

Simulación magnetohidrodinamica con ANSYS® de un horno de inducción

M. Martínez, A. Coello y A. Pérez

M. Martínez, A. Coello y A. Pérez
Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Juventino Rosas, Hidalgo 102, Comunidad de Valencia,
Santa Cruz de Juventino Rosas, Gto., MEXICO Teléfono: 412 157 8000 ext. 300,
jmerced_ptc@upjr.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de
Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

Induction furnaces are important in the production of steel iron parts mostly nodular iron casting, due its system allows a homogeneous mixture of the alloy elements causing few defects due to changes in the structure of the product.

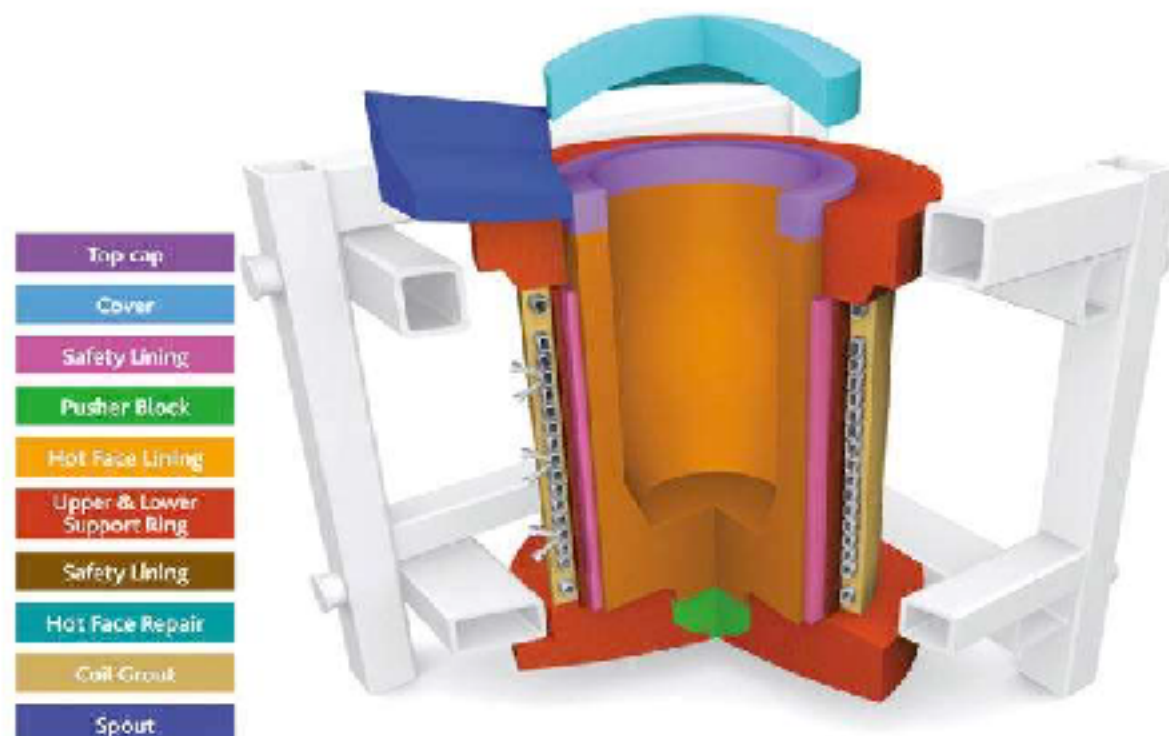
A problem of melting furnaces is the wear of refractory material due to causes such as thermal shock, and direct contact with molten slag and liquid metal. Also, the drag of refractory by the movement of the cast as one of the causes of wear of the crucible is handled. This means that a higher speed could causes greater wear.

To observe the speeds that are developed in an induction furnace used in the production of nodular iron, a MHD simulation using Ansys ® program was made. The results vary depending on the data fed to the program. For a power of 7 MW, 2 kV voltage and frequency of 240 Hz, speed is 6.9×10^{-2} m/s.

17 Introducción

Un horno de inducción consiste de un crisol, bobina de inducción y una capa externa de acero, sistema de enfriamiento y mecanismo basculante. El crisol se forma de material refractario, el cual tiene embebidas a las bobinas que producen el campo magnético y al material refrigerante.

Figura 17 Horno de inducción electromagnética



Tapa superior, cubierta, revestimiento de seguridad, prensa, revestimiento de la cara caliente, anillos de soporte, revestimiento de seguridad y lechada de la bobina

La bobina conductora es de cobre con un número específico de espiras. Una corriente alterna pasa a través de esta y se genera un flujo magnético entre el conductor. El flujo magnético generado induce corrientes de Eddy que permiten el calentamiento y fundición del material [1].

Los problemas en los hornos de la industria metalúrgica es que el refractario está expuesto a altas temperaturas, así como a desgaste químico y mecánico. Este último es causado por contacto con el metal y la escoria fundidos. Los mecanismos más comunes de falla en el revestimiento son la fractura debido al choque térmico, falla por compresión y flexión debido a resistencias asimétricas [4]. Otro fenómeno que se presenta y que contribuye al desgaste del refractario es el arrastre de partículas por el movimiento del material fundido.

Para estudiar la agitación del material fundido se puede hacer uso de la magnetohidrodinámica, la cual se define como la interacción del movimiento del fluido con campos eléctricos y magnéticos, generando diversos fenómenos físicos que se pueden observar en líquidos y gases [2]. El conjunto completo de ecuaciones de la magnetohidrodinámica para el flujo de un fluido Newtoniano con propiedades constantes incluyen las ecuaciones de movimiento de Navier-Stokes, las ecuaciones de continuidad de masa, las ecuaciones de Maxwell y la ley de Ohm. En forma diferencial, se representan como (3).

$$-\nabla p + \mathbf{j} \times \mathbf{H} + \mu \nabla^2 \mathbf{u} = \rho \mathbf{u} \quad (17)$$

$$\nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (17.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (17.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{j} \quad (17.3)$$

$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B}) \quad (17.4)$$

La fuerza de Lorentz debido a las interacciones del campo electromagnético es dada por:

$$\mathbf{F} = \mathbf{j} \times \mathbf{B} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} \quad (17.5)$$

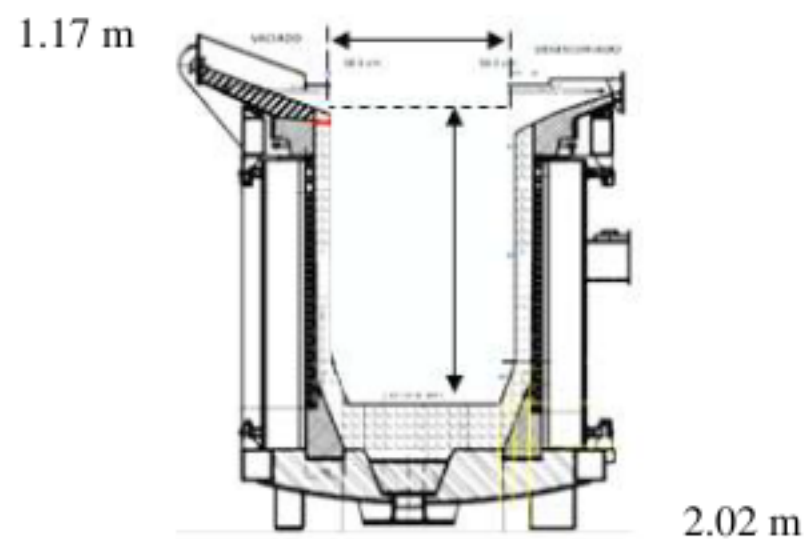
Y para un análisis axisimétrico, el campo magnético se expresa de la siguiente manera:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (17.6)$$

17.1 Metodología

La simulación utilizó un modelo axisimétrico con dimensiones como las que se muestran en la figura 17.1, que corresponden a un horno de inducción con capacidad de 12 toneladas de carga. Para la distribución de carga. Para la distribución de la fuerza de Lorentz f_L , se malló con el elemento Plane 53. [6] generando 7854 elementos y 24507 nodos. La simulación dinámica utilizó una malla que se realizó con el elemento que se realizó con el elemento Fluid 141 cuadrado de 4 nodos [7].

Figura 17.1 Dimensiones del horno simulado



Las propiedades de la fundición del hierro nodular, así como del material refractario y el cobre del que está elaborada la bobina, se obtuvieron de bibliografía y se presentan en las tablas 17 y 17.1.

Figura 17.2 Malla del modelo axisimétrico. Los diferentes colores indican los materiales aplicados

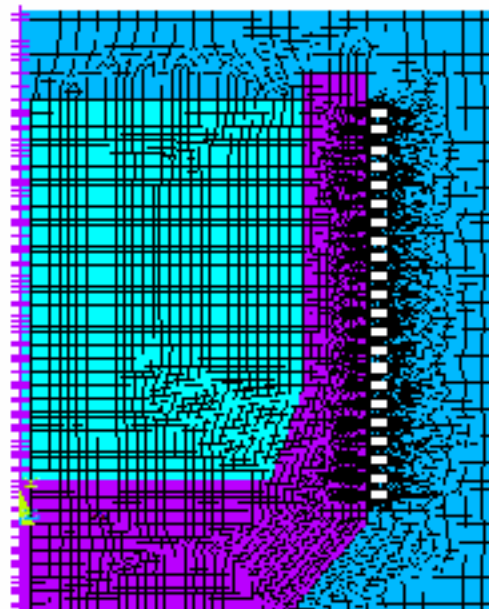


Tabla 17 Propiedades correspondientes para la fundición de un hierro nodular [8]

| Densidad (ρ) [kg/m ³] | Viscosidad dinámica (μ) [N.s/ m ²] | Permeabilidad relativa (μ_r) [T.m/A] | Resistividad eléctrica | Conductividad eléctrica (γ) [s/ m] | Permitividad relativa (ϵ_r) [1] |
|--|--|--|---------------------------|--|--|
| 6640 | 5.06×10^{-3} | 1 | 1.2×10^{-6} | 285×10^3 | 1 |

Tabla 17.1 Propiedades del refractario y el cobre utilizado en la bobina [9]

| Refractario | | Bobina | | |
|--|--|--|--|---|
| Densidad (ρ) [kg/m ³] | Permeabilidad relativa (μ_r) [T.m/A] | Conductividad eléctrica (γ) [$\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$] | Resistividad eléctrica [$\Omega \cdot m$] | Constante dieléctrica (ϵ_r) |
| 2200 | 1 | 5.7×10^7 | 1.71×10^{-8} | 1 |

Las variables operativas aplicadas para el funcionamiento del horno son un voltaje que varía entre 2 y 3 KV, potencia entre los 7 y los 8 MW y por último se tiene una frecuencia variable entre los 210 y 240 Hz.

17.2 Resultados

Con una un voltaje de 3 KV, potencia de 8 MW y frecuencia de 240 Hz, el valor máximo de la fuerza de Lorentz desarrollada sobre el material fundido fue de 8.2 N (Figura 4a) y se presenta en el cambio de sección de la pared del horno. Hacia los extremos, la fuerza que se desarrolla tiende a cero.

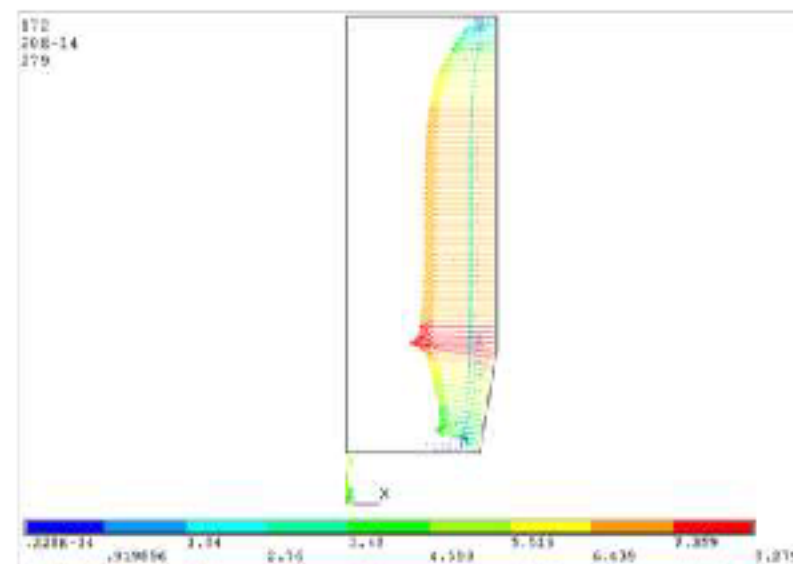
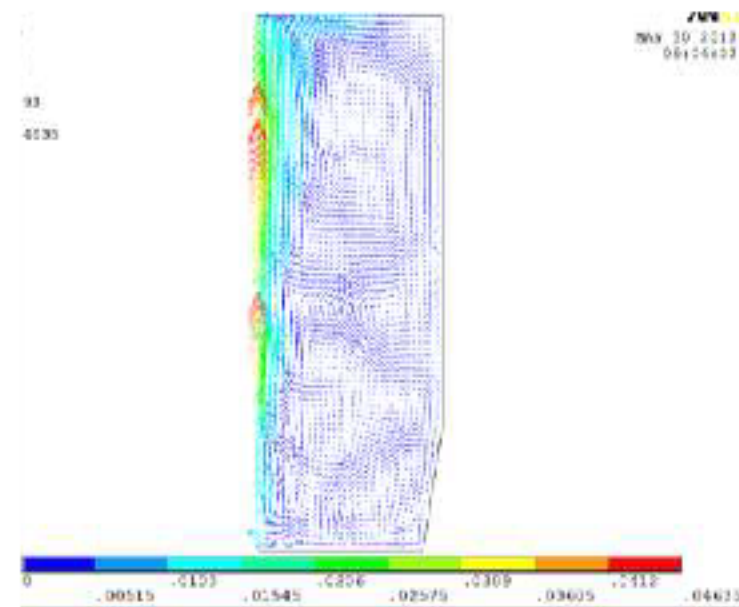
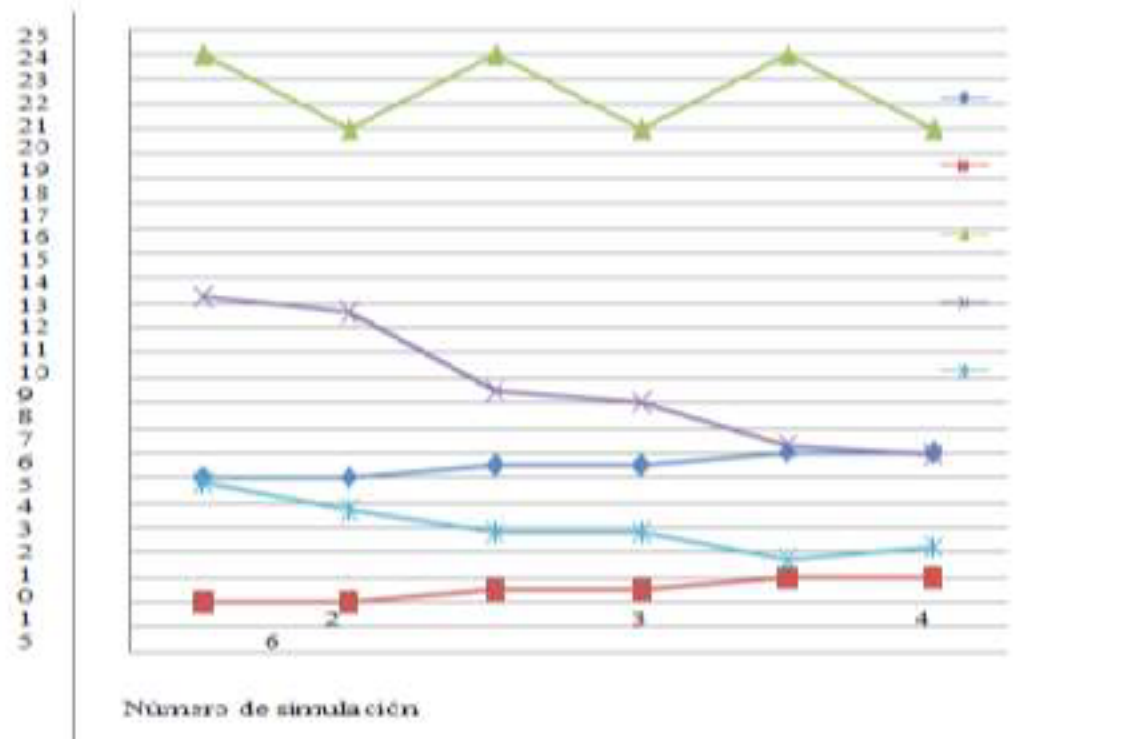
Figura 17.3 Fuerza de Lorentz con 3KV, 8MW y 240 Hz

Figura 17.4 Velocidades de la fundición



Esta fuerza de Lorentz con los parámetros antes indicados, provoca una velocidad máxima en el metal fundido de 0.046 m/s, la cual es generada en el centro del horno y su valor va disminuyendo al acercarse a la pared del mismo (Figura 17). Se observan a la vez numerosos vórtices que serían provocados por la geometría y el cambio de los valores de fuerza de Lorentz en la vertical. Estos vórtices son recomendables en un horno de inducción para que se produzca una mezcla homogénea de los elementos que se incluyen en la fundición. Al realizar más simulaciones con condiciones de operación aplicadas en planta, los resultados obtenidos indican que un voltaje de 2 KV, potencia de 7MW y frecuencias de 210 Hz provocan una velocidad de 6.8×10^{-2} m/s, la cual, comparada con la obtenida en las demás simulaciones, es el valor más alto (Grafico 17).

Grafica 17 Fuerza y velocidad obtenida durante la simulación con diferentes condiciones operativas



Potencia MW Voltaje KV Frecuencia x10 Hz Fuerza N Velocidad E-2 m/s. La menor velocidad se obtiene con la potencia de 8 MW, voltaje de 3KV y frecuencia de 210 Hz, lo cual es beneficioso para disminuir el desgaste por arrastre, pero podría influir en la homogeneidad de la fundición disminuyendo su calidad.

17.3 Conclusiones y recomendaciones

Las condiciones de operación de un horno pueden aplicarse en la simulación para dar una aproximación de su comportamiento hidrodinámico y permitir estudiar el desgaste por arrastre en el material refractario, así como problemas de homogeneidad en la micro estructura de los productos fundidos.

Se recomienda realizar una simulación con un modelo de horno completo, ya que permitiría realizar los cálculos sobre el total del volumen y los resultados serían más exactos ya que el modelo axisimétrico utiliza una aproximación en el campo magnético como se expresa en la ecuación (7).

17.4 Referencias

K. C. Bala. Design Analysis of an Electric Induction Furnace form Melting Aluminum Scrap. Nigeria 2005.

B.S. Tillack y N. B. Morley. Magnethydrodynamics. "Introduction". P 1-2. 14th edition. McGrawHill 1998.

Evangelos Chaliasos. The modiefied MHD equations. Grecia 2008.

K. Andreev, S. Sinnema y M. Hohenboom. Investigation of refractory concrete failure in furnaces of metals industry. Netherlands. 2012.

M. Pal, S. Kholmatov y P. Jonsson. Numerical Simulation Of induction Stirred Ladle. Inglaterra 2006.

Ansys. Ansys release 12.0. fluids guide. USA 2009.

Cook, Robert D. Finete element modeling for stress analysis. *Wiley*. USA 1995

Joseph R. Davis and Kathleen M. Mills. ASM Handbook. Volume 1. Properties and selection: Irons, Steels and High Performance Alloys. Tenth printing. USA 2010.

Stephen C. Carniglia y Gordon L. Barna. Handbook of industrial refractories technology. Noyes Publications.

