

## Métodos modernos para determinar la proporción de las cargas en el cubilote

POR

FRANCISCO CRUZ A.

No existe probablemente en nuestro país, ninguna Fundición de hierro que se preocupe de determinar la composición química de los materiales que emplea. Se adquiere lingote de la clase que exista a mano, o que sea más barato, cuando se llega a usar lingote; prefiriéndose por lo general comprar hierro viejo sin someterlo a selección previa ni estudiar sus cualidades.

Aún en los Ferrocarriles del Estado, que siendo los mayores industriales del país, tendrían obligación de emplear métodos más perfeccionados, se usa sin excepción el sistema "tanteo" para preparar las mezclas. El infrascrito en sus experiencias en los talleres de la Empresa nunca ha conseguido obtener ni siquiera aproximadamente los análisis del lingote, el que ha sido adquirido sin sujeción a composición química y únicamente prefiriéndose "el más barato".

Como las propiedades físicas dependen de la composición química, deberán establecerse composiciones bien definidas para piezas de usos también claramente establecidos. Las cualidades del hierro para parrillas, engranajes, porta zapatas, cilindros de vapor, anillos de émbolos etc., son enteramente diferentes entre sí, debiendo por lo tanto ser también diferente su composición química. Deberá fijarse primero los límites máximos y mínimos de cada componente del metal y en seguida las proporciones de lingote y hierro viejo de las cargas, para responder a estos límites.

Uno de los puntos más importantes en un taller de fundición es la uniformidad en la dureza; necesidad imperiosa, hasta la fecha aquí no apreciada, con las podero-

sas maquinarias modernas para producción por series, con que están equipadas las maestranzas de la Empresa y algunas particulares. Los cepillos, fresas etc., están equipados para hacer simultáneamente cierto número de operaciones y si hay en un grupo en elaboración, piezas fundidas de distinto grado de dureza, caso muy frecuentemente presenciado por el que escribe, habrá que ajustar las herramientas para cada caso, bajando la producción a términos inaceptables en un equipo moderno de alta velocidad. Podría citar casos en que un taller ha visto disminuir su rendimiento en un 50% sin causa aparente, pero que investigados demuestran que un operador al colocar por ejemplo 14 o 16 cajas graseras en un cepillo se ha encontrado con metales de diferente grado de dureza, debiendo ajustar su herramienta 5 o 6 veces o aún más, para terminar su obra en buenas condiciones, si es que antes no ha inutilizado dos o tres cajas por no haber ajustado el corte de la herramienta a tiempo. Este caso se repetía en cada operador y así, cuando se esperaba reparar, digamos dos locomotoras, sólo se obtenía una, atribuyendo la menor producción a 100 causas diferentes, menos la verdadera.

#### USOS DEL FIERRO VIEJO

Un jefe de Fundición debe guiarse por los resultados de la experiencia y conocimientos de la composición una vez fundidos los componentes para decidir sobre la proporción de lingote y hierro viejo que debe adoptarse. Piezas fundidas enteramente de hierro viejo son por lo general duras y de inferior calidad, considerándose la práctica más acertada para la fundición común una proporción de 40 a 60% de lingote.

También se usa en calidad de hierro viejo, piezas que salieron defectuosas en la fundida anterior, gitios, etc. y su cantidad varía de 20 a 50% de la cantidad total fundida; otras veces se agrega acero viejo, como en el caso de cilindros de locomotora, siendo siempre conveniente clasificar todo el metal de composición semejante, por separado en el patio de carga.

#### CAMBIOS EN LA COMPOSICION ORIGINADOS POR LA FUSION

Antes de fijar los componentes de una carga, es necesario determinar los efectos de la temperatura en sus elementos. El cambio en la composición química del

metal dependerá en gran proporción de la práctica del personal a cargo del cubilote y este cambio se podrá fijar al cabo de algunos ensayos químicos hechos sobre piezas fundidas con materiales conocidos.

El Silicio se oxida parcialmente en el cubilote, perdiendo un 10% más o menos; se necesitará luego un exceso de este elemento para obtener la proporción exigida por las especificaciones respectivas.

El Manganeso también disminuye al fundirse la carga y su pérdida puede calcularse en un 15%.

El contenido de azufre en cambio aumenta al fundirse el metal, pues se agrega el que está contenido en el coque. Este aumento es más o menos de 0.02%, empleando coque con menos de 0.75% de azufre.

El fósforo se concentra en la fundición, aunque el coque contiene sólo 0.01 el cual es disuelto en parte por el metal. Tanto el fósforo como el azufre no se oxidan durante el proceso de fundición, pero se reducen algo al botar las escorias. Puede calcularse que si el contenido medio de una carga es de 0.8% de fósforo, se obtendrá un aumento de 0.02% en el metal fundido, aunque como se dijo ya, es preferible determinar prácticamente estos valores, que son afectados grandemente por el factor "personal".

El lingote en general contiene el máximo de impurezas tolerado; el manganeso se puede obtener variando la proporción de las cargas o agregando manganeso metálico al crisol. La influencia considerable del Silicio justifica ampliamente la práctica de usar este elemento como factor principal al calcular las mezclas.

Una vez establecido el análisis de las piezas, proporción de hierro viejo y lingote es posible, conocidos los cambios que se verifican al fundirse, determinar exactamente la proporción de los componentes de cada carga. Estudiaremos un caso práctico:

Supongamos en la tabla N.º 1 adjunta los análisis que se desean obtener, la composición del lingote y hierro viejo disponible.

TABLA N.º 1

	Silicio	Manganeso	Azufre	Fósforo
	%	%	%	%
Análisis que se desea obtener . . . . .	1.8	0.70	0.08	0.5
Cambios en composición . . . . .	0.2	0.12	0.02	0.02
Composición total de la carga . . . . .	2.0	0.82	0.06	0.48
Lingote clase A . . . . .	2.83	0.96	0.04	0.40
Lingote clase B . . . . .	1.34	0.98	0.03	0.38
Lingote clase C . . . . .	2.00	0.80	0.04	0.43
Fierro viejo de la misma fundición usando 30% de mezcla . . . . .	1.80	0.70	0.08	0.50
Fierro viejo traído de fuera usando 20% de mezcla . . . . .	1.65	0.70	0.08	0.45
Análisis medio de fierro viejo usan- do 50% de mezcla . . . . .	1.74	0.70	0.08	0.48
Composición de la mezcla de lingote usando 50% de mezcla . . . . .	2.26	0.94	0.04	0.48

Como se pierde un 10% de Si en la fundición, el término medio de Si necesario en la mezcla se encontrará dividiendo 1.8 por 0.9 (1.0 menos 0.10) lo que da 2.00 de Si, en el metal que se carga en el cubilote. El contenido medio de manganeso se obtiene dividiendo 0.70 por 0.85; el azufre y el fósforo aumentan durante la fundición, pero no en proporción directa a las cantidades de estos elementos en la materia prima. El azufre aumenta 0.02%, luego el contenido medio de azufre de la mezcla se encontrará restando 0.02 del azufre máximo tolerado en la pieza. El porcentaje de fósforo se obtiene restando 0.02 de 0.50.

Se supone una mezcla de 50% de fierro y 50% de lingote; del fierro viejo total,  $\frac{3}{5}$  es sobrante de fundiciones anteriores (piezas defectuosas etc., 30% de la mezcla) el que tendrá aproximadamente el mismo análisis de las piezas fundidas y  $\frac{2}{5}$  es de fierro viejo recolectado por fuera, el cual consistirá de piezas quebradas de máquinas (no se considerará chocos, parrillas etc., El término medio del análisis de fierro viejo se encontrará sumando los  $\frac{3}{5}$  del análisis de fierro viejo del taller con  $\frac{2}{5}$  del análisis del fierro traído de fuera.

La composición de la mezcla de lingote se determina multiplicando la composición media del fierro viejo por su porcentaje, restando este resultado de 100 veces la composición de la mezcla total cargada y dividiendo el todo por su porcentaje de fierro en lingote.

$$\frac{(100 \times 2.0) - (1.74 \times 50)}{50} = 2.26\% \text{ de Si en la mezcla de lingote.}$$

$$\frac{(100 \times 0.82) - (0.70 \times 50)}{50} = 0.94\% \text{ de Mn en la mezcla de lingote.}$$

Como la mezcla combinada de lingote debe dar 2.26% de Si, será necesario mezclar 2 lotes de lingotes con contenido de Si sobre y bajo esta cantidad. Si se usan las clases A y B será necesario encontrar la cantidad exacta de material de cada clase para una carga.

La mezcla de lingote se determinará aplicando Algebra, aplicando una fórmula simple, o por métodos gráficos.

### 1) Sistema algebraico

Sea  $M =$  Klbs de metal en una carga

$X =$  Klbs de metal clase A

Entonces  $(M-X) =$  Klbs metal clase B.

El Si total en la mezcla es igual a la suma del Si de las clases A y B.

$$(M \times 2.26) = (X \times 2.83) + (M-X) \times 1.34X$$

$$2.26 M = 2.83 + 1.34M - 1.34X$$

$$0.92 M = 1.49X$$

$$X = \frac{0.92M}{1.49}$$

$$X = 0.62 M \text{ klbs de metal clase A}$$

$$\text{y } \frac{0.57M}{1.49} = 0.38 M \text{ klbs. de metal clase B}$$

Por este método se determinará exactamente las proporciones de las dos clases de lingote para obtener la mezcla necesaria. El manganeso, azufre y fósforo se obtienen multiplicando las proporciones de las dos clases de lingote por la cantidad de sus componentes elementales.

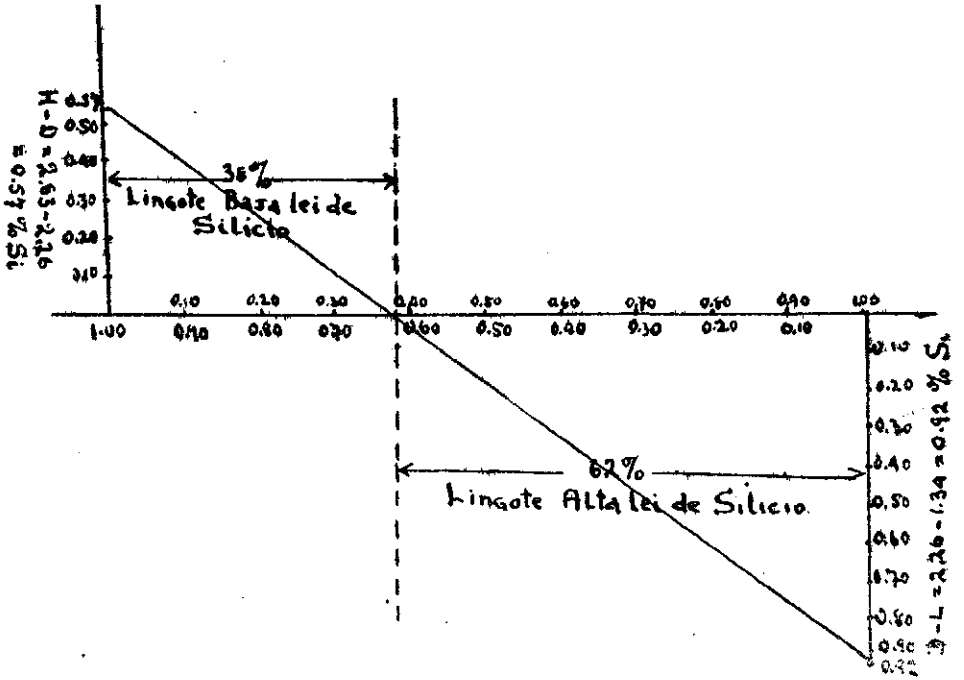


Fig. 1

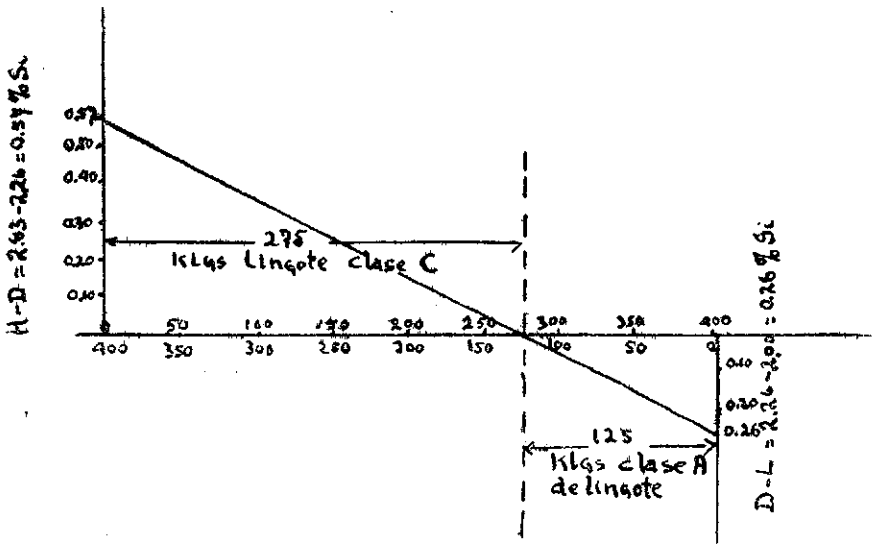


Fig. 2

## 2) Sistema de fórmulas

$(0.92 \times 0.96) + (0.38 \times 0.98) = 0.97\%$  de manganeso en la mezcla

$(0.62 \times 0.04) + (0.38 \times 0.03) = 0.036\%$  de azufre en la mezcla.

$(0.62 \times 0.40) + (0.38 \times 0.38) = 0.39\%$  de fósforo en la mezcla.

La proporción de lingote de las dos clases para obtener la ley de Si pedida, se obtiene de las fórmulas de más abajo:

Sea L = % Si del lingote de baja ley de Si

Sea H = % Si del lingote de alta ley de Si

Sea D = % Si del lingote deseado

Usando lingote de las clases A y B, tendremos según las ecuaciones anteriores

$$\frac{D-L}{H-L} = \frac{2.26-1.34}{2.83-1.34} = \frac{0.92}{1.49} = 62\% \text{ proporción del lingote A de una carga}$$

$$\frac{H-D}{H-L} = \frac{2.83-2.26}{2.83-1.34} = \frac{0.57}{1.49} = 38\% \text{ proporción del lingote B de una carga}$$

## 3) Método gráfico

El problema anterior se resuelve gráficamente como sigue:

Usese lingote A y B con el análisis de la mezcla de lingote dada en la tabla N.º 1, véase la fig. N.º 1 para la solución gráfica:

Primero trácese a una escala conveniente en un eje horizontal el porcentaje de lingote total en una carga.

Segundo, determínese la diferencia entre el lingote de alta ley de Si y el porcentaje de Si deseado.

Tercero, trácese esta diferencia en la escala correspondiente a ángulos rectos y a un extremo de la línea de base.

Cuarto, encuéntrese la diferencia entre el porcentaje de Si deseado y el lingote de baja ley de este metal.

Quinto, trácese esta diferencia en la escala ya adoptada al otro extremo de la línea de base y en dirección opuesta.

Sexto, Unase los extremos del gráfico por una línea recta. El punto de intersección dividirá la línea base en dos partes correspondientes a la proporción de alta y baja ley de Si en el lingote.

Tomemos otro ejemplo: Supongamos que se desee mezclar lingote de las clases A y C para obtener 2.26% de Si en una mezcla de lingote de 400 kgs. La solución se da claramente en la fig. N.º 2.

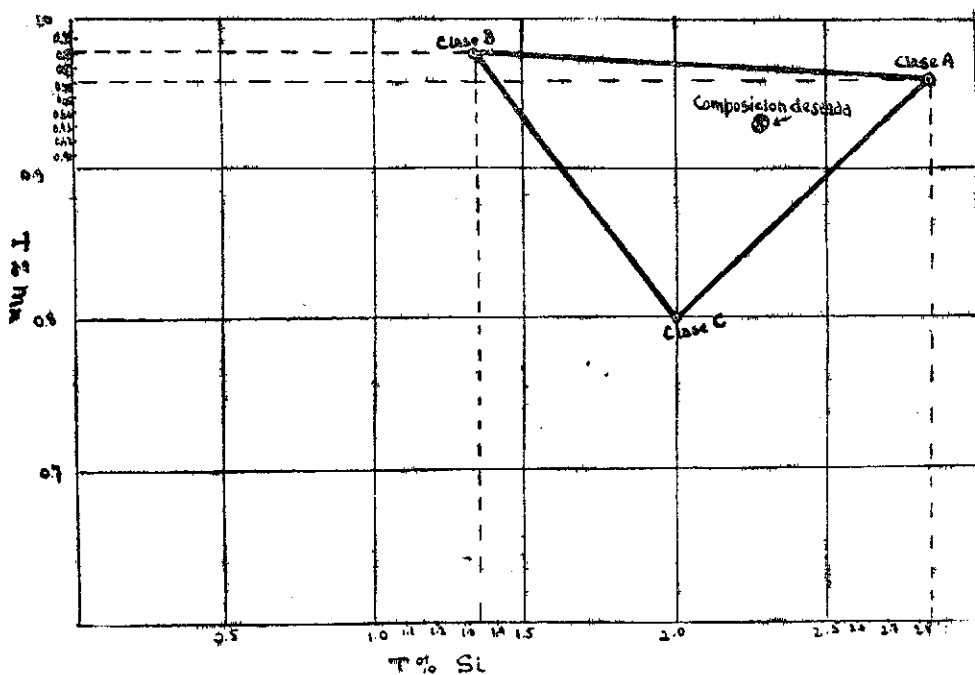


Fig. 3

Por métodos similares pueden obtenerse el Si y Mn combinando el lingote de tres clases distintas. Se prepara un gráfico (fig. N.º 3) con sus ordenadas representando el Mn, Si respectivamente. Los tres puntos que corresponden a la composición de las tres clases de metal disponible, se marcan y unen. Si el lugar obtenido, tomando como ordenadas la composición deseada, queda dentro del triángulo formado, es posible mezclar los tres lingotes para obtener la cantidad exacta de Si y Mn, deseados. Cualquier combinación representada por puntos fuera del triángulo no producirán la composición pedida.



En la fig. 3 se han marcado las tres clases de lingote de la tabla N.º 1, asimismo el punto correspondiente al Si y Mn deseados en la mezcla de las tres clases de lingote. La cantidad de metal de cada clase se determinará como sigue:

- Sea  $M$  = kgs. de metal de la mezcla total de lingote  
 Sea  $X$  = kgs. de metal de la clase A de lingote  
 Sea  $Y$  = kgs. de metal de la clase B de lingote  
 Sea  $M-X-Y$  = kgs. de metal de la clase C de lingote
- Primero establezcamos la ecuación para el Si:

$$\begin{aligned} 2,83XH, \quad 34Y + 2,00 (M-X-Y) &= 2 = 26 M \\ 2,83X + 1, \quad 34Y + 2,00 M - 2,00X - 2,00Y &= 2,26M \\ 0,83X - 0,66Y &= 0,26M \end{aligned}$$

En seguida la ecuación para el Mn:

$$\begin{aligned} 0,96X + 0,98Y + 0,80 (M-X-Y) &= 0,94M \\ 0,96X + 0,98Y + 0,80 M - 0,80X - 0,80Y &= 0,94M \\ 0,16X + 0,18Y &= 0,14M \end{aligned}$$

Se despeja ahora X e Y:

$$\begin{aligned} X &= 0,55M \text{ kgs. de lingote clase A} \\ Y &= 0,29M \text{ kgs. de lingote clase B} \\ M-X-Y &= 0,16M \text{ kgs. de lingote clase C.} \end{aligned}$$

Conociendo la composición de todo el lingote en existencia, se pueden trazar curvas permanentes que eviten el hacer los cálculos cada vez, evitándose así la disculpa de no haberse hecho el estudio por falta de tiempo u olvido.

He creído de interés, el anterior estudio, tanto para nuestra Empresa que cuenta ya con especificaciones claras para la adquisición de lingote, elaboradas por la Sección Pruebas del Departamento de Materiales, como para las Maestranzas particulares, que indudablemente encontrarán ventajoso el seguir estos métodos que han sido desarrollados y vulgarizados por el Profesor H. L. Campbell de la Universidad de Michigan.