

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Introducción de la Ingeniería de Procesos Metalúrgicos y de Materiales

Profesor: Luis Enrique Jardón Pérez

Ejemplo de balance ajuste de carga para aleaciones base Aluminio

Se desea producir en un horno de crisol 120 kg de una aleación base aluminio 384.0. El horno se carga con 20 % de retornos. Se toma una muestra preliminar para medir composición química y se desea ajustar la misma para continuar con el vaciado a los moldes.

En el patio de chatarras se tienen las materias primas presentadas en el Tabla 1.

Tabla 1.- Composición química normada de las materias primas para el balance.

Chatarra o aleación liga	Composición (%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti
384.0	10.5 – 12.0	0.7	3.0 – 4.5	0.5	0.1	0.5	1.0	0.35	0.2
C. Q. Preliminar	7.3	0.3	2.2	0.2	0.04	0.07	0.4	0.15	---
Retornos	11.2	0.2	4.1	0.3	0.05	0.06	0.4	0.2	0.2
240.0	0.50	0.50	8.0	0.45	5.7	0.6	0.10	---	0.20
2219	0.20	0.30	6.3	0.25	0.02	---	0.10	---	0.10
213.0	2.0	1.2	7.2	0.6	0.10	0.35	2.5	---	0.25
222.0	2	1.5	10.0	0.5	0.17	0.5	0.4	---	0.25
336.0	11.4	0.9	0.8	0.35	1.1	2.2	0.35	---	0.25
A535.0	0.20	0.20	0.10	0.15	6.8	---	---	---	0.25
853.2	5.7	0.50	3.2	0.10	---	---	---	6.0	0.20
100.1	0.05	0.15	0.02	---	---	---	0.03	---	---
Al – 20 Si	20	0.45							
Al – 30 Mn				30					
Al – 20 Mg					20				
Cobre electrolítico			99.99						
Al – Ni						49.5			

Se sabe que históricamente el rendimiento de Al en el horno es del 96 %, use este dato para estimar los rendimientos de los demás elementos de aleación a partir del diagrama de Ellingham. Nota: Considere que las chatarras tienen 0 % de Ti durante la fusión.

Realice el balance de carga para el horno.

Se realiza un tratamiento de refinación de grano al vaciar el metal a una olla para su vaciado en los moldes, para ello se usan barras de aleación Al-10Ti (10 % Ti - Bal. Al). La olla tiene capacidad de 50 kg. Calcule la cantidad de refinador a agregar para obtener un 0.18 % de Ti en la aleación final. Considere que bajo estas condiciones el rendimiento de titanio es del 92 %.

Se realiza además un tratamiento de modificación, esto empleando AlSr15 (15 % Sr - Bal. Al) con un nivel de Sr de 0.02 %. Considerando un rendimiento de Sr del 94 % calcule la cantidad de modificador a adicionar en la olla.

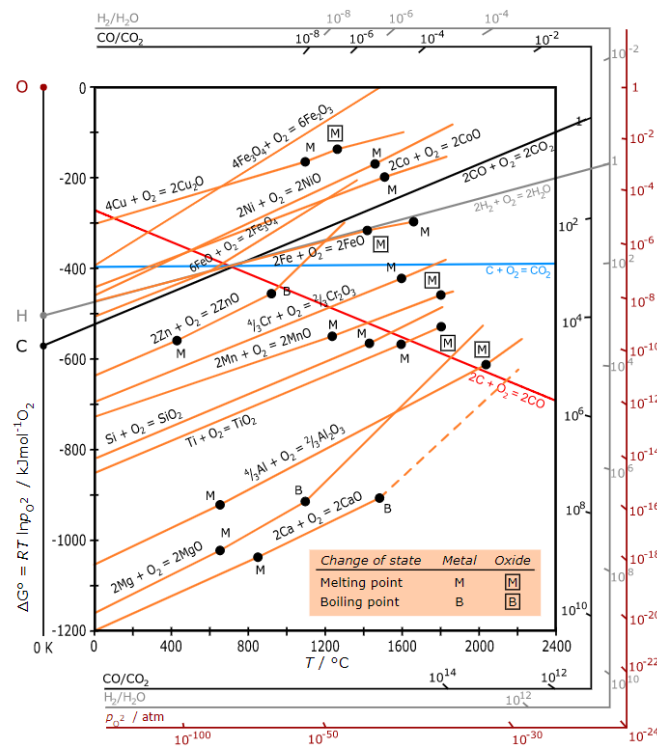


Figura 1.- Diagrama de Ellingham para metales típicos reaccionando con gases.

Solución:

Si no consideramos el aluminio durante el ajuste, solo tenemos que realizar el balance para que el Si y el Cu entren dentro del rango de composición química de la aleación 384.0. Comenzamos calculando la composición química promedio para el Si y el Cu:

$$\overline{CQ}_{Si} = 11.25 \%$$

$$\overline{CQ}_{Cu} = 3.75 \%$$

Podemos plantear directamente las ecuaciones de balance para ambos elementos:

$$m_{Final,Si} = m_{Inicial,Si} + m_{Si,Al-20Si}$$

$$m_{Final,Si} = \frac{m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Si}}{100\%} \right)}$$

$$m_{Inicial,Si} = m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Pre}}{100\%} \right)$$

$$m_{Si,Al-20Si} = m_{Al-20Si} \left(\frac{\%Si_{Al-20Si}}{100\%} \right)$$

$$\frac{m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Si}}{100\%} \right)} = m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Pre}}{100\%} \right) + m_{Al-20Si} \left(\frac{\%Si_{Al-20Si}}{100\%} \right)$$

Despejando nuestra única incógnita:

$$m_{Al-20Si} = \frac{\frac{m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Si}}{100\%} \right)} - m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Pre}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\%Si_{Al-20Si}}{100\%} \right)}$$

Considerando un rendimiento de Si del 98%:

$$m_{Al-20Si} = \frac{\frac{120kg \left(\frac{11.25\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{98\%}{100\%} \right)} - 120kg \left(\frac{7.3\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{20\%}{100\%} \right)}$$
$$m_{Al-20Si} = 25.1 \text{ Kg}$$

De la misma manera, para el Cu, se tiene que:

$$m_{Cu} = \frac{\frac{m_{Horno} \left(\frac{\%Cu_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Cu}}{100\%} \right)} - m_{Horno} \left(\frac{\%Cu_{Pre}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\%Cu_{Cu}}{100\%} \right)}$$

Considerando un rendimiento de Cu del 100%:

$$m_{Cu} = \frac{\frac{120kg \left(\frac{3.75\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{100\%}{100\%} \right)} - 120kg \left(\frac{2.2\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{100\%}{100\%} \right)}$$
$$m_{Cu} = 1.86 \text{ kg}$$

Si consideramos la masa del aluminio, las ecuaciones del balance cambian ligeramente, por ejemplo, para el Si:

$$m_{Final,Si} = m_{Inicial,Si} + m_{Si,Al-20Si}$$

$$m_{Final,Si} = \frac{(m_{Horno} + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{\%Si_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Si}}{100\%} \right)}$$

$$m_{Inicial,Si} = m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Pre}}{100\%} \right)$$

$$m_{Si,Al-20Si} = m_{Al-20Si} \left(\frac{\%Si_{Al-20Si}}{100\%} \right)$$

Quedando:

$$\frac{(m_{Horno} + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{\%Si_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Si}}{100\%} \right)} = m_{Horno} \left(\frac{\%Si_{Pre}}{100\%} \right) + m_{Al-20Si} \left(\frac{\%Si_{Al-20Si}}{100\%} \right)$$

De la misma manera:

$$\frac{(m_{Horno} + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{\%Cu_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Cu}}{100\%} \right)} = m_{Horno} \left(\frac{\%Cu_{Pre}}{100\%} \right) + m_{Cu} \left(\frac{\%Cu_{Cu}}{100\%} \right)$$

$$\frac{(m_{Horno} + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{\%Al_{Req}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Al}}{100\%} \right)} = m_{Horno} \left(\frac{\%Al_{Pre}}{100\%} \right) + m_{100.1} \left(\frac{\%Al_{100.1}}{100\%} \right)$$

$$\frac{(120kg + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{11.25\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{98\%}{100\%} \right)} = 120kg \left(\frac{7.3\%}{100\%} \right) + m_{Al-20Si} \left(\frac{20\%}{100\%} \right)$$

$$\frac{(120kg + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{3.75\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{100\%}{100\%} \right)} = 120kg \left(\frac{2.2\%}{100\%} \right) + m_{Cu} \left(\frac{100\%}{100\%} \right)$$

$$\frac{(120kg + m_{Al-20Si} + m_{Cu} + m_{100.1}) \left(\frac{81.65\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{96\%}{100\%} \right)} = m_{Horno} \left(\frac{89.34\%}{100\%} \right) + m_{100.1} \left(\frac{99.75\%}{100\%} \right)$$

En caso de que el aluminio (100.1) diese negativo simplemente verificamos que los demás elementos no salgan de composición y las ecuaciones tomarían esta forma:

$$\frac{(120kg + m_{Al-20Si} + m_{Cu}) \left(\frac{11.25\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{98\%}{100\%} \right)} = 120kg \left(\frac{7.3\%}{100\%} \right) + m_{Al-20Si} \left(\frac{20\%}{100\%} \right)$$

$$\frac{(120kg + m_{Al-20Si} + m_{Cu}) \left(\frac{3.75\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{100\%}{100\%} \right)} = 120kg \left(\frac{2.2\%}{100\%} \right) + m_{Cu} \left(\frac{100\%}{100\%} \right)$$

Para calcular la cantidad de refinador y modificador se usarían las siguientes expresiones:

$$m_{Al-10Ti} = \frac{\frac{m_{Olla} \left(\frac{\%Ti_{Refinación}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Ti,Refinación}}{100\%} \right)}}{\left(\frac{\%Ti_{Al-10Ti}}{100\%} \right)}$$

$$m_{Al-10Ti} = \frac{\frac{50kg \left(\frac{0.18\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{92\%}{100\%} \right)}}{\left(\frac{10\%}{100\%} \right)}$$

$$m_{Al-10Ti} = 0.98 \text{ kg}$$

$$m_{AlSr15} = \frac{\frac{m_{Olla} \left(\frac{\%Sr_{Modificación}}{100\%} \right)}{\left(\frac{\eta_{Sr,Modificación}}{100\%} \right)}}{\left(\frac{\%Sr_{AlSr15}}{100\%} \right)}$$

$$m_{AlSr15} = \frac{\frac{50kg \left(\frac{0.02\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{94\%}{100\%} \right)}}{\left(\frac{15\%}{100\%} \right)}$$

$$m_{AlSr15} = 0.071 \text{ kg}$$