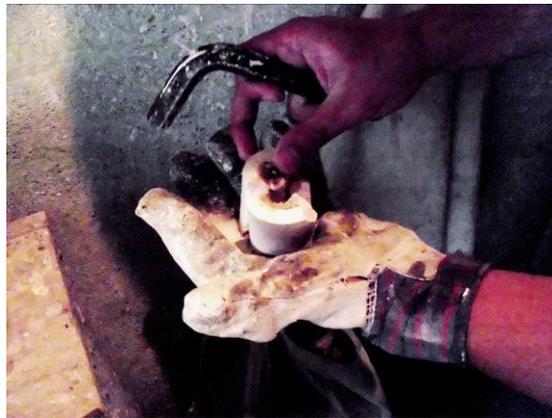
Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 100. **Cilindro enfriado con agua después del colado**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 101. **Cilindro fracturado para extraer la pieza de plata recién fundida**



Fuente: Laboratorio dental López.

**Figura 102. Pieza de plata fundida entre el revestimiento después de partir el cilindro**



Fuente: Laboratorio dental López.

**Figura 103. Pieza de plata recién fundida fuera del cilindro**



Fuente: Laboratorio dental López.

Se golpea el cilindro en la parte donde se ubica el bebedero o ingreso del metal, para que la fuerza del golpe se distribuya de forma uniforme a lo largo de toda la sección transversal rectangular del cilindro y se habrá desde el centro dejando expuesta la pieza de plata recién fundida, de manera que se pueda liberar de los restos del cilindro, aunque aún le quedan residuos de revestimiento adheridos en toda la superficie, los cuales se eliminan en el siguiente paso que es la limpieza y acabado de piezas fundidas.

Figura 104. **Pieza fundida después de retirar el exceso de revestimiento de su superficie**



Fuente: Laboratorio dental López.

#### **4.1.7. Limpieza y acabado de piezas fundidas**

Después de extraer la pieza fundida del cilindro de revestimiento, se procede a limpiar la superficie de la pieza, retirando los excesos de revestimiento que quedan adheridos a la superficie del metal. En la realización

del presente trabajo de graduación, la limpieza de la superficie se hizo en primero con un equipo de *sandblast* (llamado arenador), el cual, como se mencionó anteriormente en acabado de superficies, es un proceso mediante el cual se lanza un abrasivo (comúnmente arena) por medio de un chorro de aire.

El equipo de sandblast utilizado es un equipo elaborado manualmente, y no de marca, por lo que es un poco rústico comparado con equipos de fábrica.

Figura 105. **Cabina o cámara para la realización del arenado**  
**(*sandblasting*)**



Fuente: Laboratorio dental López.

La arena que se utilizó en el arenado para la limpieza de la pieza fue arena de cuarzo, con un tamaño de grano de 5 micrones.

Para proporcionar el flujo de aire a presión necesario para lanzar la arena a la pieza y realizar la limpieza se utiliza un compresor de aire, en este caso fue

un compresor de  $\frac{3}{4}$  HP, con una capacidad volumétrica de 7,5 galones y que proporciona un flujo volumétrico de 2,7 CFM a 40 PSI.

Figura 106. **Compresor de aire utilizado para la limpieza por arenado**



Fuente: Laboratorio dental López.

Para realizar la limpieza por *sandblasting* simplemente se dirige la boquilla por donde sale la arena impulsada por el aire a presión, hacia la pieza, aplicando el flujo por toda la superficie de la pieza hasta que se hayan removido todos los excesos y residuos de revestimiento que hubieran quedado adheridos.

Figura 107. Interior de la cabina de arenado



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 108. Boquilla lanzadora de arena para *sandblasting*



Fuente: Laboratorio dental López.

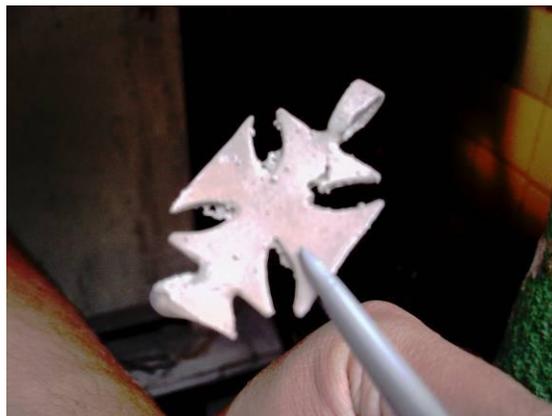
Figura 109. **Tubo de alimentación de arena para la boquilla lanzadora del equipo de *sandblasting***



Fuente: Laboratorio dental López.

Después del proceso de limpieza por arenado, el resultado es un tono blanco opaco en la superficie de la pieza, de este modo queda lista para ser sometida a un proceso de pulimento.

Figura 110. **Pieza fundida después de la limpieza por arenado**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después de haber realizado la limpieza por *sandblasting* o arenado, se procedió a pulir a la pieza, utilizando un equipo rotativo eléctrico (motor) al cual se le colocan diferentes herramientas en un eje rotativo al cual se transmite el movimiento por medio de una banda. El motor que se utilizó alcanza una velocidad de giro de 45 000 RPM, y se le colocaron pequeñas herramientas abrasivas con forma de discos y cilindros, también una fresa y un disco de fieltro.

Figura 111. **Motor eléctrico utilizado para el pulimento y pulido de la pieza**



Fuente: Laboratorio dental López.

El primer paso en el proceso de pulido fue realizado empleando una fresa, la cual se identifica con el número 703, está hecha de carburo de tungsteno y mide aproximadamente 44 mm de largo, tiene un diámetro de aproximadamente 3,1 mm en su base y 2,0 mm en la punta que tiene forma de cono truncado con una altura de 4,5 mm. La fresa se utiliza en mecánica dental para dar brillo, eliminar la capa opaca que queda en la superficie de las piezas después del

arenado y para remover las imperfecciones superficiales que pudieran haber quedado en la pieza después de la limpieza.

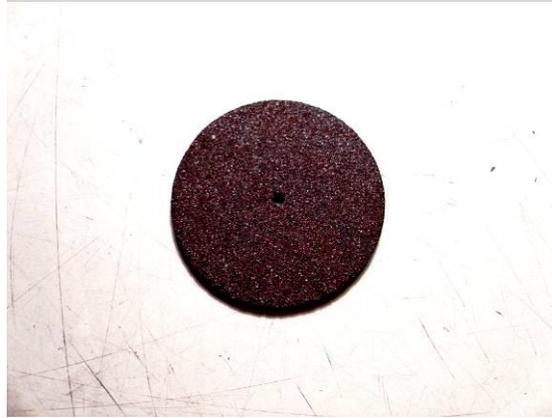
Figura 112 y 113. **Fresa 703 de carburo de tungsteno**



Fuente: Laboratorio dental López.

A continuación se utilizó un disco abrasivo, de óxido de aluminio, con diámetro de 31,0 mm y un grosor de 3,1 mm, con un agujero en el centro de 3,0 mm de diámetro con el cual se sujeta en el eje rotativo del motor. Este disco abrasivo se utiliza en mecánica dental para tallar y para disminuir el grosor de las piezas de cromo y níquel, se empleó para quitar los excesos de material en la pieza fundida.

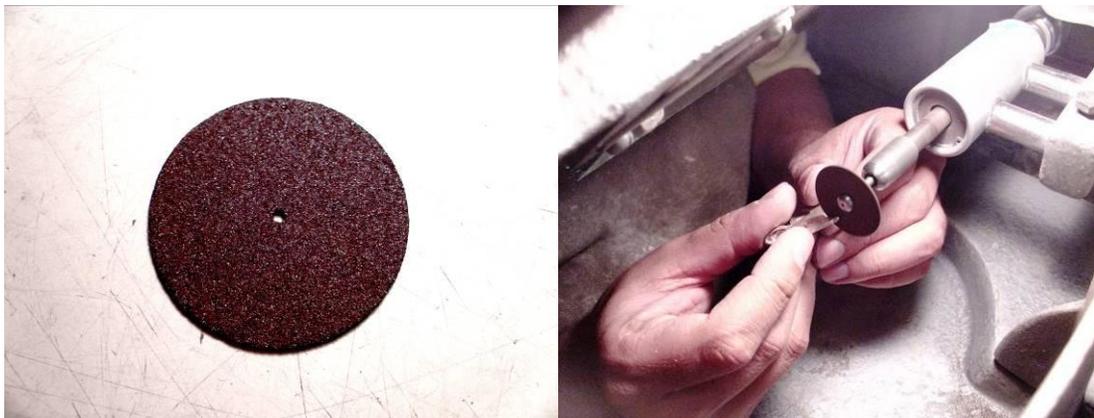
Figura 114. **Disco abrasivo grueso y de diámetro pequeño**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después se utilizó un disco abrasivo de óxido de aluminio más delgado y de mayor diámetro, aproximadamente 37,5 mm de diámetro y con un grosor de 1,0 mm, con la perforación de 3,1 mm en el centro para colocarlo en el eje. Este disco se utilizó para definir los ángulos de la pieza fundida y también para recortar lo que quedó del bebedero por donde ingresó el metal al molde.

Figura 115 y 116. **Disco abrasivo delgado y de diámetro grande**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 117 y 118. **Corte del bebedero**



Fuente: Laboratorio dental López.

A continuación, se empleó una herramienta abrasiva en forma de cilindro, con unas dimensiones aproximadas de 6,0 mm de diámetro y con su propio eje incorporado de aproximadamente 3,1 mm, para ser colocado en el eje rotativo del motor, por medio de un tipo de mandril, a diferencia de los discos que se colocan en un pequeño eje asegurados con un perno, y este pequeño eje se coloca en el eje rotativo del motor, asegurándolo en el mismo mandril. La altura del cilindro es de 13,0 mm y se utilizó para eliminar filos en la pieza fundida y para proporcionar cierto grado de tersura emparejando y nivelando toda la superficie de la pieza.

Figura 119 y 120. **Cilindro abrasivo**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 121. **Pieza después de ser pulida con las herramientas abrasivas (discos y cilindro)**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después de tallar la pieza con las herramientas abrasivas de óxido de aluminio, se utilizó un disco de caucho, el cual también tiene incrustaciones de abrasivos, aunque en una cantidad mínima, está compuesto principalmente de

caucho, tiene unas dimensiones aproximadas de 22,0 mm de diámetro, con la perforación en el centro de 3,1 mm para sujetar en el eje rotativo, y tiene un grosor de 2,5 mm. Este disco se empleó para alisar y pulir la superficie de la pieza, ya que este le proporciona brillo y tersura, aunque no uniforme.

Figura 122 y 123. **Disco de caucho**



Fuente: Laboratorio dental López.

Se empleó también una herramienta pequeña con forma de cilindro de caucho, al igual que el disco tenía incrustaciones abrasivas en una cantidad mínima, tiene un diámetro de aproximadamente 6,0 mm, con una altura de 22,0 mm y un diámetro interior de unos 2,0 milímetros para insertarlo en un eje y acoplar este en el eje rotativo del motor. Este cilindro se empleó para dar uniformidad al brillo y a la tersura que le proporcionó el disco de caucho a la superficie de la pieza fundida.

Figura 124 y 125. **Cilindro de caucho**



Fuente: Laboratorio dental López.

Figura 126. **Pieza después del pulido con el disco y el cilindro de caucho**



Fuente: Laboratorio dental López.

El siguiente paso fue el pulimento de la pieza fundida, después de haber realizado la limpieza por arenado y el pulido con los abrasivos de óxido de aluminio y los de caucho, tanto discos como cilindros. El pulimento se realizó empleando otro disco, en este caso de fieltro, al cual se le aplica una pasta para

pulir que le proporcionó un brillo intenso en toda la superficie a la pieza fundida. Las dimensiones del disco de fieltro son aproximadamente 25,0 mm de diámetro con la perforación en el centro de 3,1 mm para sujetar en el eje rotativo del motor, y un grosor de 5,0 mm.

Figura 127 y 128. **Disco de fieltro y pasta para realizar el pulimento**



Fuente: Laboratorio dental López.

En esta fundición, la pieza resultó con el asa llena rellena, esto se debe a que el espacio interior del asa no se llenó con revestimiento durante el vaciado, así que por último se trató de perforar el interior del asa con la fresa 703 de carburo de tungsteno, para tratar de abrir el agujero por el cual se atravesaría la cadena de la cual se colgaría el dije, aunque esto causó una fisura en el asa, ya que estaba completamente llena de plata y por lo tanto tenía una consistencia sólida, y dado que la parte inferior del asa era muy delgada, no soportó la fuerza aplicada al tratar de perforar.

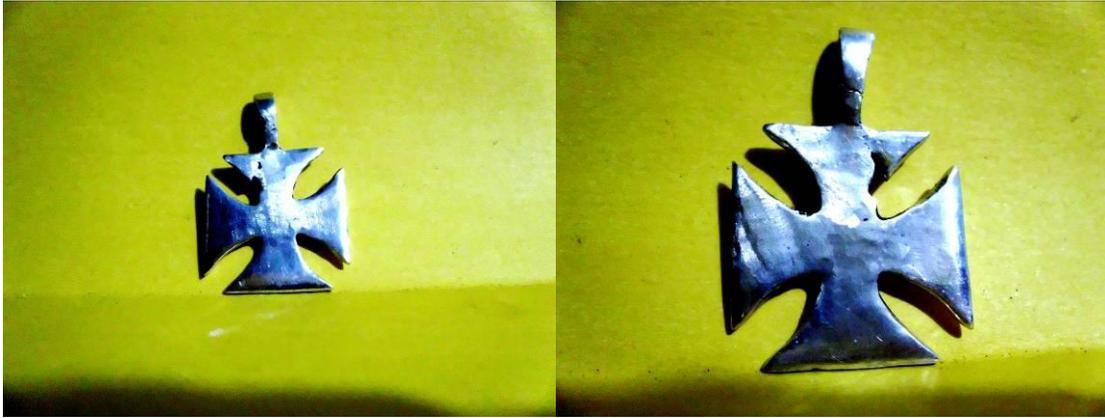
Figura 129. **Perforación del asa con la fresa 703 de carburo de tungsteno**



Fuente: Laboratorio dental López.

Después del pulimento con el disco de fieltro y la pasta para pulir, se limpian los residuos de pasta con agua caliente (hirviendo) y detergente común. Se puede apreciar en las imágenes que la pieza también presenta una irregularidad en su forma, un área faltante en el contorno de una de las paletas de la cruz, lo cual se debe a una deformación del modelo de cera durante el proceso de vaciado. Al finalizar la limpieza con agua caliente y detergente, la pieza quedó terminada y lista para ser utilizada como ornamento, un dije de plata colgado de una cadena.

Figura 130 y 131. **Pieza terminada vista de ambos lados**



Fuente: Laboratorio dental López.

## CONCLUSIONES

1. Mediante la realización y documentación del procedimiento experimental de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata, se desarrolló una guía paso a paso para la realización de dicho proceso, en la cual se describe detalladamente cada uno de los pasos seguidos en la realización de cada una de las fases y procesos de la fundición. El procedimiento se plantea de forma que resulte práctico, y se determinó como el más adecuado y conveniente para la fundición de piezas de plata con fines ornamentales, después de investigar las diferentes técnicas y procesos de fundición de práctica común en la actualidad.

Se considera una alternativa económica en caso de contar con el equipo mínimo necesario, ya que todo el equipo y las herramientas necesarias pueden encontrarse en un laboratorio de mecánica dental, dado que dicho oficio tiene muchas similitudes con la joyería. En un taller de mecánica industrial o metalmecánica también se pueden encontrar algunas de las herramientas y equipos necesarios, por lo cual si se pretende incursionar en la joyería artesanal de plata, la inversión necesaria resultaría ser mínima, comparada con el costo de maquinas y equipos especializados para la joyería.

2. Se determinó que la técnica de fundición más adecuada y aplicada en la fabricación artesanal de piezas ornamentales de plata consiste en, el proceso especial de fundición por revestimiento o de precisión a la cera perdida, en el cual se incluye el moldeo del proceso de fundición en molde de yeso, aunque en este caso se utilizó revestimiento especial de

aplicación en mecánica dental en lugar de yeso, y además se combina con el proceso de fundición por centrifugado para forzar el ingreso del metal fundido al molde con la presión ejercida por la fuerza centrífuga.

3. Tomando en cuenta todos los aspectos y los factores involucrados en el proceso de fundición, las características y propiedades de la plata, las técnicas y los procesos del trabajo con metales en la metalistería, y los resultados obtenidos en la realización del procedimiento experimental de fundición, se determinó que las variables que intervienen y afectan los resultados del proceso de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata son:

#### Variables independientes

- Modelado (fabricación del modelo de cera).
- Preparación del metal para fundir.
- Extracción de la pieza fundida del molde cilíndrico de revestimiento que la envuelve.

Y las variables dependientes en el proceso son:

- Vaciado (aplicación del revestimiento para formar el molde cilíndrico que envuelve al modelo de cera).
- Precalentamiento del molde en horno (para eliminar la cera evaporándola y elevar la temperatura del molde para evitar el choque térmico entre la plata fundida y el molde).
- Colado (aplicación de calor a la plata para elevar su temperatura hasta el punto de fusión, si que se contamine con los gases de la combustión de la llama).
- Limpieza y acabado (corrección de irregularidades superficiales, defectos menores de forma y características indeseables en la pieza fundida de plata).

4. El proceso de acabado para la pieza fundida se determinó en base a las técnicas y procesos empleados en el acabado de superficies en metalistería y trabajo con metales, ya que coinciden con los empleados en la práctica de la mecánica dental, por lo que se consideraron como los más adecuados en la realización del procedimiento experimental de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata.



## RECOMENDACIONES

1. Considerar la explicación del proceso experimental de fundición realizado en este trabajo de graduación, como una guía práctica para la realización del procedimiento de fundición artesanal de piezas ornamentales de plata, ya que está descrita la manera en que se realizó cada uno de los pasos de dicho procedimiento cuando fue efectuado.
2. Tomar en cuenta que, en base a los resultados obtenidos en las primeras experimentaciones de fundición realizada, la mejor manera de preparar la plata para hacer el colado es: reunir las piezas que se van a fundir, tanto si se trata de piezas que se reciclarán o de lingotes, y fundirlas para formar un solo bloque o lingote, en el caso del procedimiento experimental realizado, se fundió la plata en un sólido de forma semejante a un tazón, esta forma se debió a que se fabricó un pequeño crisol de arcilla para fundir allí las piezas de plata, y dicho crisol tenía forma cóncava en su fondo. Las piezas de plata, que en este caso se trató originalmente de: una cadena, un anillo, dos dijes y dos aretes de aro.  
El haber fundido las piezas antes mencionadas para formar una sola pieza, facilitó la limpieza de las impurezas que se acumularon en la superficie del lingote formado, y permitió que la plata se fundiera con mayor rapidez y de manera uniforme, a diferencia de cómo sucede cuando se trata de fundir varias piezas separadas, ya que no alcanzan la temperatura del punto de fusión al mismo tiempo, y en el proceso de colado es importante no perder tiempo innecesariamente.

3. No fundir por gravedad, ya que se determinó que la técnica de fundición a la cera perdida es la más conveniente para reproducir una pieza pequeña en plata, aun cuando el modelo de cera sea realizado a mano y no reproducido de una maqueta base.

Se estableció que cuando se trata de piezas ornamentales de tamaño reducido, el método de fundición por centrifugado logra que la plata llene el molde completamente, lo que no sucede si se funde por gravedad, ya que los moldes tienen secciones muy reducidas que dificultan el paso de la plata en estado líquido si está impulsada por el simple efecto de la fuerza de gravedad, y el centrifugado proporciona la aceleración suficiente para que la masa de plata fundida se desplace dentro de las cavidades del molde antes de que su temperatura disminuya hasta su punto de solidificación.

4. Tener especial cuidado al manipular el modelo de cera, es necesario tomar en cuenta la importancia de del proceso de modelado, así como los procesos que afectan al modelo de cera antes del precalentamiento en el horno, ya que si no se maneja con cuidado se puede deformar durante el vaciado, sobre todo si no se aplica alcohol para limpiar el modelo y facilitar la adherencia del revestimiento antes de aplicar la primera capa.

Si ocurre una deformación en el modelo de cera durante el vaciado, solo se podrá saber hasta que termine el proceso de colado y la pieza resultaría fallida, lo cual también sucedería si el modelo de cera terminado resulta con defectos o características indeseables que no se puedan corregir en la pieza de plata fundida. Durante la extracción de la pieza fundida también debe tomarse las precauciones necesarias para no dañar o romper la pieza al retirar el revestimiento que forma el molde cilíndrico que la envuelve.

5. Tomar en cuenta para lograr el éxito en el procedimiento de fundición es, asegurarse que el precalentamiento del molde en horno elimine completamente la cera del modelo, y esto se logra aplicando temperatura lo suficientemente alta, durante suficiente tiempo, ya que si quedan residuos de cera dentro del molde, estos impedirán que la plata llene correctamente los espacios y cavidades del molde, afectando perjudicialmente la forma de la pieza fundida.

El acabado superficial de la pieza fundida debe realizarse con precisión y cuidado, ya que aunque la pieza tenga la resistencia normal de la plata, puede ser frágil en algunas partes debido a sus dimensiones, sobre todo si dichas partes tienen una sección transversal reducida. En el proceso de acabado de superficies puede corregirse defectos menores que presente la pieza, tanto los que pudieron haber estado presentes en el modelo de cera, como los que resultan del proceso de colado. Los defectos debidos al modelado afectan a la geometría de la pieza, y los debidos al colado afectan la condición de las superficies de la pieza.



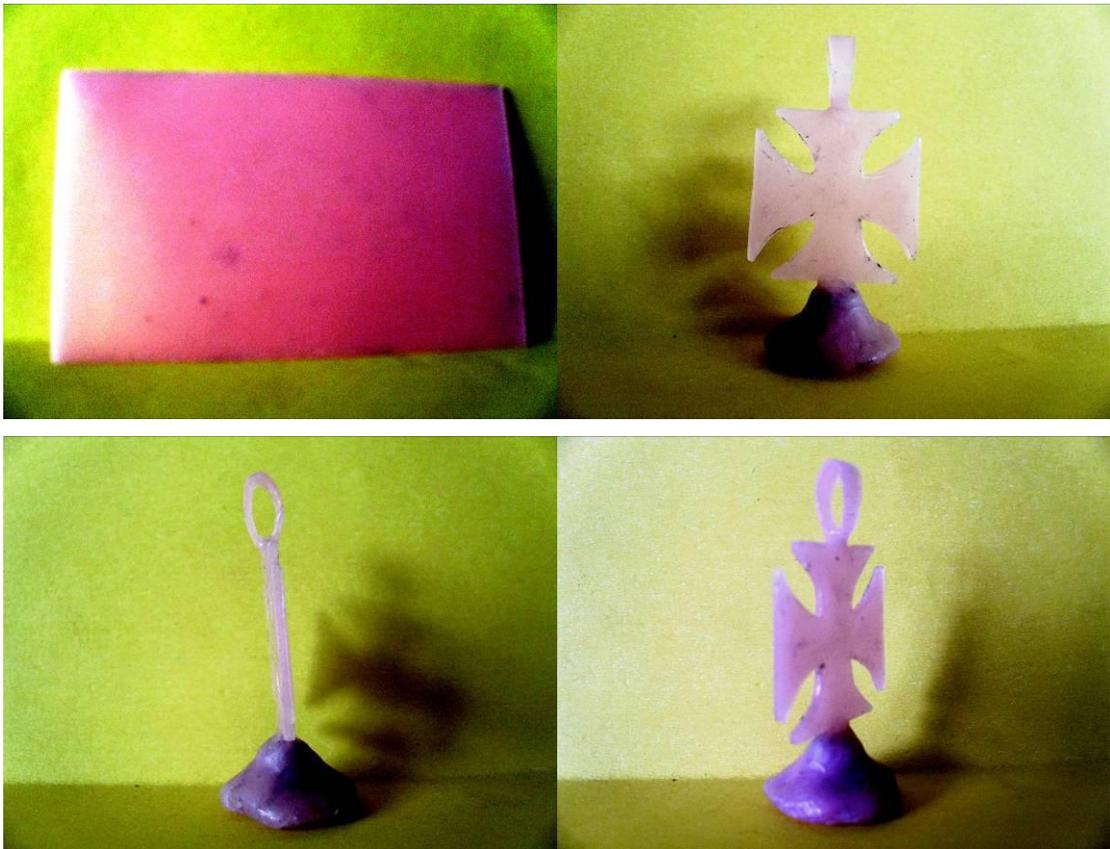
## BIBLIOGRAFÍA

1. AMSTEAD, B. H., et al. "Procesos de fundición". En: *Procesos de manufactura, versión SI*. 18a ed. México: Continental, 2003. p. 109-179.
2. AVNER, Sydney H. "Metales y aleaciones no ferrosas". En: Estrada, Jose Luis (trad.). *Introducción a la metalurgia física*. 2a ed. México: McGraw-Hill de México, 1980. p. 532-539.
3. BLANDFORD, Percy W. "Metalistería en general". En: Molina García, Enrique (trad.). *Manual de herrería y metalistería*. México: Limusa, 1986. p. 311-313.
4. FEIRER, John L. "Metales". En: Noriega, Francisco G. (trad.). *Metalistería, arte y ciencia del trabajo con metales*. México: McGraw-Hill, 1990. p. 33-339.
5. JÜTZ, Hermann, et al. "Materiales". En: *Prontuario de metales. materiales, números, formas*. 3a ed. España: Reverté, 1992. p. 3-5.
6. LÍVSHITS, B. G., et al. "Densidad y dilatación térmica". En: Steinberg, K. (trad.). *Propiedades físicas de metales y aleaciones*. Moscú: Mir, 1982. p. 346-394.

7. "Metales no ferrosos". En: *Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos*. México: Programas Educativos, 1987. p. 133-842.
8. SEYBOLT, A. U.; BURKE, J. E. "Fundición y colado". En: *Técnicas de metalurgia experimental*. México: Limusa Wiley, 1969. p. 185-346.
9. WÜRTEMBERGER, G. "Conocimiento de materiales". En: Saenz de Magarola, D. Carlos (trad.). *Tecnología de los oficios metalúrgicos*. España: Reverté, 1987. p. 90-103.

## APÉNDICES

1. Lámina de cera con la cual se fabricó el modelo y el modelo visto desde diferentes perspectivas.



Fuente: Laboratorio dental López.

2. Aplicación de la primera capa de revestimiento (pasta primaria).



Fuente: Laboratorio dental López.

3. Máquina vibradora.



Fuente: Laboratorio dental López.

4. Horno eléctrico donde se precalentó el molde.



Fuente: Laboratorio dental López.

5. Motor eléctrico utilizado en el proceso de acabado de la pieza fundida.



Fuente: Laboratorio dental López.

6. Herramientas utilizadas en el acabado de la pieza: fresa, discos abrasivos, cilindros abrasivos, disco de fieltro, pasta para pulimento, eje porta-herramientas o “mandril”, con perno de sujeción.



Fuente: Laboratorio dental López.

7. Proceso de pulido y pulimento de la pieza fundida.



Fuente: Laboratorio dental López.

8. Pieza acabada, se puede observar la fisura en la el asa y la parte faltante debido a la deformación del modelo de cera.



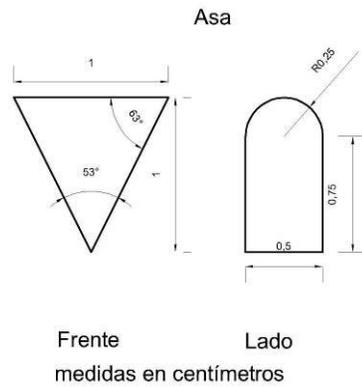
Fuente: Laboratorio dental López.

9. Lingote de plata, preparado para mejorar el colado.



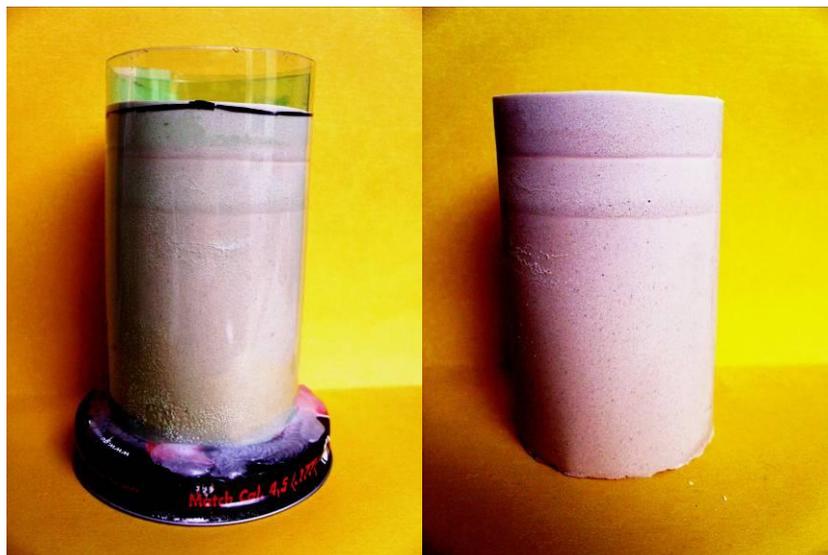
Fuente: Laboratorio dental López.

10. Ejemplo del diseño de un asa.



Fuente: elaboración propia.

11. Proceso de vaciado, rellenando un cilindro de plástico transparente para cubrir el modelo y formar el molde cilíndrico.



Fuente: Laboratorio dental López.

12. Modelo fabricado.



Fuente: Laboratorio dental López.