

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 de carga para aleaciones base
Hierro Nodular

Efectuar el balance de carga para el siguiente hierro nodular;

Ductile cast iron ASTM A536

Semi equivalente con el hierro dúctil 80-55-06

Composición química

C: 3.00-3.60, Si: 2.30-2.90, Mn: 0.30-0.60, P: < 0.06, S: < 0.04, Mg: 0.030-0.055.

Inoculación: 0.12% base Si

Buscar por internet el FeSi Inoculante además del FeSiMg nodulizante. Indicar la fuente de consulta.

Además del balance de carga, calcular la cantidad (peso) de inoculante, Cantidad (peso) de nodulizante, Cantidad (peso y porcentaje) que aporta de Si el FeSiMg seleccionado de acuerdo con la base de cálculo usada.

Dibujar la microestructura de este material.

Se usaran 15% de retornos y 0.12% de inoculación base silicio

Base de Cálculo: 100Kg

1.- C. Q. Requerida

Elemento	C. Q. Requerida	C. Q. Promedio	Rendimientos (η)
C	3.00% – 3.60%	3.30%	92%
Si	2.30% - 2.90%	2.60%	94%
Mn	0.30% - 0.60%	0.45%	96%
P	0.06%	0.06%	100%
S	0.04%	0.04%	100%
Mg	0.0300% - 0.0550%	0.0425%	45%*

*Utilizando el método sándwich.

2.- Calculo de C.E. y ajuste de C.Q. requerida

$$CE = \%C + \frac{\%Si}{3}$$

$$CE = 3.30\% + \frac{2.60\%}{3}$$

$$CE = 4.1667\%$$

$$CE = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3}$$

$$CE = 3.30\% + \frac{2.60\% + 0.06\%}{3}$$

$$CE = 4.1867\%$$

$$CE = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} - 0.027(\%Mn) + 0.4(\%S)$$

$$CE = 3.30\% + \frac{2.60\% + 0.06\%}{3} - 0.027(0.45\%) + 0.4(0.04\%)$$

$$CE = 4.1905\%$$

Ajuste del C.E. para que la fundición nodular sea hipereutética:

$$CE \geq 4.30\%$$

$$CE = \%C + \frac{\%Si}{3} = 4.35\%$$

$$4.35\% = 4.1667\% + \%C + \frac{\%Si}{3}$$

$$0.1833\% = \%C + \frac{\%Si}{3}$$

Máximo de C a agregar 0.30%, y el máximo de Si a agregar 0.30%.

$$0.1833\% = \frac{4 * (\%)}{3}$$

$$\% = \frac{3 * 0.1833\%}{4}$$

$$\% = \frac{3 * 0.1833\%}{4}$$

$$\% = 0.1375\%$$

Elemento	C. Q. Requerida	C. Q. Ajustada	Rendimientos (η)
C	3.00% – 3.60%	3.4375%	92%
Si	2.30% - 2.90%	2.7375%	94%
Mn	0.30% - 0.60%	0.45%	96%
P	0.06%	0.06%	100%
S	0.04%	0.04%	100%
Mg	0.0300% - 0.0550%	0.0425%	45%*

3.- Calculo del nodulizante requerido y de la cantidad de Si aportado
El nodulizante a utilizar tiene 45.50% de Si y 8.25% de Mg.

$$Mg_{residual} = Mg_{nodulizante} - S_{aleación}$$

$$Mg_{residual} = (Kg_{aleacion\ (Olla)}) \left(\frac{\%Mg_{requerido}}{100\%} \right)$$

$$Mg_{nodulizante} = (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{\%Mg_{nodulizante}}{100\%} \right) \left(\frac{Rendimiento\ nodulización}{100\%} \right)$$

$$S_{aleación} = (Kg_{aleacion\ (Olla)}) \left(\frac{\%S_{obtenido}}{100\%} \right)$$

$$Mg_{residual} + S_{aleación} = Mg_{nodulizante}$$

$$\begin{aligned} & (Kg_{aleacion\ (Olla)}) \left(\frac{\%Mg_{requerido}}{100\%} + \frac{\%S_{obtenido}}{100\%} \right) \\ &= (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{\%Mg_{nodulizante}}{100\%} \right) \left(\frac{Rendimiento\ nodulización}{100\%} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{(Kg_{aleacion\ (Olla)}) \left(\frac{\%Mg_{requerido}}{100\%} + \frac{\%S_{obtenido}}{100\%} \right)}{\left(\frac{Rendimiento\ nodulización}{100\%} \right)} = (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{\%Mg_{nodulizante}}{100\%} \right)$$

Suponiendo que la olla es de 30Kg:

$$\frac{(30Kg) \left(\frac{0.0425\%}{100\%} + \frac{0.03\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{45\%}{100\%} \right)} = (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{8.25\%}{100\%} \right)$$

$$\frac{(30Kg) \left(\frac{0.0425\%}{100\%} + \frac{0.03\%}{100\%} \right)}{\left(\frac{45\%}{100\%} \right)} = (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{8.25\%}{100\%} \right)$$

$$Kg_{nodulizante} = 0.0483Kg \left(\frac{100\%}{8.25\%} \right)$$

$$Kg_{nodulizante} = 0.5859Kg \text{ de nodulizante}$$

Ahora se calcula la cantidad de Si que aporta a la aleación el nodulizante (suponiendo un 95% de rendimiento del Si en la adición del nodulizante):

$$Si_{nodulizante} = (Kg_{nodulizante}) \left(\frac{\%Si_{nodulizante}}{100\%} \right) \left(\frac{\text{Rendimiento nodulización (Si)}}{100\%} \right)$$

$$Si_{nodulizante} = (0.5859Kg) \left(\frac{45.50\%}{100\%} \right) \left(\frac{95\%}{100\%} \right)$$

$$Si_{nodulizante} = 0.2533Kg \text{ de silicio}$$

$$\%Si_{aportado} = \frac{Si_{nodulizante}}{Kg_{aleación (Olla)}} * 100\% = \frac{0.2533Kg}{30Kg} * 100\%$$

$$\%Si_{aportado} = 0.8442\%$$

4.- Materias Primas

Materia Prima	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
Retornos	3.49	2.72	0.42	0.03	0.03	0.05
Chatarra 1 (acero 1045)	0.46	----	0.78	0.03	0.03	----
Chatarra 2 (acero 1010)	0.11	----	0.43	0.03	0.03	----
FeSi	0.10	75	0.40	0.04	0.02	----
FeMn	1.50	0.70	78	0.20	0.02	----
Recarburante	96	----	----	----	0.05	----
FeSi inoculante	----	65	----	----	----	----
FeSiMg	----	45.50	----	----	----	8.25

5.- Cálculo de la cantidad de elementos necesarios. En función de los parámetros de fusión: Rendimientos y tratamientos del metal líquido.

$$C = \frac{100Kg \left(\frac{3.4375}{100} \right)}{\left(\frac{92}{100} \right)} = 3.7364 Kg$$

$$Si = \frac{100Kg \left(\frac{2.7375}{100} - \frac{0.12}{100} - \frac{0.84}{100} \right)}{\left(\frac{94}{100} \right)} = 1.8910 Kg$$

$$Mn = \frac{100Kg \left(\frac{0.45}{100} \right)}{\left(\frac{96}{100} \right)} = 0.4688 Kg$$

$$P = \frac{100Kg \left(\frac{0.06}{100} \right)}{\left(\frac{100}{100} \right)} = 0.06 Kg$$

$$S = \frac{100Kg \left(\frac{0.04}{100} \right)}{\left(\frac{100}{100} \right)} = 0.04 Kg$$

6.-Cálculo de la cantidad de elementos aportados por las materias primas prefijadas.

15% de retornos = 15Kg

$$C = 15Kg \left(\frac{3.49}{100} \right) = 0.5235 Kg$$

$$Si = 15Kg \left(\frac{2.72}{100} \right) = 0.4080 Kg$$

$$Mn = 15Kg \left(\frac{0.42}{100} \right) = 0.0630 Kg$$

$$P = 15Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0045 Kg$$

$$S = 15Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0045 Kg$$

7.- Balance en función de un elemento "crítico". Elemento crítico seleccionado: Mn
Dada la base de cálculo (100Kg):

$$\begin{aligned} Req &= Ret + Ch1 + Ch2 \\ 100Kg &= 15Kg + Ch1 + Ch2 \\ Ch1 + Ch2 &= 85Kg \end{aligned} \quad (1)$$

Dado el elemento crítico seleccionado:

$$\begin{aligned} Mn_{Req} &= Mn_{Ret} + Mn_{Ch1} + Mn_{Ch2} \\ 0.4688Kg &= 0.0630Kg + Ch1 \left(\frac{0.78}{100} \right) + Ch2 \left(\frac{0.43}{100} \right) \\ Ch1 \left(\frac{0.78}{100} \right) + Ch2 \left(\frac{0.43}{100} \right) &= 0.4058Kg \end{aligned} \quad (2)$$

Despejamos Ch2 de (1):

$$Ch2 = 85Kg - Ch1 \quad (3)$$

Sustituyendo (3) en (2):

$$\begin{aligned}
 Ch1 \left(\frac{0.78}{100} \right) + (85Kg - Ch1) * \left(\frac{0.43}{100} \right) &= 0.4058Kg \\
 Ch1 \left(\frac{0.78 - 0.43}{100} \right) + (85Kg) * \left(\frac{0.43}{100} \right) &= 0.4058Kg \\
 Ch1 \left(\frac{0.35}{100} \right) + 0.3655Kg &= 0.4058Kg \\
 Ch1 \left(\frac{0.35}{100} \right) &= 0.0403Kg \\
 Ch1 &= 0.0403Kg \left(\frac{100}{0.35} \right) \\
 Ch1 &= 11.51Kg
 \end{aligned}$$

Finalmente sustituyendo el valor obtenido de Ch2 en (3)

$$\begin{aligned}
 Ch2 &= 85Kg - 11.51Kg \\
 Ch2 &= 73.49Kg
 \end{aligned}$$

8.- Balance por elemento.

Calculo de los elementos aportados por Ch1 y Ch2:

11.51Kg de Chatarra 1

73.49Kg de Chatarra 2

$C = 11.51Kg \left(\frac{0.46}{100} \right) = 0.0529Kg$	$C = 73.49Kg \left(\frac{0.11}{100} \right) = 0.0808Kg$
$Si = 11.51Kg \left(\frac{0.00}{100} \right) = 0.00Kg$	$Si = 73.49Kg \left(\frac{0.00}{100} \right) = 0.00Kg$
$Mn = 11.51Kg \left(\frac{0.78}{100} \right) = 0.0898Kg$	$Mn = 73.49Kg \left(\frac{0.43}{100} \right) = 0.3160Kg$
$P = 11.51Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0035Kg$	$P = 73.49Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0220Kg$
$S = 11.51Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0035Kg$	$S = 73.49Kg \left(\frac{0.03}{100} \right) = 0.0220Kg$

Balance por elemento:

C:

$$\begin{aligned}
 C_{Req} &= C_{Ret} + C_{Ch1} + C_{Ch2} \\
 3.7364Kg &= 0.5235Kg + 0.0529Kg + 0.0808Kg \\
 3.7364Kg &= 0.6572Kg
 \end{aligned}$$

Si:

$$Si_{Req} = Si_{Ret} + Si_{Ch1} + Si_{Ch2}$$

$$1.8910Kg = 0.4080Kg + 0.00Kg + 0.00Kg$$

$$1.8910Kg = 0.4080Kg$$

Mn:

$$Mn_{Req} = Mn_{Ret} + Mn_{Ch1} + Mn_{Ch2}$$

$$0.4688Kg = 0.0630Kg + 0.0898Kg + 0.3160Kg$$

$$0.4688Kg = 0.4688Kg$$

P:

$$P_{Req} = P_{Ret} + P_{Ch1} + P_{Ch2}$$

$$0.06Kg = 0.0045Kg + 0.0035Kg + 0.0220Kg$$

$$0.06Kg = 0.03Kg$$

S:

$$S_{Req} = S_{Ret} + S_{Ch1} + S_{Ch2}$$

$$0.04Kg = 0.0045Kg + 0.0035Kg + 0.0220Kg$$

$$0.04Kg = 0.03Kg$$

Ajuste de elementos fuera de balance:

C:

$$3.7364Kg = 0.6572Kg + C_{Rec}$$

$$3.7364Kg = 0.6572Kg + Rec \left(\frac{96}{100} \right)$$

$$Rec \left(\frac{96}{100} \right) = 3.0792Kg$$

$$Rec = 3.2075Kg$$

Si:

$$1.8910Kg = 0.4080Kg + Si_{FeSi}$$

$$1.8910Kg = 0.4080Kg + FeSi \left(\frac{75}{100} \right)$$

$$FeSi \left(\frac{75}{100} \right) = 1.4830Kg$$

$$FeSi = 1.9773Kg$$

9.- Calculo de la cantidad de inoculante necesario.

Suponiendo que se realizará la inoculación en molde y que los moldes tienen un gasto de 15Kg con un rendimiento de silicio del 99%:

$$Si_{Inoc} = \frac{15Kg \left(\frac{0.12}{100} \right)}{\left(\frac{99}{100} \right)}$$

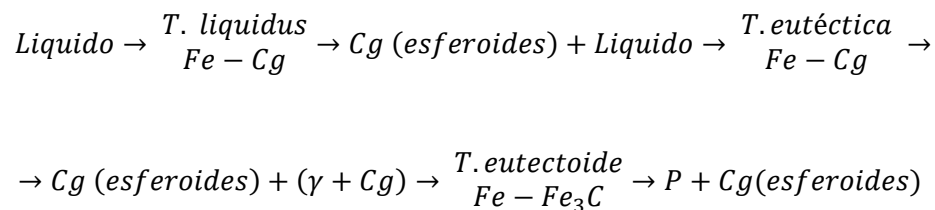
$$Inoc \left(\frac{65}{100} \right) = 0.0182Kg$$

$$Inoc = 0.0280Kg$$

10.- Tabla de reporte de resultados.

Materia Prima	Kg	%	C (Kg)	Si (Kg)	Mn (Kg)	P (Kg)	S (Kg)	Mg (Kg)
Retornos	15.0000	14.2606	0.5235	0.4080	0.0630	0.0045	0.0045	0.0000
Chatarra 1 (acero 1045)	11.5100	10.9426	0.0529	0.0000	0.0898	0.0035	0.0035	0.0000
Chatarra 2 (acero 1010)	73.4900	69.8675	0.0808	0.0000	0.3160	0.0220	0.0220	0.0000
FeSi	1.9773	1.8798	0.0020	1.4830	0.0079	0.0008	0.0004	0.0000
FeMn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Recarburante	3.2075	3.0494	3.0792	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000
Total	105.1848	100.0000	3.7385	1.8910	0.4767	0.0308	0.0320	0.0000
Requerido			3.7364	1.8910	0.4688	0.0600	0.0400	0.0000

11.- Descripción de la solidificación.



12.- Calculo de la cantidad de microconstituyentes a temperatura ambiente.

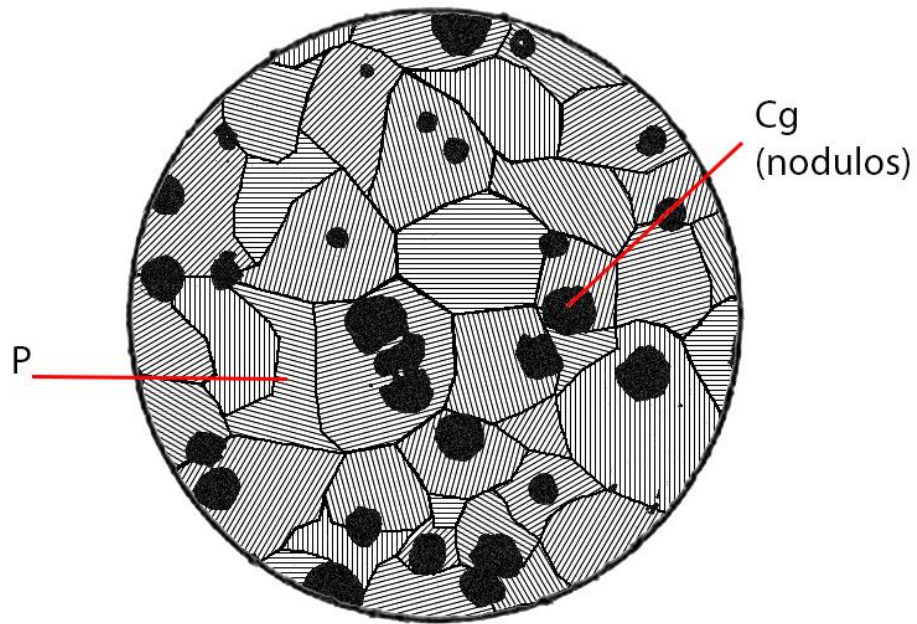
Microconstituyentes presentes a temperatura ambiente: $\alpha + P + Cg$ (esferoides)

$$\%Cg (\text{esferoides}) = \frac{4.35 - 0.80}{100 - 0.80} * 100\% = 3.58\%$$

$$\%P = \frac{100 - 4.35}{100 - 0.80} * 100\% = 96.42\%$$

13.- Microestructura del hierro nodular obtenido.

Se ha realizado un tratamiento de nodulización, y adicionalmente un tratamiento de inoculación al hierro, lo que dará como resultado una fundición dúctil con una gran densidad de esferoides. Adicionalmente se sabe que el contenido de Mn es mayor al 0.4% y menor al 1.0% por lo que la matriz es perlítica. Por lo cual se tendrá un hierro nodular con matriz perlítica.



14.- Referencias.

- Aceros:

<http://www.acerosacamex.com.mx/productos.htm>

- Acero 1045:

<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>

- FeSi, FeMn, Recarburante, Inoculante, Nodulizante:

<http://productos.possehl.mx/inico/siderurgia-y-fundicion/>