



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**

**CURSO 2017/18**

---

*DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE  
ALEACIONES DE ALUMINIO.*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNA/O**

Fernando Conde Camiño

**TUTORAS/ES**

José Luís Mier Buenhombre

Carolina Camba Fabal

**FECHA**

DICIEMBRE 2017

## TÍTULO Y RESUMEN

DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO.

DESEÑO DUN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALIAXES DE ALUMINIO.

DESIGN OF A CAST ALUMINIUM ALLOY PROCESS.

El presente Trabajo de Fin de Grado se dividirá en cuatro partes: memoria, estudio de seguridad y salud, planos y presupuesto.

En la memoria se realiza una introducción al estado del arte de fundición de aluminio, se describen los materiales de aluminio para moldeo y los fundamentos para la preparación del caldo.

Se detallan las etapas del proceso (fusión, preparación de arenas, fabricación de moldes, fabricación de machos, instalación de colada, operaciones de desmoldeo y tratamientos térmicos de las piezas fundidas). Asimismo se describen las instalaciones y equipamiento necesarios para el funcionamiento del proceso, así como sus especificaciones técnicas.

Se ha determinado la capacidad de producción del proceso y el personal necesario para cumplir con dicha capacidad de producción.

Se han realizado los planos de ubicación de la parcela, distribución de la misma, distribución en planta del proceso, talleres, oficinas y vestuarios y por último los planos de los alzados de las fachadas de la nave.

En el estudio de seguridad y salud se detallarán los equipos de protección personal que necesitan los operarios en el proceso.

Y por último, en el presupuesto se reflejará detalladamente el coste de implantación del proceso.

# ÍNDICE GENERAL

Título y resumen

Documento 1: Memoria.

Documento 2: Anejos.

Documento 3: Planos.

Documento 4: Presupuesto.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2017/18**

---

*DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE  
ALEACIONES DE ALUMINIO.*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Documento 1**

**MEMORIA**

## CONTENIDO

TÍTULO Y RESUMEN .....	2
ÍNDICE GENERAL.....	3
1 OBJETIVO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.....	11
2 EL ALUMINIO .....	13
2.1 Obtención del aluminio.....	13
2.1.1 Proceso Bayer .....	14
2.1.2 Electrólisis del aluminio .....	14
2.2 Recursos mundiales.....	17
2.3 Aplicaciones industriales .....	17
2.4 Reciclado del aluminio .....	18
2.5 Resumen de propiedades del aluminio .....	19
2.6 Propiedades del aluminio más importantes.....	20
2.7 Propiedades mecánicas .....	22
3 ALEACIONES DE ALUMINIO .....	24
3.1 Clasificación de las aleaciones de forja.....	24
3.1.1 Numeración de las aleaciones de aluminio para forja:.....	25
3.1.2 Tratamientos de endurecimiento de las aleaciones de aluminio: .....	27
3.2 Aleaciones de aluminio para fundición .....	28
3.2.1 Numeración de las aleaciones de aluminio para fundición:.....	28
3.2.2 Aleaciones AlSi 12.....	29
3.2.3 Grupo AlSiCu.....	29
3.2.4 AlMg .....	30
3.2.5 AlCu .....	30
3.2.6 AlZnMg.....	31
4 INTRODUCCIÓN A LA FUNDICIÓN DE ALUMINIO .....	32
5 PIEZAS FUNDIDAS DE ALUMINIO .....	33
5.1 Procedimientos de fabricación del aluminio fundido .....	34
5.1.1 Fundición en arena.....	34
5.1.2 Fundición por inyección .....	34
5.1.3 Fundición en coquilla.....	35
5.1.4 Procesos de fundición especiales.....	35
5.2 Aspectos económicos de la utilización de la fundición de aluminio.....	36

---

5.3	Características de las piezas fundidas .....	37
5.3.1	Exactitud en las medidas.....	37
5.3.2	Estado para el suministro .....	38
6	MATERIALES DE ALUMINIO PARA MOLDEO.....	39
6.1.1	Aleaciones para moldeo AISi.....	39
6.1.2	Aleaciones para moldeo AISiMg.....	39
6.1.3	Aleaciones para moldeo AISiCu.....	40
6.1.4	Aleaciones para moldeo AlMg .....	40
6.1.5	Aleaciones para moldeo AlCuTi.....	40
6.1.6	Aleaciones para moldeo AlZnMg .....	41
6.2	Características de la colada .....	41
6.2.1	Desarrollo de la solidificación .....	43
6.2.2	Fluidez.....	44
6.2.3	Capacidad de llenado del molde.....	44
6.2.4	Comportamiento en la alimentación.....	45
6.2.5	Tendencia a la formación de rechupes .....	46
6.2.6	Agrietamiento en estado caliente.....	48
6.2.7	Contracción .....	48
7	PREPARACIÓN DEL CALDO .....	50
7.1	Fundamentos para la correcta preparación del caldo.....	50
7.1.1	Oxidación del caldo .....	50
7.1.2	Absorción de hidrógeno por el caldo.....	51
7.2	Tecnología de la fusión .....	52
7.3	Limpieza del caldo .....	53
7.3.1	Tratamiento con gases .....	53
7.3.2	Tratamiento con compuestos que provocan desprendimiento de cloro.....	55
7.3.3	Tratamiento con fundentes .....	55
7.3.4	Filtrado del caldo .....	56
7.3.5	Limpieza por depresión .....	59
7.4	Tratamiento del caldo para mejorar la estructura .....	59
7.4.1	Afino del grano .....	59
7.4.2	Modificación de las aleaciones AISi .....	60
8	HORNOS DE FUSIÓN .....	62
8.1	Hornos de crisol .....	62
8.1.1	Hornos de crisol calentados por gas y aceite.....	63
8.1.2	Hornos de crisol calentados por resistencia.....	64
8.2	Hornos de reverbero .....	65

---

8.3	Hornos rotativos .....	66
8.4	Hornos de solera.....	67
8.5	Hornos eléctricos de inducción.....	68
8.5.1	Hornos de inducción con canal.....	68
8.5.2	Hornos de inducción sin canal .....	69
8.6	Horno Nabertherm de crisol basculante y calentamiento por gas con evacuación lateral de gases.....	70
9	INSTALACIONES DE MOLDEO. MOLDEO EN ARENA .....	76
9.1	Campos de aplicación de los distintos procedimientos de moldeo .....	77
9.1.1	Principales procesos de fundición de metales .....	77
9.2	Moldeo en arena: proceso productivo .....	78
9.3	Preparación y regeneración de la arena de moldeo .....	80
9.3.1	Propiedades exigidas a una arena de moldear. Componentes de una arena de moldeo 80	
9.3.2	Arenas .....	81
9.3.3	Aglomerantes arcillosos.....	86
9.3.4	Aditivos carbonosos.....	87
9.3.5	Trabajo de preparación de la arena de moldeo.....	88
9.4	Proceso de fabricación de machos.....	95
9.4.1	Sistemas de fabricación de machos .....	96
9.4.2	Método de fabricación de machos utilizado en el proceso de fundición de aleaciones de aluminio .....	101
9.4.3	Disparadoras de machos.....	102
9.4.4	Almacenamiento de los machos .....	105
9.5	Fabricación de moldes .....	105
9.5.1	Materiales para la construcción de modelos y cajas de machos.....	106
9.5.2	Consideraciones al diseño y construcción de modelos .....	109
9.5.3	Tipos de máquinas de moldeo.....	112
9.5.4	Elección de la máquina de moldeo .....	116
9.5.5	Características técnicas.....	118
10	INSTALACIONES DE COLADA .....	120
10.1	Técnica de entrada y alimentadores.....	120
10.1.1	Boca de vertido .....	121
10.1.2	Canal de colada .....	121
10.1.3	Marcha, sistema de distribución .....	122
10.1.4	Sección de entrada .....	122
10.2	Disposiciones de colada.....	122
10.3	Horno de colada del proceso de fundición de aleaciones de aluminio.....	123

10.3.1	Sistema de vertido Teach-in.....	126
10.3.2	Revestimiento refractario .....	126
10.3.3	Equipo de energía y equipo de control.....	126
10.3.4	Interfaz con el operario.....	127
11	DESMOLDEO .....	128
12	Operaciones de limpieza .....	130
12.1	Operaciones de desmazarotado .....	130
12.2	Granallado .....	131
12.2.1	De tambor .....	131
12.2.2	De carga suspendida .....	131
12.2.3	Granalladoras con transporte de carga horizontal .....	132
12.3	Operaciones de desbardado .....	133
13	TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS PIEZAS FUNDIDAS .....	134
13.1	Instalaciones para tratamientos térmicos .....	135
13.2	Endurecimiento .....	136
13.2.1	Recocido de disolución .....	136
13.2.2	Enfriamiento.....	137
13.2.3	Almacenamiento en caliente .....	138
13.2.4	Endurecimiento parcial.....	139
13.2.5	Endurecimiento en frío .....	139
14	FLUJOGRAMA.....	140
15	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS .....	141
15.1	Instalaciones de fusión.....	141
15.1.1	Horno de crisol basculante KB 400/12 .....	141
15.1.2	Cucharas de transporte de aluminio fundido con basculamiento hidráulico	
DUGOPA	142	
15.1.3	Unidades portátiles desgasificadoras PALMER .....	143
15.1.4	Carretillas elevadoras CESAB B415 .....	144
15.1.5	Filtro Deep Bed .....	145
15.2	Arenería .....	145
15.2.1	Silos de almacenamiento .....	145
15.2.2	Tolva de almacenamiento .....	146
15.2.3	Molino mezclador DISA SAM Mixer.....	146
15.2.4	Multicontrolador DISA SMC .....	147
15.2.5	Cintas transportadoras.....	148
15.3	Fabricación de machos .....	148
15.3.1	Mezclador Primafond MER 100.....	149



---

15.3.2	Disparadora de machos Primafond .....	149
15.3.3	Gasificador GCB .....	149
15.3.4	Estanterías para ubicación de los machos .....	150
15.4	Máquina de moldeo.....	150
15.5	Horno de colada.....	152
15.6	Instalaciones de desmoldeo.....	153
15.6.1	Parrilla vibrante .....	153
15.6.2	Tambor de desmoldeo .....	153
15.7	Recuperación de arenas .....	154
15.7.1	Overband electromagnético .....	154
15.7.2	Tamiz poligonal.....	154
15.7.3	Enfriador de arena de retorno RFD .....	155
15.8	Granallado .....	155
15.9	Tratamientos térmicos.....	156
15.10	Puentes grúa .....	158
15.10.1	Puente grúa zona de fusión .....	158
15.10.2	Puente grúa zona mecanizado y mantenimiento.....	158
15.11	Control de calidad.....	158
15.11.1	Cortadora metalográfica Neurtek Brillant 265.....	158
15.11.2	Pulidora manual Neurtek Saphir 320.....	160
15.11.3	Microscopio metalográfico OPTIKA IM-3MET .....	161
15.11.4	Inspección por ultrasonidos. Sonatest SiteScan 500S.....	161
15.11.5	Inspección por líquidos penetrantes.....	162
15.12	Taller de mecanizado .....	162
15.12.1	Desmazarotado.....	162
15.12.2	Rectificadora GERmh SC-CNC 60-40.....	163
15.12.3	Bruñidora SUNNEN MBB-1660.....	163
15.13	Equipos auxiliares .....	164
16	MEDICIÓN DE SUPERFICIES.....	165
17	CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN.....	166
17.1	Hornos de fusión.....	166
17.2	Arenería .....	167
17.3	Máquinas de moldeo.....	167
17.4	Molino mezclador .....	168
17.5	Horno de colada.....	168
17.6	Tambor de desmoldeo .....	169
17.7	Consideraciones .....	169

18 PERSONAL .....170

## 1 OBJETIVO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

El presente trabajo de fin de grado trata de diseñar un proceso de fundición de aleaciones de aluminio para dar respuesta a la demanda de piezas de gran tamaño como piezas más pequeñas de diversos tipos de sectores (automóvil, construcción naval, mobiliario urbano, etc.). Se describirán las etapas del proceso, las instalaciones y equipamiento necesario, la capacidad de producción del proceso y la distribución de las instalaciones. Se estimará la capacidad de producción en unas 1250 toneladas por año de piezas fundidas.

Como materia prima se utilizarán tochos cilíndricos de aluminio suministrados por la planta de Alcoa en A Coruña. Las dimensiones de los tochos suministrados por Alcoa tienen una longitud fija de 5700 milímetros y unos diámetros de 144, 153, 178 y 203 milímetros. En la planta de fundición se dispondrá de una sierra industrial para cortar los tochos antes de introducirlos en los hornos de fusión. La fundición de estos se realizará en dos hornos de fusión de crisol. Una vez fundido el metal, se realiza el afino del grano mediante tabletas de compuestos afinadores. Una vez listo el caldo, se trasvasa a cucharas de transporte. En ellas es necesario someter al caldo a un proceso de desgasificado. Este proceso es realizado por desgasificadoras portátiles. Realizado este proceso, el último paso será el de filtrar el caldo. Para ello se utilizará un filtro Deep Bed.

Con el aluminio fundido y filtrado se procede a la siguiente operación que es su transporte mediante carretillas elevadoras a los hornos de colada.

Los moldes se fabrican en arena verde. La preparación de las arenas de moldeo se realizará en un molino mezclador donde se mezclarán las arenas con los correspondientes aditivos. La fabricación de los moldes se realiza en una máquina de moldeo por disparo y presión. El tamaño de los moldes será como máximo de 0,4 metros de largo, 0,5 metros de ancho y 0,315 metros de espesor y la capacidad de moldeo de unos 315 moldes por hora.

En la fabricación de machos se emplea el método de fabricación por caja fría (cold box). La máquina de fabricación de machos dispone de un molino mezclador en la parte superior, que prepara la arena para la realización de los machos. Ésta posteriormente se carga en la máquina disparadora donde se fabrican los machos. Posteriormente se almacenan hasta que son llevados a la máquina de moldeo.

Con los moldes listos se procede a la operación de colada. El molde acabado se rellena de metal líquido bajo los efectos de las fuerzas gravitacionales o centrífugas o bien de la presión. La función del horno de colada es la mantener el aluminio fundida a una temperatura óptima para su vaciado en el molde. Los moldes llegarán en una cinta transportadora hasta la altura del horno de colada, donde se procede al llenado del molde. Hay un sistema de detección por láser para comprobar el correcto llenado del molde.

El siguiente paso a realizar será el de desmoldeo. Los moldes avanzarán por la cinta transportadora ayudando al enfriamiento. El desmoldeo se lleva a cabo primero en una parrilla vibrante. Las vibraciones harán que la arena se separe de la pieza. Para retirar las arenas que no son capaces de retirarse en la parrilla vibrante, las piezas se introducen en un tambor de desmoldeo. Éste además de retirar las arenas que quedan, realiza un enfriamiento de la pieza fundida.

La arena desprendida se somete a un proceso de recuperación. En las cintas transportadoras que transportan la arena usada, se acopla un overband electromagnético que separa los restos de partículas metálicas existentes. También se acoplará a la cinta un tambor magnético para retirar las partículas metálicas que el overband no es capaz de separar. El último paso es el de hacer pasar la arena por un tamiz poligonal para eliminar los terrones que no se eliminaron en los tambores de desmoldeo y eliminar los trozos de macho.

Las piezas fundidas se someten a procesos de acabado. Se realiza el desmazarotado, posteriormente se granallan las piezas y por último se realiza la operación de desbardado.

El último paso antes de entregar las piezas al cliente es someter las piezas a los tratamientos térmicos pertinentes para mejorar sus propiedades.

## 2 EL ALUMINIO

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno y el silicio. En su forma natural, sólo existe en una combinación estable con otros materiales (particularmente en sales y óxidos) y su existencia fue descubierta en el año 1808. El aluminio comenzó a ser producido con fines comerciales en la segunda mitad del siglo XIX por lo cual, es considerado como un material joven. En la actualidad la producción de aluminio supera en cantidad a la suma de los restantes metales no ferrosos como plomo, estaño y cobre.

El procedimiento de obtención primario más importante y económico es la electrólisis en metal fundido, con intenso consumo energético, según el método de Hall-Hérault. Por esta razón las fundiciones de aluminio se procurará situarlas, sobre todo con vistas al futuro, en aquellos lugares en que pueda disponerse de energía eléctrica a bajo precio.

Para cubrir las necesidades de aluminio es de suma importancia la recuperación del metal a partir de chatarra, material viejo y de desecho. En consecuencia, se ha desarrollado ampliamente la industria de recuperación de estos materiales. Si se tiene en cuenta que el consumo energético necesario para la obtención de aluminio refundido supone, por término medio, un 5% del consumido para el metalúrgico, y que la inversión de capital sólo alcanza una fracción del necesario para la construcción de una instalación de electrolisis, se comprende el atractivo de recoger y reciclar todo el metal viejo posible.

### 2.1 Obtención del aluminio

El aluminio se obtiene en casi todo el mundo por un proceso en dos fases: en la fábrica de óxido se aísla el óxido de aluminio puro de la materia prima. En general, con pocas excepciones, se obtiene el óxido, a partir de la bauxita, por el método de Bayer, disgregando la materia prima con sosa cáustica y precipitando el hidróxido de aluminio, de la disolución, mediante cristalización provocada. La obtención del metal tiene lugar, después, por electrólisis del óxido puro disuelto en una fusión de criolita, según el principio de Hall-Hérault.

### 2.1.1 *Proceso Bayer*

En el proceso Bayer se tritura la bauxita y se le hace reaccionar con hidróxido sódico caliente. El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pasa a la solución como aluminato de sodio y la sílice se convierte en aluminosilicato de sodio, gran parte del cual precipita junto con el barro rojo residual. Durante el tratamiento en el digestor, los diversos hidróxidos de hierro presentes en la bauxita son deshidratados para formar una solución sólida de  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  (la que contiene hasta un 10% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) el cual cristaliza para formar el constituyente principal del barro rojo.

El barro se diluye y se envía a los filtros prensa. Luego se bombea en forma de lechada para verterse en grandes lagunas artificiales.

Después de la filtración, la solución de aluminato de sodio contiene algo de aluminosilicato de sodio junto con una suspensión coloidal de óxido de hierro y alúmina, capaz de pasar a través de los filtros de seguridad.

El filtrado se bombea a tanques de acero altos y cilíndricos y se deja enfriar. El  $\text{Al}(\text{OH})_3$  se precipita al inocular la solución filtrada con cristales iniciadores de alúmina. El precipitado se elimina mediante filtración y se calcina a temperaturas entre 1200 y 1300 °C en grandes hornos rotatorios para secar, y dejar la alúmina como un polvo blanco. La reacción que se produce es:



El filtrado se concreta y se trata de nuevo o se utiliza como uno de los componentes para la fabricación de criolita sintética.

### 2.1.2 *Electrólisis del aluminio*

La electrólisis del aluminio se basa en la disolución de la alúmina (óxido de Al) en un electrolito de sales fundidas (criolita,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) y la separación del Al por medio del paso de energía eléctrica.

La intensidad de corriente atraviesa la cuba entrando por el ánodo (polo positivo), sale por el cátodo (polo negativo) y por el conductor pasa a la cuba siguiente.

Al aplicar una corriente eléctrica, los iones de la disolución migran al ánodo y cátodo. Cuando los cationes de aluminio llegan al cátodo, se reducen para dar lugar a aluminio metálico. Cuando los aniones de oxígeno llegan al ánodo, se oxidan y combinan con el carbón del ánodo para dar lugar a  $\text{CO}_2$ .

### 2.1.2.1 Partes de la cuba electrolítica

## Partes de la cuba electrolítica

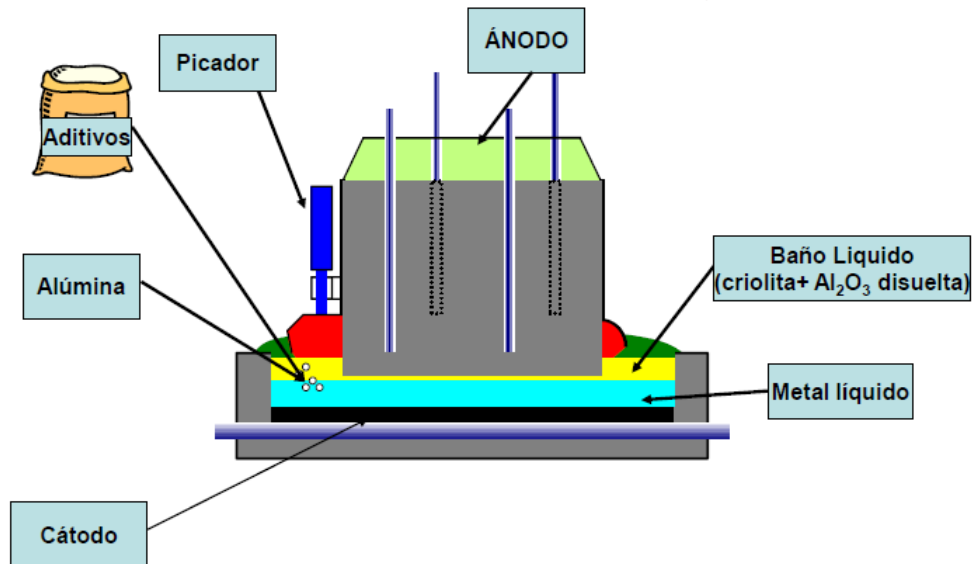


Imagen 2.1: Partes de la cuba electrolítica.

#### **Cátodo:**

El cátodo es el electrodo negativo de la cuba electrolítica, donde tiene lugar la reducción de los cationes de aluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ). Además de reducir los átomos de Al, debe contener de forma estanca el metal acumulado, lo cual determina su forma (tipo bañera).

El cátodo es de carbón y está constituido por bloques preformados, unidos entre si y al revestimiento lateral por medio de la pasta de juntas, también de carbón. En su parte inferior llevan adosadas las barras catódicas, que son unas barras de acero colectoras de corriente.

Sobre los bloques se deposita el aluminio líquido, que está polarizado negativamente y cuya superficie constituye la superficie catódica efectiva.

La duración de un cátodo es limitada y oscila normalmente entre los 4 a los 10 años. Esto significa que más o menos cada 6 o 7 años todos los cátodos se han reconstruido.

## Partes del Cátodo

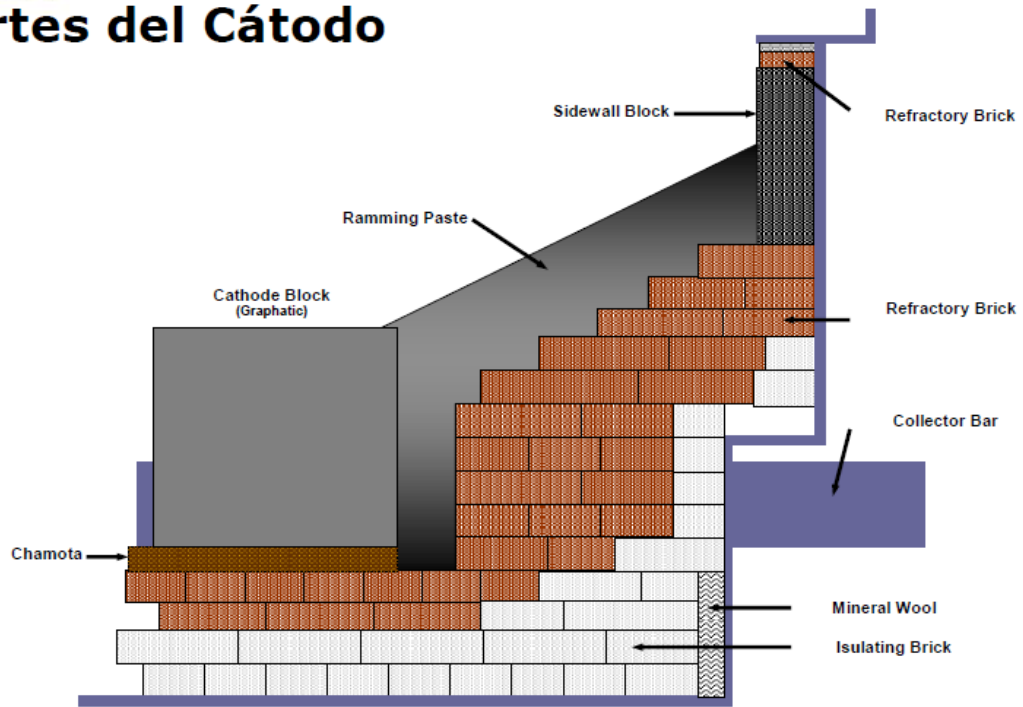


Imagen 2.2: Partes del cátodo.

### Ánodo:

El ánodo es el electrodo positivo de la cuba electrolítica hacia el que se dirigen los iones negativos ( $O^{2-}$ ) dentro del electrolito. Está formado por coque y brea.

Los aniones de oxígeno reaccionan con el carbón del ánodo, dando lugar a  $CO_2$ . Dado que el ánodo no es inerte, es necesario reponer constantemente la pasta del ánodo.

El ánodo se encuentra suspendido a unos 5 cm de distancia del Al líquido.

Entre ambos electrodos existe un espacio llamado distancia interpolar.

## Partes del Ánodo

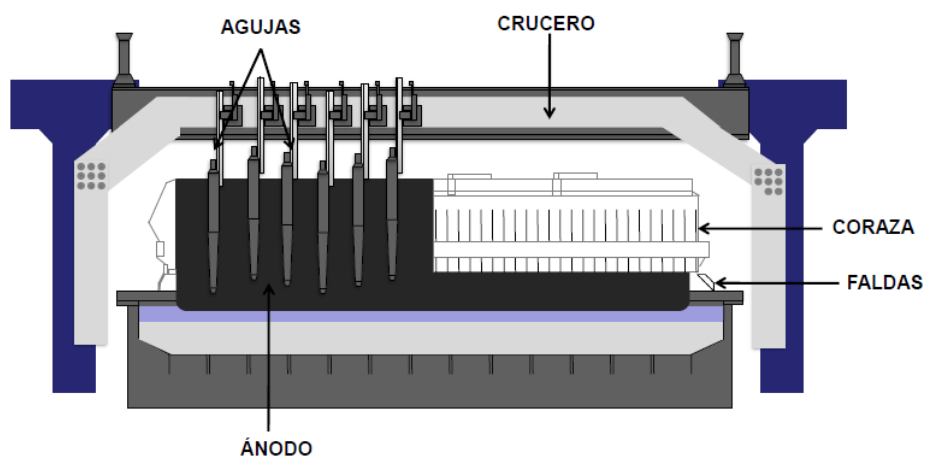


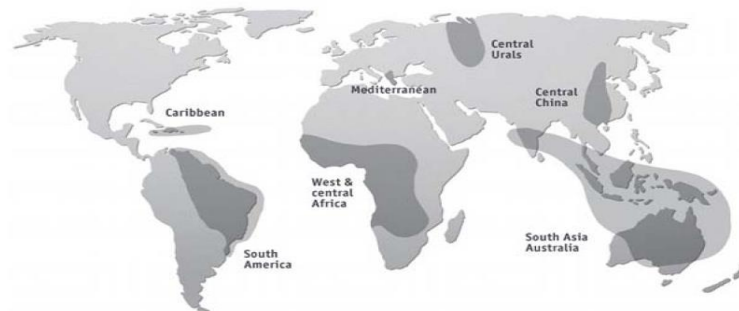
Imagen 2.3: Partes del ánodo.



## 2.2 Recursos mundiales

Los recursos mundiales de bauxita se encuentran distribuidos por todo el mundo. Hay solamente siete áreas ricas en bauxita: África Central y Occidental, Sudamérica (Brasil, Venezuela y Surinam), el Caribe (Jamaica), Oceanía y el sur de Asia (Australia e India), China, el Mediterráneo (Grecia y Turquía) y la región de los Urales en Rusia.

Debido a las existencias limitadas de materias primas, la industria global de aluminio se ha ido consolidando en los últimos 20 años. Actualmente, los principales depósitos de bauxita de alta calidad, es decir, con alto contenido de aluminio, han sido divididos entre los mayores productores. Estas compañías concentran por lo general la extracción de bauxita, la producción de alúmina, y la fundición de aluminio en el mundo. Son las que se encuentran a la cabeza del mercado de aluminio global.



Mapa: localización de las existencias de bauxita de alta calidad

Imagen 2.4: Localización de la bauxita.

## 2.3 Aplicaciones industriales

El aluminio compite con el acero en varios de sus usos, pero tiene la ventaja de ser más ligero, resistente a la corrosión, un buen conductor de la electricidad y es un metal resistente combinado en aleaciones.

Debido a estas características es ampliamente usado en las industrias de la construcción, transporte y envases.

Su aplicación en la construcción representa el mercado más grande de la industria del aluminio. Es empleado en prácticamente todas las casas en puertas, cerraduras, ventanas y canales de desagüe.

El hecho de ser ligero y resistente a la corrosión hacen de éste un material ideal para aplicaciones que requieren contacto con el agua y las variaciones climáticas. De ahí a que sea utilizado también en las industrias relacionadas con la automoción, la industria

aeroespacial, la ferroviaria y la marítima. Por sus características resulta un material ideal para la construcción tanto de las carcasas, como de varias partes, accesorios y componentes del motor. El aluminio y sus aleaciones representan alrededor del 75% del peso de una aeronave. También se utiliza para la fabricación de vagones de tren y cascos y partes de barcos. Como en el caso de los aviones, en trenes y barcos su ligereza respecto a otros materiales representa un factor determinante en su elección.

Una de sus aplicaciones más populares es su uso como papel de aluminio, que consiste en láminas de material con un espesor tan pequeño que resulta fácilmente maleable y apto para embalaje alimentario. También es usado en la fabricación de latas y tetrabricks.

Por sus propiedades eléctricas es un buen conductor, y es una alternativa al cobre por su coste y prestaciones. Es un componente útil para aplicaciones que requieren un peso reducido. Las instalaciones de tendidos eléctricos son grandes beneficiarias de esta propiedad.

## **2.4 Reciclado del aluminio**

El reciclaje del aluminio es un proceso mediante el cual, los desechos de aluminio pueden ser convertidos en otros productos tras su utilidad primaria. Este proceso implica simplemente refundir el material.

El reciclado es una de sus características más destacables, ya que el 100% de este material puede ser reutilizado ya que no pierde sus propiedades tras varios procesos de reciclado. Además, este proceso de reciclaje puede realizarse casi indefinidamente sobre el mismo material por lo que puede considerarse la vida útil prácticamente ilimitada.

En el proceso de reciclaje del aluminio, sólo se consume el 5% de la energía que se consume para la obtención del aluminio primario, lo que supone un ahorro en costes y energía significativo.

## 2.5 Resumen de propiedades del aluminio

Símbolo químico	Al	Unidades
Número atómico	13	
Peso atómico	26,97	g/mol
Peso específico a 20°C	2,7	g/cm <sup>3</sup>
Volumen atómico	9,99	cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusión	659,8	°C
Temperatura de ebullición	2467	°C
Potencial de ionización	5,984	Ev
Potencial normal de electrodo Al <sup>3+</sup> +3 e <sup>-</sup> → Al	-1,67	V
Electronegatividad	1,5	
Estados de oxidación	+3	
Radio atómico Al	0,1248	nm
Conductividad eléctrica a 20°C	0,36	μΩ/cm
Conductividad térmica a 20°C	216,4	W/(m·°C)
Calor latente de fusión	395,14	J/g
Calor específico	0,90	J/g·°C
Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras	
Dureza (Mohs)	2-2,9	
Límite elástico	6206,107	kPa
Coefficiente de expansión lineal entre 20-100°C	0,0239	Mm/m·°C

Tabla 2.1: Propiedades del aluminio.

## 2.6 Propiedades del aluminio más importantes

- **Densidad:** La densidad, de 2,6 a 2,8 g/cm<sup>3</sup> (para el aluminio puro 2,7 g/cm<sup>3</sup>) supone un tercio de la densidad del acero. Más favorable aún es la relación con los metales pesados. Gracias a la escasa densidad se obtienen fuertes disminuciones de masa en las construcciones móviles, como son los vehículos para el transporte terrestre, marítimo y aéreo, los sistemas de elevación y todas aquellas partes de instalaciones que han de ser cambiadas y transportadas con frecuencia. En las construcciones estáticas pueden disminuirse las masas y, con ello, los cimientos y los soportes pueden ser ligeros.
- **Buen mecanizado:** Todos los materiales a base de aluminio admiten el mecanizado con facilidad, en particular los materiales especiales para tornos automáticos. Como consecuencia de las altas velocidades de corte que pueden soportar, se consiguen tiempos muy cortos de mecanizado.
- **Propiedades de resistencia favorables:** Existen materiales de aluminio normalizados para las aplicaciones más diversas con propiedades óptimas en cuanto a su resistencia (resistencia mínima a la tracción desde 60 hasta aproximadamente 530 N/mm<sup>2</sup>). Si se tienen en cuenta las demás propiedades, se pueden encontrar soluciones óptimas para casi todos los campos de aplicación.
- **Buena conformación:** La excelente capacidad de conformación hace posible la fabricación mediante extrusión, de perfiles y tubos con secciones transversales completamente arbitrarias. También con casi todos los demás procesos habituales de conformación en frío y en caliente se pueden fabricar, a partir de aleaciones de aluminio, toda clase de productos semielaborados y piezas terminadas.
- **Buenas cualidades para los trabajos de unión:** Todos los procedimientos usuales para unir materiales se pueden utilizar en los materiales de aluminio. La soldadura por fusión se realiza, la mayoría de las veces, por el procedimiento de electrodo sumergido en gas inerte. Gran importancia tienen también las uniones por pegado y por rebordado.

- **No produce chispas, es incombustible:** En las aleaciones de aluminio no se producen, normalmente, chispas por golpe, no siendo combustibles ni siquiera sus virutas. Ocasionalmente, partículas muy finas de aluminio, al igual que otros polvos, pueden en determinadas circunstancias, oxidarse espontáneamente y explotar. Una pequeña adición de berilio elimina completamente el peligro de producirse chispas al ser golpeado con hierros oxidados; existen aleaciones especiales que se recomiendan para el uso en los trabajos de minería a causa de su seguridad frente a la formación de chispas.
- **Las superficies admiten diversos tratamientos:** A todos los materiales de aluminio se les puede aplicar la mayoría de los procesos generales, además de otros, específicos, encaminados a conseguir efectos decorativos, alta resistencia o dureza superficial, resistencia al desgaste, etc.
- **Buenas propiedades ópticas:** Las superficies de aluminio desnudo se caracterizan por poseer un alto poder de reflexión para las radiaciones luminosas y térmicas, lo cual supone que presentan baja absorción. Mediante tratamientos adecuados de estas superficies se pueden modificar, entre amplios límites, la reflexión y la absorción.
- **Elevada conductividad eléctrica:** Todas las aleaciones de aluminio presentan una conductividad eléctrica relativamente alta. El valor máximo, comprendido entre 38 y 34  $m/\Omega mm^2$ , corresponde al aluminio en sus grados puro y purísimo. Para conductores eléctricos se utiliza aluminio puro y aleaciones AlMgS.
- **Elevada conductividad térmica:** La conductividad de las aleaciones normalizadas de aluminio, se encuentra comprendida entre los valores de 80 y 230  $W/m \cdot K$ . Se hace uso de esta buena conductividad en pistones, cilindros y culatas de motores de combustión, en compresores e intercambiadores de todo tipo, así como en otros muchos campos de aplicación obteniéndose considerables ventajas.
- **Neutralidad magnética:** Todas las aleaciones de aluminio están libres de ferromagnetismo.

- **Favorable comportamiento frente a la irradiación radioactiva:** La vida media del aluminio, después de ser irradiado, es particularmente baja.
- **Sin reparos sanitarios:** El elemento aluminio y todas sus aleaciones normalizadas son atóxicas. Los productos de aluminio son fáciles de limpiar, esterilizables y cumplen con todas las exigencias higiénicas y asépticas.

## 2.7 Propiedades mecánicas

- **Dureza:** Los valores de dureza Brinell se extienden, en el aluminio, desde HB=15 para aluminio purísimo blando hasta casi HB=110, para AlZnMgCu 1,5 endurecido térmicamente. Los valores de la dureza, determinados por otros métodos, como el Vickers o el de Knoop, apenas tienen significado práctico en este metal. De vez en cuando se utiliza la microdureza, una variante del método Vickers, para determinar la dureza de capas anodizadas. Sirve, además, en la investigación metalúrgica para el análisis de constituyentes estructurales.
- **Resistencia en el ensayo de tracción:** Los importantes valores característicos que se obtienen en los ensayos de tracción para juzgar las propiedades resistentes de los materiales metálicos en general, son aplicables también, a los materiales de aluminio. Generalmente se determinan en éstos, el límite elástico del 0,2% ( $R_{p0,2}$ ), la resistencia a la tracción ( $R_m$ ) y el alargamiento de rotura, así como la estricción de ruptura.

En general, la resistencia aumenta con el aumento en elementos de aleación. Los dominios de la resistencia en cada aleación surgen como consecuencia de los aumentos de resistencia que se consiguen por deformación en frío o endurecimiento. Los distintos elementos de aleación actúan de modo muy diferente en cuanto al aumento de resistencia.

Al aumentar la resistencia, aumenta el límite elástico más deprisa que la resistencia a tracción, independientemente del mecanismo que motive el aumento de la resistencia, en otras palabras, la relación  $R_{p0,2}/R_m$  entre los límites elásticos aumenta. Este aumento se nota, en especial, cuando el aumento de la resistencia tiene lugar por deformación en frío.

- **Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión:** En los materiales aluminicos se pueden admitir los valores de resistencia a la compresión ( $\sigma_{d0,2}$ ) y límite elástico ( $R_{p0,2}$ ) como iguales. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento, respectivamente, 0,2% tienen importancia principalmente en las piezas sometidas a compresión tales como cojinetes de fricción.

En los materiales de aluminio se realiza el ensayo de flexión, en las aleaciones para fundición, en aquellos casos en que, al realizar el ensayo de tracción, no es posible determinar el límite elástico con suficiente exactitud a causa de su pequeño valor.

La resistencia al cizallamiento  $\tau_{SB}$  es importante para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte y para determinadas construcciones. No existen mediciones sistemáticas o valores normalizados.

La resistencia al cizallamiento está entre el 55 y el 70% de la resistencia a la tracción y que, al aumentar la resistencia, la resistencia al cizallamiento aumenta más lentamente que la resistencia a la tracción. Para las aleaciones de fundición se utiliza muy poco la resistencia al cizallamiento. Se puede deducir de las escasas mediciones existentes que en este caso la resistencia al cizallamiento puede alcanzar del 55 al 80% de la resistencia a la tracción.

Casi nunca se determina la resistencia a la torsión. Si se admite una distribución lineal de tensiones, puede considerársele igual a la resistencia al cizallamiento. Los ensayos de torsión se utilizan en investigaciones para experimentos ocasionales de la deformabilidad.

### 3 ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio de una determinada pureza obtenido por reducción electrolítica de la alúmina es un material relativamente débil. Para aplicaciones que requieren una mayor resistencia mecánica se alea en mayor medida con metales como el cobre (Cu), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn), por lo general, en combinaciones de dos o más de estos elementos junto con hierro (Fe) y silicio (Si).

En menores cantidades existen, frecuentemente, como impurezas o aditivos: cromo (Cr) y titanio (Ti). Para aleaciones especiales se adicionan: níquel (Ni), cobalto (Co), plata (Ag), litio (Li), vanadio (V), circonio (Zr), estaño (Sn), plomo (Pb), cadmio (Cd) y bismuto (Bi).

Podemos clasificar las aleaciones de aluminio en dos grupos:

- Aleaciones de forja
- Aleaciones de moldeo

**Aleaciones de forja:** Son las coladas de fundición en forma de placas que a continuación se transforman en productos semielaborados (chapas, perfiles, etc) por laminación o extrusión. Los productos así obtenidos se utilizan en la construcción mecánica o son ensamblados por soldadura, roblonado o atornillado.

**Aleaciones de moldeo:** Se utilizan en fundición para la fabricación de piezas obtenidas por colada de metal líquido en moldes. Mediante este procedimiento se fabrican piezas de forma más o menos complejas, como picaportes o diversas piezas para el sector automovilista.

#### 3.1 Clasificación de las aleaciones de forja

Las aleaciones de aluminio forjado son clasificadas de acuerdo con los elementos aleantes principales que contenga la aleación. Es por eso que para clasificar e identificar las aleaciones de forja se utiliza un código numérico de cuatro dígitos. El primero indica el tipo de aleante principal. El segundo indica la modificación de la aleación original o los límites de impurezas. Los dos últimos indican la pureza en aluminio.



### 3.1.1 Numeración de las aleaciones de aluminio para forja:

<b>Aluminio con más de un 99.0% de pureza</b>	<b>1XXX</b>
<b>Aluminio-cobre</b>	<b>2XXX</b>
<b>Aluminio-manganeso</b>	<b>3XXX</b>
<b>Aluminio-silicio</b>	<b>4XXX</b>
<b>Aluminio-magnesio</b>	<b>5XXX</b>
<b>Aluminio-magnesio-silicio</b>	<b>6XXX</b>
<b>Aluminio-zinc</b>	<b>7XXX</b>
<b>Aluminio-otros elementos</b>	<b>8XXX</b>

Tabla 3.1: Aleaciones de aluminio para forja.

**Aleaciones 1XXX:** Éstas tienen un porcentaje de aluminio que no baja del 99%. Las principales impurezas son por lo general hierro y silicio, aunque también puede haber presencia de cobre o zinc en cantidades menores al 0,1% en peso.

Las aleaciones de esta serie se utilizan principalmente para laminación de metales.

**Aleaciones 2XXX:** Pueden ser aleaciones binarias de aluminio-cobre o ternarias de aluminio-cobre-magnesio.

Las aleaciones binarias de aluminio-cobre se utilizan como aleaciones principales para la preparación de aleaciones más complejas. Las aleaciones ternarias de aluminio-cobre-magnesio se emplean bastante en aplicaciones estructurales en la industria de la aviación y en la ingeniería para los casos en que se requiere peso ligero combinado con resistencia.

**Aleaciones 3XXX:** Las aleaciones 3XXX son de resistencia media y se fabrican, por lo general, como hojas o placas para su aplicación en hojas o paneles en los edificios para techos y paredes, utensilios domésticos, etc.

**Aleaciones 4XXX:** Las aleaciones de aluminio-silicio son de gran importancia en la industria de la fundición debido a su elevada fluidez. El silicio reduce la fragilidad en intervalo de temperatura de trabajo en caliente en la solidificación y también el coeficiente de dilatación térmica en tanto que el cobre y el níquel mejoran las propiedades a temperaturas elevadas.

Las principales aplicaciones de las aleaciones de aluminio-silicio en formas forjadas son como barras de soldar y revestimientos de baja temperatura de fusión para soldadura fuerte de hoja de calidad y también para aplicaciones arquitectónicas.

La aleación 4032 tiene 11% de silicio y 1% de hierro, cobre, magnesio y níquel, respectivamente; es una aleación que tiene un bajo coeficiente de dilatación térmica. Responde al tratamiento térmico de la solución seguido por el tratamiento de precipitaciones a temperaturas elevadas y se usa para forjados como los cuerpos de los cilindros en los motores radiales de aviación y otros de combustión interna.

**Aleaciones 5XXX:** Su principal elemento aleante es el magnesio y es añadido para conseguir reforzamiento en solución sólida, en cantidades de hasta aproximadamente un 5%. Se utilizan también en trabajos de laminación de metales, particularmente para autobuses, camiones y aplicaciones marinas.

**Aleaciones 6XXX:** Los principales elementos aleantes para este grupo son magnesio y silicio, que se combinan entre sí para formar un compuesto intermetálico,  $Mg_2Si$  que, en forma de precipitado, refuerza este grupo de aleaciones.

Las aleaciones de aluminio-magnesio-silicio del tipo 6101 se utilizan para barras de distribución, conductores y accesorios eléctricos, ya que este tipo posee la mejor combinación de propiedades conductoras eléctricas y mecánicas, con una conductividad 55% IACS. Las aleaciones del tipo 6063 son adecuadas para secciones intrincadas de resistencia media sometidas a extrusión en piezas arquitectónicas como barras vidriadas y marcos de ventanas. La aleación del tipo 6082 es para fines estructurales y es tan fuerte como resistente a la corrosión.

**Aleaciones 7XXX:** Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son zinc, magnesio y cobre. Con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 73ksi (504MPa) y se utiliza para fabricar estructuras de aviones, concretamente la parte superior de las alas en las que se precisa una gran resistencia. También se usa en aplicaciones deportivas de alto nivel, como platos y piñones de bicicletas y para bastones de esquí usados en competición, siendo la aleación 7040 la más usada debido a su ligereza y buena flexibilidad aún a bajas temperaturas.

#### **Aleaciones 8XXX:**

- **Aleaciones aluminio-hierro-silicio con menos de 99.00% de aluminio:** Las aleaciones forjadas de aluminio-hierro-silicio tienen un contenido de aluminio de menos del 99.00% y están dentro de la serie 8xxx. Estas aleaciones tienen una resistencia mecánica mayor que las de pureza más alta.
- **Aleación de aluminio-níquel-hierro:** La aleación 8001 tiene un bajo contenido de níquel y de hierro y es de interés desde el punto de vista de la corrosión acuosa a temperaturas mayores de 100°C.
- **Aleaciones de aluminio-estaño:** La aleación 8020 tiene al estaño como el elemento aleable principal junto con pequeñas adiciones de silicio, hierro, cobre y níquel. Las aleaciones de este tipo se emplean como aleaciones de aluminio para los metales de los cojinetes.

### **3.1.2 Tratamientos de endurecimiento de las aleaciones de aluminio:**

F: Tal como se fabricó. Sin control del endurecimiento por deformación.

O: Recocido y recristalizado. Endurecimiento con mínima resistencia y máxima ductilidad.

H: Endurecimiento por deformación en frío.

- H1: Endurecimiento por deformación en frío solamente.
- H2: Endurecimiento por defromación en frío y sometido a recocido parcial.
- H3: Endurecimiento por defromación en frío y sometido a un tratamiento para estabilizar las propiedades mecánicas.

W: Tratamiento térmico de solución y temple.

T: Endurecimiento por tratamiento térmico.

- T1: Después de moldeado el material se envejece de manera natural
- T2: Recocido de productos fundidos.
- T3: Tratamiento térmico de solución. Trabajado en frío. Envejecimiento natural hasta un estado estable.
- T4: Tratamiento térmico por solución. Envejecimiento natural hasta un estado estable.
- T5: Enfriado desde el proceso de conformado a altas temperaturas. Envejecimiento artificial.
- T6: Tratamiento térmico por solución. Envejecimiento artificial.
- T7: Tratamiento térmico por solución. Estabilizado.
- T8: Tratamiento térmico por solución. Trabajado en frío. Envejecimiento artificial.

## 3.2 Aleaciones de aluminio para fundición

En las aleaciones para fundición debe predominar, fundamentalmente, la exigencia de que las propiedades de la colada sean aprovechables. Por esta razón se diferencian en parte mucho en su composición estas aleaciones de las de forja.

Actualmente hay más de 200 aleaciones de aluminio de moldeo, que se suman a las aleaciones de forja. Las aleaciones de fundición tienden a tener un contenido mayor de aleante que las aleaciones de forja. Esto hace de ellas que sean difíciles de reciclar en otra aleación de fundición, pues es casi imposible la eliminación de elementos aleantes del aluminio fundido. De la misma manera que en las aleaciones para forja, las aleaciones para fundición se dividen en clases según sean sus elementos aleantes.

### 3.2.1 Numeración de las aleaciones de aluminio para fundición:

<b>Aluminio con más de un 99,0% de pureza</b>	<b>1XX.X</b>
<b>Aluminio-cobre</b>	<b>2XX.X</b>
<b>Aluminio-silicio, con adición de cobre y/o manganeso</b>	<b>3XX.X</b>
<b>Aluminio-silicio</b>	<b>4XX.X</b>
<b>Aluminio-magnesio</b>	<b>5XX.X</b>
<b>Aluminio-zinc</b>	<b>6XX.X</b>
<b>Aluminio-estaño</b>	<b>7XX.X</b>
<b>Aluminio-otros elementos</b>	<b>8XX.X</b>

Tabla 3.2: Numeración de las aleaciones de aluminio para fundición.

### 3.2.2 Aleaciones AlSi 12

La adición de Si al aluminio (punto eutéctico a 12% de Si) da lugar a un incremento de la fluidez del material fundido, a una disminución de la fisurización y de la contracción en el enfriamiento, hechos que permiten diseñar piezas de formas muy complejas con cambios importantes de sección, con paredes desde muy delgadas a muy gruesas. Estas aleaciones tienen también una solubilidad, una ductilidad y una estanqueidad buenas.

La aleación base es la de AlSi12, que se utiliza siempre que se busquen unas cualidades de moldeo y una resistencia a la corrosión excelentes, sacrificando la resistencia mecánica y la maquinabilidad. Las aleaciones restantes intentan paliar a base de pequeños contenidos de otros elementos, la falta de resistencia mecánica y de maquinabilidad de la aleación básica. La aleación AlSi12 Cu mejora la resistencia a la fatiga, a costa de empeorar la resistencia a la corrosión mientras que la aleación AlSi12Ni2 mejora la resistencia en caliente y la resistencia al desgaste, teniendo asimismo un bajo coeficiente de dilatación, características adecuadas para pistones de automóviles. En la fabricación de piezas de motores alternativos (bloque motor, culatas, pistones) a menudo se emplean estas aleaciones con composiciones especiales no normalizadas de alto contenido en Si o hipereutécticas.

### 3.2.3 Grupo AlSiCu

Las aleaciones de esta familia tienen multiplicidad de aplicaciones cuando las características mecánicas exigidas son más altas que las de los anteriores grupos, incluso a temperaturas moderadamente altas. Se funden fácilmente (posibilidad de formas complicadas), se trabajan bien (buena maquinabilidad), pero no presentan la misma resistencia a la corrosión y a los agentes químicos que los grupos anteriores (presencia de Cu). Contenidos más altos de Si aumenta la colabilidad del molde, mientras que contenidos más elevados de Cu mejoran la maquinabilidad y las posibilidades de pulimiento. Las aleaciones más empleadas son AlSi<sub>5</sub>Cu<sub>3</sub> de resistencia más elevada y apta para moldear en arena o coquilla, y AlSi<sub>8</sub>Cu<sub>3</sub> que prácticamente se ha convertido en un estándar del moldeo por inyección.

### 3.2.4 AlMg

Las aleaciones de este grupo se caracterizan por una gran resistencia a la corrosión, incluso en agua de mar y en atmósfera salina. Tienen una buena maquinabilidad, pueden pulirse bien y admiten la anodización con finalidades decorativas. Sus principales campos de aplicación se encuentran en la construcción naval, las industrias química y alimentaria, y también objetos decorativos. Debido a que mediante moldeo, no es necesaria la conformación por deformación en frío, se puede aumentar el porcentaje de Mg, que hace que estas aleaciones sean tratables térmicamente.

No tienen, sin embargo, un moldeo fácil (especialmente contenidos de >7% de Mg); pequeñas adiciones de Si facilitan la colabilidad, pero empeoran la apariencia en la anodización. La aleación AlMg10, a su excelente resistencia a la corrosión une unas excelentes características mecánicas y una gran resistencia al choque; asimismo, como ya se ha dicho, su desmoldeo requiere cuidados especiales. La aleación que ofrece más posibilidades de aplicación es la aleación AlMg3, de moldeo más fácil a pesar de que disminuyen sus propiedades mecánicas.

### 3.2.5 AlCu

Por medio del tratamiento térmico (el Cu lo posibilita), las aleaciones de este grupo consiguen las características mecánicas más elevadas de entre los aluminios de moldeo (resistencia a la tracción, límite elástico, tenacidad, resistencia al desgaste), especialmente a elevadas temperaturas. Asimismo, las características generales de moldeo (colabilidad, resquebrajamiento en la contracción y compacidad) son algo bajas (sobre todo para >5% de Cu) y además, presentan dificultades a ser conformados en coquilla a causa del gran intervalo de solidificación y de la elevada tendencia a formar grietas por defectos térmicos. Por todo ello hace falta un diseño muy cuidadoso de las piezas que tenga en cuenta las condiciones de moldeo.

Se emplean en piezas de vehículos y máquinas con altas sollicitaciones mecánicas, sometidas a choques o a desgaste (poleas de correa trapezoidal). Las aleaciones más habituales en este grupo son el AlCu4TiMg, aleación de aluminio estándar de características mecánicas elevadas y resistente al choque, para una gran cantidad de piezas, carcasas y elementos estructurales moldeados en arena o en coquilla; y el AlCu4Ni2Mg utilizado para piezas moldeadas en molde de arena o en coquilla que requieran una elevada resistencia mecánica a temperaturas de hasta 300°C, con coeficiente de dilatación bajo.

### 3.2.6 AlZnMg

La característica más relevante de este grupo es su capacidad para el endurecimiento en frío y en caliente, en estado fundido, sin necesidad de un previo recocido en solución. Esto facilita la fabricación de piezas de grandes dimensiones con buenas características mecánicas, tenacidad, maquinabilidad, estabilidad dimensional y resistencia a la corrosión. La aleación más frecuente es la AlZn5Mg, para piezas moldeadas en arena o en coquilla.

## 4 INTRODUCCIÓN A LA FUNDICIÓN DE ALUMINIO

El proceso de fundición para la fabricación de piezas representa el camino más corto desde el metal en bruto a la pieza terminada y cumple, en muchos casos, las principales exigencias sobre el diseño de los elementos de construcción de todo tipo: las piezas moldeadas por fundición se construyen con perfección suficiente, son prácticas y estéticas. La ventaja que se consigue con la aplicación de moldes metálicos, permanentes, así como la posibilidad de disponer de materiales auxiliares para moldes, hacen posible una fabricación óptima, tanto tecnológica como económicamente, desde las piezas más pequeñas hasta las de gran tamaño, con masas comprendidas entre los pocos gramos hasta varias toneladas, sean piezas sueltas o en forma de pequeñas o grandes series. Al existir condiciones muy estudiadas en cuanto al sistema de colada y solidificación, a la vez que una gran diversidad de materiales para colada, con características muy específicas desde el punto de vista mecánico, físico, químico y tecnológico, es posible la fabricación de elementos de construcción fundidos para casi todos los campos de aplicación. El alto nivel técnico de las fundiciones de aluminio y la industria de fundición en general, así como una amplia normalización existente, aseguran una calidad uniforme y perfectamente buena de las piezas fundidas.



## 5 PIEZAS FUNDIDAS DE ALUMINIO

Las piezas fundidas de aluminio se pueden fabricar según todos los procedimientos habituales de colada. Las propiedades más sobresalientes de la fundición de aluminio son:

- Alta resistencia a la fatiga, por cuyo motivo se pueden conseguir ahorros de masa hasta de un 50% frente a la fundición gris.
- Elevada calidad y precisión en las medidas superficiales, por lo que se requieren pocos trabajos posteriores de limpieza y gastos de mecanizado.
- Excelente capacidad de mecanizado y, por ello, un mínimo coste en los trabajos finales de acabado.
- Posibilidades múltiples de tratamiento superficial, según todos los procedimientos usuales, en general, así como otros adicionales, específicos, según el material.

Al fabricar piezas fundidas de aluminio se debe tener en cuenta: forma, dimensiones, masa de la pieza, exactitud en las cotas, grado de dificultad, calidad superficial, número de piezas, características mecánicas exigidas, aleación, plazo para suministrar el pedido. Salvo que se acuerde otra cosa en contra, suele dejarse a la fundición la cuestión de elegir el procedimiento de colada. En los modernos desarrollos de las fabricaciones en serie es corriente realizar, en la práctica, en primer lugar, una optimización del diseño del cuerpo fundido en bruto, en la que se tienen en cuenta todas las exigencias técnicas desde el punto de vista de la colada (ataques, despallas, alimentación, solidificación) mediante la observación de la funcionalidad constructiva. Este desarrollo se realiza fundamentalmente con el proceso de fundición en arena. Las principales modificaciones de la pieza fundida se pueden realizar modificando el modelo de madera. Únicamente entonces se proyectan y construyen los útiles usados en el proceso de colada, para la fabricación en serie, en la fundición en coquilla o en la fundición inyectada; unos y otros son difíciles de fabricar y caros. No obstante, según demuestra la experiencia, antes de emprender la fabricación en serie con moldes metálicos se deben realizar otras correcciones necesarias en el molde usado en la colada. La necesidad se hace patente, con frecuencia, a causa de las condiciones de colada y solidificación, muy diferentes frente a la fundición en arena, al considerar la marcha del acabado bien sea por medios mecánicos o automatizados. También se han de corregir las diferencias que se presentan con respecto a las tolerancias en cotas prescritas.

## **5.1 Procedimientos de fabricación del aluminio fundido**

### ***5.1.1 Fundición en arena***

Es la forma de moldeo más antigua. El molde se construye con arena con ayuda de un modelo, lo cual exige costes relativamente bajos permitiendo, a la vez, modificaciones eventuales de la forma de la pieza fundida sin necesidad de mucho trabajo. La fabricación del modelo o de una placa modelo se puede realizar en un plazo relativamente corto y a buen precio. La fundición en arena significa un suministro rápido. Es apropiado para la fabricación de piezas fundidas aisladas, preferentemente de gran tamaño y muy complejas, sin despullas (según el proceso de modelado manual) y utilizándose para series pequeñas y grandes (proceso de moldeo mecánico). Si se realiza un cambio de material de hierro o metal pesado a aluminio no pueden utilizarse los moldes existentes, salvo que se realicen costosas modificaciones necesarias en ellos, a causa de la diferente contracción y de las normas de diseño.

### ***5.1.2 Fundición por inyección***

La fundición inyectada es la forma de moldeo más económica para grandes series de dimensiones muy pequeñas a intermedias. Las particularidades técnicas (tamaño de las máquinas) y consideraciones de tipo económico limitan las dimensiones grandes y voluminosas en masa, de las piezas a fundir. La libertad en cuanto al diseño está limitada ya que, por ejemplo, las despullas no pueden realizarse con núcleos de arena, debido a la elevada presión de colada. Las piezas obtenidas según este procedimiento se caracterizan por una gran exactitud de medidas, excelente calidad superficial y espesor de paredes muy pequeño, así como una gran uniformidad en la serie, pudiéndose utilizar, en muchos casos, sin necesidad de un mecanizado posterior. La velocidad de producción es muy elevada. La gran duración de los moldes para fundir, fabricados de aceros especiales, aseguran una intercambiabilidad, a largo plazo, de las piezas fundidas en los casos de que los pedidos se repitan, siempre que no se tengan que realizar modificaciones constructivas.

### *5.1.3 Fundición en coquilla*

La fundición en coquilla es adecuada especialmente para dimensiones y masas de piezas intermedias, pero presupone que exista una gran demanda de ellas. El molde, de acero o fundición, requiere costes elevados. En piezas fundidas, de forma complicada, se utilizan coquillas mixtas, en las que se realizan de arena las partes internas (machos) o partes externas del molde que no tengan posibilidad de desmoldearse. En casos especiales (por ejemplo pistones) se utilizan también machos sinterizados, de sales solubles en agua, o de carbón. El rendimiento de colada y la exactitud de las medidas, así como las características mecánicas y la calidad superficial, son en general superiores a las de la fundición en arena.

Como variante de la fundición en coquilla por gravedad ha adquirido gran importancia en los últimos años la fundición en coquilla a baja presión. En este procedimiento se introduce el aluminio líquido, desde abajo, con escasa sobrepresión y velocidad regulada, para que rellene el molde. La denominación “fundición a baja presión” es desorientadora, ya que el proceso no tiene nada que ver con la fundición a presión o inyectada. La ventaja del proceso estriba en el llenado y alimentación, favorables desde el punto de vista técnico, por un lado, y la posibilidad de conseguir más fácilmente una solidificación dirigida, un recorrido menor del material, así como una particular aptitud para la mecanización del proceso de colada. Las piezas así fundidas se distinguen por sus sobresalientes características mecánicas.

### *5.1.4 Procesos de fundición especiales*

Los procesos de fundición especiales son, en general, desarrollos posteriores de los procedimientos de fundición clásicos y trabajan por lo tanto con moldes de un solo uso como permanentes. A estos procesos especiales pertenecen la fundición compuesta, la fundición por centrifugación, el moldeo de precisión, la microfusión, el moldeo con molde gasificado así como el moldeo en vacío o con molde magnético.

## **5.2 Aspectos económicos de la utilización de la fundición de aluminio**

Al examinar los aspectos económicos de la fundición del aluminio no se puede partir meramente de los costes de la pieza fundida sin mecanizar (pieza en bruto); incluso la comparación de las piezas terminadas y listas para su montaje no da nunca la imagen exacta. Debido a la menor masa, el comprador obtiene, con frecuencia, ahorro adicional en los costes de transporte y energía; la mayor exactitud en el dimensionado lleva consigo simplificación en el control y menor pérdida por rechazo en la elaboración posterior, permitiendo, además, una intercambiabilidad más simple y barata cuando sea preciso.

Para los cálculos económicos se puede aceptar que 1 kg de fundición de aluminio equivale aproximadamente a 2 kg de hierro de fundición, ya que el promedio en el ahorro en masa es, aproximadamente, el 50%. La disminución de tiempos y costos para el mecanizado alcanza, la mayoría de las veces, más de un 50% de lo que se utiliza para igual pieza de acero o fundición de hierro. El cambio a fundición de aluminio tendrá, en consecuencia, interés sobre todo en aquellos casos en que la construcción que hasta entonces se haya empleado requiera elevadas exigencias en exactitud o, para igual grado de dificultad, mucho mecanizado o trabajos de unión o acoplamiento. En estos casos se logra la rentabilidad de la fundición de aluminio empleando piezas fundidas y listas para el montaje.

Estas consideraciones valen, también, en el análisis económico, para cada uno de los distintos procesos de colada. Se da, para la fundición en arena y en coquilla, un precio por kg, obtenido, en general, de manera empírica, en función de la forma y masa de la pieza. Para piezas fundidas especialmente complejas y obtenidas por fundición inyectada, se debe realizar un cálculo aparte. Se puede aceptar por tanteo que el uso de la fundición inyectada, frente a la realizada en coquilla, supone un ahorro en costos de, aproximadamente, el 25% y, comparado con la fundición en arena entorno a un 50%. Por supuesto que habrá de contarse, en todo caso, con la duración media de los moldes, para fundición inyectada, sobre 50.000 y más coladas, lo que supone contar también con una cantidad de piezas pedidas correspondientemente.

## **5.3 Características de las piezas fundidas**

### *5.3.1 Exactitud en las medidas.*

En todos los procesos de colada a partir se pueden fabricar piezas fundidas que llegan a tener masas de unos pocos gramos. En cuanto a límites superiores existen, por el contrario, diferencias considerables entre los distintos procesos. La limitación en cuanto a masa y dimensiones de las piezas se mantiene especialmente para la fundición inyectada debido a que, en este caso, el tamaño y la fuerza de cierre de la máquina tienen fuertes limitaciones. La exactitud en las dimensiones de una pieza obtenida por fundición depende del tamaño de la pieza, de su dimensionado y, en consecuencia, también del proceso de colada. Por eso se ha introducido la “diagonal espacial” como magnitud más importante en cuanto a su influencia en la normalización sobre las tolerancias en las piezas fundidas.

Para la ejecución y determinación de las dimensiones de la pieza fundida es decisivo el plano autorizado. Los cálculos de masas deben estar basados en las densidades que se mencionan en las normas. En el caso en que el cliente suministre los modelos o, excepcionalmente, también las coquillas, incumbe a aquél la responsabilidad en cuanto al mantenimiento de las cotas de los modelos o de los útiles utilizados en la fundición. Cuando existan exigencias peculiares en cuanto a dimensionado, como, por ejemplo, en los enlaces, medidas para fijación, alojamiento, ángulos, etc., se utilizan calibres preparados exprofeso, que han de ser encargados por el cliente y aprobados antes de su utilización. En el caso de pedidos en serie se acostumbra presentar por la fundición prototipos, para que el cliente los acepte. Se exigen tolerancias en dimensiones muy estrictas en los casos en los que sea imprescindible, porque lo exija su fundición, teniendo en cuenta que, en cada caso, esto provoca costes adicionales.

Un control exhaustivo de todas las dimensiones importantes de la pieza, de acuerdo con los datos correspondientes del plano, incluidas las tolerancias indicadas, debe realizarse el prototipo. El modelo (fundición en arena) o los útiles de fundición (fundición en coquilla inyectada) se aceptan para el inicio de la producción cuando todas las medidas principales están dentro de la tolerancia prescrita o cuando el comprador ha dado el visto bueno, a las diferencias que aparezcan.

### *5.3.2 Estado para el suministro*

Las piezas fundidas se suministran normalmente desbardadas y limpias. La rugosidad y, por supuesto, la calidad de las piezas fundidas depende en gran medida de la bondad o del estado en que se encuentren las instalaciones de moldes utilizadas o los moldes permanentes, así como, también, del trabajo a que han sido sometidos. Puesto que las elevadas exigencias están siempre ligadas con un elevado costo, se ha de tener en cuenta siempre el aspecto económico de la cuestión.

Las diferencias en la calidad superficial de una pieza fundida vienen condicionadas por el procedimiento de fabricación. Por esta razón se debe concretar, cuando sea necesario, qué superficies deben presentar una determinada rugosidad o calidad. En las piezas fundidas no se pueden establecer valores de la rugosidad, en general, con vistas a su aceptación. Se deben lograr acuerdos en particular para cada caso. La fijación práctica sobre aspecto no puede realizarse mediante mediciones sino por comparación con prototipos.

En el caso en que las piezas fundidas hubieran de someterse después a un tratamiento superficial, debe establecerse particularmente. Cuando se ponen altas exigencias a la calidad superficial de las piezas fundidas es preciso tener un cuidado especial durante su elaboración y transporte, ya que los daños que pudieran producirse sobre ellas, sólo podrían eliminarse mediante un costoso trabajo posterior. Los defectos de colada que no influyen sobre la función de piezas fundidas pueden dejarse o simplemente ser corregidos por la fundición. En los suministros en serie se deben establecer acuerdos sobre los límites de aceptabilidad de los defectos. Por lo general se deja a la fundición que utilice el proceso de corrección que prefiera.

## 6 MATERIALES DE ALUMINIO PARA MOLDEO

### 6.1.1 Aleaciones para moldeo AlSi.

Las aleaciones para moldeo AlSi son las que se moldean más fácilmente, tienen múltiples aplicaciones y son especialmente apropiadas para piezas complicadas y de paredes delgadas. Presentan una resistencia y elasticidad media, poseen, en general, una buena estabilidad química y se pueden soldar. Su comportamiento en cuanto a la fluencia y solidificación viene determinado por el eutéctico con un 13% de Si aproximadamente, que cristaliza a unos 570°C. El representante principal de este grupo, es la aleación eutéctica G-AlSi12. Se alcanza un elevado alargamiento y una gran resistencia a la fatiga por carga oscilante con la aleación G-AlSi12, mediante un tratamiento térmico especial (recocido y enfriado). Para piezas en las que se exija gran resistencia a la corrosión, son apropiadas las aleaciones libres de cobre ( $Cu < 0,05\%$ ).

Las aleaciones para moldeo AlSi se mecanizan fácilmente, pero tienen tendencia a actuar como lubricantes, requiriendo herramientas de metal duro, debido al desgaste que se produce en el filo de las herramientas normales.

### 6.1.2 Aleaciones para moldeo AlSiMg.

Mediante la adición de sólo unas pocas décimas por ciento de Mg, las aleaciones AlSi se hacen endurecibles y alcanzan valores de resistencia considerablemente mayores. El límite 0,2 llega prácticamente a duplicarse y la dureza aumenta en un 50% aproximadamente. El endurecimiento se realiza generalmente en la planta de fundición sobre la pieza moldeada y sin mecanizar. Se mejoran la capacidad de mecanizado y la superficie, en el trabajo posterior, gracias a la mayor dureza que adquieren. El representante principal de este grupo es la aleación G-AlSi10Mg. Se utiliza en la construcción de motores y máquinas, en piezas difíciles, siempre que se requieren elevadas exigencias en las características mecánicas.

La aleación G-AlSi5Mg ocupa una posición intermedia entre G-AlSi10Mg y G-AlMg a la vista de su colabilidad, resistencia al agua de mar, capacidad de mecanizado y de pulimento. En la oxidación anódica de piezas fundidas y endurecidas se puede conseguir un efecto decorativo con espesores de capa poco gruesos. La aleación G-AlSi5Mg se utiliza en la industria de alimentación y para racores de extintores de incendios.

### *6.1.3 Aleaciones para moldeo AlSiCu.*

Las aleaciones para moldeo AlSiCu se funden fácilmente, se trabajan bien y tienen múltiples aplicaciones en aquellos casos en que las exigencias en resistencia mecánica y elasticidad sean de tipo medio, por ejemplo, para carcasas de todo tipo en la construcción de motores, etc. Cuando se requiere estabilidad ante los agentes atmosféricos y químicos se suele utilizar una protección superficial. La aleación más usada de este grupo es G-AlSi6Cu4, para fundición en arena y en coquilla, o GD-AlSi8Cu3, para fundición inyectada. Mayores adiciones de Si aumentan la colabilidad en la coquilla, en tanto que un contenido más alto en cobre mejora la facilidad de mecanizado y pulimento, aunque disminuye el alargamiento.

### *6.1.4 Aleaciones para moldeo AlMg*

Las aleaciones para moldeo AlMg se caracterizan por una elevada resistencia frente al agua de mar y a la atmósfera salina. Se mecanizan muy bien, admiten bien el pulimento y se pueden anodizar con fines decorativos. Sus campos de aplicación son, la construcción naval, accesorios y tuberías para la industria química y de alimentación, etc. Las aleaciones para moldeo AlMg requieren altas exigencias en la técnica de fundición y moldeo. Pequeñas adiciones de Si mejoran la colabilidad, pero deslucen el tono de las partes decorativas anodizadas. Las aleaciones difícilmente colables, con más de un 7% de Mg, presentan, cuando la fundición se hace en arena o en coquilla, un elevado alargamiento a la rotura, por lo que exige que se les haga un tratamiento térmico. Se utilizan, por ejemplo, para guarniciones y cerrajería en la construcción naval en aquellos casos en que están sometidas a choques frecuentes.

### *6.1.5 Aleaciones para moldeo AlCuTi.*

Éstas alcanzan, mediante tratamiento de endurecimiento la máxima resistencia y el alargamiento más favorable de todas las aleaciones de aluminio para moldeo. Se utilizan para piezas moldeadas en construcción aeronáutica y de vehículos terrestres, en aquellas partes sometidas a elevadas sollicitaciones mecánicas, principalmente de choque y oscilantes. A causa de presentar un intervalo de solidificación grande y una elevada tendencia a la formación de grietas térmicas, ofrecen dificultades para la fundición en coquilla.



### *6.1.6 Aleaciones para moldeo AlZnMg*

La nota característica de estas aleaciones es su capacidad para el endurecimiento en frío o térmico, sin necesidad de procedimiento de temple especial después de la fusión o la soldadura.

## **6.2 Características de la colada**

Las características de la colada sirven para conocer el comportamiento de un material durante todo el curso del llenado del molde y de la solidificación, es decir, el paso del estado líquido al sólido. Permiten decidir, de una manera fundamental, sobre la calidad y las propiedades en cuanto a material de la pieza fundida. Para la calidad de la pieza fundida son decisivos, junto a la elección del material adecuado, el proceso de colada y el molde, las características del caldo y los procesos que tienen lugar durante la solidificación. Cuando una pieza se acepta sin reparos, se supone que tiene una estructura uniforme, compacta y, a ser posible, de grano fino; no debe tener ni rechupes ni inclusiones no metálicas; tampoco debe presentar poros, grietas o tensiones. Una dirección conveniente del proceso de colada y un tratamiento adecuado del caldo, así como el mantenimiento de determinadas condiciones que establecen la técnica de la fundición, permite evitar ampliamente todos estos defectos.

Símbolo	Densidad <sup>1)</sup> kg/dm <sup>3</sup>	Intervalo de solidificación °C	Temperatura de colada <sup>2)</sup> °C	Contracción %			Colabilidad relativa <sup>4)</sup>		
				Fundición en arena	Fundición en coquilla	Fundición inyectada <sup>3)</sup>			
<b>Aleaciones para uso general</b>									
G-ALSi2	2,65	575-585	680-750	1,1			1		
G-ALSi12(Cu)	2,65	570-585					1		
G-ALSi10Mg	2,65	575-620	700-750				1		
G-ALSi10Mg(Cu)	2,65	570-620	680-750	1,1-1,2	0,5-0,8	0,5-0,8	1		
G-ALSi8Cu3	2,75	510-610					1		
G-ALSi6Cu4	2,75	510-620		1-1,1			2		
<b>Aleaciones para usos especiales</b>									
G-ALSi5Mg	2,7	560-630	680-720	1,3	0,5-0,8		3		
G-ALMg3	2,7	580-650					4		
G-ALMg3Si	2,7	580-650	700-740				3		
G-ALMg3(Cu)	2,7	580-650	680-730				4		
G-ALMg5	2,6	560-630		1,1-1,5	0,8-1	0,5-0,8	4		
G-ALMg5Si	2,6	560-630	680-740				3		
GD-ALMg9	2,6	510-620	600-650					0,7	3
G-ALMg10ho	2,6	510-610	700-750						4
<b>Aleaciones con alta resistencia mecánica</b>									
G-ALSi9Mg	2,65	550-610		1	0,8		1		
G-ALSi7Mg	2,7	550-625		1	0,8		2		
G-ALCu4Ti	2,75	550-640	680-750	1,4	1		4		
G-ALCu4TiMg	2,75	540-640		1,4	1		4		

Tabla 6.1: Datos físicos y técnicos, en cuanto a la colada, de aleaciones de aluminio para moldeo.

<sup>1)</sup> La densidad depende de la composición de la aleación dentro de las tolerancias, la conductividad calorífica depende además de la estructura, la cual, a su vez, está influenciada por el método de colada, el espesor de paredes y el tratamiento térmico; las piezas que solidifican lentamente o que se han sometido a un recocido de ablandamiento tienen, en general, mejor conductividad.

<sup>2)</sup> Los datos son para fundición en arena; por término medio para fundición en coquilla, las temperaturas mínimas se elevan unos 20°C. La temperatura de colada óptima para una pieza concreta fundida en el intervalo de temperaturas aquí utilizado se determina, en la práctica, mediante ensayos realizados bajo las condiciones establecidas para la producción; su tolerancia es muy estricta y depende, además, de la forma y ataques de la pieza fundida, de las condiciones totales de acabado durante el proceso de colada (ritmo de colada en el caso de fundición en serie); se tiende fundamentalmente a mantener una temperatura de colada lo más baja posible, compatible con una elevada nucleación.

<sup>3)</sup> Los datos valen para máquinas de inyección a presión, de cámara fría.

<sup>4)</sup> 1 excelente; 2 muy bueno; 3 bueno; 4 suficiente.

### 6.2.1 Desarrollo de la solidificación

La morfología de la solidificación informa sobre la manera en que se originan y forman los cristales que crecen a partir del caldo de aluminio fundido. En la solidificación "exógena" (dirigida desde fuera) comienza el crecimiento de los cristales en la superficie límite del metal hacia el molde; si se forman los cristales en el interior del caldo, se dice en este caso que es una solidificación "endógena". Los tipos posibles de solidificación de las aleaciones de aluminio (Imagen 6.1 y Tabla 6.2) influyen con prioridad en las características del fundido. Alternando las condiciones de enfriamiento en el molde se puede influir sobre el curso de la solidificación de tal manera que, por ejemplo, en un enfriamiento rápido (fundición en coquilla), puede tener lugar un desplazamiento del tipo de solidificación, de aspecto esponjoso al rugoso. Las aleaciones que se solidifican en forma pastosa tienen tendencia, cuando el enfriamiento es rápido, a la formación de un tipo endógeno de aspecto de caparazón (Imagen 6.1).

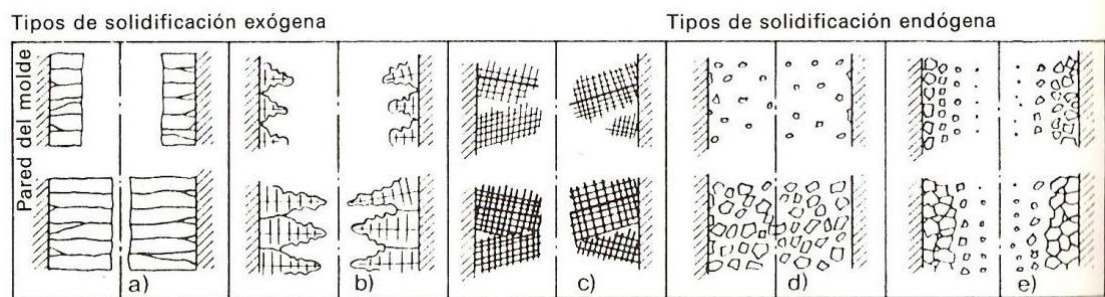


Imagen 6.1 Representación esquemática de los principales tipos de solidificación, cada uno de ellos en 2 instantes consecutivos. Tipos de solidificación exógena: a solidificación de paredes lisas; b solidificación de paredes rugosas; c solidificación en forma esponjosa. Tipos de solidificación endógena: d solidificación pastosa; e solidificación formadora de capas.

Material	Tipo de solidificación	Material	Tipo de solidificación
Al99,999	Paredes lisas	AlCu4	Pastoso (solidificación primaria)
Al99,99		AlCu12	
Al99,9	Paredes rugosas	AlCu20	
Al99,8	Esponjoso	AlCu30	
AlMg3	Esponjoso	AlCu33	
AlMg5	Esponjoso/pastoso	AlCu33 puro	Paredes rugosas
AlMg10	Pastoso	AlSi1,5	Pastoso (solidificación primaria)
AlZn5Mg	Esponjoso	AlSi4	
AlCu0,5	Esponjoso/pastoso	AlSi10	
AlCu1		AlSi12,5 no refinado	Pastoso hasta formación endógena de capas
		AlSi11,46 laminar	Pastoso
		AlSi12,7 (Sr) refinado	Paredes lisas

Tabla 6.2: Visión de conjunto de la morfología de solidificación de los materiales de aluminio para moldeo.

### 6.2.2 *Fluidez*

La fluidez da la capacidad de un caldo metálico para correr por un molde hueco hasta que se para el flujo metálico a causa de la solidificación progresiva. La influencia principal sobre la fluidez la dan el tipo de solidificación de la aleación respectiva y el contenido calorífico del caldo. Los valores de fluidez dan también una idea sobre la pureza del caldo; así, por ejemplo, el contenido de óxido influye negativamente en la fluidez. La magnitud que se mide es de ordinario la longitud que recorre un flujo metálico en un molde patrón. Con frecuencia se utiliza, aun hoy, la forma tradicional en espiral, que se obtiene preferentemente según el procedimiento de moldeo en cáscara de Croning (Imagen 6.2). En los últimos tiempos han ganado en importancia los métodos de ensayo al vacío así como el uso de coquillas en forma de barras finas.

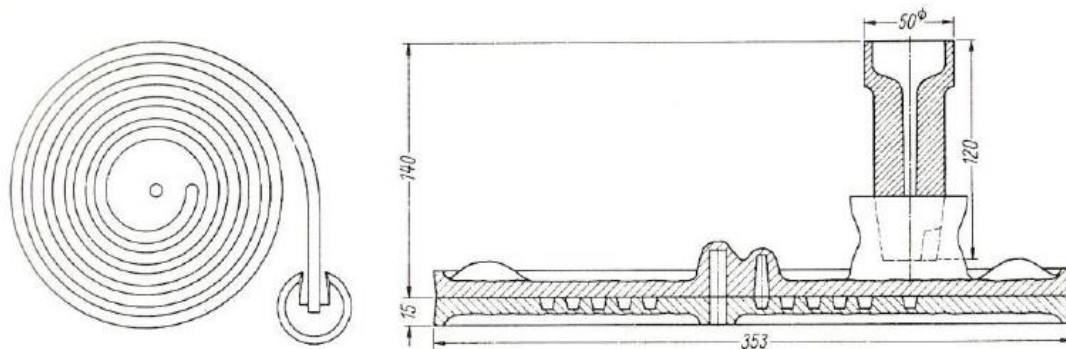


Imagen 6.2 Forma espiral de cáscara para medir la fluidez de aleaciones para la colada.

### 6.2.3 *Capacidad de llenado del molde*

La capacidad de llenado del molde caracteriza la propiedad de un caldo para ocupar el volumen de un molde hueco y reproducir fielmente su contorno. Para su determinación se han desarrollado un gran número de probetas distintas, de las cuales, una de las más conocidas y antiguas en su ejecución es la espiral de vertido, cuya sección transversal lleva diversos cantos valorables (Imagen 6.3). La capacidad de llenado se valora como la parte que ha llenado los cantos vivos calculada sobre la longitud total y dada en tanto por ciento. La Imagen 6.4 muestra la capacidad de llenado del molde y la fluidez en sistemas binarios AlSi. A partir del metal puro primeramente, aumenta la capacidad de llenado del molde pero disminuye después en el dominio de la solidificación dendrítica, preferente al formarse puntos de incidencia externos, para aumentar de nuevo al acercarse a la eutéctica. En el dominio hipereutéctico disminuye de nuevo levemente la capacidad de llenado del molde. Las razones de este comportamiento se apoyan en los distintos tipos de solidificación, condicionados por la diferente composición.

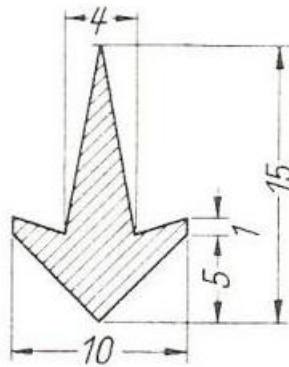


Imagen 6.3 Perfil en espiral para la medida de la capacidad de llenado del molde; molde de grafito, temperatura de vertido unos 80 °C por encima de la de líquidos.

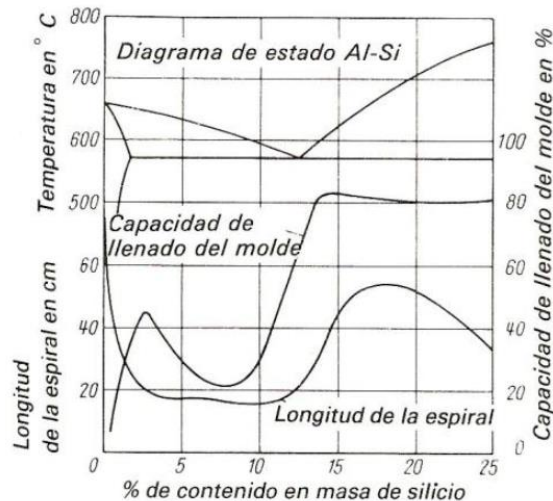


Imagen 6.4 Capacidad de llenado y de fluencia en el molde de las aleaciones para moldeo AlSi en función del contenido de Si.

#### 6.2.4 Comportamiento en la alimentación

Se entiende por alimentación el transporte del metal líquido o pastoso hacia el interior de la pieza de fundición que se va a solidificar, de modo que se asegure una solidificación dirigida y continua del caldo hasta formar una pieza homogénea. El comportamiento en la alimentación está influenciado principalmente por la morfología de la solidificación. Un buen comportamiento en la alimentación significa pequeña porosidad de contracción en la pieza fundida.

### 6.2.5 Tendencia a la formación de rechupes

El volumen específico del aluminio es, igual que en todos los metales de fundición usuales, mayor en estado líquido que en el sólido (Imagen 6.5). A solidificarse y enfriarse tiene lugar, por lo tanto, un déficit en el volumen; la Imagen 6.6 muestra una sistematización de este aspecto. Fundamentales son, en este caso, la aparición y reparto de rechupes dentro de la pieza fundida o en su periferia, respectivamente. Hay que distinguir entre macrorrechupes o rechupes gruesos (como rechupes internos o externos), microrrechupes o rechupes finos y zonas hundidas. La meta de todos los esfuerzos técnicos de colada es trasladar la mayor parte de las deficiencias internas de volumen a la cavidad de vertido (o mazarota) de la pieza colada. Para ello es fundamental conseguir una solidificación dirigida, en la pieza fundida lo más alejada posible de la zona de influencia hasta donde se produce la última solidificación, fuera de la pieza colada, o sea, en el bebedero y cavidad de vertido. Esta es la condición esencial para obtener una estructura de colada densa, de grano fino y valiosa.

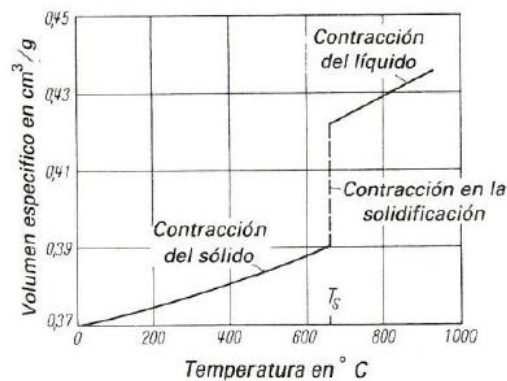


Imagen 6.5 Volumen específico del aluminio en función de la temperatura.

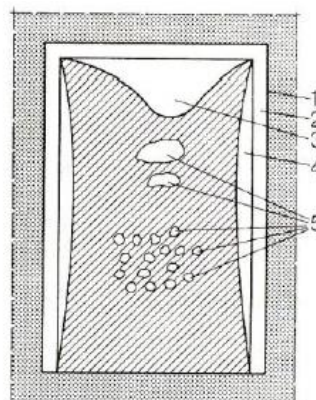


Imagen 6.6 Probeta de forma cuadrada para la determinación del déficit de volumen; la distribución de rechupes es específica para las condiciones de solidificación de cada molde probeta. 1 hueco del molde ( $V_{molde}$ ); 2 contracción cúbica ( $V_{ks}$ ); 3 volumen del macrorrechupe ( $V^m$ ); 4 volumen de la zona de incidencia ( $V_E$ ); 5 déficit interno ( $V_i$ ).

Las probetas tecnológicas para rechupes deben proporcionar una visión lo más amplia posible de este comportamiento del material. En los últimos tiempos se utilizaron probetas de forma cuadrada, fundidas en arena o coquilla, para la determinación de la distribución del déficit de volumen (Imagen 6.6). En el aluminio puro y aleaciones con composición eutéctica, por ejemplo G-AISi 12, es preponderante el rechupe externo a causa de su sólida capa del borde. Las aleaciones con un amplio intervalo de solidificación, en forma claramente pastosa, tienen fuerte tendencia a formar microrrechupes (Imagen 6.7). Si la zona de solidificación externa no tiene suficiente soporte se pueden producir, a causa de la propia masa o de una presión externa, las llamadas zonas de incidencia. Los rechupes externos y las zonas de incidencia pueden tener su origen, además, en el molde de arena mal apisonado o, cuando se trata de fundición en coquilla, en una temperatura excesiva de éstas. Teniendo en cuenta que en las aleaciones de aluminio existen contracciones de volumen especialmente activas entre el 2 y el 7%, de acuerdo con su composición, todas las medidas que se tomen para la solidificación dirigida y la correcta alimentación de la pieza fundida son extraordinariamente importantes.

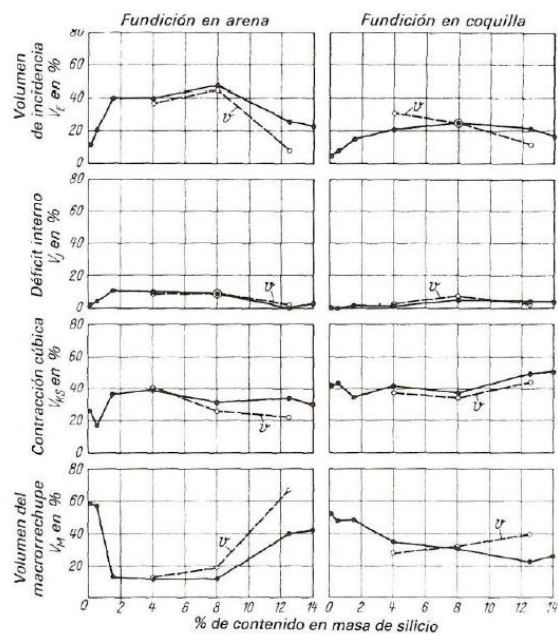


Imagen 6.7 Distribución del déficit de volumen térmico en la fundición en arena y en coquilla; los fundidos finos están a trazos y caracterizados por "v".

### *6.2.6 Agrietamiento en estado caliente*

Durante la solidificación de las aleaciones se pueden producir grietas de origen térmico como consecuencia de contracciones en el metal solidificado o pastoso, así como cuando se trata de evitar la contracción mediante moldes apropiados o machos. Las grietas discurren a lo largo de las cristalitas primarias solidificadas y pueden adoptar en partes formas fuertemente ramificadas. Las aleaciones con un gran intervalo de solidificación y pequeño contenido en componentes de bajo punto de fusión (eutéctico) tienen la máxima tendencia a la formación de grietas (poca capacidad de curación). Especialmente sensibles son las aleaciones de AlMg, AlMgZn y AlCu. Mediante determinadas adiciones a la aleación se puede limitar la tendencia a la formación de grietas. Se ha desarrollado toda una serie de moldes-probeta para la determinación del agrietamiento en estado caliente, en las cuales se ensaya la forma en que disminuye la tendencia por la aplicación de medidas metalúrgicas. Para este fin se muestran como muy aptos un cuidadoso tratamiento del caldo así como la finura del grano. El peligro de las grietas térmicas se puede disminuir, también, por un diseño favorable de la pieza colada, evitando cambios bruscos de secciones delgadas a gruesas, así como acumulaciones de material. Además, pueden ser muy útiles las medidas que se adoptan sobre el molde conducentes a una solidificación dirigida, así como a un control muy estudiado de la temperatura durante la solidificación (enfriadores, refrigeración, calefacción, aislamiento, etc.) o mediante moldes y machos de arena poco apisonada.

### *6.2.7 Contracción*

Se entiende por contracción la que se produce de forma lineal en las piezas coladas una vez que se ha terminado la solidificación y el enfriamiento ha llegado a la temperatura ambiente. Se da en función de la diferencia de dimensiones entre la pieza fundida y el molde, expresada en tanto por ciento. En las aleaciones de aluminio la contracción se halla entre el 1,25 y el 1,40%; en el aluminio puro, 1,75%, si se mide en varillas lisas que pueden contraerse libremente. Con frecuencia en la pieza fundida la contracción suele ser considerablemente menor, debido a los obstáculos que aparecen como consecuencia de los cambios bruscos de forma y, sobre todo, a causa de los machos. Del mismo modo que en la tendencia a la formación de grietas térmicas, la contracción depende también de la composición de la aleación, de las condiciones de solidificación y del procedimiento de colada. Las dimensiones debidas a la contracción, que aparecen en la práctica y que deben



ser tenidas en cuenta al fabricar el modelo y el molde, están contenidas en la Tabla 6.1. Si la contracción encuentra fuerte obstáculo hasta el punto de que las fuerzas que surgen sobrepasan a los valores de resistencia y elasticidad del material fundido, aparecen grietas por contracción. Un vaciado prematuro del molde puede contrarrestar estos defectos.

## 7 PREPARACIÓN DEL CALDO

### 7.1 Fundamentos para la correcta preparación del caldo

La preparación del caldo en la fundición de aluminio es de importancia decisiva con vistas a la calidad de la pieza de aluminio fundida e influye ya desde el comienzo del proceso de fabricación en la idoneidad en cuanto a la capacidad de soportar solicitaciones del elemento de construcción fundido. Por eso, para tener la seguridad de que se consiguen las buenas características mecánicas que se desean en la pieza fundida, son condiciones fundamentales tres aspectos:

- La limpieza
- La homogeneidad
- La elevada capacidad de cristalización del caldo que se va a utilizar

#### 7.1.1 Oxidación del caldo

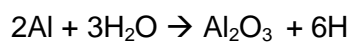
El aluminio y sus aleaciones se recubren ya a la temperatura ambiente con una delgada capa de óxido, debido a su gran afinidad con el oxígeno, haciéndose la capa cada vez más gruesa con el aumento de la temperatura. En el curso de la fusión aumenta más la formación de óxidos que ni son reducidos ni fundidos durante el proceso. Sobre la superficie del caldo se forma una película cerrada de óxido de aluminio, que protege al fundido de una oxidación posterior. Teniendo en cuenta que entre el óxido y el metal existe sólo una diferencia de densidades muy pequeña, quedan partículas de óxido (casarillas, hilos) en suspensión en el caldo que no emergen.

El grado de oxidación durante el proceso de fusión depende de la composición de la aleación, de la temperatura y tiempo de fusión, del tipo de horno y de su calentamiento, tamaño de la superficie del baño y tipo de material utilizado. La oxidación durante el proceso de fusión y, por lo tanto, la pérdida de metal que se produce, se designa como residuos calcinados incluyéndose en ella solamente la merma por impurezas adheridas a los componentes de la aleación así como los residuos calcinados por volatilización de los mismos.

Durante el trasvase del metal en hornos de conservación del calor y de fundición, así como al verterlo en el molde, aumenta el contenido de óxidos del caldo por su mayor contacto intenso con el aire. Los óxidos contenidos en el caldo listo para verter influyen de modo sensible en las características del vertido, disminuyen la capacidad de llenado del molde y la fluidez y pueden perturbar, especialmente cuando se producen acumulaciones, el deseado curso de la solidificación y el efecto beneficioso de la mazarota. Además requieren la presencia de hidrógeno en el fundido de aluminio. En las piezas fundidas defectuosas se pueden presentar los óxidos como hilos aislados y películas o nódulos de óxido; se adhieren preferentemente a las aristas, salientes o de transición, en las partes internas del molde, así como en los bebederos. Disminuyen las características mecánicas de las piezas fundidas, así como de la resistencia a la corrosión, aumentando el desgaste de las herramientas en el mecanizado, especialmente cuando se ha producido una transformación en corindón. Las aleaciones de aluminio que contienen cinc y magnesio, así como las que contienen sodio, son especialmente sensibles a la oxidación. En los apartados 9 y 10 que vienen a continuación se indican las medidas a tomar para evitar la formación excesiva de óxidos y la eliminación de los mismos del caldo fundido.

### *7.1.2 Absorción de hidrógeno por el caldo*

El aluminio en estado líquido posee una elevada capacidad para disolver el hidrógeno que se desprende cuando reacciona con el vapor de agua según la ecuación:



Y es absorbido inmediatamente por el caldo en forma atómica. El vapor de agua puede tener la siguiente procedencia: humedad del material de partida, del revestimiento del horno, del material del crisol, de los moldes, del fundido y del fundente, la combustión de combustibles gaseosos y líquidos, así como humedad atmosférica. La cantidad de hidrógeno disuelto en el aluminio depende de la presión parcial del hidrógeno en la atmósfera, de la temperatura del metal y de la composición de la aleación. Así, por ejemplo, el Cu y el Si disminuyen la absorción del hidrógeno y el Mg la aumenta. Al descender la temperatura del metal disminuye la solubilidad del hidrógeno y al pasar del estado líquido al sólido disminuye ésta de forma brusca. En estos casos se separa el hidrógeno en forma de burbujitas (formación de poros). Al aumentar la velocidad de solidificación se puede impedir o disminuir el desprendimiento de hidrógeno (enfriadores, enfriamiento de la coquilla).

El número, tamaño y forma de los poros dependen del contenido de hidrógeno, de la velocidad de solidificación y del tipo de aleación. Así, por ejemplo, para el mismo contenido de hidrógeno, una velocidad de solidificación lenta provoca poros mayores que una velocidad elevada. Los poros gaseosos se determinan, en cuanto a su forma, por la cristalización y pueden aparecer en formas redondas, alargadas y dentadas. Con frecuencia no es posible establecer una diferencia de los microrrechupes. Los poros gaseosos son perturbaciones estructurales y disminuyen la resistencia de la pieza colada. Además, los poros gaseosos unidos a los microrrechupes, pueden conducir a formas no estancas del fundido, especialmente cuando se mecanizan.

## **7.2 Tecnología de la fusión**

La elaboración del material de partida con mucha suciedad y conteniendo aceites y grasas se debe dejar al cuidado de la fundición, ya que el uso de instalaciones insuficientes pueden cuestionar el aspecto económico y la calidad del fundido. Ha de advertirse fundamentalmente sobre el uso de chatarras de procedencia extraña, incontrolada y que no hayan sido preparadas adecuadamente. El material de partida debe precalentarse o al menos debe estar seco. No es aconsejable la extracción del metal, para fundir y reponer lo extraído en el mismo horno, debido a la incorporación de impurezas no metálicas, así como por las oscilaciones de temperatura que se producen. Para evitar una elevada contaminación por hidrógeno y óxidos deberá evitarse todo sobrecalentamiento innecesario durante la fusión. Es necesario un control permanente de la temperatura, lo cual ayuda a obtener una calidad uniforme del fundido (formación de la estructura por influencia de la nucleación).

Se deben evitar las variaciones en la composición de la aleación. Cuando se desee cambiar el tipo de aleación, como por ejemplo, en el cambio a aleaciones de alta resistencia, libres de cobre o de silicio, se debe lavar el crisol previamente fundiendo material puro, aunque mejor será utilizar un crisol nuevo. Las confusiones del material utilizados son muy indeseables pero, desgraciadamente, suceden con frecuencia. Para evitarlo debe utilizarse una caracterización por colores o numerar las aleaciones. Finalmente debe observarse que algunos elementos de aleación se oxidan o se volatilizan a temperaturas determinadas. Así, por ejemplo, el magnesio se inflama por sobrecalentamiento. Para evitar una absorción de hierro indeseada se deben alisar los aparatos utilizados y eliminar el empleo de alambres de núcleos y clavijas de molde, etc. que tengan hierro adherido.

## 7.3 Limpieza del caldo

A pesar de las medidas de precaución mencionadas anteriormente, no es posible evitar por completo la contaminación por óxidos, hidrógeno y otras impurezas, de modo que se hace necesario un tratamiento del fundido para eliminarlas. Teniendo en cuenta las exigencias, cada vez mayores en cuanto a calidad de las piezas de aluminio fundido, es enormemente importante un tratamiento cuidadoso del fundido, ya que de este tratamiento depende de modo decisivo la fluidez, la capacidad de llenado del molde, la densidad y la estructura de la pieza. Existe hoy un gran número de procedimientos de limpieza del fundido que, desde el punto de vista técnico, están muy desarrollados. La decisión sobre cuál de los procedimientos es el más conveniente para conseguir unas condiciones determinadas, depende de las exigencias sobre la calidad de la pieza, tamaño de los hornos y las condiciones técnicas de funcionamiento, como por ejemplo, la existencia de instalaciones de aspiración.

La limpieza del caldo se ha de realizar inmediatamente antes del vertido, puesto que un tratamiento de limpieza en el curso del proceso, realizado demasiado pronto, puede ser ineficaz debido a que durante el transporte, o en el trasvase del caldo vuelve a ensuciarse el fundido. Así, por ejemplo, el contenido en hidrógeno de un caldo puede aumentar considerablemente durante el trasvase, según la humedad que tenga el aire. El efecto de limpieza se basa en la acción de procesos físicos o químicos o, incluso, combinación de ambos. A continuación se explican los procedimientos más importantes.

### 7.3.1 Tratamiento con gases

El hacer pasar gas a través del metal líquido ha demostrado ser particularmente eficaz, debiendo distinguirse entre los gases con acción física de lavado (gases inertes) y aquellos en los que se produce una reacción química durante el tratamiento.

Entre los primeros (acción física) se cuenta el nitrógeno:

Al disminuir la presión parcial del hidrógeno durante su paso a través del metal líquido se elimina el hidrógeno del fundido. Simultáneamente se lavan los óxidos y otras impurezas no metálicas elevándolas a la superficie. El nitrógeno no es adecuado para las aleaciones de AlMg debido a la posible formación de nitruros, siendo mejor utilizar argón.

### 7.3.1.1 Por acción química (cloro):

Se utiliza también cloro como gas químicamente activo, el cual es mucho más activo que el nitrógeno. Al hacer pasar cloro por el fundido se forma cloruro de aluminio, que se sublima, asciende a la superficie del baño y provoca con ello, debido a su distribución fina y uniforme, un lavado muy activo y la consiguiente eliminación de impurezas. Por razones económicas y sanitarias (el cloro es tóxico), y también de tipo ecológico, se utilizan actualmente más bien mezclas de cloro y nitrógeno con aproximadamente 80-90% de nitrógeno. Cuando se usa cloro debe tenerse en cuenta que el magnesio presente reacciona con el cloro formando cloruro de magnesio, pudiendo disminuir el contenido en magnesio del caldo en función de la temperatura y del tiempo.

Los vapores que se originan con el tratamiento de cloro son venenosos y deben de ser absorbidos ineludiblemente. El manejo de las instalaciones de cloración debe realizarse con las máximas precauciones, debiendo observarse las prescripciones de las comisiones técnicas, así como las indicaciones estrictas de la industria.

La Imagen 7.1 representa la manera de actuar de los gases de lavado, así como un esquema del tratamiento de eliminación. Mientras que un tratamiento de eliminación suele tardar horas y, generalmente, resulta aún insuficiente, se alcanza con gases de lavado al cabo de un pequeño período de tratamiento un contenido en hidrógeno tan bajo que no son de temer después acciones negativas sobre la calidad del fundido. Un contenido final alcanzado de 0,1 a 0,15 cm<sup>3</sup> /100 g de metal, posibilita, en general, la consecución de piezas fundidas técnicamente libres de poros y cualitativamente buenas. La duración del tratamiento alcanza de 5 a 10 minutos para 300 kg de fundido. El consumo de cloro, según el contenido de hidrogeno del fundido no tratado y el estado final deseado, se halla aproximadamente entre el 0,2 y 0,5% en masa del fundido.

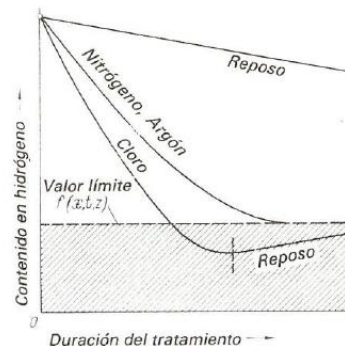


Imagen: 7.1 Representación esquemática de la forma de actuar de diversos métodos de desgasificación; x condiciones atmosféricas, t temperatura del metal, z composición del metal.

El valor del contenido de hidrogeno después de la fusión y la desgasificación depende, en primer lugar, de la aleación, también fuertemente del modo de calentar el agregado que se funde y de los procesos ulteriores de tratamiento del fundido.

### *7.3.2 Tratamiento con compuestos que provocan desprendimiento de cloro*

Cuando existan reparos contra el uso de cloro elemental, a causa de ser tóxico, se pueden utilizar compuestos de cloro para la limpieza. Estos se reducen o descomponen por el aluminio formándose cloruro de aluminio, el cual se volatiliza o descompone, respectivamente. La desgasificación y el lavado de los óxidos transcurren igual que con la cloración. Se utiliza con mucha frecuencia el hexacloroetano ( $C_2Cl_6$ ). Se pueden utilizar, además, vehículos para regular la velocidad de descomposición. Estas sustancias utilizadas para la limpieza, se encuentran en el comercio en forma de tabletas o cartuchos. Se ha de tener mucho cuidado en que se conserven perfectamente secos. Se pueden conseguir también tabletas de desgasificación inocuas que liberan nitrógeno y que no contaminan el medio ambiente.

### *7.3.3 Tratamiento con fundentes*

Los fundentes (sales) se usan tanto más cuanto más sucio o más desmenuzado se encuentre el material de partida (material de circulación). Hacen además de "reguladores de secado" que emplean la espuma que cubre la superficie del baño y separan las gotitas de aluminio del material oxidado, aligerando así su flujo conjunto. Un fundente eficaz debe poseer las siguientes características: baja viscosidad, insolubilidad en el aluminio, menor densidad que el aluminio, tensión de vapor lo más baja posible a la temperatura de trabajo, ataque mínimo a las paredes del horno y al material del crisol y acción escorificante sobre las impurezas no metálicas. Los fundentes contienen con frecuencia componentes higroscópicos y deben conservarse por eso en lugares secos. La sal precisa para su utilización inmediata se guarda en raciones diarias cerca del horno, o mejor aún en armarios desecadores especiales mantenidos a temperaturas de aproximadamente 250° C. Los fundentes y las sales de fusión cumplen, la mayor parte de las veces simultáneamente

varias de las tareas para las que están destinadas. No se recomienda en general la fabricación propia.

Según la forma de actuar y la composición, se pueden distinguir dos tipos de fundentes:

- Sales de cobertura, que deben disminuir las pérdidas metálicas y sirven para evitar la oxidación y absorción de gases en caldos de bajo punto de fusión. Además, tienen la propiedad de retener el óxido de aluminio que flota en la superficie y separarlo ampliamente del metal que se le adhiere. Las sales de cobertura están formadas por cloruros y fluoruros de metales alcalinos mezclados con criolita. Especial importancia tiene el tratamiento con sales de las aleaciones AlMg que contienen más del 3 al 4% de Mg. Estas aleaciones deben ser protegidas, además del oxígeno y del hidrógeno, también del nitrógeno del aire y de la atmósfera del horno, ya que el nitrógeno reacciona con el magnesio y forma nitruros. Para este fin se han desarrollado sales especiales que contienen, además de otros cloruros, especialmente de magnesio, el cual impide la inflamación del magnesio.
- Las sales de limpieza o lavado sirven para la eliminación de las impurezas no metálicas existentes en el caldo. Su acción debe atribuirse en la mayor parte a un efecto de flotación y también a reacciones químicas. Las mezclas constan, fundamentalmente, de cloruros de sodio y potasio junto con fluoruro sódico y potásico. Por su acción purificadora del caldo poco antes del vertido, mejoran esencialmente la fluencia en la operación de la colada

#### *7.3.4 Filtrado del caldo*

Los óxidos y otras impurezas sólidas se pueden separar del metal fundido por filtración. Se mejora así la capacidad de la fluencia del metal. Existen muchas posibilidades en cuanto a la forma y disposición de los filtros. Así, se pueden colocar los filtros en los hornos y detrás de los canales de vertido o, también, en el propio crisol de vertido o en las entradas del molde. Como material para filtro son apropiados el basalto, el carborundo sinterizado, el carburo de silicio, la cromita, magnesita, cromomagnesita, óxido de circonio, fluoruro de calcio, fluoruro de magnesio o fluoruro sódico. Como portadores de la capa de filtro se utilizan, frecuentemente, placas cerámicas provistas de orificios. Los filtros se pueden combinar también en capas de sal líquida.



Los filtros de paso entre el horno y el dispositivo de vertido se utilizan especialmente para grandes cantidades de metal, como en la extrusión. Pueden estar equipados con lavado gaseoso adicional, pero apenas son adecuados para la fundición en molde, a causa de los procesos de colada discontinuos. En la práctica se han utilizado tejidos de fibras de vidrio dando buenos resultados; se pueden instalar como piezas de paño tensadas, otras veces en forma de saco o como suplementos en los sistemas de vertido de los moldes.

En las plantas de fundición que utilizan moldes se emplean ampliamente suplementos filtrantes fabricados a partir de espuma dura de cerámica o de tejidos de alambre.

- **Filtros espuma:** Son filtros cerámicos apropiados para la filtración en fundición de aluminio, hierro y acero. Permiten la reducción de flujo turbulento y retienen inclusiones de óxidos.

Las espumas cerámicas tienen una estructura tridimensional de poros. Se clasifican a través de la anchura de célula según poros por pulgada (PPI).

Según las diferentes aplicaciones pueden ser de:

- Óxidos aluminosos ( $Al_2O_3$ ): Su materia prima es el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), con una estructura porosa homogénea que les dota de una gran resistencia. Resisten temperaturas de hasta  $1000^{\circ}C$  y tienen una gran resistencia ante los agentes químicos y las aleaciones agresivas utilizados en fundición de aluminio.
- Óxidos de circonio ( $ZrO_2$ ): Están indicados para todo tipo de aleaciones de acero y las aleaciones basadas en cobalto y níquel, así como para todo tipo de aleaciones de hierro y magnesio. Resisten temperaturas de hasta  $1700^{\circ}C$ , de gran consistencia y con una excelente resistencia al choque térmico.
- Carburo de silicio (SiC): Proporciona una gran resistencia química y térmica. Los filtros SiC resisten temperaturas de hasta  $1470^{\circ}C$ , y se utilizan en fundición de hierro, cobre y aluminio, para que el metal fundido esté libre de impurezas.

Ventajas de los filtros de espuma:

- Gran variedad
- Fácil uso
- Precio bajo

Inconvenientes de los filtros de espuma:

- Solo elimina inclusiones grandes
- Se utiliza 1 filtro por colada
- Necesita cajón

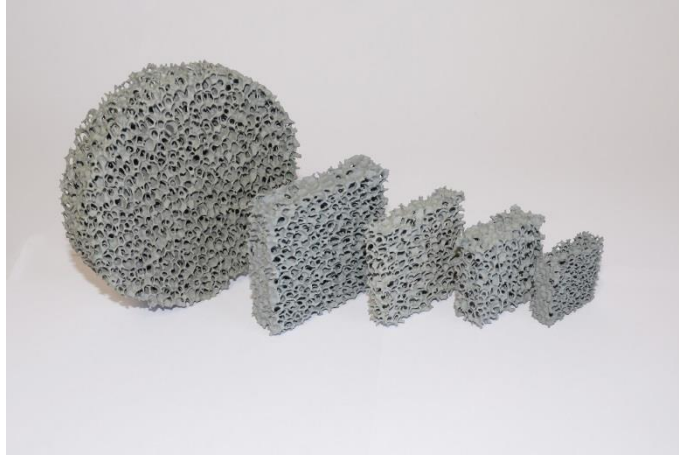


Imagen 7.2: Filtros SiC



Imagen 7.3: Filtros Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- **Filtros malla:** Este tipo de filtros se colocan en la salida del horno de colada. Su función es la de retener óxidos y partículas refractarias gordas. Los hay de malla metálica, malla tejida y malla tejida refractaria y se utilizan sobre todo en fundición de aluminio.

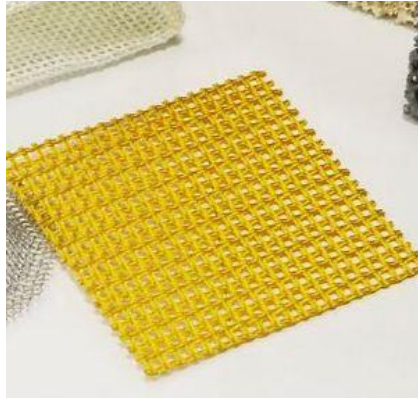


Imagen 7.4: Filtro malla

- **Filtros Deep Bed:** En los filtros deep bed se deposita el metal fundido en la parte inferior y se hace fluir hacia arriba a través de una malla, todo esto a velocidad muy reducida para la correcta filtración del caldo. La parrilla de la parte inferior distribuye el metal fundido ya filtrado.

### *7.3.5 Limpieza por depresión*

Al descender la presión sobre el caldo de aluminio se desplaza el equilibrio presente. El hidrógeno existente en el caldo se ve forzado a salir a través de la superficie del baño, produciéndose un desalojo de óxidos. La realización técnica de este proceso es la desgasificación al vacío. A causa de su inocuidad y su acción eficaz sobre la eliminación del hidrógeno e, incluso, de los óxidos, está encontrando cada vez más aplicación en las plantas de fundición. El proceso se realiza como desgasificación en marmitas o recipientes.

## **7.4 Tratamiento del caldo para mejorar la estructura**

### *7.4.1 Afino del grano*

El afino del grano es el proceso de reducción del tamaño de grano de un metal o aleación, mediante la adición de elementos adecuados al metal fundido, para mejorar sus características mecánicas.

Según el tipo y curso de la solidificación, puede presentarse en algunas aleaciones de aluminio una estructura basta que tiene menor resistencia que la estructura de grano fino. Se puede conseguir una estructura de grano más fino con características mejores por adición de sustancias nucleantes en el caldo. Los afinadores de grano que se añaden generalmente en forma salina, reaccionan con el caldo según procesos complicados y actúan en forma de boruro de aluminio, boruro de titanio, carburo de titanio y carburo de circonio, como núcleos auxiliares. Tales preparados (en parte junto con aditivos de polvo de

aluminio y carbono) se pueden conseguir en el comercio bajo distintos nombres. Los aditivos de titanio y boro se consiguen, también, en forma de bloque y alambre, como aleaciones madre.

El afino del grano de las aleaciones AlSi hipereutécticas tiene lugar mediante la adición de fósforo. Se trata con esto de un afino del silicio primario, separado debido a los núcleos de fósforo de aluminio. La adición de fósforo se realiza en forma del compuesto químico pentacloruro de fósforo o de preparados que contienen fósforo rojo y hexacloroetano. Ambos medios de afino se consiguen en forma de tabletas y poseen al mismo tiempo acción desgasificadora.

#### *7.4.2 Modificación de las aleaciones AlSi*

Se designa modificación de las aleaciones AlSi al proceso metalúrgico mediante el cual al adicionar pequeñas cantidades de sodio o estroncio a aleaciones AlSi eutécticas e hipoeutécticas, se consigue un eutéctico con una estructura especialmente fina. El contenido de sodio debe hallarse en un % del orden de centésimas. De esta manera se pueden mejorar las características mecánicas de la pieza fundida. Se distinguen fundamentalmente 3 tipos característicos de estructura eutéctica de AlSi:

- Estructura laminar: Cristales de silicio, la mayor parte de las veces aciculares, ordenados en grupos en forma radial.
- Estructura granular: Cristales de silicio poliédricos, en forma de varillas o láminas gruesas, distribuidos en parte desordenadamente.
- Estructura afinada: Cristales de silicio muy finos y compactos.

Para que se produzca cada una de las modificaciones estructurales son decisivas la velocidad de enfriamiento y la presencia de ciertos elementos a baja concentración. Así, por ejemplo, para el enfriamiento de la estructura granular es decisivo un escaso contenido en fósforo.

En el afino con sodio, cantidades mínimas de este provocan un subenfriamiento y un desplazamiento de la concentración eutéctica hacia contenidos más altos de silicio. Debido a la obstaculización de la difusión de los átomos de Si en el caldo y del crecimiento cristalino, se forman cristales muy finos y de aspecto más o menos redondeado. La estructura corresponde a la de un fundido enfriado muy rápidamente, que presenta muy buenas características de resistencia mecánica. La introducción del sodio se realiza mediante sodio metálico, sales, tabletas o medio de afino en bloque. En este último caso se trata de refinadores para uso especial en homos de vertido que se descomponen lentamente

y ceden, a la vez sodio, durante largo tiempo. En el caldo del recipiente de vertido se mantiene durante un amplio intervalo un grado de afino uniforme al que colabora el modo en que se realiza el vaciado del recipiente.

Cuando se trata de fundición en arena la cantidad de afino utilizado depende de la temperatura de vertido y del espesor de pared de la pieza fundida. En las zonas con paredes débiles se consigue una estructura más fina, debido a una solidificación más rápida. Lo mismo puede decirse para la fundición en coquilla, que no requiere ineludiblemente un refinado, pero ayuda a disminuir la formación de rechupes, adicionando, aproximadamente, el 50% de la cantidad prescrita para la fundición en arena. En las coquillas mixtas es ventajoso proceder a un refinado para evitar los rechupes y las zonas de incidencia.

Teniendo en cuenta que el afino disminuye al aumentar el tiempo por combustión parcial del sodio, se debe repetir cada 30 min., en los hornos de cuchara, siempre y cuando no se utilicen afinadores lentos; generalmente, la fundición a presión no se afina. En las piezas fundidas que tienen tendencia a adherirse fácilmente al molde, puede ser igualmente ventajoso proceder a un afino.

En los últimos años se ha impuesto cada vez más el afino con estroncio. Esto vale especialmente para la colada por gravedad y la que se realiza en coquilla con depresión. Frente al afino con sodio, el estroncio tiene una acción afinadora de larga duración, además, los fundidos afinados con estroncio muestran un mejor comportamiento en la fluidez. Los materiales afinados con estroncio presentan, aún después de larga permanencia del caldo y de haberse refundido varias veces, una estructura refinada. Por eso las industrias metalúrgicas suministran actualmente a la fundiciones aleaciones AlSi hipoeutécticas y eutécticas en el estado que se suele designar como refinado de larga duración, con un contenido en estroncio de algunas centésimas. Se puede realizar, a voluntad, otra aleación posterior en la planta de fundición con aleación madre de estroncio (por ejemplo, una aleación de aluminio con 5% de estroncio). Un afino duradero con estroncio es habitual en la fabricación en serie de ruedas fundidas para turismos que se fabrican, partiendo de una aleación de AlSi casi eutéctica, en muchas versiones, utilizándose preferentemente un proceso de fundición en coquilla por depresión.

## 8 HORNOS DE FUSIÓN

Podemos diferenciar entre los siguientes tipos de hornos entre los más usados dentro de la industria de la fundición:

- Hornos de crisol
  - Hornos de crisol calentados por gas y aceite
  - Hornos de crisol calentados por resistencia
- Hornos de reverbero
- Hornos rotativos
- Hornos de solera
- Hornos eléctricos de inducción

### 8.1 Hornos de crisol

Los crisoles son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias como carburo de silicio y hierro fundido, provistos de una tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean en los denominados hornos de crisol, utilizando como combustible gasoil.

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, que todavía se emplea y que no cae en desuso gracias a que su instalación es muy económica sobre todo para fundir pequeñas cantidades. Se utilizan sobre todo en procesos de fundición con rendimientos medianos en las que además se trabaja con diversas aleaciones de aluminio.

Los hornos de crisol pueden ser fijos, con crisoles incorporados rígidos o susceptibles de ser extraídos, así como con crisoles fijos en la unidad pero que pueden bascular. En el caso de los basculantes, dicha basculación se realiza hidráulicamente.

Los hornos de crisol tienen, con respecto a la oxidación superficial y al tratamiento con medios de limpieza, un comportamiento favorable, que se refleja en relación entre superficie y volumen del baño.

### *8.1.1 Hornos de crisol calentados por gas y aceite*

Los modernos quemadores de gas y aceite con funcionamiento automático, permiten regular la temperatura exactamente a la vez que garantizan gran uniformidad entre la relación de temperatura que se produce en la cavidad del horno y en la fusión. Cuando la construcción y el control del horno es correcta el caldo no entra en contacto con los gases de combustión. Los hornos de fusión puros son hornos de crisol basculante, con crisoles incorporados en los que la capacidad alcanza la mayoría de las veces 350 kg, con un rendimiento de colada de 300 a 400 kg/h. En los últimos años se ha producido un espectacular avance en la técnica de hornos dirigida principalmente hacia el ahorro energético, la calidad del metal y el aspecto ecológico, habiéndose alcanzado un alto nivel tecnológico. Así, por ejemplo, se ofrecen hornos de crisol para fusión con recuperadores que producen un precalentamiento del aire utilizado en la combustión, en los cuales la energía térmica se recupera hasta un 35%. Como características principales en ellos se cuentan el uso de valiosos materiales aislantes del calor, la posición del quemador, su regulación, la regulación automática de temperatura, el encendido y el control de los quemadores, así como de los recuperadores. Como crisoles se utilizan los que se construyen de arcilla grafitada o de carburo de silicio, utilizándose también, para la recuperación de calor, crisoles de hierro fundido.



Imagen 8.1: Horno de crisol calentado por gas

### *8.1.2 Hornos de crisol calentados por resistencia*

Los hornos de crisol calentados por resistencia se utilizan principalmente como hornos de conservación del calor y de colada. Se ha de destacar en ellos la uniformidad en las condiciones de temperatura así como la carencia de gases de los combustibles. Los hornos fijos con crisoles incorporados se utilizan como hornos de colada, para el vertido a mano y con instalaciones de vertido automáticas, mientras que los hornos basculantes por sistema hidráulico con crisol incorporado, son más apropiados para la colada de piezas fundidas de tamaño grande. Lo mismo que para los hornos calentados por combustibles, encuentran aplicación, también aquí los crisoles de arcilla grafitada, de carburo de silicio y de hierro de fundición.

Junto a los calefactores formados por espirales de alambre, han dado también buen rendimiento las calefacciones con llantas. Se trata de una instalación que cuelga libremente en el interior del horno, formada por varillas calefactoras para las que se utilizan aleaciones de cromo-níquel. La evolución posterior de las resistencias de elementos condujo también a los llamados módulos calefactores, en los que los elementos calefactores están introducidos en materiales cerámicos, que los protegen contra el aluminio líquido y la corrosión, y que son susceptibles de cambiarse con facilidad y en corto tiempo. La capacidad del crisol es generalmente de 300 kg de aluminio, aunque dan cada vez mejores resultados crisoles mayores con capacidades de hasta 500 y 800 kg.



Imagen: 8.2: Horno de crisol calentado por resistencia



## 8.2 Hornos de reverbero

Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición de piezas de grandes dimensiones tanto de metales férreos como de metales no férreos como aluminio, cobre, latón y bronce.

Los hornos de reverbero son de poca altura y gran longitud. En uno de los extremos se encuentra el lugar donde se quema el combustible, y en el extremo opuesto la chimenea. Las llamas y productos de la combustión atraviesan el horno y son dirigidos, por la bóveda de forma adecuada, hacia la solera del horno, donde está situada la carga del metal que se trata de fundir. Esta carga se calienta, no sólo por su contacto con las llamas y gases calientes, sino también por el calor de radiación de la bóveda del horno.

Aproximadamente, la superficie de la solera es unas tres veces mayor que la de la parrilla y sus dimensiones oscilan entre un ancho de 1,5 a 3 metros y una longitud de 4,5 a 15 metros. La capacidad de los hornos de reverbero es muy variable y oscila entre los 45 y los 1000 kg.

Su funcionamiento es el siguiente: la carga se efectúa introduciendo primero la chatarra ligera, que queda en el fondo; a continuación la chatarra más gruesa, y por fin se cubre todo con arrabio. De esta manera las piezas pequeñas más expuestas a la oxidación quedan en el fondo protegidas por el arrabio, cuyo contenido en carbono es grande y, por tanto, su punto de fusión es más bajo.

La duración de la operación varía entre cuatro y doce horas. La escoria representa de un 4 a un 6% de la carga.

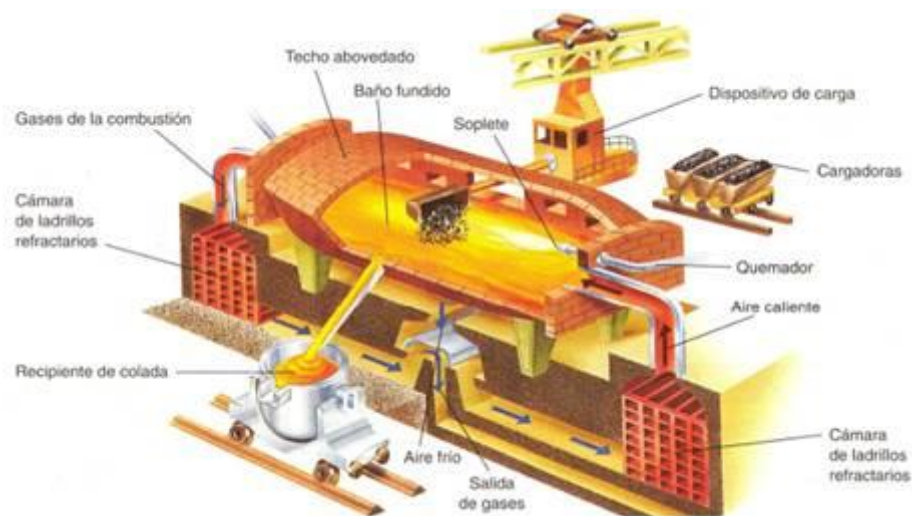


Imagen: 8.3: Horno de reverbero

### 8.3 Hornos rotativos

Los hornos rotativos están formados por una envoltura cilíndrica de acero, de eje sensiblemente horizontal, que termina con dos troncos de cono, uno en cada extremo. En uno de los extremos está situado el quemador y en el otro la salida de los gases quemados, que generalmente pasan por un sistema de recuperación de calor para precalentar el aire de soplado antes de ser evacuados por la chimenea. Todo el interior del horno está revestido con un material refractario. Son calentados por combustible, que suele ser gasoil.

Los hornos rotativos se han considerado como hornos de reverbero perfeccionados, ya que además de calentarse la carga por el contacto de las llamas y gases y por la radiación de la bóveda caliente, se calienta también por el contacto directo con la parte superior del horno, que al girar queda bajo la carga. Con esto se consigue un notable acortamiento del tiempo de fusión, pues se logra evitar el efecto aislante de la capa de escorias, que flota sobre el baño, que en los hornos de reverbero ordinarios dificulta el calentamiento de la masa del metal.

La capacidad de estos hornos varía entre los que solo admiten 50 kg y los más grandes que tienen capacidad para 20 toneladas. Los más pequeños se hacen girar a mano y los hornos grandes mecánicamente.



Imagen: 8.4: Horno rotativo

## 8.4 Hornos de solera

Los hornos de solera calentados con combustible, se pueden utilizar para fundir y para conservar el calor. Sus características más notables son una gran superficie del baño con relación a su profundidad y un contacto más o menos directo del material a fundir con la llama. Debido a la sección transversal en forma de cuba y la posibilidad de bascular, se les designa también como hornos de cubeta. Los hornos de solera se construyen fijos y basculantes y se utilizan especialmente para grandes cantidades, como por ejemplo, 500 kg por hora. A menudo estos hornos de fusión están provistos de puentes de descarga, en los cuales se puede tratar el material con muchas impurezas o que tenga adheridas partes de hierro.

Otro campo de aplicación moderno de estos tipos de hornos, muy extendidos, es el almacenaje y conservación del calor del metal líquido que suministra la fundición a la industria de aluminio. Están provistos para este fin de instalaciones adicionales para el vaciado de las cucharas y están preparados también para fusiones ocasionales. Las ventajas de los hornos de solera son el elevado rendimiento de fusión, la gran capacidad y el consumo energético relativamente bajo. Los más modernos disponen actualmente de una técnica más refinada para disminuir las pérdidas caloríficas, como son, la regulación automática de la relación aire-combustible, del aire para la combustión enriquecido con oxígeno, la regulación de la presión de su interior y la recuperación del calor de los gases desprendidos.



Imagen 8.5: Horno de solera

## 8.5 Hornos eléctricos de inducción

En este tipo de horno se origina el calor directamente en el metal que se trata de calentar. La energía eléctrica aportada se transforma en calor en el metal mismo por la acción del campo magnético de una bobina de inducción, representando el caldo la bobina secundaria. Las ventajas del calentamiento por inducción estriban en que la generación inductiva de calor es más económica que el calor de radiación producido por resistencias eléctricas para calentar los cuerpos. Además, se produce durante el calentamiento inductivo un movimiento del baño que, si se controla correctamente, realiza en muchos casos una mezcla adecuada del fundido.

Otras ventajas de los hornos de inducción son: presentan un elevado rendimiento; no hay pérdidas por escape de gases; una merma muy baja, del 0,5 al 1,0% debido a la pequeña superficie del baño y de la forma de operar; buena regulación de la temperatura; gran rendimiento en la fusión; trabajo limpio; sobrecalentamiento nulo del horno, ya que el calor necesario se origina inductivamente en el propio metal. Los hornos se alimentan principalmente con la frecuencia normal de la red de 50 Hz; como protección del horno se utiliza preferentemente material apisonado.

En la industria existen dos tipos de hornos de inducción: con canales de colada y sin canales.

### 8.5.1 Hornos de inducción con canal

Estos hornos se construyen hoy principalmente con canales de colada rectilíneos ya que, en contraposición con los canales curvos de antes, los de ahora se pueden limpiar con instrumentos rígidos. El canal rodea a la bobina primaria incorporada. En los hornos de canal se necesita siempre un circuito secundario cerrado, debido al metal líquido situado en el canal; por eso debe haber siempre un lecho "fangoso" de metal líquido cuyo nivel alcance hasta la mitad de la capacidad del horno. Al comenzar a funcionar el horno se debe añadir metal líquido.

Los hornos con canal encuentran aplicación como hornos de conservación del calor y de colada. Los canales pueden estar situados, o bien por debajo de la cavidad del horno, o lateralmente con una inclinación. Se suelen emplear como reserva para conservación del calor en industrias en que se utilicen grandes cantidades (capacidades entre 3 y 15 toneladas aproximadamente) intercalados entre la instalación de fundido y de vertido, siendo su forma de torreón. Basándose en la excelente regulación de temperatura se aplican

especialmente para reposo y refinado. La toma del metal se realiza a través de un orificio de sangría.

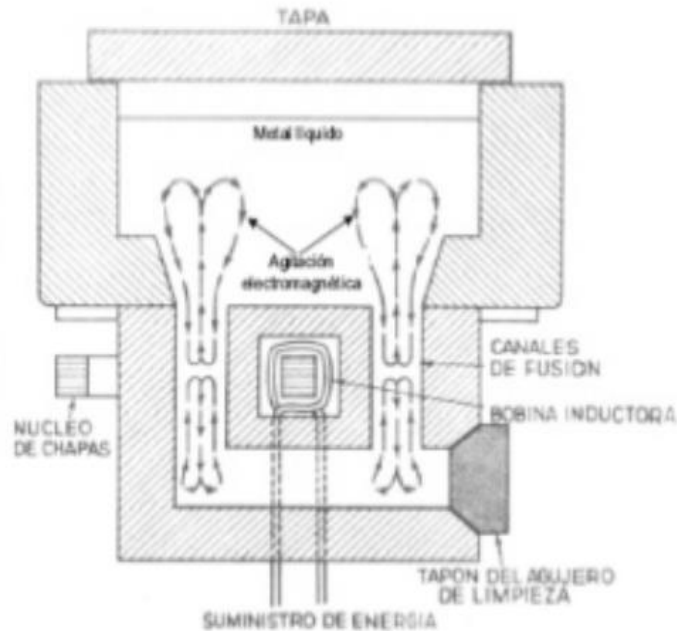


Imagen 8.6: Horno de inducción con canal

### 8.5.2 Hornos de inducción sin canal

En contraposición al horno de canal, en aquellos tipos que no lo llevan la bobina rodea el recinto del horno, generalmente en toda su altura. El horno se puede hacer funcionar con carga sólida. Los hornos sin canal se utilizan preferentemente para fundir. En los últimos tiempos se utilizan también como hornos de conservación del calor (horno de bobina corta). El horno se limpia muy fácilmente, debido a la forma sencilla y lisa del crisol. El revestimiento del horno es muy simple y rápido de realizar. Este tipo de horno se adapta sin dificultad para sistemas de trabajo intermitentes en la industria; se cambia fácilmente de aleación. En el aspecto metalúrgico estos hornos trabajan bien, pues la forma en que funcionan y la poca superficie del baño evitan la presencia de impurezas. El movimiento regulable del baño que se produce es una buena condición para la adición de componentes de aleación, evitando la separación de los constituyentes a consecuencia de la diferencia de densidades (segregación).

## 8.6 Horno Nabertherm de crisol basculante y calentamiento por gas con evacuación lateral de gases

Para nuestro proceso de fundición de aleaciones de aluminio vamos a utilizar un horno de crisol basculante KB de la empresa Nabertherm modelo KB 400/12.



Imagen 8.7: Horno de crisol basculante KB 400/12

Nabertherm desarrolla y produce desde hace más de 60 años hornos industriales para una gran variedad de campos de aplicación. Su elevado porcentaje de fabricación propia y el amplio programa de hornos estándar garantizan que los tiempos de entrega de los hornos sea corto. La tecnología innovadora de automatización, control y regulación de Nabertherm hace posible un control completo, así como una supervisión y documentación de los procesos.

Los hornos con calentamiento por gas son idóneos para el servicio de fundición previa, especialmente cuando cuentan con evacuación de gases de escape a través del borde del crisol. Cuando se persigue una alta calidad de la masa fundida, es aconsejable usar una evacuación lateral de los gases de escape. No obstante, la calidad de la masa fundida aumenta en proporción inversa a la eficiencia energética, porque el horno de fusión con calentamiento por combustible y evacuación lateral de los gases de escape consume un 20-25 % más de energía que un horno con canalización por gases a través del borde del crisol.

Los hornos de crisol basculante con calentamiento por gas de la serie KB se distinguen por su elevada potencia de fusión por la que son idóneos para esta tarea.

El uso de materiales aislantes de gran calidad resulta de gran provecho para un consumo de energía muy bajo. El quemador de dos fases se puede configurar tanto para su uso con gas como con aceite. Estos modelos, que incluyen una evacuación de los gases de escape a través del borde del crisol, alcanzan tasas de fusión muy elevadas con una óptima eficiencia energética.

Principales características de los hornos KB 400/12 que lo hacen idóneo para nuestro proceso de fundición:

- Alcanzan una temperatura máxima de 1200°C, temperatura apropiada para la fundición de aleaciones de aluminio.
- Tienen regulación de la potencia en dos fases: carga grande para servicio de fusión y carga pequeña para servicio de mantenimiento de calor con conmutación automática.
- Presenta un innovador sistema de quemadores con óptima aplicación de la llama lo que produce alto grado de efectividad por servicio de sobrepresión para reducir el aire falso.

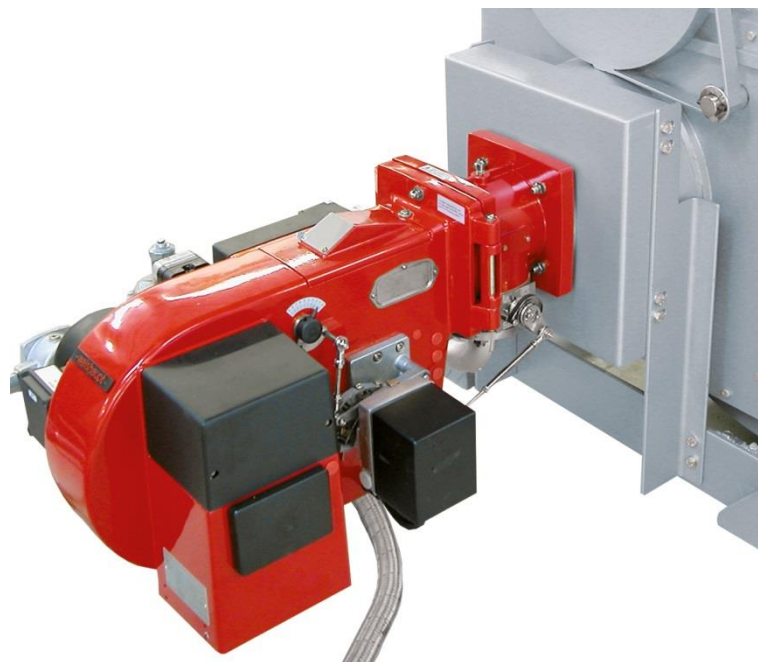


Imagen 8.8: Quemador de dos fases fijado en el bastidor del horno

- Tramo de gas consistente en regulador de presión, filtro de gas, manómetro y válvulas magnéticas.
- Técnica de combustión con construcción que facilita su uso, por ejemplo: soplete extraíble hacia atrás con el quemador basculado.

- Técnica de combustión confeccionada en base a la norma DIN 746, parte 2
- Diseñado para su uso con gas natural o gas natural licuado (GNL) con 8,8 kWh/m<sup>3</sup> y 25,9 kWh/m<sup>3</sup> respectivamente (la presión previa requerida del gas es de 50 mbar)
- Permite la posibilidad de uso con otros combustibles y/u otra presión previa del gas.
- Crisol de grafito arcilloso de prensado isostático
- Dispositivo basculante electro-hidráulico con líquido hidráulico HFC difícilmente inflamable.



Imagen 8.9: Grupo hidráulico para la basculación del horno

- Colado seguro, uniforme y preciso gracias al punto óptimo de giro del horno y manejo de corredera manual.
- Salida de emergencia para desviar la masa fundida de forma segura en caso de rotura del crisol.
- Selector-regulador de temperatura para el interior del horno como protección contra sobrettemperatura. El regulador desconecta el calentamiento al alcanzarse una temperatura límite ajustada y la vuelve a conectar cuando la temperatura cae por debajo de este valor límite.
- Evacuación lateral de los gases de escape para el modo de fusión y mantenimiento de calor. Este sistema ofrece
  - La ventaja de una mayor calidad de la masa fundida debido a un menor reborde y a una reducción de la absorción de hidrógeno en la masa fundida.



- Gracias a la tapa basculante, ofrece una reducción del consumo de energía de hasta un 50% en el modo de mantenimiento del calor con la tapa cerrada.
- Baja exposición del operario a la carga térmica en la parte superior del crisol.
- Plataforma de trabajo para facilitar la carga
- Supervisión de la rotura del crisol con señales ópticas y acústicas



Imagen 8.10: Plataforma de trabajo y sistema de basculación

**Características técnicas:**

**Modelo KB 400/12:**

- Temperatura máxima: 1200 °C
- Crisol: TBN1100
- Capacidad: 1000 kg de aluminio
- Potencia de fusión: 450 kg Al/h
- Consumo de mantenimiento de calor con la tapa cerrada: 19 KWh/h
- Consumo durante la fusión: 1,3-1,5 KWh/kg
- Potencia del quemador: 450 KW
- Dimensiones externas:
  - Ancho: 2650 mm
  - Profundidad: 2080 mm
  - Altura: 2080 mm
- Peso: 3300 kg

Modelo	Tmáx °C	Crisol	Capacidad		Potencia de fusión <sup>3</sup>		Consumo mantenimiento calor tapa cerrada KWh/h	Consumo fusión KWh/kg	Potencia quemador kW	Dimensiones externas en mm			Peso en kg
			Kg Al	Kg Cu	Kg Al/h	Kg Cu/h				Anch.	Prof.	Alt.	
								AL					
KB 80/12	1200	TP 287	180	550	220 <sup>1</sup>	-	10	1,3 - 1,5	300	2030	1700	1510	1800
KB 150/12	1200	TP 412	330	970	240 <sup>1</sup>	-	11	1,3 - 1,5	300	2140	1900	1710	2200
KB 180/12	1200	TP 412 H	370	1200	260 <sup>1</sup>	-	13	1,3 - 1,5	300	2140	1900	1810	2400
KB 240/12	1200	TP 587	570	-	400 <sup>1</sup>	-	15	1,3 - 1,5	390	2650	2030	1810	2600
KB 360/12	1200	TBN 800	750	-	420 <sup>1</sup>	-	17	1,3 - 1,5	450	2650	2080	1910	2900
KB 400/12	1200	TBN 1100	1000	-	450 <sup>1</sup>	-	19	1,3 - 1,5	450	2650	2080	2080	3300
KB 40/14	1400	R 400/TP 982	120	400	-	330 <sup>2</sup>	22	1,0 - 1,3	400	2070	1700	1770	2300
KB 60/14	1400	R 500	150	500	-	360 <sup>2</sup>	25	1,0 - 1,3	400	2070	1900	1810	2500
KB 80/14	1400	R 600	180	600	-	380 <sup>2</sup>	25	1,0 - 1,3	400	2070	1900	1910	2650

<sup>1</sup>A 700 °C <sup>2</sup>A 1000 °C

<sup>3</sup>Los datos de potencia de fusión son valores máximos. En la práctica, se alcanza aprox. el 80 %.

Imagen 8.11: Tabla de propiedades de los hornos de crisol Nabertherm

### Conclusiones:

Principalmente se han elegido los hornos de crisol de la marca Nabertherm porque se adaptan perfectamente a las solicitudes de nuestro proceso de fundición de aleaciones de aluminio. En cuanto a sus dimensiones, cabe destacar su ergonomía, ya que ocupan un espacio reducido en comparación a sus homólogos de otras marcas.

Otro de los motivos de su elección, es que la marca apuesta por la eficiencia energética, y se ve en las opciones que ofrecen para incorporar a sus hornos como la de la regulación de la potencia en dos fases o la evacuación lateral de los gases de escape, que permite un ahorro de energía de hasta un 50%, además de ofrecer con este sistema mayor protección al operario reduciendo, en gran medida, los posibles accidentes que puedan surgir en la manipulación de los hornos.

En medidas de seguridad destacan la supervisión de rotura del crisol con señales ópticas y acústicas y la salida de emergencia para la masa fundida en caso de rotura de éste.

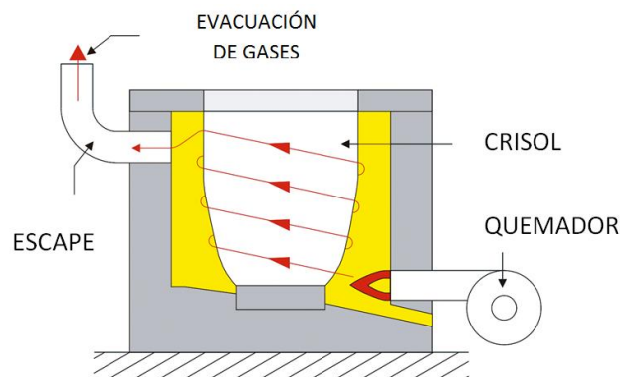


Imagen 8.12: Esquema de la evacuación lateral de los gases de escape

En resumen, podemos establecer que sus principales ventajas son:

- Gran eficiencia energética.
- Innovador sistema de quemadores.
- Posibilidad de uso con gas natural o GNL.
- Interfaz con el usuario concisa para que la manipulación del horno sea sencilla.
- Buenos sistemas de seguridad.
- Gran ergonomía.

## 9 INSTALACIONES DE MOLDEO. MOLDEO EN ARENA

El moldeo en arena será el método utilizado para la obtención de las piezas requeridas en el proceso de fundición objeto del presente proyecto.

Uno de los aspectos más importantes en los procesos de fundición es el diseño del molde ya que será el responsable directo de la geometría y de las propiedades que se obtengan en la pieza fundida.

El molde debe diseñarse ligeramente sobredimensionado con objeto de permitir que, después de las contracciones que experimenta el metal durante la solidificación y enfriamiento, se obtengan las dimensiones especificadas en la pieza. Los moldes se pueden fabricar empleando distintos materiales entre los que cabe señalar: arena, yeso, cerámica y metal. Los procesos de fundición se clasifican frecuentemente en procesos de molde desechable y de molde permanente, según se destruya éste tras cada proceso de fundición o no, respectivamente.

En primer lugar, se procede a calentar el metal a una temperatura por encima de su temperatura de fusión para transformarlo completamente al estado líquido, adquiriendo a la vez, una fluidez adecuada durante el proceso de colada. Posteriormente, se vierte en el molde.

En un molde abierto, el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado, el sistema de vaciado permite el flujo del metal fundido hasta la cavidad del molde. El molde cerrado es la forma más importante de producción en operaciones de fundición.

Los procesos de fundición se dividen en dos grandes categorías de acuerdo al tipo de molde que se use: fundición con molde desechable y fundición con molde permanente.

- En la fundición con molde desechable, el molde debe ser destruido para extraer la pieza. Estos moldes se fabrican, generalmente, empleando arena, yeso o materiales similares que mantienen su forma usando aglomerantes de varias clases. La fundición en arena es el proceso más importante de los procesos de molde desechable. Estos procesos se subdividen a su vez en procesos con modelo permanente (por ejemplo, moldeo en arena) y procesos con modelo perdido (por ejemplo, fundición a la cera perdida).

- Un molde permanente puede usarse muchas veces para producir piezas fundidas. Está hecho generalmente de metal, o algunas veces de un refractario cerámico, que puede soportar las altas temperaturas de las operaciones de fundición. En este caso, el molde permanente consta de dos o más secciones que pueden abrirse para permitir la extracción de la pieza terminada. La fundición en coquilla es el proceso más conocido de este grupo. Lógicamente, en el caso de colar metales, la temperatura de colado deberá ser inferior a la del metal del molde.

## **9.1 Campos de aplicación de los distintos procedimientos de moldeo**

La delimitación de los campos de aplicación de los distintos procedimientos de moldeo, constituye un problema tecnológico de muy difícil solución, debido a la gran cantidad de condicionantes existentes a nivel industrial, y a lo complejo de los parámetros puestos en juego en los procesos de fundición. En el presente proyecto se va a abordar el estudio de los procesos de conformado mediante moldeo en arena verde.

### *9.1.1 Principales procesos de fundición de metales*

Los dividiremos entre los que emplean moldes desechables y los que emplean molde permanente

Procesos de fundición que emplean moldes desechables:

- Modelo permanente
  - Moldeo en arena.
  - Moldeo en cáscara.
  - Moldeo al vacío.
- Modelo no permanente
  - Proceso con poliestireno expandido.
  - Fundición por revestimiento.
  - Moldes para fundición de yeso y de cerámica.

Procesos de fundición en molde permanente:

- Procesos básicos en molde permanente y semipermanente.
- Fundición hueca.
- Fundición a baja presión.
- Fundición con molde permanente al vacío.
- Fundición en coquilla o a alta presión.
- Fundición centrífuga, semicentrífuga y centrifugada.

## 9.2 Moldeo en arena: proceso productivo

El moldeo o fundición en arena es el proceso más utilizado en la industria. La producción por medio de este método representa la mayor parte del tonelaje total de fundición a nivel mundial.

Casi todas las aleaciones pueden fundirse en arena, de hecho, es uno de los procesos que pueden usarse para metales con altas temperaturas de fusión.

Su versatilidad permite fundir piezas muy pequeñas o de grandes dimensiones y en cantidades de producción que van desde una pieza a series de millones de unidades.

El moldeo en arena consiste básicamente en vaciar un metal fundido en un molde de arena, dejarlo enfriar y romper después el molde para enfriar la pieza.

Una vez solidificada, y sin necesidad de llegar a enfriarse hasta la temperatura ambiente, la pieza pasa por un proceso de limpieza e inspección, requiriendo incluso, en ocasiones, de un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades metalúrgicas.

La cavidad del molde de arena se conforma cubriendo con arena a un modelo o patrón que, después del prensado de dicha arena, se extrae para separar el molde en dos mitades.

El molde contiene el sistema de vaciado y de mazarota y, si la pieza tiene cavidades internas debe incluirse también el noyo o macho. Como el molde se destruye para extraer la pieza, se tiene que hacer un nuevo molde de arena y un nuevo macho por cada pieza a producir.

Existen básicamente dos procesos: el moldeo en arena verde, donde los moldes se fabrican a base de arena compactada, arcilla y agua, manteniendo éstos un determinado porcentaje de humedad hasta el momento de la colada, y el moldeo en arena seca, en el cual la arcilla y el agua se sustituyen por aglomerantes orgánicos que deben ser estufados a una temperatura comprendida entre 200 y 300 °C para lograr su polimerización y solidificación.

Si bien el primero de los procesos resulta más dificultoso para el fabricante, como consecuencia de la aparición de gases (vapor de agua) durante el proceso de colada, es el más ampliamente utilizado debido a su muy bajo coste y a la alta velocidad de las máquinas de moldeo existentes en el mercado.

En esta breve descripción se puede observar que la fundición en arena no solamente incluye operaciones de fundición, sino también la propia fabricación de modelos, moldes, machos, así como operaciones de limpieza, desbardado e inspección.

En principio, no existen limitaciones en cuanto al tamaño o configuración de las piezas que se pueden fabricar mediante procesos de fundición. Las limitaciones surgen principalmente de las propiedades del material, de las temperaturas de fusión, de las propiedades mecánicas, químicas y térmicas del material del molde y de las características del mismo.

La Imagen 9.1 muestra esquemáticamente las principales operaciones o etapas en la producción de componentes a partir del estado líquido. Con base en las especificaciones del componente deseado (configuración, tolerancias, tipo de material, etc.) se puede elegir la materia prima; ésta se funde y la composición final del caldo se controla y; si es necesario, se corrige.

El material de trabajo fundido y refinado y refinado se vierte o se inyecta, posteriormente, dentro del molde. La configuración obtenida se estabiliza por solidificación, y después de ésta, el componente se extrae del molde y finalmente, el componente se limpia e inspecciona. Si es aprobado, entonces puede efectuarse el mecanizado, el tratamiento térmico y otros procesos de acabado.

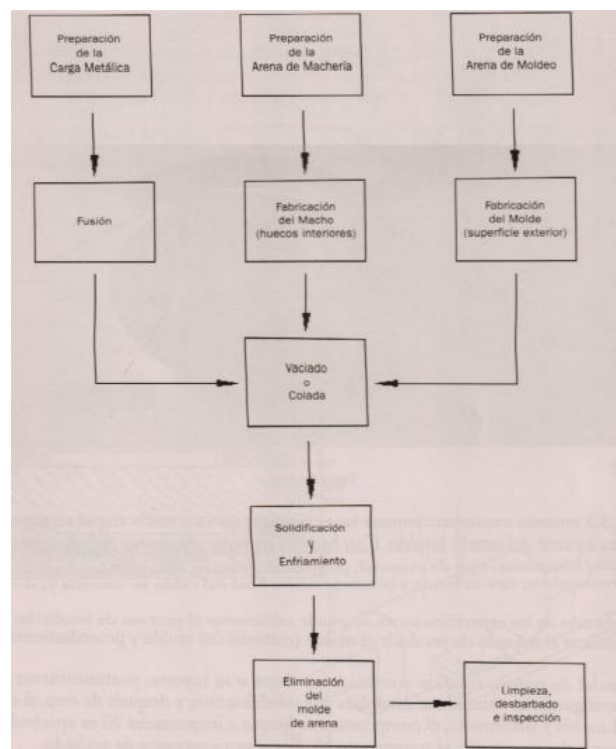


Imagen 9.1: Pasos en la secuencia de producción de la fundición mediante moldeo en arena.

## 9.3 Preparación y regeneración de la arena de moldeo

### 9.3.1 *Propiedades exigidas a una arena de moldear. Componentes de una arena de moldeo*

Las características básicas que debe reunir una arena de moldeo que pueda considerarse apta para tal actividad son las siguientes:

- En primer lugar, debe tener una distribución de tamaños (granulometría) adecuada para permitir la evacuación de los gases y proporcionar, además, una superficie de pieza lo menos rugosa posible.
- Es necesario cierto grado de plasticidad para adaptarse al modelo y reproducir con fidelidad sus detalles.
- Ha de poseer una cohesión suficiente para que al desaparecer el esfuerzo necesario para obtener la forma del molde, conserve las dimensiones del modelo.
- Debe ser tenaz para que el molde pueda soportar pequeñas deformaciones sin desmoronarse.
- Debe tener aptitud al moldeo para transmitir fácilmente el trabajo de la máquina de moldeo a la arena y obtener un moldeo uniforme.
- En el momento de la colada el molde debe resistir los efectos de la temperatura, el ataque químico y la erosión del flujo de metal.
- Tras la solidificación del metal, la destrucción del molde, con ayuda de los medios existentes en el desmoldeo, ha de ser fácil.
- Debe ser químicamente estable y no reaccionar con el material de colada.
- Finalmente, el material debe quedar en un estado apropiado para que sea factible, con pequeñas adiciones, la recuperación de las propiedades iniciales para comenzar un nuevo ciclo.

En cuanto a los componentes que conforman el sistema denominado “arena de moldeo”, podemos agruparlos básicamente en los cinco siguientes:

- La arena propiamente dicha
- El aglomerante arcilloso (bentonita)
- El agua
- Los aditivos carbonosos
- El trabajo necesario para convertir la mezcla en un sistema homogéneo



### 9.3.2 Arenas

El mayor componente de una arena de moldeo es la arena propiamente dicha, material granular que se clasifica según su tamaño y forma.

Los granos de arena no son de tamaño único, sino que están repartidos, según una distribución normal, en tres o cuatro tamaños distintos. Esta distribución se determina habitualmente por un ensayo de tamizado. El rechazo de cada tamiz se multiplica por un factor que depende de la apertura de malla. La suma de todos los productos, dividido por el peso inicial, se denomina Índice de finura AFS, el cual indica el tamaño medio de los granos de arena. Sin embargo, dos arenas con un mismo índice de finura, pueden tener distribuciones granulométricas distintas.

Los granos de arena pueden ser redondos, angulares y compuestos. La forma de los granos de arena se observa mediante una lupa, y se puede determinar mediante el coeficiente de angulosidad, relación entre la superficie específica real y la que correspondería a granos esféricos del mismo tamaño. La presencia de granos porosos o con huecos nos viene indicada por la capacidad de absorción de agua.

Las características más importantes para estudiar una arena son las siguientes:

- Granulometría.
- Permeabilidad.
- Refractariedad.
- Acabado superficial.
- Dilatación.
- Materiales impalpables. Arcilla AFS.
- Resistencia mecánica.

#### 9.3.2.1 Granulometría:

Expresa el porcentaje de los granos de cada tamaño en la arena. Para determinarla, se hace pasar por un juego de tamices, de abertura de malla decreciente, según la Tabla 9.1, el residuo de sílice seca procedente de la determinación de la arcilla AFS. Se pesan los residuos en cada tamiz y se calculan los porcentajes con relación al peso de la muestra original seca, arcilla+sílice.

Con estos valores se puede obtener:

- Índice de finura AFS, expresado en una cifra convencional que es proporcional al inverso del diámetro del grano medio. Se calcula multiplicando los porcentajes de

arena retenida en cada tamiz por el factor correspondiente. Se suman los productos obtenidos y, la suma, se divide por el porcentaje total de granos de arena.

Atendiendo a su índice de finura, las arenas se clasifican en los siguientes intervalos: 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70; 70-80; 80-90; 90-100; 100-120; 120-140; 140-200; 200-270.

- Curva de frecuencia del tamaño de los granos: se obtiene tomando en abscisas el número del tamiz, o el logaritmo de su abertura expresada en  $\mu\text{m}$ , y, en ordenadas, el porcentaje de arena retenido en cada tamiz.
- Curva aditiva o acumulativa: se obtiene tomando las mismas abscisas que en la curva de frecuencia del tamaño de los granos y, en ordenadas, los porcentajes acumulados, es decir, sumando al porcentaje de un tamiz el de los anteriores; si la pendiente de esta curva es elevada, es señal de que los granos de arena están distribuidos de forma conveniente (granos acumulados en tres tamices consecutivos). Lo contrario ocurre en las de poca pendiente.

Así, se ha podido comprobar que, cuando la arena se usa en coladas sucesivas, la pendiente va disminuyendo, y la curva se desplaza hacia la derecha, debido a que los granos se rompen por el calor que desprende el metal en el molde y disminuyen de tamaño.

Si se desea prolongar la curva acumulativa más allá del tamaño de los granos que quedan en el fondo, es preciso determinar los tamaños de las partículas de arcilla y otros finos, por métodos hidrotérmicos de sedimentación.

Según el diámetro de los granos, las arenas se clasifican en:

- Arena fina, de 20 a 50  $\mu\text{m}$ .
- Arena muy fina, de 50 a 100  $\mu\text{m}$ .
- Arena media, de 250 a 500  $\mu\text{m}$ .
- Arena gruesa, de 500 a 1000  $\mu\text{m}$ .
- Arena muy gruesa, de 1000 a 3000  $\mu\text{m}$ .

AFS			Tamiz DIN		
Nº	Apertura de la malla (mm)	Factor para índice de finura	Nº	Apertura de la malla (mm)	Factor para índice de finura
6	3,360	3	1	3,000	3
12	1,680	5	2	1,500	6
20	0,840	10	3	1,000	9
30	0,590	20	4	0,600	17
40	0,420	30	5	0,400	31
50	0,297	40	6	0,300	41
70	0,210	50	7	0,200	52
100	0,149	70	8	0,150	71
140	0,105	100	9	0,100	103
200	0,074	140	10	0,075	146
270	0,053	200	11	0,060	186
Fondo	-	300	Fondo	-	271

Tabla 9.1 Aberturas y factores de los tamices AFS y DIN.

### 9.3.2.2 Permeabilidad

Es una de las propiedades más directamente relacionadas con el tamaño de los granos de la arena. Cuanto más fina sea la arena, mayor será la dificultad al paso de los gases generados durante la colada (vapor de agua, volatilización de resinas, el propio aire encerrado), lo cual puede originar bolsas de gases que se traducirán en defectos en la pieza fundida.

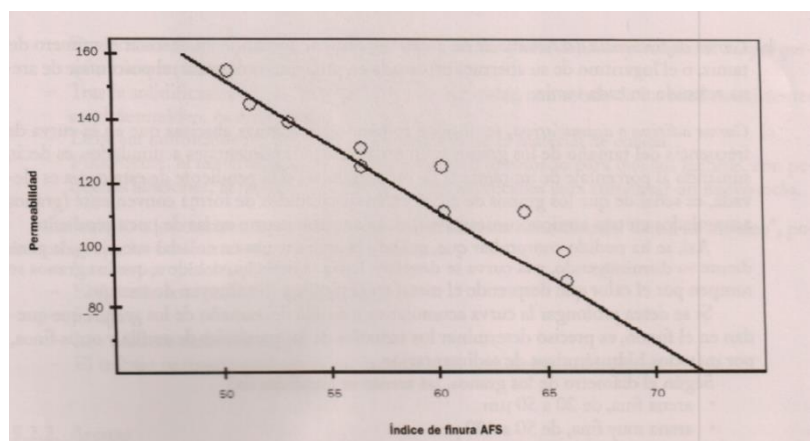


Imagen 9.2: Relación entre el índice de finura AFS y la permeabilidad

### 9.3.2.3 Refractariedad

Para evitar defectos de vitrificación y penetración, la arena debe tener un punto de fusión o ablandamiento más alto que la temperatura de colada del metal.

El cuarzo, constituyente principal de las arenas silíceas, funde a 1700 °C, pero si la arena contiene mica o feldespato, el punto de fusión es más bajo. La presencia de carbonato cálcico o sódico puede disminuir la refractariedad de la arena en el circuito, debido que a los 800 °C el carbonato puede reaccionar con la sílice, dando silicatos de bajo punto de fusión.

#### **9.3.2.4 Acabado superficial**

Cuanto más fina es una arena, mejor es el acabado superficial. En este sentido puede decirse que cuanto más permeable es una arena, más basta es la superficie de la pieza.

#### **9.3.2.5 Dilatación**

Los granos de arena son de  $\alpha$ -cuarzo. Cuando éste se calienta por encima de 573 °C, se transforma en  $\beta$ -cuarzo, con una dilatación lineal del 1,35%. Esta expansión, si no puede ser compensada, provoca los defectos típicos de dilatación: darts, colas de rata, etc.

#### **9.3.2.6 Materiales impalpables. Arcilla AFS**

Las materias impalpables o arcilla AFS son todas aquellas partículas de la arena cuyo diámetro medio es inferior a 20  $\mu\text{m}$ .

El contenido en arcilla AFS se determina agitando fuertemente durante 10 min, 20 gramos de arena seca, mezclados con solución hirviente de sosa cáustica o de pirofosfato sódico, para separar los granos de sílice de la arcilla que los envuelve. Se deja en reposo unos 5 min, y, con un sifón normalizado, se decanta la solución con las partículas de arcilla en suspensión. Se repite la operación con agua pura hasta que el líquido esté completamente claro. Se secan los granos de sílice que quedan en el fondo, se pesan y, por diferencia, se calcula el porcentaje de arcilla AFS. El método es erróneo si existen sustancias solubles.

Por su contenido en arcilla, las arenas se clasifican en:

- Magras, si es inferior al 10%
- Semigrasas, si oscila entre 10 y 20%
- Grasas, entre 20 y 30%
- Muy grasas, si es superior al 30%

#### **9.3.2.7 Resistencia mecánica**

Las arenas de moldeo, después de ser atacadas, tienen que resistir, a expensas de su propia cohesión, los esfuerzos que se originan durante la manipulación de los moldes, y los que se desarrollan en la colada, por la presión del metal fundido. Esta resistencia, o

cohesión, se determina sobre probetas normalizadas, de arena verde o seca a distintas temperaturas, sometidas, en máquinas de ensayo, a esfuerzos de:

- Tracción: la probeta se somete, mediante mordazas adecuadas, en la máquina de ensayos mecánicos, a un esfuerzo de tracción progresivamente creciente, hasta la rotura.

La tensión de rotura es  $\sigma_r = F_{m\acute{a}x}/S$  [MPa] donde S es la sección mínima de la probeta ( $5 \text{ cm}^2$ ).

- Compresión/Deformabilidad: la probeta, análoga a la de tracción, se coloca entre dos mordazas planas y se le aplica una carga, progresivamente creciente, hasta que se desmorone.

La resistencia unitaria es  $\sigma_{co} = F_{m\acute{a}x}/S$  [MPa]

El ensayo puede efectuarse a la temperatura ambiente y a temperaturas de hasta  $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ , con máquinas especiales. La deformabilidad viene dada por la disminución de longitud que experimenta la probeta hasta la rotura. Se expresa en tanto por ciento y se mide con un reloj comparador.

- Cizalladura: la probeta, análoga a la de tracción, se coloca entre dos mordazas escalonadas que producen su rotura por corte en sentido longitudinal del eje de la probeta. La tensión tangencial de rotura es:

$$\sigma_t = \frac{6F_{m\acute{a}x}}{4a^3}$$

Donde  $F_{m\acute{a}x}$  es la fuerza de rotura, L la distancia entre apoyos (150 mm) y a la longitud del lado de la sección de la probeta (22,4 mm).

La resistencia de una arena de moldeo depende principalmente de los porcentajes de aglomerante y de agua. Sin embargo, para un mismo contenido de bentonita, cuanto más fina es la arena, mayor es la resistencia, aunque una mezcla de arena gruesa y otra fina tenga una resistencia mayor que la de cada arena por separado. La forma de los granos de arena también ejerce influencia en la resistencia. La arena de grano redondeado permite que la capa de aglomerante tenga más dureza, con lo que la resistencia aumenta.

El contenido de agua necesario para moldear es función del tipo y porcentaje de aglomerante. No obstante, si la arena es de granos compuestos, debido a la porosidad, estos granos absorben agua, y así aumenta el contenido de agua necesario, lo cual puede producir defectos de sopladuras, darts, etc.

### 9.3.3 Aglomerantes arcillosos

La arena, por sí sola, no tiene cohesión para conservar una determinada forma una vez separada del modelo. Por ello, se utilizan los aglomerantes, que mantienen unidos entre sí los granos de arena permitiendo que la forma del molde sea una reproducción fiel del modelo.

La mayor parte de las arenas de moldeo están impregnadas de arcilla. Las arenas naturales contienen ya el aglutinante, que, según el origen del yacimiento, suele estar constituido por mezclas de caolinita, illita y glauconita. En las arenas sintéticas, el aglomerante suele ser bentonita.

#### 9.3.3.1 Bentonitas

Son arcillas de origen volcánico. Su componente principal es la montmorillonita y su formación parece haber tenido lugar durante erupciones volcánicas en condiciones apropiadas de temperatura, presión y de formación de vapor de agua, por lo que se dice que son arcillas de origen hidrotermal.

Estructuralmente se componen de capas de sílice y de alúmina, englobando en sus enlaces átomos de oxígeno.

Existen de dos naturalezas: la cálcica y la sódica. La resistencia mecánica a humedades elevadas en la bentonita sódica es mayor que en la cálcica, lo cual se traduce en una pérdida más lenta de sus propiedades, a medida que aumenta el contenido de agua y por tanto, un menor riesgo de defectos de dilatación.

Por el contrario, la refractariedad de las bentonitas sódicas es menor, al igual que la facilidad de moldeo, es decir, una arena aglomerada con bentonita sódica presenta una fluidez menor. En el desmoldeo presenta menos dificultades una arena cálcica que una sódica.

Uno de los mayores problemas que presenta la bentonita es que puede ser desactivada en el circuito de arena de moldeo por el gas carbónico procedente de la descomposición del negro mineral.

El agua forma parte de la estructura de las bentonitas hasta el punto de que, según la cantidad de agua presente en la bentonita, tendremos una roca, una masa plástica o un gel.

En una arena de moldeo el agua puede presentarse de varias formas: la capa monomolecular de agua, unida a las laminillas, es de naturaleza distinta al agua líquida. Su presencia es imprescindible para que la bentonita pueda desarrollar sus propiedades

plásticas. Cuando por el calor se elimina esta capa, la bentonita pierde su acción aglutinante y se transforma en arcilla inactiva.

La presencia de otras capas de agua entre las laminillas permite el hinchamiento de la estructura, el deslizamiento de unas laminillas sobre otras y el desarrollo de todas las propiedades plásticas.

Si la mezcla no es homogénea, puede haber agua libre que no esté bien repartida entre las laminillas, sino formando aglomerados de granos de arena o grumos de bentonita. Ésta, aparte de producir dificultades en el desmoldeo, se evapora a menor temperatura que el agua correctamente ligada a la bentonita y, por tanto, produce más gases en el momento de colada, con el consiguiente riesgo de aparición de sopladuras en las piezas.

#### *9.3.4 Aditivos carbonosos*

Los moldes para colar la fundición no suelen estar preparados solamente con arena, arcilla y agua, sino que deben adicionarse uno o varios aditivos carbonosos.

Las razones fundamentales de su utilización son: mejorar el acabado superficial, prevenir los efectos de expansión y mejorar las propiedades aglomerantes de la arcilla.

El mismo tipo de aditivo puede ser utilizado para mejorar el acabado superficial y para evitar los defectos de expansión, pero en condiciones de utilización más severas puede ser necesario agregar otro material. Así, el negro mineral es utilizado, principalmente, para mejorar la superficie y su efecto de antidilatación es notable. Sin embargo, en algunos casos es necesario añadir harina de madera para evitar la formación de darts y colas de rata, especialmente cuando el riesgo de aparición de estos defectos es marcado.

Todos los materiales que mejoran el aspecto superficial son reductores, como el negro mineral, la brea, los aceites minerales y los derivados del poliestireno.

Los materiales cuyo efecto principal es prevenir los defectos de dilatación suelen ser fibrosos, como la harina de madera, la turba, etc.

Al parecer, el mecanismo de protección del grano actúa según el esquema siguiente:

- A unos 100 °C comienza el desprendimiento de gas, lentamente al principio y rápidamente cuando se alcanza la temperatura de reblandecimiento del negro mineral.
- Durante este reblandecimiento tiene lugar la dilatación del carbón que penetra en los espacios vacíos y se coquiza, limitando la penetración del metal.

- Se forma una capa de carbono brillante que impide la reacción del metal con el molde.

Cuanto mayor sea la producción de carbono brillante, mejor será la protección y, por este motivo, se utilizan actualmente aditivos como los aceites minerales, que producen del 40 al 60% de carbono brillante, frente al negro mineral, que produce sólo el 10%. En consecuencia, los porcentajes de adición son muy inferiores.

Debido a que los aditivos aumentan las necesidades de agua de la arena, cuanto menor sea la adición, menos agua deberá contener el sistema, con lo que el riesgo de formación de sopladuras disminuye utilizando poliestireno y aceites minerales.

### *9.3.5 Trabajo de preparación de la arena de moldeo*

Para que los ingredientes de una arena de moldeo formen un conjunto homogéneo, es necesario suministrar trabajo, que se invierte en mezclar los componentes de la arena para conseguir que cada grano de arena esté recubierto por una capa de bentonita, mezclada con el agua necesaria para desarrollar sus propiedades plásticas.

Este trabajo de preparación comienza en el desmoldeo, al separar las piezas de la arena, y finaliza cuando la arena preparada es aireada antes de ser utilizada para moldear, si bien la acción más importante tiene lugar en el mezclador.

En éste, tienen lugar dos acciones primordiales:

- Mezclar uniformemente la arena, la bentonita, el agua y los aditivos utilizados.
- Malaxar la arcilla con el agua para que se desarrollen sus propiedades aglomerantes.

Para obtener una adecuada preparación de la arena, es necesario suministrar una determinada cantidad de energía durante cierto tiempo.

Normalmente, la potencia de los mezcladores viene limitada por razones económicas en la adquisición del mezclador, y como, por otra parte, se tiende a preparar la arena en el menor tiempo, el resultado es una preparación insuficiente, que debe paliarse con una mayor cantidad de aglomerante y de aditivos en la arena.

Se denomina bentonita activa a la cantidad de bentonita presente en la arena de moldeo capaz de desarrollar propiedades aglomerantes, y bentonita efectiva a la cantidad de bentonita que contiene realmente el agua necesaria entre sus laminillas y está envolviendo el grano de arena. Las propiedades de la arena de moldeo dependerán en mayor medida de la bentonita efectiva que de la activa.



La eficiencia del mezclador será mayor cuanto mayor sea la bentonita efectiva que proporcione al sistema. Cuando la potencia de mezclado y el tiempo de mezclado son insuficientes para alcanzar el nivel necesario de bentonita efectiva, se debe añadir más bentonita al sistema. Si bien no existe un método riguroso para conocer la eficacia de un mezclador, se acepta que esté relacionada con el área de la curva potencia-tiempo.

El orden de las adiciones también ejerce influencia en el grado de preparación. Aunque aparentemente parece que la mezcla de los componentes en seco sea más eficiente, debido, a la diferencia de tamaños y de densidades se produce una segregación. Además, la bentonita no desarrolla sus propiedades aglutinantes hasta que está húmeda.

Por ello, en primer lugar se realiza la mezcla de arena con el agua y a continuación, la adición de la bentonita y los aditivos. De esta manera, se produce una mezcla más homogénea, con el aumento de la curva potencia-tiempo.

#### **9.3.5.1 Ciclo para la recuperación de la arena de moldeo**

Tras la colada y el desmoldeo, la arena no está en condiciones de ser utilizada de nuevo. Por una parte, ha perdido humedad, se ha destruido parte del aglomerante y parte de los aditivos y arena acompañan a las piezas tras el desmoldeo de éstas. Por otro lado, la arena de retorno ha aumentado su contenido de finos, ha incorporado partículas metálicas y trozos de macho y ha formado terrones.

La regeneración de la arena de moldeo consiste en eliminar todas las impurezas y restaurar las características iniciales añadiendo pequeñas cantidades de arena, aglomerantes, aditivos y agua, así como también suministrar la energía necesaria al sistema.

El ciclo completo de regeneración de la arena consta de las siguientes etapas:

- Desmoldeo.
- Separación de partículas metálicas y desintegración de terrones.
- Tamizado.
- Enfriamiento

**Desmoldeo:** Se denomina desmoldeo a la operación en la que la pieza recién fundida se separa su molde de arena.

Es a partir de este momento en el que comienzan las operaciones de recuperación y regeneración de la arena quemada (reciclado de la arena) para reconvertirse nuevamente en arena verde apta para la fabricación de moldes.

**Separación de partículas metálicas y desintegración de terrones:** Mediante un electroimán (denominado overband) situado sobre la cinta extractora de arena, se separan las partículas metálicas que están en la parte superior de la vena de arena. Las partículas que están en la parte inferior de la vena se separan con un tambor magnético situado a continuación del overband.

A continuación, es necesario romper los terrones, operación que normalmente se efectúa al caer la arena sobre un desintegrador que gira a una velocidad periférica determinada y que proyecta la arena sobre unas barras móviles, rompiéndose los terrones de arena, pero evitando romper los trozos de macho que se eliminan posteriormente. Esta operación suele ir acompañada de una aspiración de polvo para eliminar parte de los finos que contiene la arena.

**Tamizado:** El tamizado eficiente de la arena de retorno es una parte esencial del proceso de regeneración de la arena de moldeo. La introducción del tamiz poligonal ha permitido disponer de las siguientes ventajas:

- Tamizado homogéneo de la arena de retorno.
- Se eliminan los bolos y terrones de gran dimensión y dureza.
- Se eliminan los trozos de macho
- Tiene capacidad para iniciar el proceso de enfriamiento de la arena de retorno (baja la temperatura aproximadamente unos 15 °C)

**Enfriamiento:** La tendencia actual de reducir el volumen de arena en circulación, obliga a utilizar varias veces al día la arena, por lo cual es imperativo el enfriamiento de esta arena. Este enfriamiento puede ser por aire, lo que entraña el riesgo de pérdida excesiva de finos, o bien aprovechando el calor de vaporización del agua para lo cual debe humedecerse homogéneamente la arena. Posteriormente, haciendo pasar aire a baja velocidad a través de la arena caliente y húmeda, se satura de vapor de agua, provocando esta vaporización el enfriamiento de la capa de arena.

La importancia de la arena fría estriba en que la regeneración es más fácil, tiene una mejor aptitud al moldeo y no hay adherencia al modelo. Cuando se prepara en el mezclador arena fría, no hay adherencia a las paredes, aumentando la eficiencia del mezclador y disminuyendo el desgaste.

### 9.3.5.2 Método de operación a seguir en la preparación de las arenas de moldeo en nuestro proceso de fundición de aleaciones de aluminio

Una vez suministrada la arena, ésta se almacenará en los silos de almacenamiento. Esta arena llegará en camiones y pasa a los silos gracias a un sistema de aspiración.

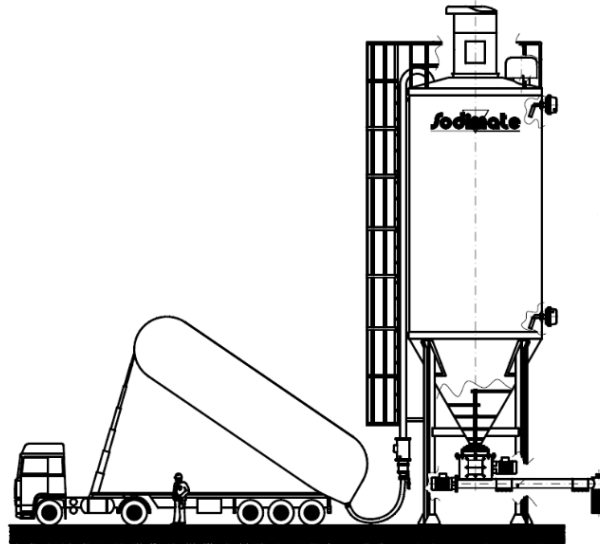


Imagen 9.3: Carga de arena en silo de almacenamiento

Teniendo en cuenta que vamos a realizar un ciclo de regeneración de la arena usada, la tolva que utilizada para suministrar la arena a los siguientes procesos deberá tener un compartimento para la arena nueva y otra para la arena regenerada.

Como se especificó anteriormente, la preparación de la arena de moldeo se conseguirá mezclando las arenas nuevas, con las regeneradas, con la bentonita y una cantidad de agua determinada para desarrollar sus capacidades plásticas. Para ello utilizaremos un molino mezclador de la marca DISAGROUP. Dicho modelo será el DISA SAM Mixer. En él se introducirá la mezcla y comenzará su malaxado. El molino DISA está equipado con un dispositivo electrónico para dosificar la cantidad de agua en la mezcla, y para añadir la bentonita, para que ésta tenga las condiciones idóneas que requerimos. Dicho dispositivo es el DISA SMC Sand-Multicontroller. Éste además de controlar las cantidades de cada elemento en la mezcla, realiza mediciones de compactibilidad de la arena y temperatura. Terminada la preparación de la arena, ésta será trasladada mediante cintas transportadoras a las máquinas de moldeo.



Imagen 9.4: Molino DISA SAM Mixer con DISA SMC Sand-Multicontroller incorporado

Elegimos el molino mezclador de la marca DISA porque es una marca de gran experiencia en la fabricación de maquinaria para empresas de fundiciones.

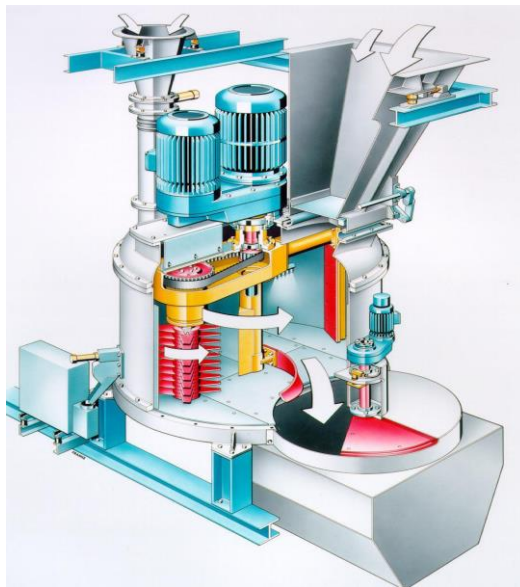


Imagen 9.5: Funcionamiento DISA SAM Mixer

Proporciona una mezcla de alta eficiencia debido en gran medida a la eficacia de su turbina. La arena de moldeo es homogénea y esponjosa de alta calidad lo que resulta excelente para la realización de piezas fundidas. El diseño del rascador de pared y del rastrillo dirige la arena hacia el área de operación de la turbina para asegurar que no queden granos sin mezclar.

Técnicas de dosificación y pesaje: Las características óptimas de la arena se deben al control automático de la humedad y a la alimentación controlada del material. Revestimiento uniforme de todos los granos de arena, lo que reduce el coste del exceso de bentonita y aditivos.

El dispositivo SMC Multicontroller nos permite un control continuado de las propiedades y de la consistencia de la arena, controla el aporte correcto del agua y bentonita, realiza el control de cada lote de arena de moldeo antes de su pase a la cinta transportadora. Tiene capacidad para procesar hasta 99 tipos de mezclas de arena.

La capacidad de producción del conjunto DISA SAM Mixer y DISA SMC Multicontroller es de 200 tn/h de arena.

Una vez finalizado el desmoldeo comienza el ciclo de recuperación de la arena de moldeo.

En las cintas transportadoras tenemos un electroimán que se acopla a la cinta. Éste hace que se separen las partículas metálicas que están en la parte superior. El electroimán empleado será de la empresa GRUPO FEM.

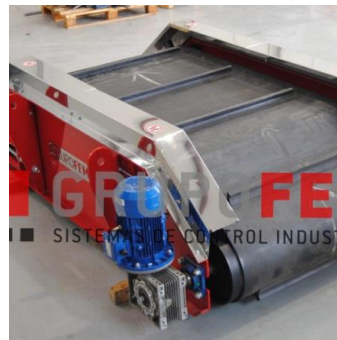


Imagen 9.6: Overband electromagnético

Para las partículas metálicas provenientes de la parte inferior utilizamos un tambor magnético situado a continuación del overband. Dicho tambor está diseñado para ser instalado en una cinta transportadora y sustituir a la propia polea de la banda. De este modo, cuando los materiales alcancen el campo magnético de la polea, los contaminantes férricos quedarán atrapados y separados. Como el overband, el tambor magnético instalado es de la empresa GRUPO FEM.



Imagen 9.7: Tambor magnético.

La trituración de los terrones para desmenuzar el grano se realiza en los propios tambores de desmoldeo. Esto es debido a que mediante el propio movimiento de rotación del tambor, se proyecta la arena sobre los laterales rompiéndose los terrones.

Posteriormente las arenas pasan por un tamiz poligonal para eliminar los terrones que no se eliminaron en los tambores de desmoldeo y para eliminar los trozos de macho. Nuestro tamiz poligonal será de la empresa VEA Cintas Transportadoras.

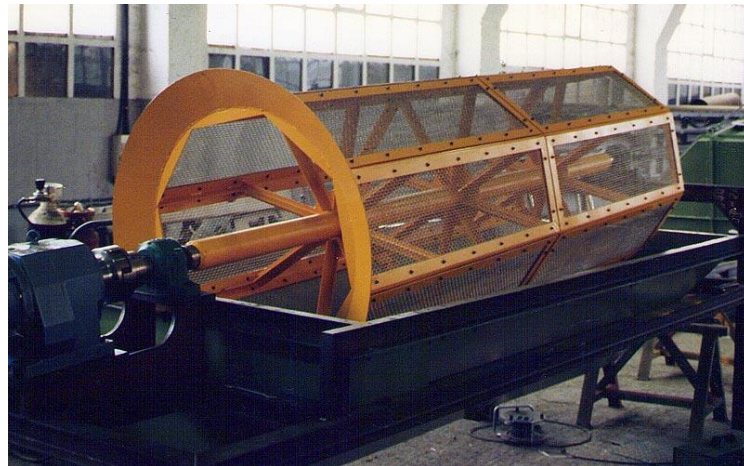


Imagen 9.8: Tamiz poligonal.

Una vez han pasado por el tamiz poligonal, la arena ya se encuentra limpia. El siguiente paso es el de enfriarla. Para ello utilizaremos un enfriador de arenas de la empresa SCOVAL modelo RFD 45. Su método de enfriamiento es el siguiente: Al principio del enfriamiento, el sistema de control mide la temperatura y la humedad de la arena de retorno y determina el flujo de agua. La arena de retorno entra en el enfriador, empujada por el flujo de aire y el movimiento de los brazos rotativos. Se desplaza la arena de retorno en varias direcciones bajo el efecto del aire soplado y del movimiento de los brazos al mismo tiempo que agregamos agua por pulverización. El agua introducida en la arena va, por evaporación, eliminar mucho calor que aspirará el colector de polvo en la parte superior del enfriador. Los sensores de temperatura y de humedad siguen de manera continua las variaciones de la arena de retorno. Para mantener una eficiencia óptima y constante, la apertura de la puerta de drenaje está regulada y mantiene un volumen continuo durante todo el funcionamiento del enfriador. El sistema de control y de adición de agua reajusta el flujo de agua pulverizada según la temperatura de la arena de salida y de su humedad. La temperatura y la humedad de la arena de retorno en la salida del enfriador están controladas.

Una vez enfriada la arena, pasará a los silos mediante cintas transportadoras a la espera de volver a ser utilizada.

## 9.4 Proceso de fabricación de machos

Si las piezas que se han de fundir tienen partes huecas que exigen la colocación de machos, hay que proceder a su moldeo utilizando arenas especiales para machos.

Si los machos son sencillos, prismáticos o cilíndricos, la caja de machos es una sola pieza. Se rellena de arena reatacándola por etapas. Una vez terminado el apisonado de la última etapa, se extrae de la caja empujando el macho por un extremo.

Si, como es más corriente, la caja de machos está dividida, puede moldearse el macho uniendo previamente las dos mitades por medio de pasadores o pitones adecuados y rellenando el molde de arena por un extremo. Después, se abre la caja para extraer el macho moldeado.

Algunas veces, debido a la complejidad del macho, es necesario moldear cada mitad independientemente y unir después las dos partes, procurando que ajusten exactamente y apisonando nuevamente por los dos extremos para que se unan bien las dos mitades. Finalmente, se procede al desmoldado.

A los machos de forma compleja se les puede dotar de refuerzos de alambre, en forma de varilla, colocados en el interior de la caja de machos para que hagan las funciones de alma del macho. Una vez realizado el proceso de moldeo y fundida la pieza, es necesario la retirada de dichas almas o varillas.

Una vez fabricado el macho, éste se coloca en la posición adecuada en el interior del molde, apoyando en los salientes del modelo que coinciden con los salientes del macho y que se denominan portadas para machos o marcas. Algunas veces no pueden disponerse portadas en los machos, o no son suficientes para que puedan resistir las presiones de la colada. En estos casos, se colocan soportes que quedan luego embebidos en la masa metálica de la pieza.

En el desmoldeo, después de la colada, se destruye y se extrae el macho, quedando un hueco de su misma forma en el interior de la pieza fundida.

### **9.4.1 Sistemas de fabricación de machos**

Se puede hacer la clasificación de los diferentes sistemas de fabricación de machos desde distintos puntos de vista.

En este caso, lo haremos según el criterio de la temperatura a la que se realiza el fraguado del macho:

- Proceso en caja caliente.
- Proceso en caja fría.

#### **9.4.1.1 Proceso de fabricación de machos en caja caliente**

Como su nombre indica, son procesos en los que es necesario calentar la caja para que se pueda confeccionar el macho. A su vez, estos procesos se pueden dividir en:

- Caja caliente de mezcla húmeda (Hot Box)
- Caja tibia (Warm Box)
- Caja caliente con arena prevestida (Croning)

##### **9.4.1.1.1 Caja caliente de mezcla húmeda (Hot Box)**

En este proceso, se parte de una mezcla húmeda que se realiza in situ partiendo de :  
Arena + Resina + Endurecedor.

Esta mezcla se introduce en el cabezal de la disparadora y se dispara a la caja de machos que, al estar precalentada a 225 °C, origina el fraguado de la resina y la aglomeración de la arena, obteniéndose el macho.

Las condiciones o proporciones estándar de trabajo, por cada 100 kg de arena, son las siguientes:

- Resina (Resital BF): 2 kg.
- Endurecedor (BSI): 0,5 kg.
- Conservador (KP-64): 0,3 kg.

Lógicamente, estas proporciones variarán en función del tipo de arena y de la geometría del macho a obtener.

Las mezclas se realizan en mezcladores de tipo continuo o discontinuo (batch), en función de la demanda de la sección de machería.



Además de los elementos anteriores, se pueden adicionar otros en función de las características especiales que se pretenda dar al macho:

- Cromita, para lograr machos que no sufran deformación dimensional primaria (cambio estructural de los granos de arena).
- Harina de madera, por su defecto contra las colas de rata.
- Óxido de hierro, que aporta mayor resistencia al macho.
- Otros aditivos.

Las temperaturas idóneas de trabajo son próximas a 225 °C y los tiempos de permanencia en caja, en función del tamaño de macho varían entre los 10 segundos y 2 minutos.



Imagen 9.9: Disparadora de machos en caja caliente.

#### **9.4.1.1.2 Caja tibia (Warm Box)**

Es igual al anterior con la diferencia de que la temperatura es inferior al de caja caliente (aproximadamente 150 °C) y, por tanto, el tipo de resina a emplear debe tener menor temperatura de polimerización. No es un proceso muy utilizado.

#### **9.4.1.1.3 Caja caliente con arena pre-vestida (Croning)**

Es una mezcla seca preparada directamente por los suministradores de arena, que realizan las tareas y procesos necesarios para el pre-revestimiento de los granos de arena con el polimerizante y el resto de aditivos.

La arena pre-revestida consta de:

- Arena.
- Resina.
- Catalizador.
- Otros aditivos.

El proceso de fabricación de la arena pre-revestida consiste básicamente en:

- Calentamiento de la arena a unos 300 °C.
- Adición de la resina y del catalizador.
- Aportación de los aditivos.
- Mezclado.
- Enfriado (con movimiento continuo de la arena para evitar su solidificación en forma de grumos).

En función de la mezcla realizada, pueden obtenerse arenas de características muy dispares entre sí. Ello se hará en función de las necesidades planteadas.

La temperatura de trabajo es próxima a los 280 °C y el tiempo de permanencia en caja (polimerización o curado) varía entre 30 segundos y 4 minutos.

Aunque en aplicaciones específicas son altamente recomendables (machos muy esbeltos y delicados para su manipulación, machos muy pequeños y machos sometidos a fuerte gradiente térmico sin posibilidad de aplicación de pinturas protectoras), estos procesos están cayendo rápidamente en desuso, como consecuencia de la introducción de procesos de fabricación de machos en caja fría. Pese a ello, no es previsible, a corto plazo, su total eliminación.

#### **9.4.1.2 Proceso de fabricación de machos en caja fría**

Como su nombre indica, son procesos en los que no es necesario calentar la caja de machos para que esta fragüe.

Hay una gran cantidad de procesos de caja fría, por lo que se mencionarán únicamente los más conocidos y se describirá con mayor profundidad el proceso más ampliamente utilizado.

Es posible agruparlos en:

- Procesos autofraguantes:

Una mezcla de arena + resina + catalizador se introduce en la caja de machos y, tras un tiempo de fraguado determinado, función de la mezcla anterior, se obtiene el macho. La característica más importante de estos procesos es que, debido al largo tiempo de fraguado, se los utiliza para series cortas o para la fabricación de machos especiales. Dentro de estos procesos se tienen:

- Proceso no bake ácido: Se basa en el empleo de resinas fenólicas y furánicas con catalizador ácido.
- Proceso no bake básico: emplea resinas fenólicas alcalinas con catalizadores a base de éster. Es un proceso conocido como Alphaset.
- Proceso fenólico uretano: Conocido como Pepset.

- Procesos con fraguado por paso de un gas:

El catalizador es un gas que se hace circular por la mezcla de arena una vez que ésta ha sido introducida en la caja de machos. Dentro de estos procesos tenemos:

- Proceso Gasharz o Isocure: Es el más ampliamente utilizado. Será descrito en el siguiente apartado.
- Proceso Resan o Betaset: Se mezcla la arena con resina fenólica (un solo componente) y se utiliza como gas catalizador el formiato de metilo.
- Proceso Silicato CO<sub>2</sub>: La arena se mezcla con silicato y se utiliza como gas catalizador el CO<sub>2</sub>.
- Proceso Carbophen: Se mezcla la arena con un componente (resina fenólica) y se utiliza como gas catalizador el CO<sub>2</sub>.

#### **9.4.1.2.1    *Proceso Gasharz o Isocure***

Es el proceso de caja fría que más se ha desarrollado hasta la actualidad. Básicamente, consiste en mezclar la arena con 2 resinas:

- Parte 1: Resina fenólica clara (Gasharz TN-2675 de AISA).
- Parte 2: Resina Isocianato oscura (Activador GHE-4)

Esta mezcla se realiza bien en mezcladores continuos o discontinuos y se introduce a la disparadora donde una vez soplado el macho, se hace pasar el gas, que hace de agente catalizador (dimetiletilamina), obteniéndose el macho después de realizar un barrido con aire para la eliminación del gas remanente. Los tiempos de ciclo son de 25 segundos a 2 minutos, en función de la forma y peso del macho que se desea obtener.

Para la realización de la mezcla, por cada 100 kg de arena, es necesario añadir:

- 0,6 a 0,9 kg de resina parte 1.
- 0,5 a 0,75 kg de resina parte 2.

Para la reacción de la resina, la cantidad de dimetiletilamina a gasear depende mucho del tipo de macho, estado de la caja de machos, del estado de las instalaciones, etc. Sin embargo, el consumo normal puede situarse en torno al 10% del peso de resina total a reaccionar. Dicho 10% se distribuye de la siguiente forma:

- 3% para el proceso de catalizado en sí mismo.
- 7% pérdidas durante el gaseado, alojamiento de boquillas, etc.

Para mejorar las prestaciones de este proceso, se realizan adiciones de diversos productos tales como:

- Magnemita.
- Cromita.
- Óxido de hierro.
- Harina de madera.

Uno de los factores fundamentales a tener en cuenta, cuando se trabaja con este proceso, es que se debe introducir al macho la mínima cantidad posible de amina, siempre que el macho salga totalmente endurecido ya que hay que tener en cuenta que la amina es el componente más caro, la vida de banco (tiempo durante el cual el macho conserva como mínimo el 50% de sus características mecánicas) se reduce, y es un componente absolutamente molesto para quienes tienen que trabajar en sus inmediaciones.

### *9.4.2 Método de fabricación de machos utilizado en el proceso de fundición de aleaciones de aluminio*

El proceso de fabricación de machos que se ha elegido para nuestro proceso de fundición es el de fabricación de machos en caja fría (cold box). Sus principales ventajas por el que ha sido elegido este método son:

- Utillaje frío.
- Alto nivel de resistencias.
- Muy cortos tiempos de curado. Alta producción.
- Buena relación de precio / calidad.
- Suficiente fluidez de la mezcla.
- Admite pinturas al agua.
- Se obtiene un buen desarenado.
- Precisión en las medidas de machos.
- Buena vida de banco.
- Poca tendencia al pegado en los utillajes.

El proceso de fabricación de machos cuenta con una instalación de preparación de arenas para la fabricación de los machos. Ésta está compuesta por un mezclador Primafond MER100. Éste tiene la función de mezclar las arenas con las resinas y aditivos anteriormente nombrados. El molino que se ubicará en la parte superior de la sopladora de machos, dispone de dispositivos electrónicos que le permiten regular la cantidad correcta de arena y de resinas que entran en la cuba, para que la arena para los machos tenga la composición deseada.

Su funcionamiento será el siguiente:

Se pondrá en marcha el molino mezclador en vacío, ya que así no tiene que vencer una resistencia al que se ve sometido si ya está cargado de la arena. Posteriormente y de manera controlada, comenzará a caer la arena en el molino. A la vez que va cayendo la arena, se inyecta también las resinas que el operario haya especificado para la correcta fabricación de la arena. El tiempo también es algo que hay que especificar. Una vez transcurra el tiempo correcto, se procede al vaciado de la arena en la disparadora de machos mediante una tolva ya incorporada al equipo.



Imagen 9.10: Tolva por la que se produce el vaciado a la disparadora.

### 9.4.3 Disparadoras de machos

La fabricación de machos se realiza en las denominadas disparadoras de machos.

Se fabrican en máquinas de inyección, se precisa un llenado rápido para evitar la solidificación de la arena, una rápida evacuación del aire interior y unas formas suaves para que el molde se llene en su totalidad.

El funcionamiento de este tipo de máquinas consiste en una tolva dosificadora que suministra una cantidad específica de arena, la introduce en una cámara situada entre un inyector de gas y el colector de extracción.

El gas se introduce por el inyector dentro de la caja de machos y se obliga a pasar a través de la mezcla de arena, produciéndose el endurecimiento instantáneo de la misma.

A continuación se pasa una corriente de aire de barrido que arrastra el exceso de catalizador y el macho estará listo para ser sacado de la caja y usado.

Independientemente del tamaño de las cajas de machos a utilizar, podemos distinguir dos tipos de cajas de machos: de partición vertical y de partición horizontal.

El eje de partición está relacionado con el tipo de piezas a producir. Así, las piezas esbeltas será conveniente dispararlas en una caja de partición vertical y las cúbicas o más regulares será conveniente fabricarlas en cajas de apertura horizontal.

Las cajas de machos se dividen en dos mitades, la caja fija y la caja abatible si estamos hablando de partición vertical o la caja inferior y la caja superior si hablamos de partición horizontal. Cuando se produce la operación de cierre de cajas, se unen las medias cajas quedando un hueco en su interior. Es en ese hueco donde se producen los machos durante las operaciones de soplado y gaseo.

Nuestra disparadora de machos será como el molino mezclador de la empresa Primafond y el modelo es el SCB 60 con cajas de partición vertical y capacidad de 60 litros.



Imagen 9.11: Instalación Primafond de disparadora de machos y molino mezclador.



Imagen 9.12: Detalle de la caja de partición vertical.

El endurecimiento de los machos en las máquinas se acelera gracias a los catalizadores. El gasificador es el equipo encargado de preparar el catalizador para su administración en la caja de machos.



Imagen 9.13: Gasificador GCB para Caja Fría.

Para las altas presiones que exige la disparadora de machos en su funcionamiento, será necesaria la incorporación de un grupo hidráulico y acumuladores de presión. También hay que implantar un armario eléctrico para alimentar la disparadora. Dentro de él estará el autómatas programable (PLC) encargado de automatizar su funcionamiento.

#### **9.4.3.1 Funcionamiento de la disparadora en nuestro proceso**

La primera operación será la de colocar la arena preparada en el mezclador en el cartucho de disparo, para posteriormente, con la operación de soplado, llevarla a la caja de machos.

Una vez esté preparada la arena, ésta se envía a la tolva. Cuando el cartucho esté vacío, se abrirá la guillotina de la tolva y se vaciará la arena. Esta operación está controlada por un sensor de llenado, que envía la orden al PLC de cerrar la guillotina cuando no haga falta más arena en el cartucho.

Después se procede al cierre de las cajas, en nuestro caso de partición vertical. Como se puede ver en la Imagen 9.12 la operación de cerrado es realizada por cilindros hidráulicos. Por eso es necesario el grupo hidráulico auxiliar.

La siguiente etapa es la de soplado, que consiste en la introducción de arena en la caja de los machos hasta su llenado. Esta operación se desarrolla en el interior de la máquina y consta de varias etapas. Cuenta con un acumulador de aire comprimido acoplado a un cilindro pisador que empuja al conjunto a presión alta para evitar que se produzcan fugas de arena o de aire.



Por último se realiza la operación de gaseo. Dicha operación acelera el endurecimiento de la arena en la caja. Se realiza en dos etapas:

La primera es la inyección del gas en el que se introduce la amina en la caja de machos.

La segunda es la inyección de aire (barrido) para conseguir que el catalizador (la amina) atraviese la arena acumulada en la huella de la caja y de paso para retirar los gases sobrantes de la caja.

#### ***9.4.4 Almacenamiento de los machos***

Antes de ser enviados al almacén, los machos se exponen a operaciones de acabado tales como eliminación de rebabas o masillado de algún pequeño defecto que haya podido surgir.

Por último se comprueba que las medidas son las correctas y una vez comprobado pasan a almacenaje donde posteriormente serán llevados a las máquinas de moldeo.

### **9.5 Fabricación de moldes**

El objetivo de una instalación de moldeo es obtener moldes rígidos, compactos, densos, que reproduzcan con fidelidad el modelo y que resistan los efectos térmicos del metal fundido y la erosión del flujo de metal líquido, conservando la forma hasta la completa solidificación de la pieza sin crear tensiones en ellas, garantizando, molde tras molde, la precisión dimensional necesaria, un acabado superficial adecuado y la ausencia de defectos.

Para lograr todo esto, la parte más importante de la instalación es el proceso de compactación de la máquina de moldeo.

Para su obtención es necesario recurrir a procesos de compactación, o de forma más precisa, proceso de densificación, ya que interesa conseguir moldes densos. Desde un punto de vista práctico, se pueden considerar a ambos términos como sinónimos.

Así pues, con el fin de sistematizar los tipos de moldes y cajas de machos, se puede inducir la siguiente clasificación:

<b>Tipos de Modelos y Cajas de Machos</b>	<b>Completos</b>	<b>Al natural</b>	<b>Enterizos</b>
			<b>Divididos</b>
		<b>Con machos</b>	<b>Enterizos</b>
			<b>Divididos</b>
	<b>Simplificados o reducidos</b>	<b>De esqueleto</b>	
		<b>Terrajas</b>	
		<b>Plantillas de traslación</b>	
		<b>Plantillas de forma</b>	
	<b>Perecederos o perdidos</b>	<b>Generalmente enterizos</b>	

Tabla 9.2 Tipos de modelos y cajas de marcha.

### *9.5.1 Materiales para la construcción de modelos y cajas de machos*

A la hora de seleccionar el material para construir el modelo o caja de machos, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Número de piezas a obtener.
- Procedimiento de moldeo a emplear, manual o mecánico.
- Peso del modelo.
- Facilidad de trabajo en la conformación del modelo.
- Alteración en función del tiempo y de los agentes externos, humedad, abrasión, etc.

Los materiales más comúnmente empleados son la madera y ciertos metales, aunque hay también otros tipos de materiales que presentan un gran interés, por ejemplo, la cera y las resinas de poliestireno, en el moldeo a la cera perdida.

Además, debe ser citada la cola y otros adhesivos de empleo más reciente, ya que resultan necesarios para el pegado de las diversas partes de los modelos de madera.

### 9.5.1.1 Madera

Se suele emplear para la fabricación de modelos y de cajas de machos, debido a la facilidad con que se trabaja, a su reducido coste y a su baja densidad, que facilita su manejo y transporte.

Sin embargo, tiene, como principales inconvenientes, el ser muy higroscópica y el no ser suficientemente dura como para resistir la acción abrasiva, bajo presión, de los granos de arena del molde.

Para paliar, sobre todo, el primer inconveniente indicado, se suelen cubrir los modelos con lacas y barnices, que impermeabilizan y protegen sus superficies.

Al elegir la madera a emplear, se debe tener presente: la duración del modelo y/o de la caja de machos, y su complejidad de forma.

En general, se deben emplear maderas bien secas, sanas y de estructura lo más homogénea posible (ausencia de vetas y otras irregularidades).

Las maderas más comúnmente empleadas pueden agruparse como sigue:

- Maderas blandas o ligeras:

Suelen ser de color claro, blandas, poco densas, resistentes y fáciles de trabajar.

En este grupo destacan la de “pino” y la de “abeto”. El pino es muy usado para modelos sencillos y de grandes dimensiones, así como para terrajas y cajas de machos. El abeto, gracias a su buena estabilidad y ligereza, se emplea en la fabricación de armazones interiores, para modelos de grandes dimensiones, por ejemplo, en modelos para bancadas de motores marinos.

- Maderas duras o pesadas:

Suelen ser coloreadas, duras, relativamente pesadas, resistentes y susceptibles de adquirir brillo y pulimento. En este grupo, cabe citar las maderas de: aliso, arce, peral, olmo, haya, roble y caoba.

El aliso es poco deformable y fácil de trabajar; se utiliza para modelos pequeños y delicados, como válvulas, levas, etc. El arce tiene una madera compacta y fácil de trabajar; se emplea mucho en cajas de machos y en modelos torneados. El peral es compacto y no se retuerce y se resquebraja, pero, por su elevado precio, sólo se emplea en modelos pequeños y de paredes delgadas, como dientes de engranajes, piezas con forma de tubo, etc. El olmo, la haya y el roble, se dejan trabajar aceptablemente, son compactos y no muy caros; por ello, su empleo está muy

extendido. La caoba es de empleo limitado, por su elevado precio, sin embargo, es una de las maderas más aptas para toda la clase de modelos de tamaño mediano.

### 9.5.1.2 Metales

Los modelos y cajas de machos metálicas, únicamente están justificados en trabajos en serie, cuando se emplean máquinas de moldear, en las que el elevado número de piezas compensa los gastos de obtención.

Los más usados son:

- Latón:

Particularmente apto para fabricar modelos en racimo, por su facilidad de unión por soldadura fuerte. También se emplea en modelos a fijar en placas de madera, aluminio, fundición o acero.

- Fundición gris:

Posee excelentes cualidades para este tipo de utilizaciones, entre ellas:

- Aptitud para el moldeo.
- Facilidad de mecanizado.
- Buena resistencia a la acción abrasiva de los granos de arena.

Su principal inconveniente es su elevado peso específico, que dificulta su manipulación y transporte.

- Aleaciones ligeras:

Pueden ser empleadas para cualquier tipo de modelos y presentan una elevada resistencia a la oxidación y baja densidad.

- Metales fácilmente fusibles:

Entre ellos el plomo y las aleaciones antifricción, de bajo punto de fusión y pequeña contracción que permiten reproducir formas complejas.

Además, los antifricción tienen buena resistencia al desgaste.

- Otros materiales:

En este grupo, cabe citar los yesos, cementos, barro, ceras y materiales plásticos, estos últimos de gran aplicación en modelos desmontables de formas complicadas.

A partir del peso del modelo, puede ser calculado, a priori, el peso que tendrá la pieza final correspondiente.

En modelos con machos, habrá que descontar el peso de las zonas correspondientes a ellos. Cabe señalar, que este método es solamente aproximado, sin embargo, es de gran ayuda al fundidor, para prever sus necesidades de material y el coste mínimo.

### **9.5.2 Consideraciones al diseño y construcción de modelos**

El paso del plano de la pieza a la construcción del modelo y de las cajas de machos necesarios es la fase más creativa y difícil de todo el proceso de fundición y el éxito final del proceso de fundición depende de que el modelo tenga el diseño adecuado y se haya fabricado correctamente.

En la producción de series de piezas con modelos permanentes, un modelo eficazmente diseñado permite ahorrar tiempo en la obtención del molde, para cada pieza, y hace disminuir la cantidad de moldes defectuosos.

El modelista debe estar familiarizado con el proceso de fundición de que se trate, tanto en las operaciones de moldeo, como de colada y desmoldeo y deberá estar en estrecho contacto con el moldista y el fundidor, con la finalidad de optimizar al máximo el proceso global de fundición.

En el diseño de los modelos y cajas de machos, habrá que tener en cuenta los siguientes aspectos tecnológicos:

- Contracción del material de la pieza a solidificar.
- Creces, para el mecanizado de aquellas superficies en que se precise.
- Facilidad de desmoldeo.
- Prever la posibilidad de evitar la aparición de deformaciones durante el enfriamiento de la pieza.

El diseñar las piezas adecuadamente para evitar la aparición de defectos es, así mismo, fundamental.

#### **9.5.2.1 Contracción del material de la pieza**

Las aleaciones generalmente empleadas en fundición, experimentan una sensible disminución de volumen, contracción, al pasar de la temperatura de solidificación a la temperatura de referencia, 20 °C. Por ello, para que la pieza cumpla las especificaciones dimensionales dadas en el plano, deberá tenerse en cuenta dicho fenómeno de contracción. Esto se traduce en que el modelo deberá ser un poco mayor que la pieza a obtener.

Este aumento dimensional del modelo es función del coeficiente de contracción lineal del material de la pieza. Por ello, el modelista necesita información acerca de dicho material, a fin de sobredimensionar adecuadamente el modelo; generalmente, la especificación del material debe venir dada en el cajetín de rotulación del plano de la pieza.

En la práctica, el modo operativo del modelista se fundamenta en obtener, el valor del coeficiente de contracción lineal para el material de la pieza a partir de tablas al efecto. A continuación será necesario incrementar todas las longitudes del modelo en la proporción dada por dicho coeficiente.

Esta operación se ve gradualmente simplificada por el empleo del “metro del modelista” adecuado, el cual consiste en una regla, de longitud entre tramos extremos de 1000 (1 + c) mm, siendo c el coeficiente, en tanto por uno, correspondiente al dado en la tabla en tanto por mil, y debidamente redondeado, para dar una longitud entera en mm; estando dicha regla dividida en 1000 partes iguales. Las reglas redondeadas a valores de la contracción del 1, 1,5 y 2% se fabrican en serie, mientras que el resto, bajo pedido.

Las contracciones reales varían bastante, en función de la forma de la pieza, del material del molde y de la fase de colada. Por ello, no es fácil prever, con precisión, el incremento en las dimensiones que debe tener el modelo, recurriéndose a la experiencia, a la realización de pruebas y, a un seguimiento, por parte del modelista, de las fases posteriores del proceso de conformación por fundición de que se trate.

#### **9.5.2.2 Creces para el mecanizado**

En aquellas zonas de las piezas en que vayan a realizarse operaciones de mecanizado, se deben prever, en el modelo, las correspondientes “creces” que suministren el exceso de material necesario para su eliminación por procesos de eliminación de material o por procesos abrasivos.

Esta sobremedida dependerá del número de pasadas de mecanizado previstas, del tipo de operación y del grado de acabado superficial final especificado.

#### **9.5.2.3 Facilidad de desmodelado**

Una vez diseñada la posición que va a tener en el molde el plano de separación, o de desmodelado, y por tanto, la dirección de desmodelado del modelo, las superficies de éste, pueden presentar tres tipos de operación, al menos localmente, si se trata de superficies que no son planas:

- Paralelas al plano de separación.
- Perpendiculares a dicho plano, inclinadas con salida positiva (despulla).
- Inclinadas, con respecto a dicho plano, con salida negativa o “en contra-salida”.

La primera situación no presenta ningún problema, desde el punto de vista del desmodelado así como la segunda situación, si la inclinación de todas las superficies del modelo es suficiente; ahora bien, si dicha inclinación es muy pequeña, o nula, situación perpendicular, el modelo será difícilmente desmodeable, o bien, en el desmodelado pueden dañarse ciertas zonas del molde. Por ello, el modelista, deberá conferir a estas superficies una cierta inclinación, o exagerar la que ya existe, para evitar tales situaciones.

La situación con salida negativa, obliga al modelista a diseñar un modelo dividido en partes desmodeables a nivel individual, o bien, únicamente desmodeables siguiendo una determinada secuencia.

Como valores indicativos para la inclinación de despulla pueden darse, con carácter general y aproximado los siguientes:

<b>Modelos pequeños (<math>h &lt; 200</math> mm)</b>	$s = (0,5 + h/100)$ mm
<b>Modelos medios (<math>h = 200-500</math> mm)</b>	$s = (0,5 + h/150)$ mm
<b>Modelos grandes (<math>h &gt; 500</math> mm)</b>	$s = (1,0 + h/200)$ mm

Tabla 9.3: Valores de las despullas

Además de los valores dados para la despulla, conviene hacer algunas consideraciones de utilidad en el diseño de modelos. Según ellos, el valor de la despulla puede reducirse en los siguientes casos:

- Cuando los modelos de madera vayan a ser convenientemente barnizados.
- Mediante el empleo de lubricantes.
- En los modelos metálicos.
- En los modelos de precisión, con mejor acabado y calidad superficial.
- Cuando las aristas estén adecuadamente redondeadas.
- 

#### **9.5.2.4 Evitar la aparición de deformaciones debidas al enfriamiento**

Además del problema de concentración homogénea, cuya solución ha sido ya analizada, en algunas configuraciones de piezas, se presentan ciertos tipos de malformaciones permanentes, que pueden invalidar su empleo.

El motivo principal de este fenómeno es la diferente velocidad de enfriamiento, entre distintas partes de la pieza. Así, por ejemplo en las zonas de menor espesor la proporción

de superficie de enfriamiento / volumen de material es alta y, por tanto, su enfriamiento es rápido. Sin embargo, en las zonas de gran espesor se tiene la circunstancia contraria, siendo su enfriamiento más lento.

Debido a la contracción asociada al enfriamiento, las zonas delgadas ven impedida la disminución de sus dimensiones, por el anclaje que sobre ellas ejercen las zonas más gruesas, más calientes, de tal manera, que no experimentan un proceso normal de contracción, y quedan ligeramente estiradas.

Cuando, finalmente, se contraen las zonas de mayor espesor, resultan incapaces de arrastrar con ellas a las de menor espesor, ya completamente solidificadas, quedando la pieza con una convexidad acusada, hacia las zonas de menor espesor.

El evitar o disminuir este fenómeno corresponde, principalmente, a las fases de elección del material de la pieza, diseño dimensional de la misma, fusión, colada y solidificación. Sin embargo, en ocasiones, en la fase de diseño del modelo, se puede corregir, al menos parcialmente, por alguno de los dos procedimientos siguientes:

- Curvando el modelo en sentido contrario a la deformación previsible.
- Colocando refuerzos, en las zonas de menor espesor, que, posteriormente, se eliminarán por mecanizado.

Otro defecto típico es la falta de concentricidad de los machos con el molde en piezas de simetría.

Dichos efectos deber ser eliminados mediante un correcto diseño de los modelos y de las cajas de machos, con la finalidad de que el montaje de los machos en el molde se efectúe sin errores de concentricidad.

### *9.5.3 Tipos de máquinas de moldeo*

Las máquinas de moldear completas, es decir, las que realizan el moldeo y el desmoldeo, emplean distintos procedimientos de moldeo:

- Moldeo por presión.
- Moldeo por sacudidas.
- Moldeo por presión y sacudidas.
- Moldeo en motas por disparo y presión.
- Moldeo por vacío.
- Moldeo por impacto.



En realidad, además de los casos mencionados, hoy en día son muchos los fabricantes de máquinas de moldeo que combinan varios principios con el fin de aprovechar las mejores características de cada uno de ellos.

### **9.5.3.1 Máquinas de moldeo por presión**

Este es el más antiguo de los métodos utilizados para el prensado de la arena. En estas máquinas se logra el apisonado con una prensa.

Como la arena comprimida ocupa un volumen inferior al de la arena sin compactar, hay que introducir en la caja de moldeo un volumen de arena, sin comprimir, superior al de la caja. Para esto, se coloca, encima o debajo de la caja, un bastidor suplementario que se denomina realce cuyo volumen es aproximadamente un tercio del volumen de la caja.

#### **9.5.3.1.1 Apisonado con realce superior**

Si el realce se coloca sobre la caja, se puede obtener el apisonado por dos procedimientos:

- Por descenso de la prensa sobre la caja.
- Por elevación de la mesa de la prensa.

El apisonado con realce superior es el más sencillo de realizar pero tiene los siguientes inconvenientes:

- La arena de la superficie del molde resulta más densa que la inferior, lo que dificulta la salida de los gases.
- El apisonado en el centro de la caja resulta más enérgico que en los costados, por el rozamiento de la arena con las paredes de la caja. Este defecto puede corregirse utilizando platos con rebordes.
- La profundidad del apisonado es muy limitada.

En general, el apisonado con realce superior se utiliza solo para moldes de poca altura.

### **9.5.3.1.2 Apisonado con realce inferior**

Cuando el realce se coloca debajo de la caja de moldeo, el conjunto está soportado por muelles y así se mantiene el nivel del suplemento con que se cubre la mesa de la prensa. La sección de este suplemento es igual a la del interior de este realce.

Al presionar el plato de la prensa sobre la caja y descender ésta, se comprimen los muelles y asciende entonces el suplemento de la mesa por el interior del realce, comprimiendo la arena.

El apisonado con relace inferior tiene las siguientes ventajas:

- La distribución de las presiones en la masa del molde es más uniforme que con el realce superior.
- Se obtiene el desmodelado automáticamente, pues al terminar el prensado y ascender el plato de la prensa, se separa la placa modelo del molde por acción de los muelles.

### **9.5.3.2 Máquinas de moldeo por sacudidas**

El apisonado de la arena de la caja de moldeo se logra por sacudidas de la mesa de la máquina.

En general, las máquinas de este tipo, se accionan por aire comprimido. La mesa de moldeo descansa sobre un émbolo que se levanta al entrar el aire comprimido, hasta que deja al descubierto una válvula de escape, y cierra al mismo tiempo la válvula de admisión, bajando entonces bruscamente el émbolo y produciendo una sacudida. Al quedar abierta la entrada de aire, se vuelve a repetir el ciclo y continúan las sacudidas mientras continúe la alimentación de aire comprimido.

### **9.5.3.3 Máquinas de moldeo mixtas**

En las máquinas de moldeo por sacudidas, la arena de las capas inferiores del molde queda más apisonada. Por otra parte, en las máquinas de moldeo por presión, se apisona más la arena de las capas superiores.

Estos hechos han conducido al desarrollo de máquinas combinadas, con las que se moldea las primeras capas de arena por sacudidas y se termina el apisonado por presión de las capas superiores.

#### **9.5.3.4 Máquinas de moldeo por disparo y presión**

La gran revolución en el moldeo se produjo a principios de los años sesenta con la aparición de las máquinas de moldeo por disparo y presión Disamatic (Georg Fischer-Disa).

El principio innovador de moldeo combinando el disparo y la alta presión, permitió obtener moldes muy densos, nunca conseguidos hasta entonces, ya que al combinar el disparo vertical con la aplicación de la presión perpendicular al disparo se reduce la fuerza necesaria y se consigue un atacado más uniforme. Las piezas obtenidas en Disamatic (máquina de moldeo vertical de alta velocidad Georg Fischer-Disa) se distinguían por una mayor constancia en sus dimensiones y por un mejor acabado superficial, todo ello a una velocidad de producción elevada de 300 moldes por hora.

La mayor precisión de esta máquina de moldeo exigió la fabricación de machos con mayor precisión dimensional, lo que trajo como consecuencia que algunos de los procesos de fabricación de machos existentes quedaran obsoletos.

#### **9.5.3.5 Máquinas de moldeo por aplicación del vacío**

En la década de los setenta comenzó a utilizarse otro principio físico para la fabricación de moldes: el vacío. Por una parte, los japoneses aplicaron un vacío relativamente alto para obtener moldes de arena sin aglomerante. Todo indicaba que se habían acabado los problemas de preparación de arenas, de humedad, de soplados, etc. Sin embargo, lo complejo de la instalación y los elevados royalties fueron un freno a la expansión del V-Process.

Por su parte para hacer frente al moldeo en Disamatic, los fabricantes de instalaciones tradicionales tuvieron que agudizar el ingenio. Ya que uno de los putos no resueltos de la alta presión parecía ser el llenado de la caja de moldeo, se aplicó el vacío para mejorarlo. Los resultados fueron aceptables si tenemos en cuenta que en la elaboración de un molde hay que considerar dos etapas: el llenado de la caja y la densificación del molde.

El defecto de succión provocado por el vacío favorece la distribución de los granos de arena alrededor del modelo y en las paredes de la caja de moldeo, reduciéndose el efecto de falso atacado. Hoy en día, son varios los procesos de moldeo que, en un momento u otro, aplican el vacío como ayuda a la compactación.

### **9.5.3.6 Máquina de moldeo por impacto**

A principios de los ochenta apareció una nueva generación de procesos de moldeo basados inicialmente en la explosión de una mezcla gaseosa en una cámara de combustión o en la apertura muy rápida de una válvula a un flujo de aire.

Cuando comenzaron a trabajar las primeras máquinas según estos sistemas, se desconocían los principios de funcionamiento del proceso. Tuvo que ser Bönisch quien explicara cómo se densificaban los moldes obtenidos por estos procesos. La explicación es la siguiente.

Dado que la bentonita es tixotrópica, la aplicación repentina de una fuerza provoca el paso a un estado semi-líquido de la bentonita, facilitando el movimiento relativo de unos granos sobre otros y aumentando el espesor de la capa de bentonita entre ellos. El principio físico del impacto es la aplicación de un golpe de ariete a la arena para que la bentonita pueda desarrollar, sus propiedades tixotrópicas.

Con todo, no quedaron resueltos los problemas del moldeo. Seguía apareciendo una zona poco atacada en la periferia del molde. De nuevo, Bönisch se encargó de demostrar que la formación de puentes de arena entre el modelo y la caja de moldeo eran los responsables de este mal atacado lateral. Ello dio lugar a la aparición de mejores que recibieron los nombres de “Air Impact Plus” y “Vario Impulse”.

### **9.5.4 Elección de la máquina de moldeo**

A la vista de las características de las máquinas de moldeo expuestas en el apartado anterior, para nuestro proceso de fundición de aleaciones de aluminio elegiremos una máquina de moldeo por disparo y presión.

Cabe destacar a mayores de este tipo de máquina que tiene unos costes de producción bajos, es una instalación simple, la velocidad de moldeo es elevada con la consiguiente reducción de tiempo, las piezas salen con un margen de tolerancia muy bajo, etc.

Ya que la empresa DISAMATIC fue la pionera en la producción de este tipo de máquinas y su fiabilidad en este campo está contrastada se ha elegido para el proceso de fundición de aleaciones de aluminio la DISAMATIC D1 Vertical Moulding Machine.



Imagen 9.14: Disamatic D1 Vertical Moulding Machine

Esta máquina funciona realizando las siguientes etapas:

La primera etapa es la del soplado de la arena en el molde.

La arena llega mezclada con los aditivos lista para ser introducida en la máquina. Lo que se realiza en esta etapa es introducir la arena dentro de la cámara de moldeo y mediante el soplado garantizar que se llena la cámara completamente.

Una vez introducida la arena en la máquina, ésta se cierra herméticamente para evitar fugas en el disparo de aire (soplado). Una vez esté cerrada se produce el disparo, que empuja a la arena dentro de la cámara de moldeo.

Una vez introducida en la cámara de moldeo se pasa a la siguiente etapa. Esta etapa consiste en el prensado de la arena. Es aquí donde se crea el molde. Simultáneamente se efectúa el escape del aire a presión mediante una válvula de escape. Dicha válvula permanece abierta durante un instante de tiempo llamado tiempo de escape rápido.

El prensado se produce con los cilindros de los que dispone la máquina de moldeo. La presión es establecida antes del inicio del proceso y dependerá del tipo de molde que estemos fabricando. Esta presión la denominamos presión de moldeo. Se mantendrá la presión durante cierto tiempo (tiempo de prensado) para que la compactación del moldeo sea la correcta.

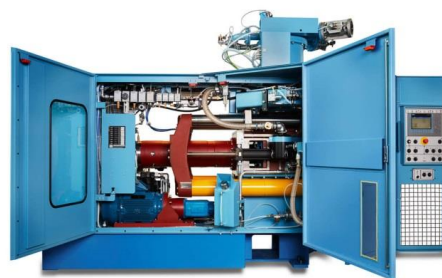


Imagen 9.15: Detalle de los cilindros que realizan la presión de moldeo.

La siguiente etapa consistirá en la apertura del plato frontal de la máquina. En esta, el plato frontal se retira del molde cierta distancia para comenzar con el desmoldeo. El cilindro del plato frontal va hasta el final de su recorrido, lo que provoca el abatimiento mecánico del plato.

La cuarta etapa será la de la extracción del molde de la cámara de moldeo. Con el plato frontal abatido, el retenedor de moldes está sujetando el último molde realizado. Posteriormente el retenedor se abre y libera el molde de la cámara. Una vez extraído, se vuelve a cerrar el retenedor.

La quinta etapa consistirá en el llenado del molde. El molde llegará a la altura del horno de colada y se vierte el contenido en el molde hasta su llenado.

Por último, la última etapa consiste en la vuelta al estado inicial para iniciar otro ciclo de fabricación del molde.



Imagen 9.16: Etapas en la fabricación de los moldes.

### 9.5.5 Características técnicas

La máquina de moldeo DISAMATIC D1 es capaz de realizar moldes de 0,4 metros de largo, 0,5 metros de ancho y entre 0,1 y 0,315 m de espesor.

Su capacidad de moldeo es de 315 moldes por hora con un consumo de arena máximo (para máximo espesor del molde) de 29 toneladas a la hora.

Sus dimensiones son de 2,88 metros de altura, 1,7 metros de ancho y 4,14 metros de largo.

Posee un sistema de PLC incorporado lo que permite un control exhaustivo de todo el proceso de fabricación. El sistema PLC incluye:

- Interfaz para todas las unidades de la línea de moldeo.
- Autodiagnóstico de hardware eléctrico para una rápida resolución de problemas.
- Monitorización de movimientos y velocidades para asegurar la sincronización perfecta entre todas las unidades del sistema.
- Ajustes automáticos de configuración de la máquina basados en datos de patrones preinsertados.

También incluye un sistema de posicionamiento automático de machos, denominado (CSE).

El CSE es un colocamachos automático de precisión para la producción rápida y precisa de moldes con machos de alta calidad. El operador se encarga de introducir los machos a mano dentro del portamachos. Los machos se retienen en el CSE mediante vacío y se colocan automáticamente en el interior de la cavidad del último molde producido. El colocamachos se caracteriza por un amarre automático y un dispositivo sustentador del portamachos, para el cambio del portamachos rápido y sencillo.

Otro de los sistemas que incorpora es la unidad de cambio de las placas modelo (QPC).

Éste permite cambios de las placas modelo rápidos y semiautomáticos. Hace que los cambios de las placas modelo, incluidos las más pesadas sean más rápidos, fáciles y precisos, independientemente de las habilidades del operario.

## 10 INSTALACIONES DE COLADA

La colada del caldo o llenado del molde es la principal operación que tiene lugar al moldear. El molde acabado se rellena de metal líquido bajo los efectos de las fuerzas gravitacionales o centrífugas o bien de la presión. Tras el llenado el metal se enfría para solidificarlo y poder así extraer la pieza del molde para seguir enfriándola y someterla a tratamiento.

El metal llega desde los hornos de fusión por medio de una cuchara de transporte llevada por una carretilla elevadora, y después de pasar todas las fases de limpieza del caldo, se traspa a los hornos de colada para su posterior vertido en los moldes.

### 10.1 Técnica de entrada y alimentadores

Para conseguir una pieza fundida sana, se debe iniciar la solidificación en aquel lugar que se halle más alejado de la entrada o del alimentador. Cuando ésta progresa continuamente, desde ese lugar, nos encontramos en el caso ideal de solidificación dirigida. Para conseguir estas "zonas finales" se utilizan incluso en casos apropiados, enfriadores. Éstos, fabricados en acero, fundición o aluminio, se pueden utilizar, además de para el efecto aludido, también para mejorar la estructura en determinadas zonas. Por ello es de gran importancia para la calidad de la pieza fundida, conseguir, durante la fabricación de éstas, una buena técnica en la situación de las entradas y alimentadores que se necesiten.

En la técnica de las mazarotas han de tenerse en cuenta, al llenar el volumen hueco del molde con el material líquido, además de las cuestiones termotécnicas y de fluencia, de entrada la tendencia a la oxidación y, con ello, a la formación de espuma (mezcla de aire, metal y óxido) y también la composición de los caldos de aluminio. Además, se debe tener en cuenta la fluidez del caldo en cada caso así como la contracción de volumen al pasar del estado líquido al sólido.

La técnica de alimentadores está siempre en conexión íntima con la solidificación dirigida a que se aspira en una pieza fundida. La contracción de volumen ya mencionada obliga a que se ofrezca la posibilidad de que llegue a la pieza que se está fundiendo y solidificando, metal líquido ininterrumpidamente hasta que tenga lugar la solidificación completa; esto es tarea de la técnica de alimentadores.



Una técnica "correcta" para mazarotas y alimentadores debe ser lo más sencilla posible (por motivos técnicos y económicos) y ofrecer una relación favorable entre masa de pieza colada y masa total fundida. Para su determinación debe tenerse en cuenta una distribución favorable en el molde así como que la pieza fundida sea fácil de limpiar. Se comprende que las piezas fundidas con elevadas exigencias, requieren también una técnica costosa de mazarotas y alimentadores como parte del conjunto. Con la excepción de piezas fundidas sencillas es aconsejable determinar, con un modelo y buenos planos, la técnica que se ha de seguir para las mazarotas y los alimentadores. Existen actualmente métodos de cálculo a disposición de fundidores, que debieran ser utilizados al menos en todas las piezas de fundición valiosas. A ello tienden las siguientes consideraciones. Como elementos para la técnica de hacer bebederos pueden considerarse:

- Las bocas de vertido.
- Canal de colada.
- Marcha o sistema de distribución.
- Sección de entrada.

### **10.1.1**      *Boca de vertido*

La ejecución más simple es un ensanchamiento cónico (embudo) para impedir que el metal llegue al canal de vertido con velocidad excesiva. Con frecuencia se utiliza con ventaja, una cavidad de vertido mediante la cual se disminuye la energía cinética del chorro de colada y de esta manera puede entrar el material "tranquilo" en el canal de colada. La barrera adicional incorporada hace que llegue el metal en forma de sifón al canal de colada y retiene, flotando sobre el caldo, películas de óxido, etc. Si el llenado del molde exige que el metal haya de fluir simultáneamente por varios puntos en los canales de vertido, se pueden colocar tapones en la cavidad de vertido. Esto tiene además la ventaja de que fluye solamente metal limpio y se pueden depositar las películas de óxido y la espuma en la superficie metálica.

### **10.1.2**      *Canal de colada*

Con frecuencia, es ventajoso, llenar el molde con aluminio desde abajo, es decir, efectuar la colada de modo ascendente. El canal de colada tiene el cometido de dirigir el metal desde abajo hacia el molde. Desde el punto de vista técnico, se debe proyectar el canal de entrada de forma que al entrar el metal fundido no forme turbulencia "externa". Su

altura queda determinada por la correspondiente a la pieza que se funde y por la necesaria altura del alimentador, aconsejándose que sea la menor posible.

### **10.1.3**      *Marcha, sistema de distribución*

El canal de vertido desemboca en el sistema de distribución que lleva el metal a las secciones de entrada. El sistema de distribución se sitúa generalmente en la caja inferior en forma de trapecio, con objeto de que se llene en primer lugar y penetre a través de la sección de entrada en el espacio vacío del molde. El paso del bebedero al sistema de distribución debe realizarse correctamente, teniendo en cuenta la técnica de fluidos, con objeto de que no se originen torbellinos ni sea absorbido aire. Todo el sistema de colada se dimensiona de forma que esté siempre completamente lleno de metal y que, a su vez, exista una ligera sobrepresión.

### **10.1.4**      *Sección de entrada*

Desde el sistema de distribución (canal de colada) pasa el metal a las secciones de entrada. A través de ellas penetra el metal en el hueco vacío del molde, cosa que debe producirse con un flujo calmado. Por ello es conveniente ampliar la sección de entrada en comparación con la sección del canal, con objeto de evitar una acción de tipo tobera. Las secciones se deben colocar por encima del sistema de distribución, con el fin de que el metal llene de nuevo primero éstas y fluya después a su través al hueco vacío del molde. Se debe cuidar mucho que el caldo no choque perpendicularmente con las paredes del molde, a fin de que no se produzca en éste formación de espuma ni que se dañen las paredes del molde por el choque del caldo contra ellas. El sistema más favorable es el de secciones de entrada paralelas a la pared del molde u oblicuas. El número de éstas depende de la superficie de que se disponga y del peso de la pieza a fundir.

## **10.2 Disposiciones de colada**

Se entiende aquí la disposición geométrica del sistema de entrada y alimentación correspondiente a la pieza colada. Al hacerlo, se ha de procurar realizar, tanto como sea posible, el principio de la solidificación dirigida. Además de las exigencias ya indicadas en cuanto a la técnica de fluencia del caldo, hay que añadir las particularidades termotécnicas, que se sitúan a igual nivel en valoración. A esta relación con frecuencia se le da desgraciadamente poca importancia; cualquier desplazamiento del metal supone

simultáneamente un transporte de calor y cualquier acumulación metálica una concentración de calor. Estos hechos termotécnicos son la clave para la solidificación dirigida. El objetivo de la técnica de entradas y alimentadores es conseguir este tipo de solidificación.

Se diferencia principalmente entre las siguientes disposiciones de colada:

- Colada en caída, o también el llamado proceso de fusión en cabeza es muy favorable en cuanto a alimentación y vertido para la solidificación dirigida así como desde el punto de vista económico. Lamentablemente, para el aluminio hay que utilizarla sólo con reservas y, para aleaciones delicadas, como por ejemplo, las de tipo G-ALMg o AlCuTi, es absolutamente inapropiada. En algunos casos, sin embargo, se pueden conseguir con ayuda de bocas de colada un llenado de molde satisfactorio.
- Colada lateral, ventajosa para muchas piezas, que permite un llenado del molde en calma, esto es, en función de la sección de entrada un llenado del molde más o menos por capas con lo que se consigue una solidificación dirigida. Para piezas valiosas fundidas de aluminio de forma cilíndrica o con una relativa forma de cajón, es apropiado el procedimiento de entrada con canal ascendente.
- La colada ascendente es, como ya se ha dicho, la más usada para el aluminio. El inconveniente principal es que el metal más caliente permanece abajo y el más frío arriba, lo cual puede contrarrestarse ampliamente mediante un llenado del molde suficientemente rápido. Con objeto de evitar concentraciones térmicas locales se puede colocar un canal anular alrededor de la oquedad del molde o también puede trabajarse con varias entradas. El llenado del molde tiene lugar entonces con rapidez y sin embargo en calma pues, a causa de las diversas entradas, se puede evitar el que se produzcan efectos de canalización indeseados (cursos preferidos del flujo del metal en la oquedad del molde condicionados por las relaciones de fluencia y de tipo térmico).

### **10.3 Horno de colada del proceso de fundición de aleaciones de aluminio**

Hemos optado por escoger un horno de colada de la marca Otto Junker modelo RGD tipo 3/200 comercializado por la empresa HOSSL (Hermann Otto Suderow SL). Este horno será el encargado de verter el aluminio fundido en los moldes.



Imagen 10.1: Horno de colada Otto Junker RGD

El horno de colada OTTO JUNKER RGD, está formado por un recipiente cilíndrico con una compuerta de llenado de sifón y cuenta con un mecanismo de tapón que actúa como una válvula permitiendo el paso del aluminio fundido o no en función de si está lleno el molde.

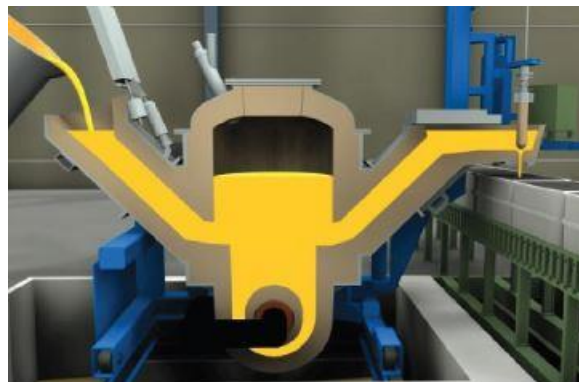


Imagen 10.2: Esquema de funcionamiento del horno de colada.

El recipiente está presurizado por aire seco o atmósfera protectora que hace que el metal suba por el conducto de vertido cuando el tapón está cerrado. Cuando queremos verter metal en el molde se aumenta la presión haciendo que el metal se precipite en los moldes. El nivel del metal se controla mediante un sistema de flotador y también, opcionalmente, vía láser. Dispone de unos electrodos de seguridad que alivian la presión en el horno cuando el nivel del metal fundido es demasiado alto.

La tasa de vertido al molde es en función del diámetro de la boquilla y del grado de elevación del tapón. Puede ser variada en función de si queremos más o menos velocidad de vaciado.



Imagen 10.3: Vertido de la masa fundida en el horno de colada con carretilla elevadora

Como se mencionó anteriormente tenemos varios métodos de control del nivel del metal líquido en el horno.

- Sistema láser: El láser se configura para que apunte directamente al tope del molde. Detecta que el aluminio fundido mantenga un nivel constante en cada llenado de un molde.

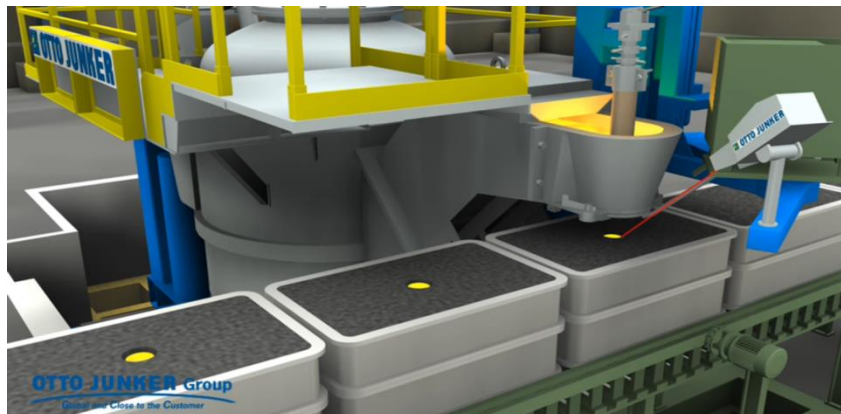


Imagen 10.4: Sistema láser

- Sistema de flotador: Un flotador de cerámica se sumerge en la masa fundida. A medida que cambia el nivel del baño, se detecta el cambio en la flotabilidad y la presión de vertido se ajusta de tal manera que se alcanza nuevamente el nivel de metal establecido.

- Electrodo de seguridad: Estos electrodos limitan la cantidad máxima de colada que admite el canal de vertido. Cuando los electrodos entran en contacto con la masa fundida, se produce una bajada del nivel de aluminio fundido.

### 10.3.1 *Sistema de vertido Teach-in*

La operación de vertido se efectúa a través del sistema Teach-in.

Para cada placa de patrón, los movimientos de elevación del tapón se controlan a mano utilizando un joystick de tal manera que el nivel de aluminio fundido ideal se logra en la borde superior del molde. El movimiento de elevación del tapón se almacena como un patrón de vertido y se puede reproducir de forma continua para mantener los mismos niveles en cada molde.

### 10.3.2 *Revestimiento refractario*

El material refractario elegido es importante para alargar la vida útil de los hornos de colada. En Otto Junker eligen el corindón como material para el revestimiento refractario de sus hornos. Así los trabajos de mantenimiento de todas las partes del horno se limitan a tareas de limpieza y el reemplazo del tapón y la boquilla de vertido cuando cumplen un ciclo de vida ya especificado por la marca.

### 10.3.3 *Equipo de energía y equipo de control*

El equipo eléctrico comprende el equipo de suministro de energía, los controles eléctricos y la medición e instalaciones de monitorización que están instaladas en un cubículo compacto.

La sección de potencia se compone del transformador de múltiples tomas, los interruptores de potencia del horno y los condensadores para la corrección del factor de potencia que se realiza automáticamente a través de un programa dentro del PLC. Por lo general, la conexión a la red será trifásica. Como alternativa, la sección de potencia puede incluir un convertidor de frecuencia transistorizado (IGBT) con control de potencia infinito.

### 10.3.4 *Interfaz con el operario*

El control de la planta es a través de PLC. Todos los actuadores requeridos para el funcionamiento del horno están claramente organizados por funciones en un panel central para el operario. El panel cuenta con pantalla a color en el centro que muestra los datos de temperaturas, presión, datos eléctricos y demás componentes del horno de colada. El ajuste de todos los parámetros requeridos se realiza a través de menús claramente estructurados. El escritorio está dispuesto de modo que el operador tenga la mejor vista posible del proceso de vertido.



Imagen 10.5: Panel de control del operario

## 11 DESMOLDEO

Cuando ya tenemos la pieza solidificada en el interior del molde se procede al desmoldeo. El desmoldeo se producirá por destrucción completa del molde. Una vez separada la arena, ésta realizará un proceso de recuperación y será almacenada para su posterior uso. Las piezas deben enfriarse lo más rápidamente posible, pero sin llegar a un choque térmico que pueda dañar o afectar las propiedades de la pieza.

Los moldes suelen destruirse por vibración. Para ello, en la mayoría de casos suelen utilizarse unas parrillas vibrantes de desmoldeo. Con las vibraciones la arena se separa de la pieza lo que hace que se desmorone. Posteriormente, la pieza pasa a un tambor de desmoldeo, que la desmoldea por completo y además contribuye al enfriamiento de la pieza.

Para la planta de fundición de aleaciones de aluminio elegiremos los transportadores de parrilla vibrante de la empresa Vibrotech Engineering. Éstos son sometidos a severos controles de calidad en su fabricación para superar las más altas exigencias a las que se ven sometidos, dado que van a tener que transportar materiales a muy altas temperaturas. También van a operar bajo condiciones de abrasión y cargas de consideración.

Al final de la parrilla vibrante se ubicará el tambor de desmoldeo. Como tambor de desmoldeo se elegirá el Tambor de desmoldeo Vibrotech Engineering modelo 2400. Está diseñado para procesar en continuo moldes de fundición.

Su cometido es el de soltar la arena de las piezas, romper los terrones, enfriar tanto la arena como las piezas y entregar las piezas y la arena por separado, homogeneizando la arena a procesar para su reutilización.

De esta manera las piezas salen por la parte delantera, mientras que la arena se extrae por la parte final (chapa perforada) de descarga del tambor desmoldeador, dirigiéndola hacia la arenería, para su posterior tratamiento.

En función de la pieza que se procesa, la temperatura del metal oscila entre los 65 y los 90 °C, teniendo en cuenta que la temperatura de entrada es aproximadamente de 750 °C.

La temperatura de salida de la arena oscila entre los 40 y los 50 °C con un índice de humedad aproximado del 1,5%.





Imagen 11.1: Tambor de desmoldeo Vibrotech.

## 12 OPERACIONES DE LIMPIEZA

Después del desmoldeo, quedan piezas sucias y con los bebederos y rebosaderos adosados, que es preciso eliminar. Esto se realiza en tres clases de operaciones:

- Operaciones de desmazarotado.
- Operaciones de limpieza.
- Operaciones de rebardado.

### 12.1 Operaciones de desmazarotado

En líneas generales, y tratándose de piezas no muy voluminosas tales como: discos y tambores de freno, bloques motor, carcasas de cajas de cambio, etc., se suele aprovechar la caja de moldeo para fundir a la vez más de una pieza.

La fusión de más de una pieza por molde trae aparejado consigo el hecho de que tanto los bebederos como los canales de alimentación y las ollas de colada sean mayores y no puedan ser retiradas automáticamente por las piedras de amolado.

Por este motivo, en el área de acabado de las piezas, la primera operación que se realiza consiste en separar las piezas entre sí y éstas a su vez de sus bebederos, ollas, mazarotas, etc.

Esta operación es complicada si la tiene que hacer el operario aplicando su propia fuerza. Sin embargo, por su naturaleza, debe ser hecha de forma manual, ya que no es factible de ser automatizada. Así pues, la única manera posible consiste en dotar al operario de un medio externo que multiplique sus fuerzas sin quitarle su flexibilidad. Esto se consigue gracias a un elemento denominado pinza de desmazarotado.

La pinza de desmazarotado sirve para separar bebederos, piezas, etc. Consiste básicamente en una cuña accionada hidráulicamente, que está suspendida sobre el puesto de trabajo y para cuya operación, sólo es necesario introducir su extremo en el punto a abrir, y, una vez hecho esto, accionar el pistón hidráulico interior, que se encargará de abrir las mordazas separando las piezas.

## 12.2 Granallado

El granallado es el tratamiento de las superficies, mediante el impacto de partículas abrasivas. En general se puede decir que el granallado es el bombardeo de partículas abrasivas a gran velocidad (65 - 110 m/s) que, al impactar con la pieza tratada, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie, elimina rebabas, quita pintura, etc.

Tipos de granalladoras:

### 12.2.1 *De tambor*

Estas granalladoras realizan la limpieza por volteo de piezas. Por el tipo de proceso este sistema cubre un amplio espectro de necesidades, pero se puede decir que de forma general que están indicadas para cualquier pieza que por su forma y material pueda ser volteada. Todas las máquinas de volteo permiten ser integradas con facilidad en procesos continuos de fabricación, con diferentes sistemas de dosificación, carga y descarga. Existen diferentes tipos de volteo:

- **Banda de goma de giro constante:** Permite mediante el volteo suave y constante un granallado uniforme de las piezas. Se trata de una banda de gran resistencia al desgaste y perforada para dejar evacuar la granalla
- **Tambor metálico de giro constante:** Es adecuado para el granallado de piezas a granel que permitan ser volteadas. El giro suave y constante del tambor consigue una limpieza uniforme de las piezas. Se trata de un tambor construido totalmente en acero antidesgaste y sin articulaciones, por lo que no existe riesgo para las piezas ni para la propia máquina.
- **Tambor metálico de giro continuo:** Debido a su especial diseño consigue el granallado uniforme y en continuo de altas producciones. Su gran ventaja radica en que, al igual que el tambor metálico, su construcción es totalmente realizada en acero antidesgaste y sin articulación, por lo que su resistencia es muy alta y su mantenimiento muy bajo.

### 12.2.2 *De carga suspendida*

Son granalladoras en las que las piezas se limpian colgadas en ganchos, individualmente o formando racimos, que son expuestos a la acción de las turbinas.

Dentro de esta descripción general se engloban una serie amplísima de instalaciones cuya principal característica es la gran variedad tanto de tamaños de pieza como de configuraciones de carga que se pueden conseguir.

Las cabinas de granallado donde se sitúan los ganchos están totalmente construidas en acero antidesgaste y reforzadas en las zonas de impacto directo de la granalla con piezas reemplazables del mismo material.

### 12.2.3 *Granalladoras con transporte de carga horizontal*

La ventaja es que se permite el granallado continuo de piezas complicadas, y que requieren un granallado sin manipulación. Pueden permitir diferentes anchuras y un número variable de turbinas dependiendo de la complejidad de la pieza. La malla metálica se fabrica en acero altamente resistente al desgaste.

Se ha elegido para proceso de fundición de aleaciones de aluminio una granalladora en continuo de cinta de malla RDGE 1600-4 de la empresa Rösler.

Este tipo de máquina es totalmente apropiada para realizar tratamientos completos a cualquier tipo de piezas que se quieran tratar en continuo. Con cuatro turbinas de alto rendimiento Hurricane montadas en la carcasa de la cabina (orientadas vertical y horizontalmente), es posible tratar piezas muy complejas, con cortes en la parte posterior o bolsillos. El transporte de las piezas se realiza mediante una cinta de malla de alambre altamente resistente que se ajusta según la estructura y la anchura de la malla.

El sistema especial de guiado de la cinta hace posible que el menor número de turbinas sean necesarias para tratar satisfactoriamente componentes en tan sólo una pasada por la cinta, lo cual significa que el llamado efecto cubrimiento se mantiene al mínimo.



Imagen 12.1: Granalladora Rösler 1600-4

### **12.3 Operaciones de desbardado**

Las piezas limpias se someten a las operaciones de desbardado, para suprimir los bebederos, rebosaderos, vientos, rebabas, etc.

El desbardado es una operación netamente mecánica, que se puede realizar a mano, con martillo y cortafríos o por medio de cinceles neumáticos, sierras, sopletes, esmeriladoras, etc.

## 13 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS PIEZAS FUNDIDAS

Con un tratamiento térmico adecuado se puede influir en la resistencia mecánica, estabilidad ante la corrosión, mecanizado o exactitud dimensional de las piezas fundidas. Se distingue, según el material de que se trate, tratamientos térmicos para endurecimiento, homogeneización, estabilización, ablandamiento, recocidos contra tensiones. Estos tratamientos térmicos pueden ser realizados en distintas partes del proceso. En la Tabla 13.1 se hallan los datos más importantes para el tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio más corrientes.

**Tabla 7.16: Directrices para el tratamiento térmico de las piezas fundidas de aluminio**

Notación (Aleación y estado deseado)	Número del material	Recocido de disolución		Enfría- miento	Almacenaje	
		Temperatura °C	Tiempo <sup>1)</sup> h		Temperatura °C	Tiempo <sup>1)</sup> h
G-AlSi12g	3.2581.44	520 a 530	3 a 5	<sup>2)</sup>	-	-
GK-AlSi12g	3.2581.45					
G-AlSi10Mg wa	3.2381.61	520 a 530	3 a 6	<sup>2)</sup>	160 a 165 <sup>1)</sup>	8 a 10
GK-AlSi10Mg wa	3.2381.62					
G-AlSi10Mg(Cu) wa	3.2383.61	520 a 530	3 a 6	<sup>2)</sup>	160 a 165	8 a 10
GK-AlSi10Mg(Cu) wa	3.2383.62					
G-AlSi5Mg ka	3.2341.41	520 a 530	3 a 6	<sup>2)</sup>	20	100
GK-AlSi5Mg ka	3.2341.42					
G-AlSi5Mg wa	3.2341.61	520 a 530	3 a 6	<sup>2)</sup>	155 a 160	8 a 10
GK-AlSi5Mg wa	3.2341.62					
G-AlMg3Si wa	3.3241.61	540 a 560	4 a 8	<sup>2)</sup>	160	8 a 10
GK-AlMg3Si wa	3.3241.62					
G-AlMg10ho	3.3591.43	425 a 435	8 a 10 <sup>1)</sup>	<sup>2)</sup>	-	-
G-AlSi9Mg wa	3.2373.61	525 a 540	4 a 8	<sup>2)</sup>	155 a 165	8 a 10
GK-AlSi9Mg wa	3.2373.62					
G-AlSi7Mg wa	3.2371.61	525 a 540	4 a 8	<sup>2)</sup>	155 a 160	6 a 10
GK-AlSi7Mg wa	3.2371.62					
G-AlCu4Ti ta	3.1841.63	525 a 535 <sup>1)</sup>	4 a 8 <sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	145 a 150	12 a 14
GK-AlCu4Ti ta	3.1841.64					
G-AlCu4Ti wa	3.1841.61	525 a 535 <sup>1)</sup>	4 a 8 <sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	155 a 160	12 a 14
GK-AlCu4Ti wa	3.1841.62					
G-AlCu4TiMg ka	3.1371.41	520 a 530 <sup>1)</sup>	4 a 8 <sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	20	100
GK-AlCu4TiMg ka	3.1371.42					
G-AlCu4TiMg wa	3.1371.61	520 a 530 <sup>1)</sup>	4 a 8 <sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	155 a 160	12 a 14
GK-AlCu4TiMg wa	3.1371.62					
(G-AlSi12Cu1Ni1Mg1) <sup>8)</sup>	endurecido en caliente	510 a 520	4 a 7	<sup>3)</sup>	165 a 185	5 a 7
(G-AlSi12Cu1Ni1Mg1) <sup>9)</sup>	estabilizado (v. 7.7.5)	-	-	-	210 a 220	5 a 8
(G-AlMg5Si1Cu0.5) <sup>8)</sup>	distensionado	-	-	-	250 a 300	2 a 6 <sup>11)</sup>
(G-AlCu4Ni2Mg) <sup>8)</sup>	endurecido en frío	510 a 520	3 a 6	<sup>3)</sup> o en aceite	20 <sup>1)</sup>	120
(G-AlCu4Ni2Mg) <sup>8)</sup>	endur. en caliente	510 a 520	3 a 6	<sup>3)</sup> o en aceite	160 a 180	4 a 6
(G-AlCu4Ni2Mg) <sup>8)</sup> <sup>10)</sup>	estabilizado	510 a 520	3 a 6	<sup>1)</sup>	260 a 288	2 a 3 <sup>11)</sup>
(G-AlZn5Mg1) <sup>8)</sup>	sin tratar	-	-	<sup>2)</sup>	20	500
(G-AlZn5Mg1) <sup>8)</sup>	endurecido en caliente	-	-	<sup>2)</sup>	175 a 185	4 a 10 <sup>14)</sup>

Tabla 13.1: Directrices para el tratamiento térmico de las piezas fundidas de aluminio.

### **13.1 Instalaciones para tratamientos térmicos**

El éxito del tratamiento térmico depende de la exacta observación de las indicaciones sobre el tratamiento. Se debe ser muy exigente con los hornos de recocido que hayan de utilizarse. Las oscilaciones de la temperatura en su recinto o del tiempo deben ser muy pequeñas. No deben utilizarse instalaciones improvisadas. El recocido y el almacenaje en caliente tienen lugar en hornos con circulación forzada de aire, de diversos tipos, con calentamiento eléctrico o de forma indirecta si se utiliza combustible, (los gases de calefacción pueden producir burbujas a temperaturas elevadas). El éxito del tratamiento térmico depende de la exacta observación de las indicaciones sobre el tratamiento. Se debe ser muy exigente con los hornos de recocido que hayan de utilizarse. Las oscilaciones de la temperatura en su recinto o del tiempo deben ser muy pequeñas. No deben utilizarse instalaciones improvisadas.

Para el mantenimiento de temperaturas uniformes en todos los lugares del horno es importante una circulación de aire suficiente. Es preciso disponer de una regulación de temperatura totalmente automática, con una exactitud de  $\pm 3$  hasta  $5^{\circ}$  C, así como un registro de temperatura mediante un impresor puntual multicolor. La medición de la temperatura exacta impide errores en el tratamiento térmico. El uso de instrumentos para medir la temperatura debe corresponder al tipo de horno en uso.

Los hornos modernos disponen de instalaciones automáticas para el control y regulación de la temperatura. Para las necesidades prácticas son suficientes los reguladores por estribo de carda y termoelementos de níquel-cromo. Es conveniente registrar la temperatura en diversos lugares fijos del horno así como en el interior de la carga a recocer, utilizando termoelementos móviles. Los hornos nuevos llevan ya esta instalación, puesto que en ellos no es conocida aún la marcha de la temperatura en el recinto del horno. Un tratamiento cuidadoso y un control frecuente de las instalaciones de medida (a ser posible un calibrado frecuente) son importantes para una medición de temperatura que ofrezca confianza. Los folletos de las casas suministradoras contienen instrucciones sobre instalación, manejo, inspección y calibrado.

## 13.2 Endurecimiento

El tratamiento térmico más importante es el de endurecimiento. Se distingue entre los estados que se alcanzan con ellos el material entre: endurecimiento en caliente (wa), endurecimiento parcial (ta) y endurecimiento en frío (ka). Las aleaciones de moldeo endurecibles, idóneas para tal fin, se hallan contenidas en la Tabla 13.1.

### 13.2.1 *Recocido de disolución*

En el recocido de disolución se trata de llevar a los constituyentes de aleación endurecibles totalmente al estado de solución. La temperatura de recocido más favorable para ello es la más alta posible, porque la solubilidad aumenta fuertemente con la temperatura. Pero ésta no debe sobrepasar los límites máximos dados ya que, si no, pueden fundirse los constituyentes estructurales eutécticos de punto de fusión bajo. A causa de esta fusión las piezas coladas serían inservibles. Por esta razón, las temperaturas de recocido de disolución prescritas deben mantenerse muy exactamente (de  $\pm 3$  hasta  $\pm 5^\circ$  C como máximo). Si nos quedamos por debajo de las temperaturas de recocido de disolución dadas, disminuye el efecto del endurecimiento. En la práctica, las temperaturas de recocido de disolución se hallan de 10 a 15° C por debajo del comienzo de la fusión. Mediante un recocido previo a una temperatura 20 a 300 C más baja (recocido escalonado) se puede ampliar bastante el intervalo de temperatura del recocido de disolución, para el cual se consiguen las características de resistencia mecánica óptimas sin elevar el valor máximo. En la práctica se consigue con ello la ventaja técnica y económica de que la temperatura de recocido sea primeramente más baja y, al evitar que se sobrepase la temperatura en la pieza colada, se disminuye el número de rechazos.

El tiempo de recocido empieza a contar desde el momento en que se haya alcanzado la temperatura de disolución prescrita. Por ello, el tiempo de calentamiento también debe contarse. La velocidad de calentamiento no es tan esencial para el endurecimiento. Los constituyentes endurecibles pasan tanto más rápidamente y de modo más completo a la solución, cuanto más fino sea el grano con el que ha solidificado la pieza colada. Los intervalos de tiempo dados se han de entender, por consiguiente, en el sentido de que el tiempo más corto corresponde a piezas de paredes delgadas y fundición en coquilla, en tanto que el tiempo más largo corresponde a piezas de paredes gruesas y fundición en arena.



En ciertos casos puede ser útil una prolongación del tiempo de recocido cuando se trata de piezas coladas de paredes gruesas que han solidificado muy lentamente, como, por ejemplo, en la fundición en arena. Se utiliza, ocasionalmente también, para piezas coladas de aleaciones G-AlCu4Ti y G-AlCu4TiMg, con objeto de conseguir valores máximos de las características mecánicas. Sin embargo, una temperatura de recocido de disolución excesivamente baja no puede compensarse por un mayor tiempo de recocido. Los valores máximos de alargamiento se consiguen mediante un recocido simple a temperaturas de recocido ligeramente inferiores al intervalo de fusión del eutéctico Al-Al<sub>2</sub>Cu.

A elevada temperatura de recocido presentan las piezas escasa resistencia mecánica. Las piezas grandes se deben apoyar, por ello, en armazones preparados expresamente, para evitar un alabeo de las mismas. Las piezas menores no se deben recocer en pilas excesivamente altas, para evitar que puedan presentarse deformaciones de las piezas calientes. Con este objeto se utilizan cajas y cestas adecuadas, fabricadas de acero resistente al calor y a la oxidación, así como las instalaciones de transporte (carriles de guías).

Las piezas coladas deben situarse con separación suficiente, unas de otras y sobre todo, con respecto a las paredes del horno, con el fin de asegurar una libre circulación del aire caliente.

### 13.2.2 *Enfriamiento*

Por enfriamiento se "congela" la estructura conseguida en el recocido de disolución. Teniendo en cuenta que la solubilidad de los constituyentes de aleación en el aluminio retrocede fuertemente al descender la temperatura, la solución sólida de aluminio se halla sobresaturada en el estado enfriado y susceptible de endurecimiento. Durante éste se trata de atravesar, lo más rápidamente posible, el intervalo de temperaturas comprendido entre la de recocido de disolución y los 200 °C aproximadamente, de tal manera que se evite la precipitación de los constituyentes disueltos en exceso. Por ello se enfría de ordinario mediante inmersión en agua fría y dejando la pieza en el baño de enfriamiento ya que cualquier demora, llamada también "tiempo de preenfriamiento" puede influir desfavorablemente en los valores finales deseados así como perjudicar la resistencia a la corrosión. Se debe aspirar a un intervalo máximo de 10 segundos entre la extracción del horno de recocido y el enfriado; las piezas grandes de paredes gruesas permiten intervalos algo mayores, pero en ningún caso deben sobrepasarse los 30 segundos.

Los baños de enfriamiento se sitúan al lado del horno de recocido o bajo él. Deben estar previstos elevadores de marcha rápida para la inmersión inmediata de la pieza recocida. Los bastidores y las cestas de transporte deben ser ligeros y tener poca capacidad calorífica. Las piezas coladas deben ser apiladas, manteniendo una distancia suficiente entre ellas, a fin de que el agua de refrigeración pueda llegar fácilmente a las piezas que se encuentren más en el interior. La formación de vapores en los huecos de las piezas se debe evitar por una disposición adecuada de las mismas ya que pueden producir elevadas tensiones de enfriamiento. Las mismas normas son aplicables a los baños de aceite. La temperatura se orienta conforme a las prescripciones especiales (Tabla 13.1).

Inmediatamente después del enfriamiento las piezas fundidas están aun relativamente blandas, siendo posible su conformación entre ciertos límites. En este estado es posible enderezarlas si fuere necesario. En las piezas complicadas, con grandes diferencias de espesores de pared, que son susceptibles al alabeo, y en aleaciones que tienen tendencia a presentar elevadas tensiones de colada, está permitido elevar la temperatura del baño de enfriamiento 70 a 100° C. Así se rebajan las tensiones del enfriamiento. Pero puede ser conveniente enfriar inmediatamente después en agua fría, para evitar un endurecimiento incontrolado. Solo en casos especiales se enfrían con chorra de agua o con corriente de aire (Tabla 13.1).

### 13.2.3 *Almacenamiento en caliente*

Después del recocido de disolución y del enfriamiento, se suelen almacenar en caliente las piezas ("wa"), es decir, se recuecen durante varias horas a temperaturas entre 140 y 180 °C. Las condiciones usuales del almacenamiento están expuestas en la Tabla 13.1.

Con el comienzo del almacenamiento en caliente se inicia la precipitación lenta de los elementos de aleación disueltos en exceso. Al mismo tiempo aumentan, al principio, la resistencia mecánica y la dureza, alcanzan un valor máximo y retroceden de nuevo con precipitación progresiva, cuando el almacenamiento se ha prolongado demasiado tiempo. Estos procesos trascurren más rápidamente cuanto más alta es la temperatura.

El almacenamiento en caliente se interrumpe por enfriamiento al aire una vez que se hayan conseguido las características mecánicas más favorables. El tiempo de recocido necesario para ello depende de la temperatura de almacenamiento. Para cada temperatura hay un intervalo de tiempo en el que se puede contar con los valores máximos. Los máximos valores para la resistencia mecánica y el límite 0,2 se alcanzan cuando las

temperaturas de almacenamiento se mantienen en el límite inferior. Si se sobrepasa inadvertidamente el estado de endurecimiento más favorable, por ejemplo, como consecuencia de un almacenamiento excesivo o de una temperatura de almacenaje demasiado alta, se puede repetir el tratamiento de endurecimiento comenzando con el recocido de disolución y enfriamiento. Una permanencia intermedia de varias horas a temperatura ambiente previa al almacenamiento en caliente disminuye los valores del límite 0,2, en general, de un 10 a un 20%.

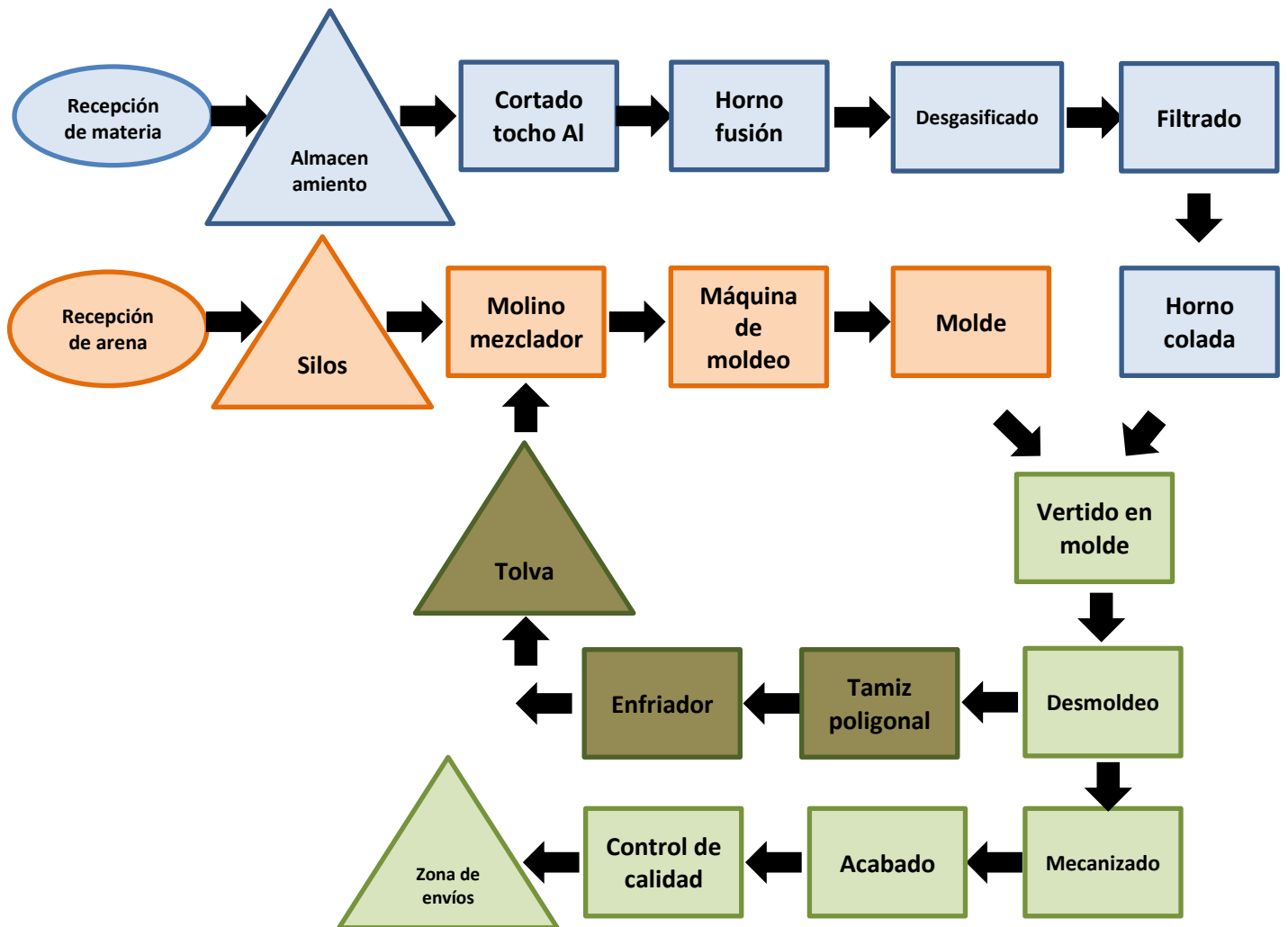
#### 13.2.4 *Endurecimiento parcial*

Si se interrumpe el almacenamiento en caliente antes de haber alcanzado el valor máximo, se consigue un mayor alargamiento a costa de una menor pérdida en resistencia mecánica. A este estado se le designa como endurecimiento parcial ("ta"). Se halla solamente normalizado para la aleación de G-AlCu4Ti y se alcanza, en este caso, mediante una disminución de la temperatura de almacenamiento de alrededor de unos 10° C con respecto al endurecimiento en caliente para igual duración de almacenamiento (Tabla 13.1).

#### 13.2.5 *Endurecimiento en frío*

Al almacenar a temperatura ambiente después de realizado el recocido de disolución y el enfriado aparece, si se compara con el almacenamiento en caliente, un menor aumento de la resistencia mecánica, del límite 0,2 y de la dureza, y también una pérdida, aunque muy débil, del alargamiento. Las aleaciones G-AlSi5Mg y G-AlCu4TiMg están normalizadas en el estado endurecido en frío ("ka") y en caliente ("wa"). Los ensayos de resistencia mecánica deben ser realizados al cabo de 8 días de almacenamiento en frío.

## 14 FLUJOGRAMA



## 15 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS

En este apartado se procederá a la descripción de los equipos empleados en el proceso.

### 15.1 Instalaciones de fusión

1 horno de crisol basculante Nabertherm KB 400/12.

2 cucharas para transporte de aluminio fundido con basculamiento hidráulico DUGOPA.

2 unidades portátiles de desgasificado de la empresa PALMER Manufacturing and Supply.

4 carretillas elevadoras eléctricas CESAB B415 para transporte de cucharas.

Tronzadora para corte de tochos de aluminio MG DUO-550.

Filtro Deep Bed INDICO DB 40.

#### 15.1.1 *Horno de crisol basculante KB 400/12*

El horno KB 400/12 tiene las siguientes características:

- Capacidad de 1000 kg de Al.
- Capacidad de producción de 450 kg Al/h.
- Consumo de mantenimiento de calor manteniendo la tapa cerrada de 19 kWh.
- Potencia del quemador 450 kW.

Las dimensiones de este horno son:

- Ancho: 2650 mm.
- Alto: 2080 mm.
- Profundidad: 2080mm.

Por último, el peso del horno es de 3300 kg.

Modelo	Tmáx °C	Crisol	Capacidad		Potencia de fusión <sup>3</sup>		Consumo mantenimiento calor tapa cerrada KWh/h	Consumo fusión KWh/kg	Potencia quemador kW	Dimensiones externas en mm			Peso en kg
			Kg Al	Kg Cu	Kg Al/h	Kg Cu/h				Anch.	Prof.	Alt.	
								AL					
KB 80/12	1200	TP 287	180	550	220 <sup>1</sup>	-	10	1,3 - 1,5	300	2030	1700	1510	1800
KB 150/12	1200	TP 412	330	970	240 <sup>1</sup>	-	11	1,3 - 1,5	300	2140	1900	1710	2200
KB 180/12	1200	TP 412 H	370	1200	260 <sup>1</sup>	-	13	1,3 - 1,5	300	2140	1900	1810	2400
KB 240/12	1200	TP 587	570	-	400 <sup>1</sup>	-	15	1,3 - 1,5	390	2650	2030	1810	2600
KB 360/12	1200	TBN 800	750	-	420 <sup>1</sup>	-	17	1,3 - 1,5	450	2650	2080	1910	2900
KB 400/12	1200	TBN 1100	1000	-	450 <sup>1</sup>	-	19	1,3 - 1,5	450	2650	2080	2080	3300
KB 40/14	1400	R 400/TP 982	120	400	-	330 <sup>2</sup>	22	1,0 - 1,3	400	2070	1700	1770	2300
KB 60/14	1400	R 500	150	500	-	360 <sup>2</sup>	25	1,0 - 1,3	400	2070	1900	1810	2500
KB 80/14	1400	R 600	180	600	-	380 <sup>2</sup>	25	1,0 - 1,3	400	2070	1900	1910	2650

<sup>1</sup>A 700 °C <sup>2</sup>A 1000 °C

<sup>3</sup>Los datos de potencia de fusión son valores máximos. En la práctica, se alcanza aprox. el 80 %.

Tabla 15.1: Características de los hornos Nabertherm.

### 15.1.2 Cucharas de transporte de aluminio fundido con basculamiento hidráulico DUGOPA

Las cucharas DUGOPA son cucharas con crisol de carburo de silicio aislada con fibra cerámica. Se eligen cuatro cucharas TPX-587 con capacidad para 530 kg de aluminio para el vaciado del horno KB 400/12.

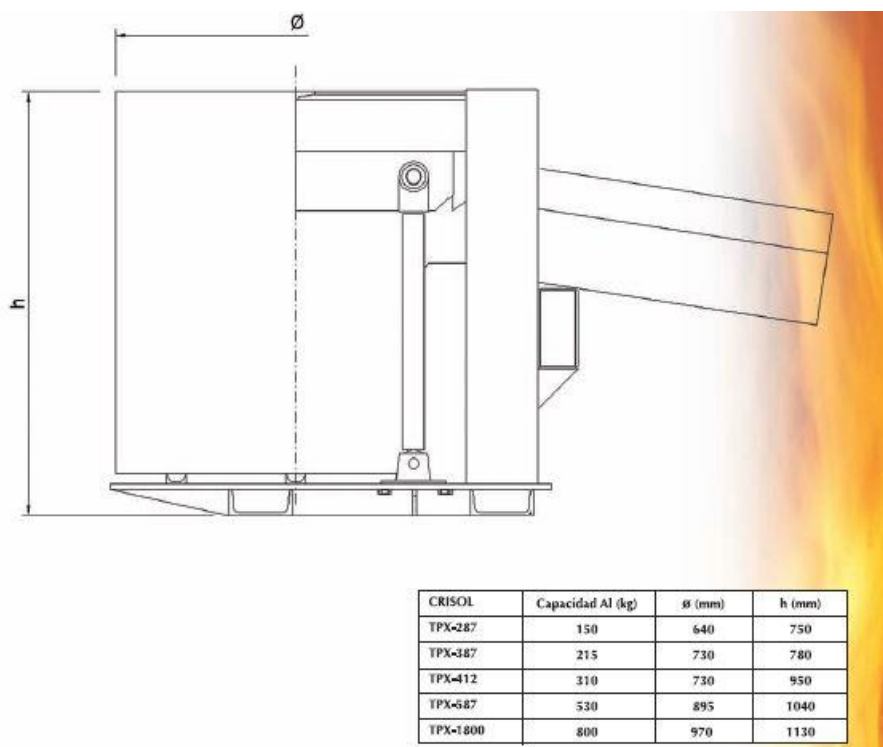


Imagen 15.1: Dimensiones cuchara DUGOPA.

El basculamiento se hace a través de dos cilindros hidráulicos. La cuchara tiene velocidad de avance y retroceso en los cilindros para adecuar la velocidad de vertido y de descenso. La cuchara va provista de enchufes rápidos para conexionado inmediato con la carretilla elevadora.

### 15.1.3 *Unidades portátiles desgasificadoras PALMER*

Su funcionamiento se basa en el principio de que el gas hidrógeno disuelto se moverá de un área de alta concentración (en el metal fundido) a un área de baja concentración (en el gas inerte). El hidrógeno se dispersa en el metal fundido como lo haría si fuera liberado en cualquier espacio confinado.

Especificaciones generales:

- Potencia del motor: 3/4 HP.
- El motor gira hasta 3600 rpm. La velocidad de giro del motor es variable.
- Lanzas de 66 cm.
- Tamaño del cuerpo: 203 mm de diámetro, 431 mm de largo, 304 mm la brida base.

Características:

- Bajo coste con alta eficiencia.
- Construcción en acero inoxidable.
- Motor neumático de velocidad variable.
- Portátil y de bajo peso. 23 kg.
- Versátil: Puede usarse en hornos de crisol y otros tipos de horno.



Imagen 15.2: Unidad desgasificadora portátil.

### 15.1.4 Carretillas elevadoras CESAB B415

Se utilizarán cuatro carretillas CESAB B415, dos de ellas para el transporte de las cucharas de aluminio fundido y las otras dos para transporte de piezas entre la planta de producción y los talleres y transporte de residuos al almacén de residuos controlados.

Características:

- Sistema de tracción: Eléctrico.
- Capacidad de carga: 1500 kg.
- Distancia entre ejes: 1312 mm.
- Peso: 2991 kg.
- Inclinación del mástil: 5°.
- Altura del mástil replegado: 2160 mm.
- Altura de elevación: 3170 mm.
- Altura del mástil extendido: 3720 mm.
- Longitud total: 2946 mm.
- Anchura total: 1050 mm.
- Dimensiones de las horquillas: 35x100x1000 mm.
- Radio de giro: 1616 mm.
- Velocidad de traslación, con/sin carga: 19/19 km/h.
- Velocidad de elevación, con/sin carga: 0,4/0,6 m/s.
- Velocidad de descenso con/sin carga: 0,55/0,50 m/s.
- Esfuerzo máximo de arrastre, con/sin carga: 14450/15000 N.
- Pendiente máxima superable, con/sin carga: 28/32 %.
- Motor de tracción, potencia: 12 kW.



Imagen 15.3: Carretilla elevadora CESAB.



### 15.1.5 *Filtro Deep Bed*

Los filtros Deep Bed se usan para el filtrado del aluminio fundido con el propósito de eliminar inclusiones antes de que el caldo sea vertido en los hornos de colada.

Utilizaremos un filtro Deep Bed suministrado por INDICO (Industrial Filters Company) modelo DB-40, que posee las siguientes características:

- Capacidad de filtrado: 24 ton/h.
- Área de filtrado: 4,5 m<sup>2</sup>.
- Capacidad del tanque: 1350 kg de aluminio.
- Largo: 2464 mm.
- Ancho: 1092 mm.
- Alto: 400 mm.



Imagen 15.4: Filtro Deep Bed DB-40

## 15.2 Arenería

Tenemos que diseñar una instalación capaz de cubrir una demanda de 29 ton/hora de la línea de moldeo. Para ello disponemos de:

### 15.2.1 *Silos de almacenamiento*

En el exterior de la nave disponemos de 4 silos cilíndricos con 30 m<sup>3</sup> de capacidad para el almacenamiento de la arena y los aditivos. Un sistema de PLC administrará la cantidad de arena y de aditivos que se manda al molino mezclador. Sus dimensiones son:

- Altura: 8 m.
- Diámetro: 2,5 m.
- Capacidad 35 m<sup>3</sup>.

### 15.2.2 *Tolva de almacenamiento*

Es el sistema utilizado para almacenar la arena usada que proviene del circuito recuperador de las arenas de desmoldeo. Se dispondrá de dos tolvas con una capacidad para 25 m<sup>3</sup> de arena. Disponen de un filtro de mangas para minimizar el polvo durante el vaciado. Dispone de una válvula automática para el vaciado. Características:

- Volumen de descarga: 40 m<sup>3</sup>/h.
- Longitud: 3000 mm.
- Ancho: 3500 mm.
- Capacidad de almacenamiento: 2x25 m<sup>3</sup>.

### 15.2.3 *Molino mezclador DISA SAM Mixer*

Se ha elegido el molino DISA SAM-6-70. A continuación se presentan las características de la gama DISA SAM:

Type		SAM-3-40	SAM-6-70	SAM-10-85	SAM-10-100	SAM-10-120	SAM-16-160	SAM-16-180S
Dimensions:								
A	mm	1650	1850	2580	2580	2580	2495	2510
B	mm	1900	2125	2300	2300	2320	2520	2600
C	mm	1500	1850	2200	2200	2200	2500	2500
D	mm	1600	2000	2400	2400	2400	2700	2700
Mixing throughput max* Excl. SMC/Incl. SMC								
	t/h	36/30	63/53	77/64	90/75	108/90	144/120	180/150
Motor power:								
Turbine	kW	55	110	110	132	160	200	250
Stirring	kW	30	55	55	75	90	132	200
Charge:	kg	1000	1750	2125	2500	3000	4000	5000
Weight:	kg	6000	9300	12700	12900	13000	18600	19300

Tabla 15.2: Características molino DISA SAM Mixer.

Se ha procedido a la elección del DISA SAM-6-70 por su capacidad de carga de 1 tonelada de arena y porque es capaz de satisfacer la demanda de 29 ton/h de la máquina de moldeo.

Las dimensiones especificadas en la tabla se representan en el siguiente esquema:

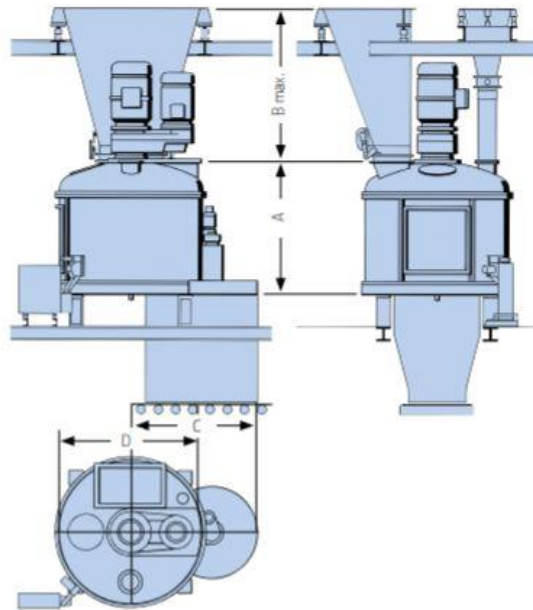


Imagen 15.5: Detalle medidas molino DISA SAM Mixer

#### 15.2.4 Multicontrolador DISA SMC

Es el dispositivo que regula el proceso de preparación de la arena de moldeo en el molino mezclador, proporcionándonos las mejores propiedades de la arena de moldeo.

El multicontrolador DISA puede realizar las siguientes mediciones:

- Temperatura.
- Compactibilidad.
- Resistencia del molde.

La función principal del multicontrolador es la de regular el volumen de agua y aditivos que se le añade a la arena de moldeo.

Características:

- Evaluación estadística con gráficos para un número determinado de moliendas.
- Entrada en línea de los valores medidos, regulación, supervisión y visualización.
- Supervisión de la compactibilidad del molde.
- Supervisión de la resistencia del molde.
- Almacenamiento de datos.
- Análisis de fallas.
- Acceso remoto vía internet o RAS.
- Los datos son guardados en una base de datos.

Entrada de datos:

- Peso de la molienda.
- Compactibilidad deseada
- Modo de dosificación del agua.
- Duración del tiempo de mezclado.
- Resistencia del molde deseada.

Dimensiones del multicontrolador y del armario de control:

- Longitud: 885 mm.
- Ancho: 290 mm.
- Altura: 785 mm.
- Peso: 100 kg.
- Longitud armario de control: 600 mm.
- Ancho armario de control: 210 mm.
- Altura armario de control: 600 mm.



Imagen 15.6: Multicontrolador DISA SMC

### 15.2.5 *Cintas transportadoras*

Todo el transporte de arenas de moldeo a la máquina de moldeo se realiza en cintas transportadoras.

## 15.3 **Fabricación de machos**

Dispondrá de los siguientes equipos:

- Mezclador Primafond MER 100.
- Disparadora de machos Primafond SCB 60.

- Gasificador GCB.

### 15.3.1 *Mezclador Primafond MER 100*

Necesitamos alimentar a la disparadora, de arena para la fabricación de los machos. Para ello escogemos el mezclador Primafond MER 100 que posee una capacidad de 100 kg de arena y una capacidad de producción de 2 ton/h.

El mezclador realiza el vaciado a través de una tolva a la disparadora de machos.

### 15.3.2 *Disparadora de machos Primafond*

Se dispone de una disparadora de machos Primafond modelo SCB 60 que fabrica los machos en caja fría. Tiene una capacidad de 60 litros con una capacidad de 120 ciclos de disparo por hora.

Aspectos más importantes por las que elegimos esta disparadora de machos:

- Simplicidad de maniobras y simplicidad a la hora de ejecutar los comandos.
- Facilidad de regulación y de extracción de los machos.
- Fácil montaje de la caja de machos.
- Mantenimiento mínimo.



Imagen 15.7: Disparadora de machos con mezclador en la parte superior Primafond.

### 15.3.3 *Gasificador GCB*

Es un generador de gases amina cuya función es la de preparar el catalizador para su administración en la caja de machos. Elegiremos un gasificador GCB 1-2, sus características vienen detalladas en la siguiente tabla:

Caratteristiche tecniche	Technical specifications		GCB 1 - ½	GCB 1 - 1	GCB 1 - 1 ½	GCB 1 - 2
Tubazioni per passaggio aria	Air path	ø	1/2"	1"	1 1/2"	2"
Potenza riscaldamento	Heater rating	Kw	1,5	3+3	6+6	9+9
Temperatura massima raggiungibile	Maximum reachable temperature	C°	160°	160°	160°	160°
Portata	Capacity	cm <sup>3</sup>	1-50	2-150	4-300	4-300
Adatti a lavorare con spara-anime da	Suitable to work with core-shooters of	l	1-10	5-40	30-100	60-120
Dimensioni di ingombro	Overall dimensions	mm	600x400x1600	1500x500x1900	1500x500x1900	1500x500x1900
larghezza-profondità-altezza	width-depth-height					

Tabla 15.3: Características gasificador GCB.

### 15.3.4 Estanterías para ubicación de los machos

Se dispondrán de estanterías para el almacenaje de los machos antes de ser enviados a las máquinas de moldeo. Su altura será de 1800 mm para hacer accesible la recogida a los operarios.

## 15.4 Máquina de moldeo

La máquina de moldeo empleada será máquina de moldeo por disparo y presión DISAMATIC D1.

Esta máquina tiene una tasa de moldeo de 315 moldes por hora y su consumo de arena es de 29 toneladas por hora.

Sus dimensiones son:

- Largo: 4140 mm.
- Ancho: 1700 mm.
- Altura: 2880 mm.

Incorpora un sistema de PLC que permite un control exhaustivo de todo el proceso de fabricación que incluye:

- Interfaz para todas las unidades de la línea de moldeo.
- Autodiagnóstico de hardware eléctrico para una rápida resolución de problemas.
- Monitorización de movimientos y velocidades para asegurar la sincronización perfecta entre todas las unidades del sistema.
- Ajustes automáticos de configuración de la máquina basados en datos de patrones preinsertados.

Como principales características de la máquina de moldeo podemos destacar:

- Rendimiento alto con bajos costes operativos.

- Piezas uniformes, con exactitud dimensional.
- Tolerancia estrecha.
- Aumento en la velocidad de moldeo.
- No se realizan desplazamientos verticales del molde, y la cavidad del molde se mantiene hasta que son desmoldadas las piezas.

**Mould dimensions:**

Height	400	mm
Width	500	mm
Thickness	100-315	mm

Tabla 15.4: Medidas máximas de molde en la máquina de moldeo.

<b>High Mould capacity:</b>		
Uncored	315	mould/hour*
Cored	285	mould/hour*
Cooling time max	47	min*
Sand consumption max	29	tonnes/h**
Power consumption	67	KW
Connected load	55	KVA
Air consumption	4.3	Nm <sup>3</sup> /min

Tabla 15.5: Datos técnicos DISAMATIC D1.

**Machine Dimensions (DMM):**

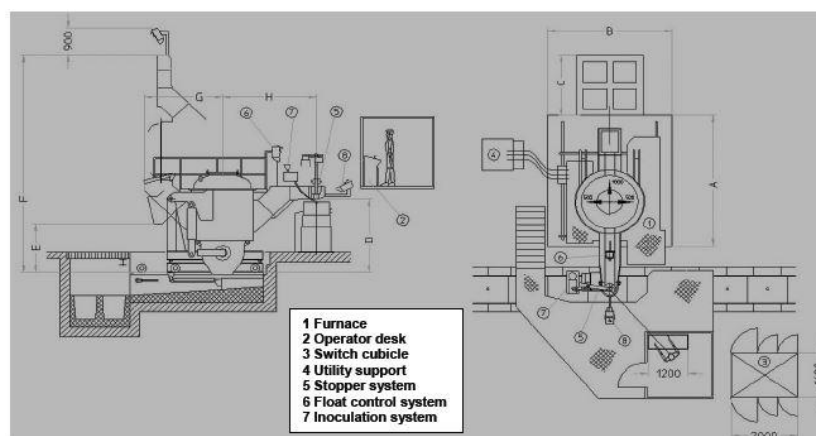
Height	2880	mm
Width	1700	mm
Length	4140	mm
<b>Net weight:</b>	5.6	tonnes

Tabla 15.6: Medidas y peso DISAMATIC D1.

## 15.5 Horno de colada

Hemos optado por escoger un horno de colada de la marca Otto Junker modelo RGD tipo 3/300 comercializado por la empresa HOSSL (Hermann Otto Suderow SL) cuya capacidad es de 3000 kg de Al.

Características de los hornos de colada Otto Junker:



type	t <sup>1)</sup>	kW <sup>2)</sup>	A	B	C	D	E	F	G	H <sup>3)</sup>
2/150	2	150	3900	3200	1400	2300	1850	6500	2100	2200
3/200	3	200	3900	3200	1400	2450	1930	6700	2100	2400
4/250	4	250	3900	3200	1400	2450	1930	6700	2160	2400
5/300	5	300	4200	3750	1800	2350	1550	7000	2350	2800
6/300	6	300	4200	3750	1800	2350	1550	7000	2350	2800
8/350	8	350	4700	4800	2200	2550	1600	7700	3000	3000
10/350	10	350	4700	4800	2200	2550	1600	7700	3000	3000
15/500	10	500	5000	5500	2500	3350	2800	9100	2750	3250
20/600	20	600	7200	5100	2800	3400	5150	10800	3200	3300
40/1200	40	1200	8500	7100	3550	3900	5300	11500	4400	4400

Imagen 15.8: Medidas y datos técnicos del horno de colada.



## 15.6 Instalaciones de desmoldeo

Se ha optado para las instalaciones de desmoldeo por la incorporación de:

Una parrilla vibrante para separar la arena de la pieza.

Un tambor de desmoldeo que retira el resto de arenas de la pieza y a mayores la enfría.

Instalación de aspiración de polvo.

### 15.6.1 *Parrilla vibrante*

Consiste en una bandeja accionada por un grupo motor que provoca vibraciones lo que produce el desprendimiento de la arena.

La parrilla elegida es de la empresa Vibrotech Engineering. Estas parrillas están sometidas en su fabricación a severos controles de calidad para superar las más altas exigencias a las que se ven sometidas, tanto de temperatura como de abrasión.

La longitud de la parrilla será de 15 metros y tendrá una anchura de 1,50 metros.

### 15.6.2 *Tambor de desmoldeo*

El tambor de desmoldeo, igual que la parrilla vibrante es de la empresa Vibrotech Engineering modelo 2400. Posee las siguientes características:

- Tiempos reducidos de enfriamiento de piezas y arena.
- Eficaz combinación entre desmoldeo de las piezas además de rotura y homogeneización de la arena en un solo proceso.
- Completa integración con la línea de moldeo automático.
- Bajo coste de mantenimiento.

Las características de los tambores de desmoldeo Vibrotech Engineering son las siguientes:

Modelo	2000	2400	2900	3200	3400	3800	4200
Capacidad arena+pieza (ton/h)	15	25	55	65	93	145	210
Diametro (D) mm	2.000	2.400	2.900	3.200	3.400	3.800	4.200
Longitud (L) mm	9.000	9.500	12.600	12.600	15.500	19.500	21.900
Potencia instalada (KW)	15	22	45	60	88	160	230

Tabla 15.7: Medidas y datos técnicos del tambor de desmoldeo.

## 15.7 Recuperación de arenas

Una vez realizado el desmoldeo, las arenas se dirigen por una cinta transportadora hasta su almacenamiento, pero se ven sometidas a una serie de procesos para que sean aptas para su posterior utilización como arenas de moldeo. En las cintas transportadoras irán acoplados unos electroimanes denominados overband electromagnéticos y un tambor magnético al rodillo para separar las partículas metálicas que quedaron en las arenas. Posteriormente pasarán a un tamiz poligonal, que elimina los trozos de macho. Por último se procederá al enfriado de la arena mediante un enfriador.

### 15.7.1 *Overband electromagnético*

Para nuestro proceso se selecciona el modelo OFEM 12,1 cuyas medidas y características vienen dadas en la siguiente tabla:

	Modelo	Electroimán a 20°C	Largo	Ancho	Alto
1	OFEM8,1	3 KW	700	480	480
2	OFEM9,1	3,7 Kw	800	480	480
3	OFEM10,1	5,5 Kw	940	500	500
4	OFEM12,1	6 Kw	1000	500	500
5	OFEM12,2	7 Kw	1000	600	500
6	OFEM13,1	7 KW	1000	500	600
7	OFEM13,2	9 Kw	1200	550	600
8	OFEM13,3	10kW	1200	600	500
9	OFEM14,2	12 Kw	1400	600	600
10	OFEM15,1	11 Kw	1200	600	600
11	OFEM15,2	14 Kw	1400	600	600
12	OFEM16,1	15 Kw	1400	600	600
13	OFEM18,1	16 Kw	1500	600	600
14	OFEM20,1	18 Kw	1600	600	600

Tabla 15.8: Medidas y datos técnicos del overband electromagnético.

### 15.7.2 *Tamiz poligonal*

En el siguiente paso, la arena pasa por un tamiz poligonal. Este nos permitirá separar las partículas más grandes de arena que quedan del proceso y elimina los trozos de macho. Sus dimensiones y características serán:

- Largo: 4500 mm.
- Diámetro: 2000 mm.
- Capacidad: 80 ton/h.
- Peso: 3500 kg.

### 15.7.3 Enfriador de arena de retorno RFD

El enfriador de arena de moldeo RFD de la empresa SCOVAL está desarrollado para permitir y garantizar una excelente mezcla de la arena y enfriarla para una temperatura óptima, eliminando las variaciones de temperatura y humedad antes del almacenamiento en los silos.

Entre otras realiza las siguientes funciones:

- Medición de temperatura y humedad de entrada de arena.
- Control del flujo de entrada de arena.
- Control de la potencia del motor principal.
- Medición de la temperatura ambiental y ajuste del flujo de aire soplado.
- Control de flujo de agua.
- Medición de la temperatura de salida de la arena y de su humedad.

Características técnicas de los enfriadores RFD:

	Producción (t/h)	Potencia principal (kW)	Flujo de aire (m3/h)	Potencia Aireador (kW)	Flujo de escape (m3/h)	Dimensiones (L x l x h)	Peso del material (t)
RFD 45	45	22	10000	30	13000	4475 x 3610 x 3100	6,2
RFD 60	60	22	12000	30	16000	4587 x 3610 x 3324	6,3
RFD 80	80	45	15500	37	19000	5163 x 3820 x 3478	8
RFD 120	120	55	18000	45	22000	5163 x 3820 x 3678	8,26
RFD 140	140	75	24000	75	30000	6881 x 4410 x 4373	15,12
RFD 160	160	90	26850	75	33490	6881 x 4410 x 4373	15,5
RFD 200	200	132	35870	90	44540	7331 x 4730 x 4723	21,9
RFD 250	250	160	44880	132	55760	7331 x 4730 x 4943	22,2
RFD 300	300	200	53890	160	66980	7791 x 5070 x 4943	25

Tabla 15.9: Medidas y datos técnicos del enfriador SCOVAL.

Por sus dimensiones y características elegimos el enfriador RFD 45.

## 15.8 Granallado

Utilizaremos una granalladora Rösler 1600-4 con una capacidad de granallado de 150 piezas por hora.

Los datos técnicos del equipo se detallan en la siguiente tabla:

Machine	RDGE 600-L	RDGE 800-4	RDGE 800-8	RDGE 1000-4	RDGE 1000-8	RDGE 1250-4	RDGE 1250-8	RDGE 1600-4
wire mesh belt width (mm)	600	800	800	1.000	1.000	1.250	1.250	1.600
max. work piece height (mm)	250	400	400	500	500	500	500	500
turbines, standard	4 x Gamma 300 G	4 x Gamma 300 G	8 x Gamma 300 G	4 x Gamma 300 G	8 x Gamma 300 G	4 x Gamma 300 G	8 x Gamma 300 G	4 x Gamma 400 G
motor capacity turbines, standard (kW)	7,5	7,5	7,5	11	7,5	11	11	15
belt weight capacity per running meter, standard (kg)	50 - 100	100 - 250	100 - 250	100 - 250	100 - 250	100 - 250	100 - 250	100 - 250
loading height (mm)	< 1.000	< 1.000	< 1.000	< 1.240	< 1.240	< 1.250	< 1.250	< 1.350
wire mesh belt made of manganese steel	o	o	o	o	o	o	o	o
flow through speed, standard (m/min)	0,6 - 6,0	0,5 - 5,0	0,6 - 6,0	0,6 - 6,0	0,6 - 6,0	0,6 - 6,0	0,6 - 6,0	0,6 - 6,0
filter capacity (m <sup>2</sup> /h)	3.000	5.000	7.500	5.000	7.500	7.500	10.000	7.500

Tabla 15.10: Medidas y datos técnicos de la granalladora Rösler

## 15.9 Tratamientos térmicos

El sistema de tratamiento térmico de nuestro proceso de fundición será suministrado por la empresa GHI hornos industriales.

Dispondremos de tres etapas:

- Horno de solubilizado.
- Tanque para temple.
- Horno de envejecimiento.

El horno de solubilizado se trata de un horno para piezas moldeadas en cámara elevada. Es el tratamiento previo al temple. Se trata de un proceso extremadamente exigente en la uniformidad de temperatura requerida en el tratamiento y en el tiempo de transferencia desde el horno al baño de enfriamiento. Las piezas a procesar se disponen en cestones que se alojan en el interior del horno durante el proceso de tratamiento térmico.

Por estas razones su diseño es de cámara elevada con puertas de accionamiento rápido y dispositivo de elevación y descenso de cargas y el tanque de temple, situado bajo la cámara. Cuentan con un sistema de agitación de atmósfera de gran capacidad y con un sistema de regulación de temperatura y muy preciso. Es habitual que varios hornos sean atendidos por un único tanque de temple, ya que la ocupación de este último suele ser mucho más baja que la de los hornos.



Imagen 15.9: Horno de solubilizado.

En los tanques de temple se lleva a cabo el enfriamiento de las piezas para lograr la transformación metalúrgica deseada.

Pueden contener distintos fluidos y disponen de elementos adecuados de control. La calidad del temple es medida con dos cámaras termográficas emplazadas a la salida del tanque, que toman termografías de todas y cada una las piezas a la salida del tanque.



Imagen 15.10: Cámara de temple.

El último paso es la introducción de las piezas moldeadas en el horno de envejecimiento.

En el moldeo de piezas de aluminio debe haber un tratamiento de envejecimiento posterior al de solubilizado y temple. Las piezas a tratar se cargan en contenedores que una vez agrupados y apilados se introducen en el horno. GHI cuenta con un tipo de hornos específico para esta aplicación. Cuentan con ventiladores de gran caudal, situados en la parte superior de la cámara que impulsan la atmosfera interior del horno, atravesando previamente los elementos calefactores. Se trata de hornos de cámara horizontal, que cuentan con una máquina que realiza las labores de transferencia entre el punto de entrada proveniente del tratamiento de solubilizado y temple, hornos, y otros elementos de la instalación como las cámaras de enfriamiento.

## **15.10 Puentes grúa**

Se dispondrá de dos puentes grúa en el proceso de fundición. Uno de ellos realizará la tarea de descargar los tochos cilíndricos de aluminio procedentes ALCOA para su almacenaje, transporte a la sierra de corte y de ahí transporte hacia los hornos de fusión.

El otro puente grúa se ubicará en el taller de mantenimiento y en el taller de mecanizado.

### *15.10.1 Puente grúa zona de fusión*

Se utilizará un puente grúa monorraíl ELV/ELK suministrado por ABUS con las siguientes características:

- Carga máxima: 5000 kg.
- Luz: 24 m.
- Altura: 9m.

### *15.10.2 Puente grúa zona mecanizado y mantenimiento*

Se utilizará un puente grúa monorraíl ELV/EVK suministrado por ABUS con las siguientes características:

- Carga máxima: 2000 kg.
- Luz: 15 m.
- Altura: 9m.

## **15.11 Control de calidad**

Se dispondrá de los siguientes equipos para el control de calidad:

- Equipo de inspección por ultrasonidos. Permitirá la detección de defectos internos.
- Equipo de metalografía: cortadora metalográfica, pulidora manual y microscopio metalográfica.
- Comprobación de grietas mediante líquidos penetrantes.

Aparte de esto, los operarios analizarán visualmente cada pieza con el objetivo de detectar grietas, defectos de fabricación, etc.

### *15.11.1 Cortadora metalográfica Neurtek Brillant 265*

Se trata de una cortadora manual cuya función es la de cortar la muestra que se desea analizar.

Su movimiento manual de ajuste en dos ejes (Y/X), permite un posicionamiento del disco en prácticamente cualquier dirección para un corte exacto, casi sin contacto con la muestra.

Gracias al diseño antivibración del brazo inclinable, el proceso de corte es muy silencioso. Dispone de un panel de control donde se pueden ajustar parámetros como la velocidad de corte, corte por pulsaciones o la posición manual del disco de corte mediante joystick.

Las principales ventajas por las que nos hemos decantado por este modelo son las siguientes:

- Amplia cámara de corte.
- Abertura del lado derecho para muestras largas.
- Amplia mesa de corte.
- Bloqueo de puertas para máxima seguridad.
- Brida protectora en el alojamiento del disco de corte.
- Amplia gama de herramientas y sistemas de sujeción.
- Pantalla táctil de 10,1" con interfaz de usuario intuitiva.
- Memoria para hasta 200 programas.

Sus características técnicas son las siguientes:

- Motor de 7,5 kW.
- Velocidad del disco de corte: 1950 rpm.
- Diámetro del disco de corte: 400 mm.
- Capacidad de corte de muestras de diámetros de hasta 150 mm.

Sus dimensiones son:

- Largo: 930 mm.
- Ancho: 1100 mm.
- Alto: 1600 mm.



Imagen 15.11: Cortadora metalográfica Neurtek Brillant 265.

### 15.11.2 Pulidora manual Neurtek Saphir 320

Es una pulidora de plato único para discos de hasta 200 mm de diámetro. Posee un motor de velocidad controlada que hace posible una utilización en todas las etapas de preparación de la muestra. La velocidad y suministro de agua se regulan en esta máquina de forma manual.

Sus características técnicas son las siguientes:

- Permite pulir discos de hasta 200 mm.
- La velocidad se puede variar entre 50 y 600 rpm.
- Potencia de accionamiento: 0,55 kW.

En cuanto a sus dimensiones son:

- Ancho: 390 mm.
- Alto: 195 mm.
- Fondo: 620 mm.



Imagen 15.12: Pulidora manual Neurtek Saphir 320



### 15.11.3 *Microscopio metalográfico OPTIKA IM-3MET*

Los microscopios metalográficos invertidos son idóneos para inspección industrial de muestras metálicas de cierto volumen. Con las muestras metalográficas no es necesario de disponer de un sistema de iluminación transmitida, sino que con la iluminación incidente es suficiente. Además, en los microscopios metalográficos la iluminación se transmite a través de los objetivos de manera que la luz se concentra con máxima intensidad en la zona de la muestra observada.

Especificaciones técnicas:

- Cabezal: Trinocular, inclinado 45°.
- Oculares: WF 10X/22 mm.
- Aumentos: 50x, 100x, 200x, 500x.

### 15.11.4 *Inspección por ultrasonidos. Sonatest SiteScan 500S*

La inspección por ultrasonidos es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie.

Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente. El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades.

Elegimos el modelo Sonatest SiteScan 500S ya que es un equipo de operación muy sencilla, ligero y de gran resistencia en entornos industriales. Presenta una elevada resolución en campo cercano, gran poder de penetración y una excelente relación señal ruido.

Como en los equipos de ultrasonido la visibilidad es un elemento importante, este equipo tiene una pantalla VGA TFT y trans-reflectiva de color, con una excelente visibilidad en cualquier condición de iluminación.

Prestaciones principales:

- Curvas DAC/AVG/DGS con posibilidad de crear tres zonas dentro de la línea de base de tiempos (normal; +12 dB; +24 dB) para el escaneado en una sola pasada de piezas de elevado espesor.
- Medida del ángulo real de salida.
- Software de gestión y conexión a PC por USB.
- Salida de video.
- Menús personalizables e intuitivos.

### **15.11.5 Inspección por líquidos penetrantes**

Es un ensayo no destructivo que se utiliza para detectar discontinuidades en la superficie de los materiales. Se suele emplear en aleaciones no ferrosas.

El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente en la superficie que queremos analizar, el cual penetra en cualquier discontinuidad debido al fenómeno de capilaridad. Posteriormente se elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de estas.

Se utilizarán líquidos penetrantes fluorescentes ya que tienen mayor sensibilidad que los coloreados. Es necesaria una lámpara de luz ultravioleta ya que sin esta, no son visibles a la vista.

## **15.12 Taller de mecanizado**

En el taller de mecanizado se realizarán las operaciones de desmazarotado, rectificado y bruñido de las piezas fabricadas.

La primera operación que realizaremos será la de desmazarotado. Esta se realizará cuando aprovechamos un molde para fundir más de una pieza. Cuando esto ocurre, es necesario separar las piezas que han quedado unidas por los canales de alimentación por los que fluye el aluminio fundido. El desmazarotado además nos permite eliminar las rebabas y los bebederos o mazarotas que han quedado adheridos a las piezas.

El rectificado es una operación de mecanizado en el que se arranca virutas cortas y delgadas por el que se obtienen piezas con un gran acabado superficial. Para ello se dispone en el taller de mecanizado de una rectificadora con sistema de control CNC.

Para piezas en las que queramos un acabado superficial superior al obtenido por rectificado por la función que va a desarrollar dicha pieza o por pedido expreso del cliente se dispondrá de una bruñidora manual.

### **15.12.1 Desmazarotado**

Para el desmazarotado se contará con dos martillos demoledores cinceladores EBERTH.

Está provisto de un motor de gasolina de dos tiempos refrigerado por aire con las siguientes características:

- Cilindrada: 52 cm<sup>3</sup>.
- Potencia del motor: 2,5 CV.

- Velocidad del motor: 6500 rpm.
- Depósito: 1,7 litros.

Datos técnicos:

- Frecuencia de impacto: 1500 impactos por minuto.
- Fuerza de impacto: 55 J.
- Largo: 690 mm.
- Ancho: 370 mm.
- Peso: 20 kg.

### **15.12.2    *Rectificadora GERmh SC-CNC 60-40***

Es una rectificadora en la que el eje central está controlado con alta precisión y el eje transversal está gestionado en bucle abierto.

Posee un software para controlar la operación que contiene gráficos y mensajes de ayuda que guían al operario permitiendo un manejo fácil de la máquina. El control gestiona de una manera muy precisa el eje vertical. El software permite rectificar gran cantidad de perfiles predefinidos. Su programación puede ser modificada para responder a necesidades específicas de cada cliente.

Características principales:

- Sencilla puesta a punto de la máquina/pieza para acometer la operación de rectificado.
- Fácil corrección dimensional de la pieza.
- Rectificado de planos inclinados por interpolación.
- Posibilidad de programar y almacenar ciclos de trabajo.

Características técnicas:

- Máxima superficie rectificable: 600x450 mm.
- Altura de mesa al centro de muela: 525 mm.
- Altura máxima rectificable: 275 mm.
- Máximo peso pieza: 400 kg.
- Peso máquina: 2100 kg.

### **15.12.3    *Bruñidora SUNNEN MBB-1660***

La bruñidora elegida tiene la capacidad de bruñir orificios de cualquier configuración entre 1,5 y 165 mm de diámetro y 3 a 400 mm de longitud. Es capaz de bruñir superficies

irregulares con gran precisión de medida y exactitud geométrica. Las velocidades del husillo van desde las 200 hasta las 2500 rpm.

Sus medidas son:

- Ancho: 762 mm.
- Fondo: 1524 mm.
- Alto: 1600 mm.
- Peso: 287 kg.



Imagen 15.13: Bruñidora SUNNEN MBB-1660.

### 15.13 Equipos auxiliares

- Dos básculas de pesaje industrial para el pesaje de camiones a la entrada y salida de estos.
- Grupo generador de corriente.
- Depósitos de gasoil y propano.
- Almacén de residuos controlados.

## 16 MEDICIÓN DE SUPERFICIES

Superficie de la parcela M8 del polígono Río do Pozo, Sector IV: 18833 m<sup>2</sup>.

Zona de recepción de materias primas donde se almacenarán los tochos cilíndricos antes de ser enviados a la tronzadora: 30 m<sup>2</sup> (6 m x 5 m).

Zona de stock de retornos de fundición: 30 m<sup>2</sup> (6 m x 5 m).

Espacio para entrada de camiones que suministran los tochos cilíndricos y que recogen los productos finalizados para la entrega al cliente: 180 m<sup>2</sup> (15 m x 12 m).

Zona de fusión donde se encuentra el horno de fusión, la tronzadora, las cucharas de trasvase de Al fundido y las unidades desgasificadoras: 170 m<sup>2</sup>.

Zona de arenería, comprende el molino mezclador y las tolvas de almacenamiento: 138 m<sup>2</sup>.

Zona de moldeo y desmoldeo donde se ubican la máquina de moldeo, el horno de colada, la parrilla vibrante y el tambor de desmoldeo: 546 m<sup>2</sup>.

Zona de recuperación de arenas de moldeo donde está el tamiz poligonal y el enfriador de arena de retorno: 253 m<sup>2</sup>.

Zona de tratamientos térmicos: 171 m<sup>2</sup>.

Control de calidad: 60 m<sup>2</sup>.

Almacén de placas modelo: 150 m<sup>2</sup>.

Zona de machos: 150 m<sup>2</sup>.

Mantenimiento y repuestos y taller de mecanizado: 450 m<sup>2</sup>.

Oficinas, aseos y vestuarios: 330 m<sup>2</sup>.

La superficie total de la nave es de 72 metros de largo por 40 metros de ancho lo que hace una superficie total de 2880 m<sup>2</sup>.

## 17 CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN

### 17.1 Hornos de fusión

El objetivo de nuestro proceso de fundición de aleaciones de aluminio es de producir 1250 toneladas al año de piezas fundidas.

El horario de trabajo de los operarios, como en la mayoría de las empresas del sector es de 3 turnos de 8 horas al día cada uno.

Contando vacaciones, días festivos y días libres de los operarios, se estima un total de 245 días de trabajo al año. Como cada día tiene 3 turnos de trabajo de 8 horas:

$$245 \frac{\text{días}}{\text{año}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \cdot 3 \frac{\text{turnos}}{\text{día}} = 5880 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Cuando se produce una pieza siempre hay aluminio que no se aprovecha (mazarotas, bebederos, parte de aluminio que se pierde en el proceso, etc.) por lo que podemos establecer que el rendimiento de la pieza fundida es de un 75%. El otro 25% será posteriormente aprovechable como retornos de fundición. Por lo tanto, la cantidad de aluminio que necesitaremos fundir al año será de:

$$\frac{1250 \frac{\text{ton}}{\text{año}}}{0,75} = 1667 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Conocida esta cantidad, la cantidad de aluminio que debemos fundir al día será:

$$\frac{1667 \frac{\text{ton}}{\text{año}}}{245 \frac{\text{días trabajados}}{\text{año}}} = 6,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}} = 6800 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Por lo tanto cada hora debemos de producir:

$$\frac{6800 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \cdot 3 \frac{\text{turnos}}{\text{día}}} = 284 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

La tasa de fusión de los hornos Nabertherm KB 400/12 es de 450 kg Al/hora, como disponemos de 1 horno nuestra tasa de fusión de aluminio será de 450 kg/hora.

Teniendo en cuenta las tareas de mantenimiento y demás operaciones que haya que realizar en el horno se estima que durante el año el horno funcionará a un 80% de su rendimiento total.

Si es capaz de producir 450 kg/hora a máximo rendimiento, al 80% es capaz de producir 360 kg/hora de aluminio fundido, por lo que cumple perfectamente con las necesidades del proceso.

## 17.2 Arenería

La relación entre el metal fundido y la arena necesaria es de una relación aproximada de 1:7. Por cada tonelada de aluminio fundido necesitaremos 7 de arenas de moldeo.

Como calculamos en el apartado anterior, la producción por hora de aluminio fundido es de 0,36 toneladas por hora, por lo tanto la producción por hora necesaria de arena de moldeo será de:

$$0,36 \frac{\text{tonelada}}{\text{hora}} \cdot 7 = 2,52 \frac{\text{ton arena}}{\text{hora}}$$

Esa cantidad traducida a la cantidad anual de arena será:

$$2,52 \frac{\text{ton}}{\text{hora}} \cdot 5880 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 14818 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Por defecto, trabajaremos con una única preparación de la arena para los moldes, aunque el molino mezclador pueda hacer ciertas modificaciones durante la molienda.

Del 100% de la arena de moldeo, los porcentajes de cada materia prima serán aproximadamente:

- Arena usada: 93%. Lo que equivale a 13781 toneladas al año.
- Arena nueva: 2,5%. Lo que equivale a 370 toneladas al año.
- Bentonita: 1,5%. Lo que equivale a 222 toneladas al año.
- Hulla: 0,75%. Lo que equivale a 111 toneladas al año.
- Agua: 2,25%. Lo que equivale a 334 toneladas al año.

## 17.3 Máquinas de moldeo

La máquina de moldeo utilizada en el proceso de fundición es de 315 moldes por hora.

Suponiendo que para las máquinas de moldeo estimamos un rendimiento del 70% debido a, tareas de mantenimiento y otras reparaciones o modificaciones que haya que aplicar a la máquina de moldeo, la producción real es de:

$$315 \frac{\text{moldes}}{\text{hora}} \cdot 0,7 = 220 \frac{\text{moldes}}{\text{hora}}$$

Viendo las propiedades de la máquina de molde, cuando está funcionando a máximo rendimiento (315 moldes/hora) consume una cantidad de 29 toneladas de arena por hora. De ahí podemos sacar el peso de cada molde:

$$\frac{29000 \frac{kg}{hora}}{315 \frac{moldes}{hora}} = 92 \frac{kg}{molde}$$

Por lo que podemos calcular el consumo máximo de arena de la máquina de moldeo al año:

$$\frac{220 \frac{moldes}{hora} \cdot 5880 \frac{horas}{año} \cdot 92 \frac{kg}{molde}}{1000 \frac{kg}{ton}} = 119011 \frac{ton}{año}$$

Como la arena que vamos a necesitar para para producir las 1250 toneladas de piezas fundidas de aluminio es menor que la que requiere una máquina de moldeo, con una máquina de moldeo podemos atender perfectamente la capacidad de producción del proceso.

## 17.4 Molino mezclador

Se ha seleccionado el molino mezclador DISA SAM 6-70 para atender a la demanda de 29 toneladas por hora que requiere la máquina de moldeo a pleno rendimiento.

Tiene una tasa de producción de 53 toneladas de arena por hora.

## 17.5 Horno de colada

Al horno de colada llegan, de la máquina de moldeo 220 moldes por hora con una cantidad de 13,15 kg de Al fundido. A continuación se procede al cálculo de los kg de aluminio que va a tener que atender:

$$220 \frac{moldes}{hora} \cdot 13,15 \frac{kg Al}{molde} = 2893 \frac{kg Al}{hora}$$

El horno de colada Otto Junker 3/200 tiene capacidad para 3000 kg de aluminio fundido, con un llenado por hora es suficiente para atender la demanda proveniente de la máquina de moldeo.



## 17.6 Tambor de desmoldeo

Necesitamos saber el peso total de cada molde, una vez tiene el aluminio dentro. Si por cada kg de aluminio se necesitan 7 kg de arena y un molde pesa 92 kg:

$$\frac{92 \text{ kg arena}}{7 \frac{\text{kg arena}}{\text{kg aluminio}}} = 13,15 \text{ kg de Al}$$

Por lo tanto la masa total del molde es de  $92 \text{ kg} + 13,15 \text{ kg} = 105,15 \text{ kg}$  por molde.

Si la producción media es de 220 moldes por hora:

$$220 \frac{\text{moldes}}{\text{hora}} \cdot 105,15 \frac{\text{kg}}{\text{molde}} = 23133 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} = 23,133 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$$

El tambor de desmoldeo de Vibrotech Engineering modelo 2400 es capaz de procesar 25 toneladas por hora por lo que es válido para nuestro proceso.

## 17.7 Consideraciones

La máquina de moldeo y el horno de colada tienen capacidad para producir más toneladas de piezas fundidas de aluminio que los hornos de fusión. Como el objetivo es el de producir 1250 toneladas de piezas fundidas al año podemos afirmar que se cumplen las expectativas de producción.

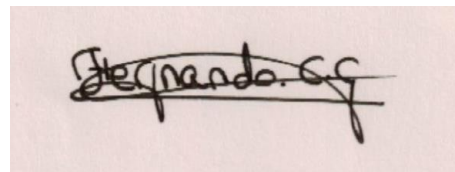
De cara a un posible aumento en la producción futura, las máquinas de moldeo y el horno de colada serían aptos, haría falta añadir más hornos de fusión, o cambiar los actuales por otros de más capacidad.

## 18 PERSONAL

Se ha calculado que para las diferentes áreas de trabajo en la planta de fundición de aleaciones de aluminio son necesarios 14 operarios por turno. Por lo tanto, al haber 3 turnos de 8 horas el número de operarios en plantilla es de 42.

Para la zona de oficinas se cuenta con 8 puestos de trabajo:

- Director general.
- Gerente financiero.
- Gerente de ventas.
- Jefe de producción.
- Director técnico.
- Recepcionista.
- 2 ingenieros de proyectos.

A photograph of a handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Fernando.CC'.

Fernando Conde Camiño



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2017/18**

---

*DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE  
ALEACIONES DE ALUMINIO.*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Documento 2**

**ANEJO**

## CONTENIDO

1 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI) .....	3
1.1 Protección de la cabeza, facial y ocular .....	3
1.2 Protección del cuerpo y extremidades .....	4
1.3 Protección respiratoria .....	5
1.4 Protección auditiva.....	6
1.5 Protección contra caídas.....	6
1.6 Ropa de protección.....	7

## 1 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

Como un medio adicional de protección contra la exposición a condiciones peligrosas, el empleador debería suministrar a los trabajadores, sin costo para éstos, un EPI adecuado y en cantidad suficiente, cuyo mantenimiento estará a cargo del trabajador.

Debería impartirse formación a las personas responsables de la gestión y el funcionamiento del programa de protección individual a fin de que estén capacitados para seleccionar los equipos apropiados, verificar que estén correctamente adaptados y resulten cómodos para quienes los utilizarán, y conocer la índole de los peligros que el EPI deberá contrarrestar así como las consecuencias de un funcionamiento deficiente o de una avería del equipo.

El EPI debería ser objeto de exámenes periódicos para cerciorarse de que funciona perfectamente. Los distintos componentes del EPI deberían ser compatibles entre sí cuando se lleven todos juntos.

El EPI debería tener un diseño ergonómico y en la medida de lo posible, no coartar la libertad de movimientos del usuario ni su campo de visión, ni tampoco su audición u otras funciones sensoriales.

Los elementos del EPI especial, que se ha de utilizar en las proximidades de metales fundidos deberían proteger a sus usuarios del calor y ser resistentes a las salpicaduras de metal fundido. Debería ser posible desprenderse fácilmente de ellos en el caso de que materias fundidas se deslicen entre el cuerpo y la ropa protectora.

Antes de toda reutilización de la ropa o del EPI, los empleadores deberían velar para que se laven, limpien, desinfecten, y revisen la ropa y el EPI utilizados que puedan haberse contaminado por materiales peligrosos para la salud.

### 1.1 Protección de la cabeza, facial y ocular

- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Mascarillas antipolvo.
- Cascos: para todas las personas que participan en el proceso, también están incluidos los visitantes.
- Filtros para mascarillas.
- Protectores auditivos.
- Pantalla contra protección de partículas.

Los cascos deben ser objeto de pruebas de resistencia a las salpicaduras de metal fundido. Si han recibido un golpe fuerte debe ser desechado aunque no se aprecien signos visibles de daños. Si presenta golpes o hendiduras también debe ser desechado.

Además de la seguridad, deberían tomarse en consideración los aspectos fisiológicos de comodidad del usuario. El casco debería ser lo más ligero posible y, en cualquier caso, no pesar más de 400 gramos; el arnés debería ser flexible y permeable a los líquidos y no debería irritar ni lesionar al usuario; el casco debería estar provisto de una badana de cuero, completa o media, no sólo para absorber el sudor sino también para reducir la irritación de la piel.

En cuanto a la protección facial y ocular deberían utilizarse pantallas faciales o protectores oculares para proteger los ojos de partículas volantes, humos, polvo y peligros de carácter químico.

Las máscaras de protección facial deberían utilizarse en el manejo de hornos y en otros trabajos en condiciones de alto calor que suponen la exposición a fuentes de radiación de temperatura elevada. Los protectores faciales tipo casco y tipo pantalla son los idóneos.

Cuando se utilicen protectores oculares y faciales, debería prestarse la atención debida a la comodidad y la eficacia. El ajuste y la adaptación de estos dispositivos de protección deberían encomendarse a una persona que haya recibido formación al respecto.

Los protectores de los ojos y de la cara deberían proporcionar una protección adecuada en todo momento, incluso cuando se utilicen dispositivos correctores de la visión.

Los protectores oculares, incluidos los lentes correctores, deberían estar confeccionados con materiales resistentes a choques violentos.

## **1.2 Protección del cuerpo y extremidades**

### **Protección del cuerpo:**

- Monos o buzos de tallas adecuadas para cada trabajador.
- Cinturones de seguridad, cuya clase se adaptará a los riesgos específicos de cada trabajo.
- Trajes de agua.
- Cinturón antivibratorio.

### **Protección de extremidades superiores:**

- Guantes de cuero y anticorte para manejo de materiales y objetos.
- Guantes dieléctricos para su utilización en baja tensión.

### **Protección de extremidades inferiores:**

- Botas de seguridad clase III de lona y cuero.

- Botas dieléctricas.
- Botas de agua.

Toda persona que esté expuesta a la radiación del calor o manipule sustancias calientes, potencialmente peligrosas o de otras características que puedan causar lesiones cutáneas, debería llevar guantes de seguridad o guantes largos y vestir ropa de protección apropiada para proteger las extremidades superiores e inferiores, según proceda.

Las quemaduras de las extremidades inferiores por metal fundido, chispas o compuestos químicos corrosivos pueden ocurrir con frecuencia en la siderurgia por lo que se deberá utilizar calzado de seguridad y protección para las piernas.

La altura del calzado de seguridad hasta el tobillo, la rodilla o el muslo, depende del peligro, pero también deberían tenerse en cuenta la comodidad y la movilidad.

Al escoger el calzado deberían tomarse en consideración sus propiedades de resistencia a posibles resbalones de la suela.

Para proteger la pierna por encima de la línea del calzado, en especial contra el riesgo de quemaduras, deberían utilizarse espinilleras de caucho o metálicas. En el caso que el trabajo obliga a arrodillarse, es necesario utilizar rodilleras.

Cerca de fuentes de calor intenso deberían utilizarse botas protectoras aluminizadas.

### **1.3 Protección respiratoria**

Cuando sea inviable aplicar medidas de control técnico eficaces o mientras se estén implantando o evaluando tales medidas, deberían utilizarse equipos de protección respiratoria apropiadas, en función de cada peligro y riesgo, para proteger la salud del trabajador.

Cuando el riesgo y el peligro no puedan evaluarse con exactitud suficiente para definir el nivel apropiado de protección respiratoria, los empleadores deberían suministrar dispositivos de protección respiratoria que funcionen a presión positiva con aporte de aire.

Cuando se seleccionen los equipos de protección respiratoria, debería disponerse de un número apropiado de tamaños y modelos entre los cuales se pueda seleccionar un equipo satisfactorio.

Los equipos de protección respiratoria deberían limpiarse e higienizarse periódicamente. Los equipos reservados para situaciones de emergencias deberían limpiarse e higienizarse después de cada uso.

Los usuarios deberían recibir una formación suficiente y estar familiarizados con los equipos de protección respiratoria para poder inspeccionar dicho equipo inmediatamente antes de cada utilización a fin de comprobar que funciona correctamente.

Los respiradores deberían almacenarse correctamente. Pueden sufrir daños si no se protegen de agentes físicos y químicos como vibraciones, luz solar, calor, frío extremo, humedad excesiva o productos químicos dañinos.

Cada respirador debería utilizarse teniendo en cuenta sus límites de utilización, que dependen de varios factores, como el nivel y duración de la exposición, las características de las sustancias químicas presentes y la duración de la vida de servicio de cada tipo de respirador.

## **1.4 Protección auditiva**

Cuando los controles técnicos no puedan llevarse a cabo o cuando se instalen o evalúen, los trabajadores deberían utilizar equipo de protección auditiva. Una pérdida de la capacidad auditiva de toda la gama de frecuencias vocales puede producirse a raíz de una exposición prolongada al ruido. La utilización de equipo de protección auditiva da los mejores resultados a unos usuarios bien informados de los riesgos y formados para el empleo de dicho equipo. Cuando se utilicen tapones de oídos, se debería prestar una atención especial a ajustarlos como corresponda.

El equipo de protección auditiva debería ser cómodo, y sus usuarios deberían recibir la formación necesaria para utilizarlos correctamente. Debería prestarse una atención especial a la posibilidad de que aumente el riesgo de accidentes debido a la utilización de protectores auditivos. Las orejeras reducen la capacidad para situar las fuentes sonoras e impiden que se oigan las señales de alarma. Esto ocurre sobre todo en el caso de los trabajadores que han sufrido pérdidas auditivas considerables.

La atenuación ofrecida por los protectores auditivos es eficaz sólo si su mantenimiento es adecuado. Un correcto mantenimiento consiste en limpiar el protector, cambiar las partes sustituibles, como las almohadillas, y controlar su buen estado general.

El equipo de protección auditiva debería evaluarse y adaptarse a los trabajadores expuestos al ruido, los cuales deberían someterse sistemáticamente a pruebas audiométricas.

## **1.5 Protección contra caídas**

En caso de que la adopción de otras medidas no permita eliminar el riesgo de caídas, se debería proporcionar a los trabajadores un equipo apropiado, como arneses y cuerdas salvavidas, e instruirlos para su utilización adecuada.



Los lugares de trabajo y las vías de tránsito donde haya riesgos de caída o que limiten con zonas peligrosas deberían estar equipados con dispositivos que impidan que los trabajadores caigan en dichas zonas peligrosas o entren en ellas.

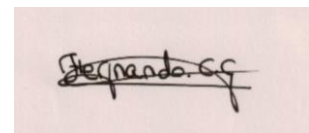
Deberían escogerse arneses que puedan utilizarse de manera segura con otro EPI que pueda llevarse simultáneamente.

## 1.6 Ropa de protección

Para la selección de la ropa de protección se deberá tener en cuenta:

- La adecuación del diseño y de la talla de la ropa, que debería asegurar la libertad de movimientos necesaria para llevar a cabo las tareas, y la compatibilidad de la ropa con la utilización prevista en cada caso.
- El entorno en que se utilizará la ropa, comprendida la capacidad de los materiales utilizados en su confección para resistir la penetración de productos químicos, minimizar el estrés térmico, desprenderse del polvo, resistir a la combustión y no descargar electricidad estática.
- Las necesidades específicas de los trabajadores expuestos a metales en fusión y a los peligros que ello entraña, como la necesidad de utilizar ropa reflectante o ropa aislante con superficies reflectantes durante su exposición a radiaciones térmicas elevadas y al aire caliente.

El empleador debería velar por que, antes de que vuelva a utilizarse, se lave, limpie, desinfecte y revise la ropa de protección utilizada que pueda haberse contaminado por materias peligrosas para la salud.



Fernando Conde Camiño



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER  
CURSO 2017/18**

---

*DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE  
ALEACIONES DE ALUMINIO*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Documento 3**

**PLANOS**

## ÍNDICE

1. Situación general.
2. Emplazamiento en el polígono.
3. Distribución parcela.
4. Planta distribución nave.
5. Vestuarios y oficinas.
6. Taller de mecanizado y mantenimiento y repuestos.
7. Control de calidad.
8. Alzados.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Trabajo Fin de Grado

PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO

TÍTULO:  
SITUACIÓN GENERAL

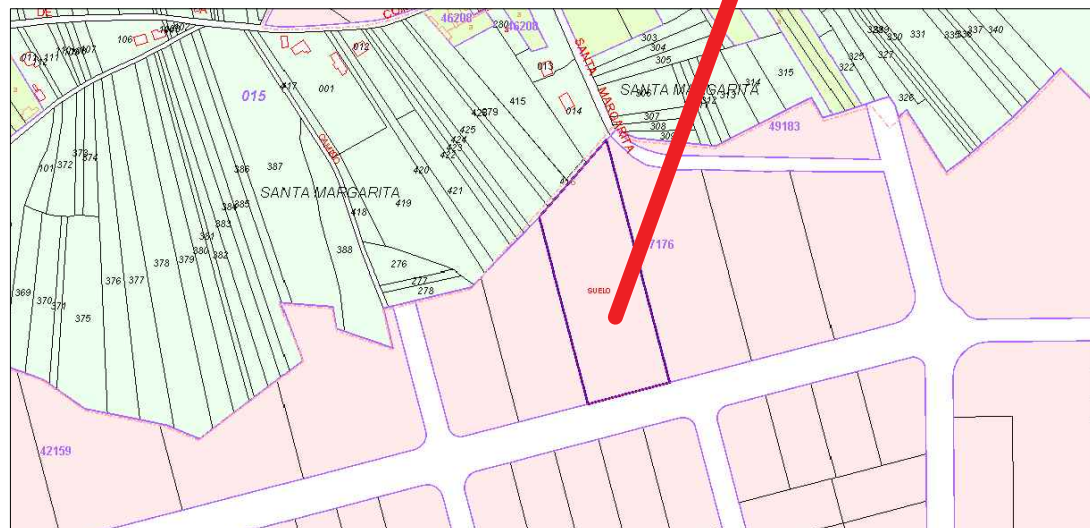
AUTOR:  
FERNANDO CONDE CAMIÑO


FIRMA:

FECHA:  
DIC 2017

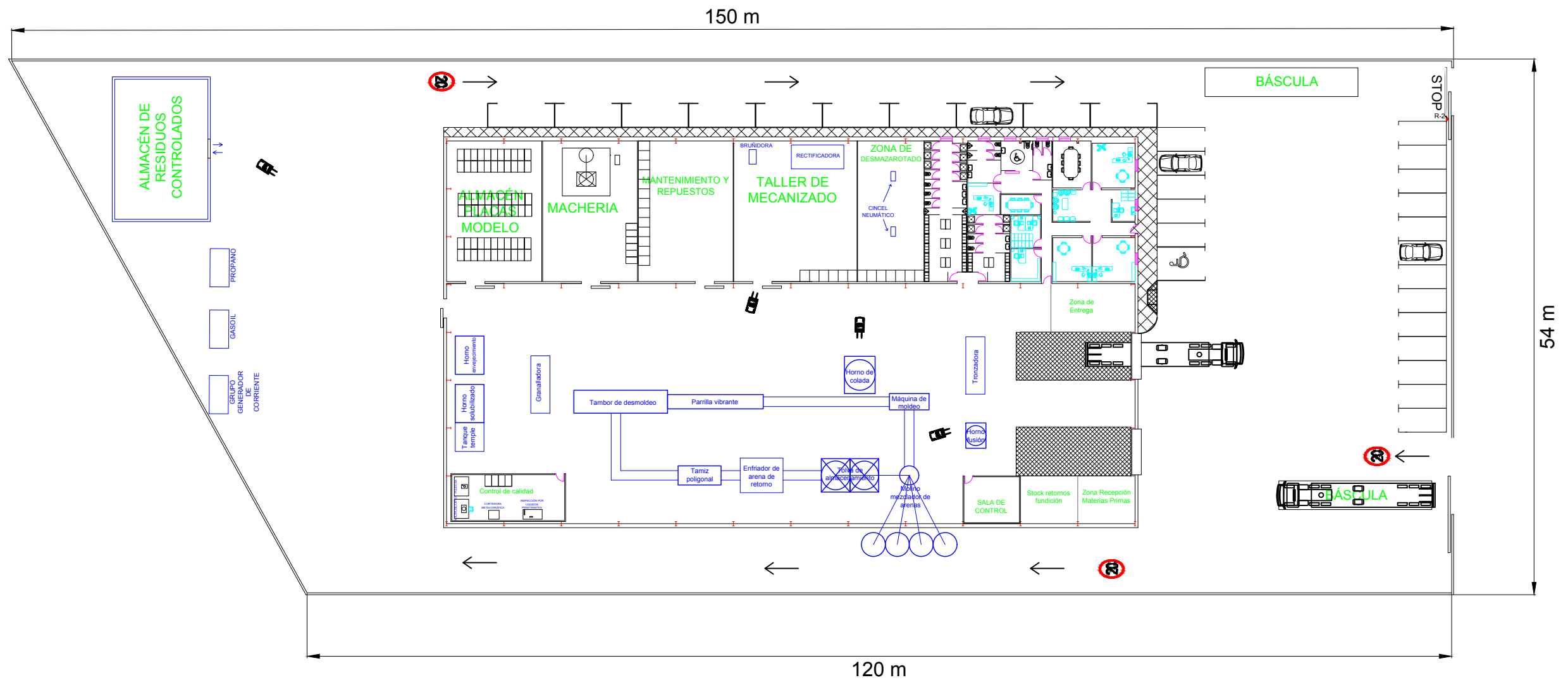
ESCALA:  
S/E


Nº PLANO:  
1



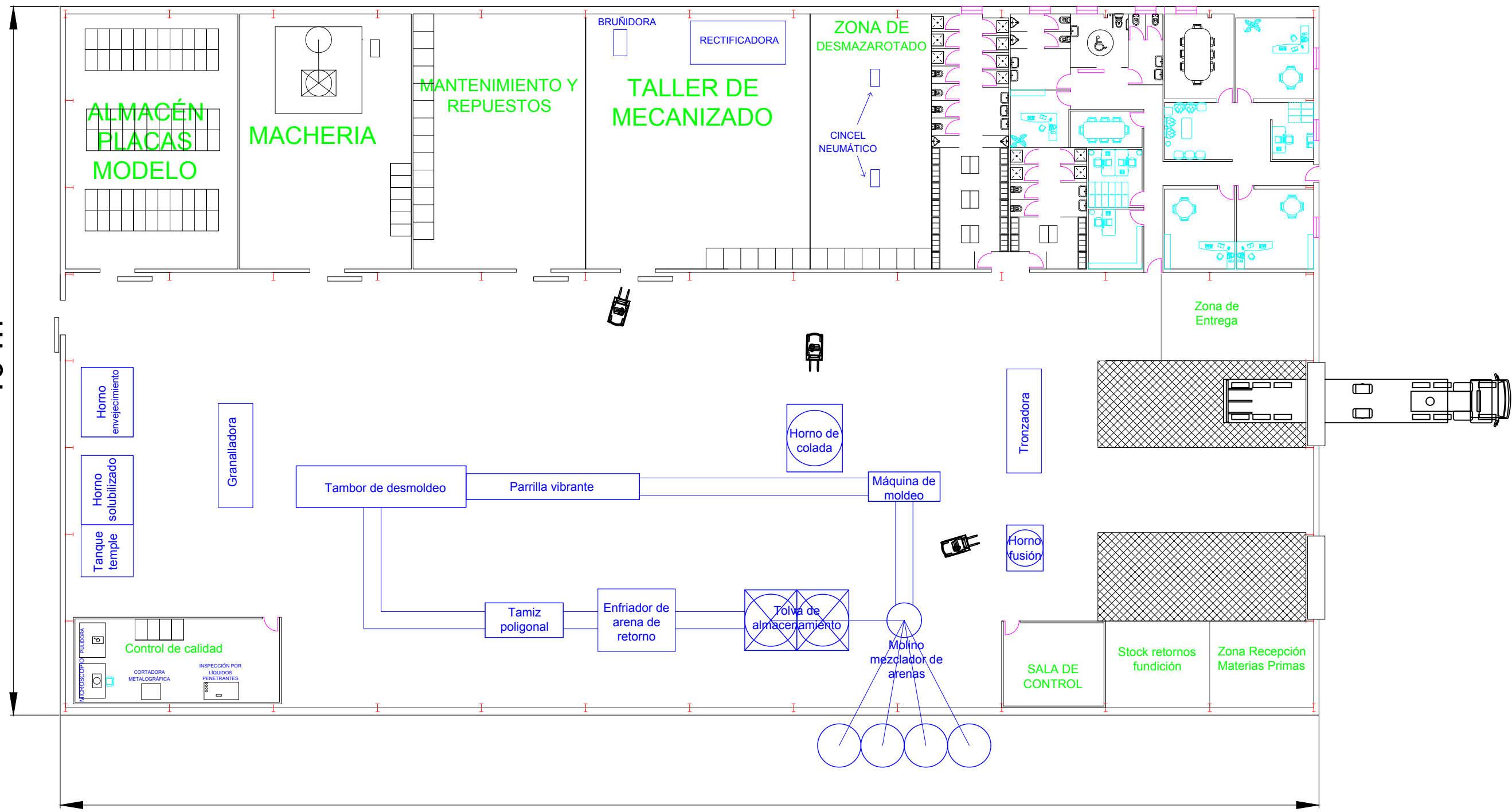
 <b>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</b>		<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR</b> Trabajo Fin de Grado			
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO					
<b>TÍTULO:</b> PARCELA M8 POLÍGONO RÍO DO POZO					
<b>AUTOR:</b> FERNANDO CONDE CAMIÑO	<b>FIRMA:</b>	<b>FECHA:</b> DIC 2017	<b>ESCALA:</b> S/E	<b>Nº PLANO:</b> <b>2</b>	

Leyenda de señalización	
	STOP
	DIRECCIÓN PROHIBIDA
	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD




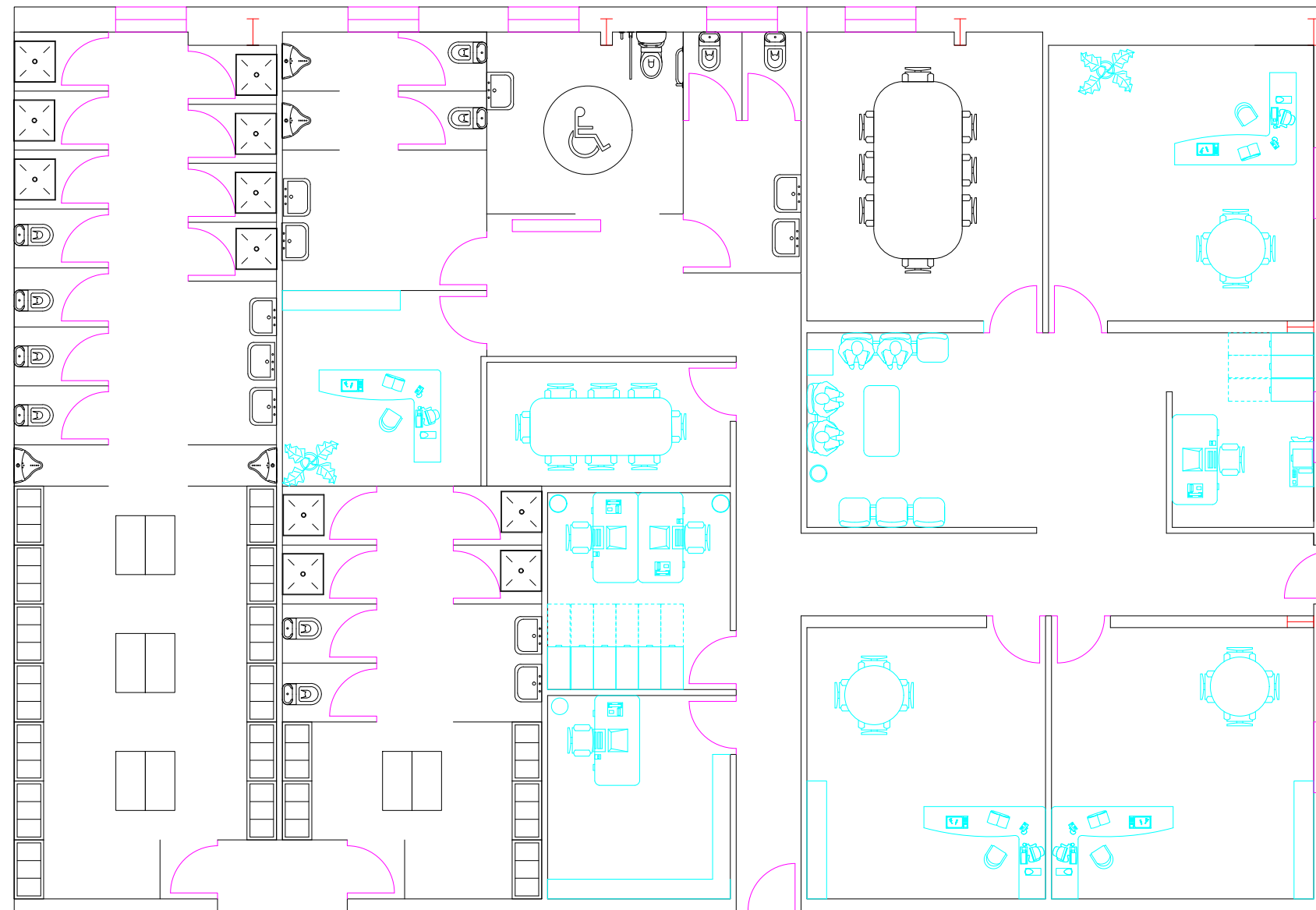
 <b>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</b>	<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR</b> Trabajo Fin de Grado			
	PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO			
TÍTULO: <b>DISTRIBUCIÓN PARCELA</b>				
AUTOR: FERNANDO CONDE CAMIÑO	FIRMA:	FECHA: DIC 2017	ESCALA: 1/500	Nº PLANO: <b>3</b>

40 m



72 m

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Trabajo Fin de Grado		
PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO				
TÍTULO: PLANTA DISTRIBUCIÓN NAVE				
AUTOR: FERNANDO CONDE CAMIÑO	FIRMA:	FECHA: DIC 2017	ESCALA: 1/250	Nº PLANO: <b>4</b>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Trabajo Fin de Grado

PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO

TÍTULO: OFICINAS Y VESTUARIOS

AUTOR:  
FERNANDO CONDE CAMIÑO

FIRMA:

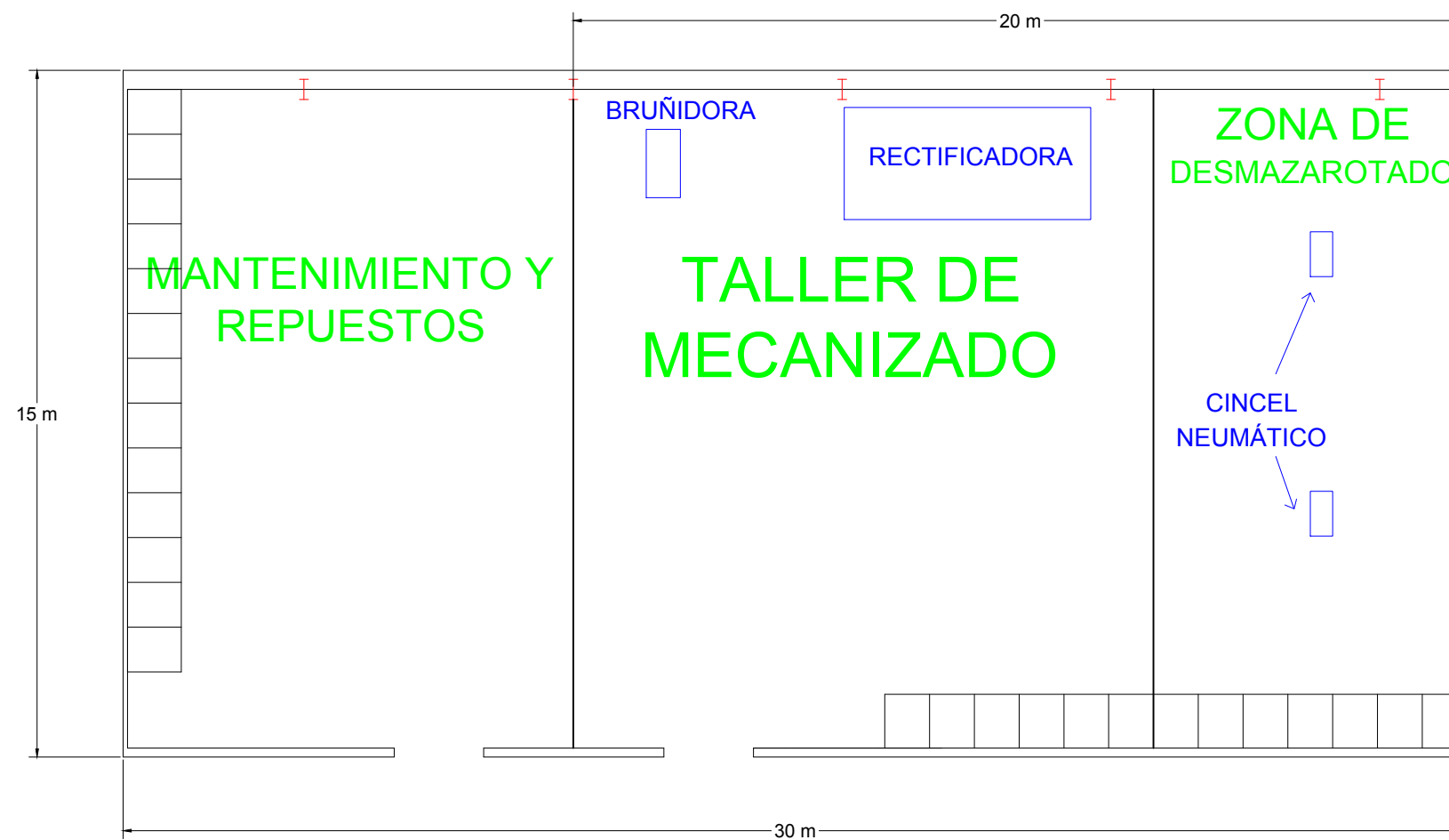
FECHA:  
DIC 2017

ESCALA:  
1/100

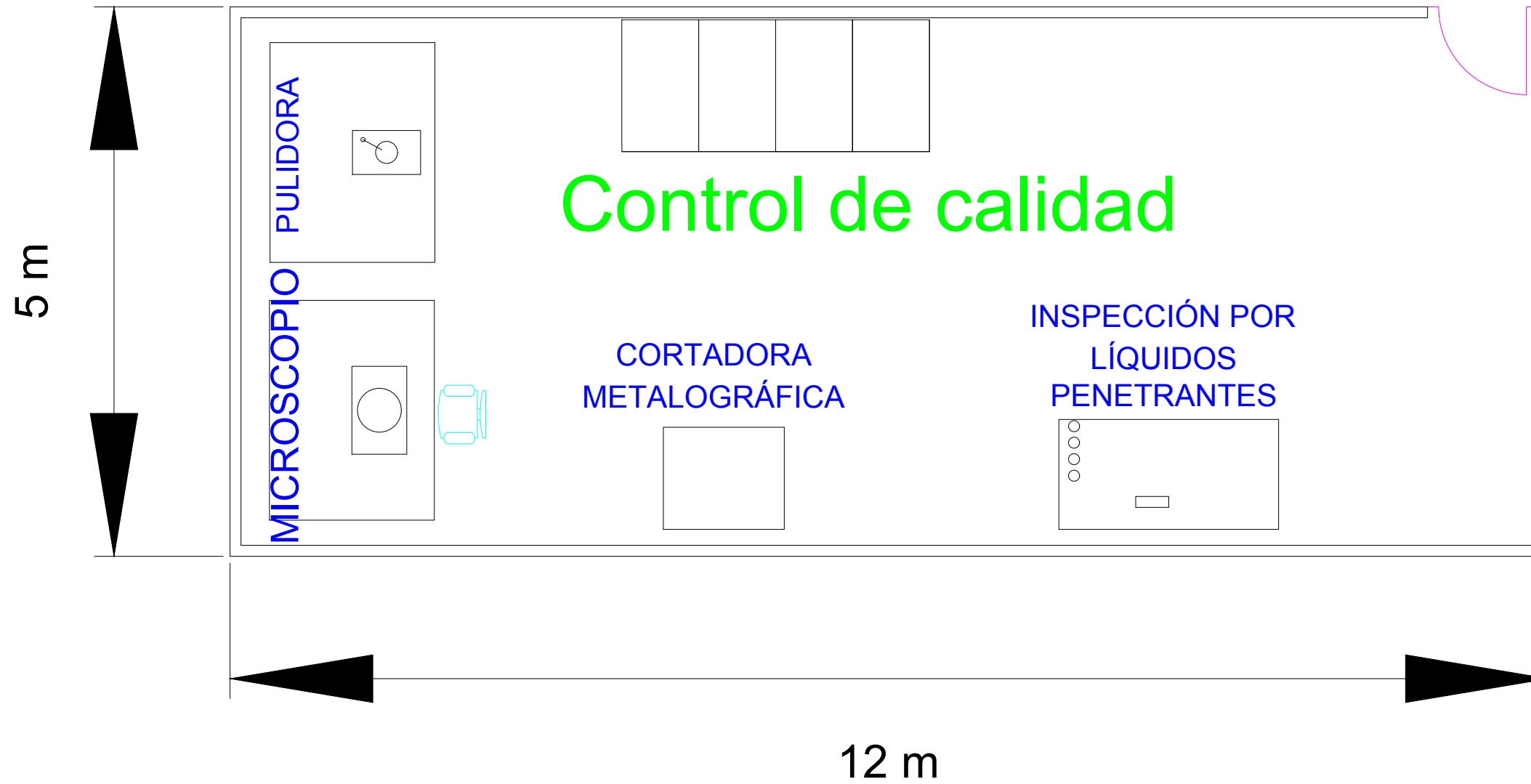
Nº PLANO:


5

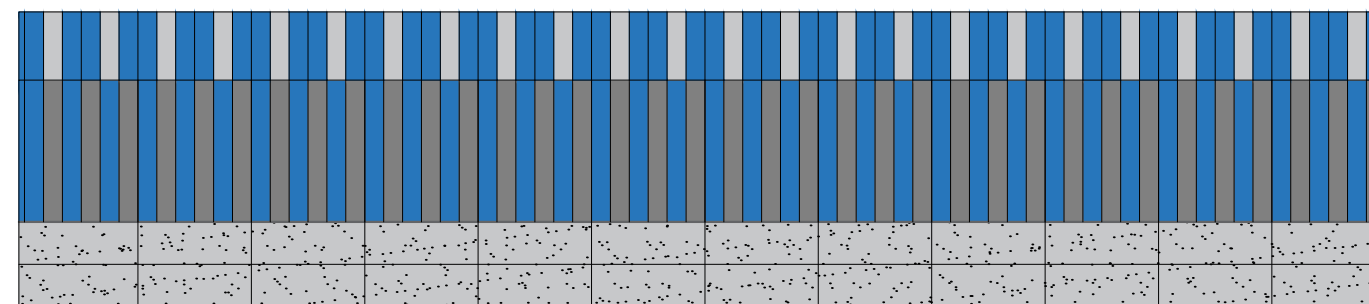
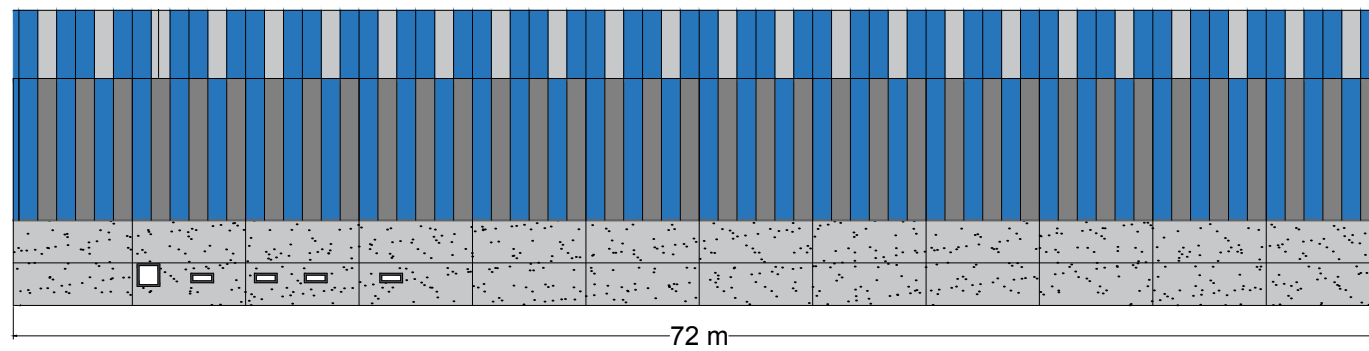
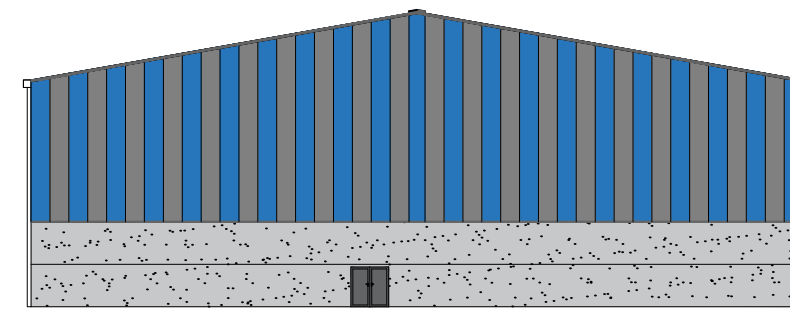
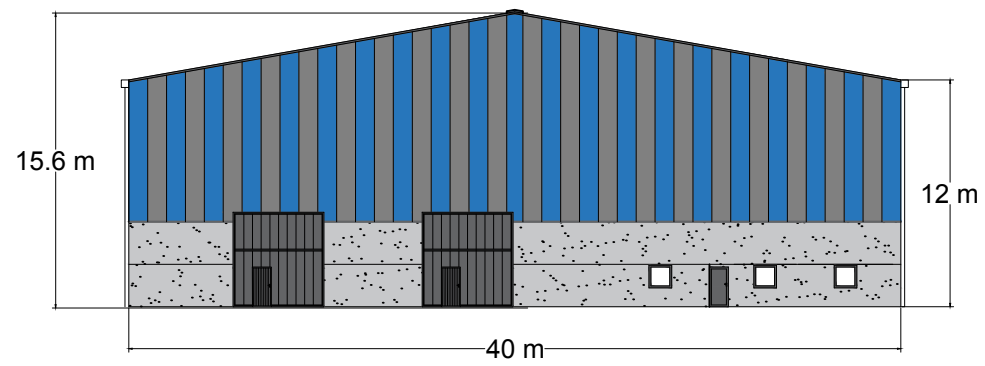





 <b>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</b>		<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR</b> Trabajo Fin de Grado		
PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO				
TÍTULO: TALLER MECANIZADO Y MANTENIMIENTO Y REPUESTOS				
AUTOR: FERNANDO CONDE CAMIÑO	FIRMA:	FECHA: DIC 2017	ESCALA: 1/150	Nº PLANO: <b>6</b>



 <b>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</b>		<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR</b> Trabajo Fin de Grado		
PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO				
TÍTULO: CONTROL DE CALIDAD				
AUTOR: FERNANDO CONDE CAMIÑO	FIRMA:	FECHA: DIC 2017	ESCALA: 1/50	Nº PLANO: <b>7</b>



 <b>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</b>		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Trabajo Fin de Grado		
PROYECTO: DISEÑO DE UN PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO				
TÍTULO: <b>ALZADOS</b>				
AUTOR: FERNANDO CONDE CAMIÑO	FIRMA:	FECHA: DIC 2017	ESCALA: 1/400	Nº PLANO: <b>8</b>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2017/18**

---

*Diseño de proceso de fundición de aleaciones de aluminio.*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Documento 4**

**PRESUPUESTO**

## CONTENIDO

1 INSTALACIONES DE FUSIÓN Y LIMPIEZA DEL CALDO.....	3
2 ARENERÍA .....	4
3 FABRICACIÓN DE MACHOS .....	5
4 MÁQUINA DE MOLDEO.....	6
5 HORNO DE COLADA.....	7
6 INSTALACIONES DE DESMOLDEO.....	8
7 RECUPERACIÓN DE ARENAS.....	9
8 GRANALLADO .....	10
9 TRATAMIENTOS TÉRMICOS .....	11
10 TRANSPORTE DE PRODUCTOS.....	12
11 CONTROL DE CALIDAD .....	13
12 MAQUINARIA MECANIZADO.....	14
13 RESUMEN PRESUPUESTO .....	15

## 1 INSTALACIONES DE FUSIÓN Y LIMPIEZA DEL CALDO

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
1.1	1	Horno de crisol basculante Nabertherm 400/12	1	180000 €	180000 €
1.2	1	Cucharas de transporte de aluminio fundido con basculamiento hidráulico DUGOPA	2	7500 €	15000 €
1.3	1	Unidades portátiles desgasificadoras PALMER	2	6000 €	12000 €
1.4	1	Carretilla elevadora eléctrica CESAB B415	4	10500 €	42000 €
1.5	1	Tronzadora MG-DUO 550	1	7000 €	7000 €
1.6	1	Filtro Deep Bed INDICO DB 40	1	25000 €	25000 €
<b>Total</b>					<b>281000 €</b>

## 2 ARENERÍA

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
2.1	1	Silos de almacenamiento	4	6000 €	24000 €
2.2	1	Tolva de almacenamiento	2	7500 €	15000 €
2.3	1	Molino mezclador DISA SAM Mixer	1	270000 €	270000 €
2.4	1	Multicontrolador DISA SMC	1	50000 €	50000 €
<b>Total</b>					<b>359000 €</b>

### 3 FABRICACIÓN DE MACHOS

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
3.1	1	Mezclador Primafond MER 100	1	90000 €	90000 €
2.2	1	Disparadora de machos Primafond SCB 60	1	20000 €	200000 €
2.3	1	Gasificador GCB 1-2	1	30000 €	30000 €
<b>Total</b>					<b>320000 €</b>



## 4 MÁQUINA DE MOLDEO

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
4.1	1	Máquina de moldeo DISAMATIC D1	1	750000 €	1200000 €
<b>Total</b>					<b>1200000 €</b>

## 5 HORNO DE COLADA

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
5.1	1	Horno de colada Otto Junker RGD 3/300	1	220000 €	220000 €
<b>Total</b>					<b>220000 €</b>

## 6 INSTALACIONES DE DESMOLDEO

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1	1	Parrilla vibrante Vibrotech Engineering	1	25000 €	25000 €
6.2	1	Tambor de desmoldeo Vibrotech Engineering 2400	1	150000 €	150000 €
<b>Total</b>					<b>175000 €</b>

## 7 RECUPERACIÓN DE ARENAS

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
7.1	1	Overband electromagnético OFEM 12,1	1	7500 €	7500 €
7.2	1	Tamiz poligonal	1	30000 €	30000 €
7.3	1	Enfriador SCOVAL RFD	1	215000 €	215000 €
<b>Total</b>					<b>252500 €</b>

## 8 GRANALLADO

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
8.1	1	Granalladora Rösler 1600-4	1	50000 €	50000 €
<b>Total</b>					<b>50000 €</b>

## 9 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Nº	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Importe
9.1	1	Horno de solubilizado GHI	1	275000 €	275000 €
9.2	1	Tanque de temple GHI	1	125000 €	125000 €
9.3	1	Horno de envejecimiento GHI	1	250000 €	250000 €
<b>Total</b>					<b>650000 €</b>

## 10 TRANSPORTE DE PRODUCTOS

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
10.1	1	Puente grúa de 24 metros de luz y carga máxima de 5000 kg.	1	15000 €	15000 €
10.2	1	Puente grúa de 15 metros de luz y carga máxima de 2000 kg.	1	10000 €	10000 €
10.3	1	Cintas transportadoras	1	30000 €	30000 €
10.4	1	Básculas de pesaje de camiones	2	21000€	42000€
<b>Total</b>					<b>97000 €</b>

## 11 CONTROL DE CALIDAD

<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
11.1	1	Cortadora metalográfica Neurtek Brillant 265	1	12000 €	12000 €
11.2	1	Pulidora manual Neurtek Spahir 320	1	1500 €	1500 €
11.3	1	Microscopio metalográfico OPTIKA IM-3MET	1	6000 €	6000 €
11.4	1	Detector de defectos por ultrasonidos Sonatest SiteScam 500S	1	2500 €	2500 €
<b>Total</b>					<b>22000 €</b>



## 12 MAQUINARIA MECANIZADO

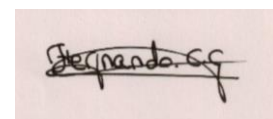
<b>Nº</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio</b>	<b>Importe</b>
12.1	1	Demolador cincelador EBERTH	2	400 €	800 €
12.2	1	Rectificadora GERmh SC-CNC 60-40	1	25000 €	25000 €
12.3	1	Bruñidora SUNNEN MBB-1660	1	10000 €	10000 €
<b>Total</b>					<b>35800 €</b>

## 13 RESUMEN PRESUPUESTO

Nº	CAPÍTULO	COSTE
1	FUSIÓN Y LIMPIEZA DEL CALDO	281000 €
2	ARENERÍA	359000 €
3	FABRICACIÓN DE MACHOS	320000 €
4	MÁQUINA DE MOLDEO	1200000 €
5	HORNO DE COLADA	220000 €
6	INSTALACIONES DE DESMOLDEO	175000 €
7	RECUPERACIÓN DE ARENAS	252500 €
8	GRANALLADO	50000 €
9	TRATAMIENTOS TÉRMICOS	650000 €
10	TRANSPORTE DE PRODUCTOS	97000 €
11	CONTROL DE CALIDAD	22000 €
12	MAQUINARIA DE MECANIZADO	35800 €

<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>3662300 €</b>
<b>13% GASTOS GENERALES</b>	<b>476099 €</b>
<b>6% BENEFICIO INDUSTRIAL</b>	<b>219738 €</b>
<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN</b>	<b>4358137 €</b>
<b>21% I.V.A</b>	<b>915208,77 €</b>
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>5273345,77 €</b>

Cinco millones doscientos setenta y tres mil trescientos cuarenta y cinco con setenta y siete céntimos de euro.



Fernando Conde Camiño