

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.

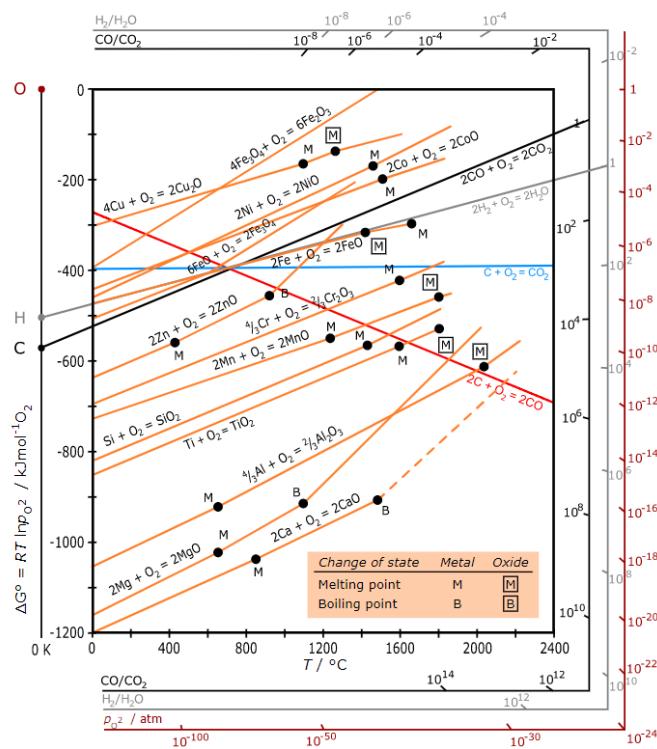


Figura 1.- Diagrama de Ellingham para metales típicos reaccionando con gases.

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:

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

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

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

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

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

Despejando nuestra única incógnita:

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

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:

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

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

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

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

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

$$m_{AlSr15} = 0.071 kg$$