

APROVECHAMIENTO DE LAS EMISIONES TERMO METALÚRGICAS RESIDUALES EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y AGUA CALIENTE EN LAS EMPRESAS METALÚRGICAS

Por **Dr. C. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo***, **Dr. C. Roberto Pérez Rodríguez****, **M. Sc. Lisandra Pupo Salazar*****, **M. Sc. Julio Borrero Neninger****** y **M. Sc. Fausto Hernán Oviedo Fierro*******

* Profesor titular. CE CAD CAM. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín. Cuba.
E-mail: rigo@uho.edu.cu

** Profesor titular. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín. Cuba.
E-mail: roberto.perez@uho.edu.cu

*** Profesor auxiliar. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín. Cuba.
E-mail: lisandraps@uho.edu.cu

**** Profesor auxiliar. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín. Cuba.
E-mail: jborrero@uho.edu.cu

***** Profesor titular. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador.
E-mail: fausto.oviedo@epn.edu.ec

Resumen

Los artículos, partes y piezas de los metales y sus aleaciones son la base del desarrollo industrial como componentes fundamentales en la construcción de mecanismos para la industria metalmeccánica, automovilística, aeronáutica, naval, militar, domestica, etc., y están caracterizados por su termo resistencia y refractariedad, debido a lo cual para su manufactura se emplean procesos metalúrgicos de fundición, conformación, y tratamientos térmicos, que necesitan hornos fusores y de calentamientos con temperaturas que oscilan desde 750 °C hasta 2500 °C, que generan emisiones térmicas con una alta intensidad calórica. Con esta investigación se realiza la evacuación de este calor residual emitido con colectores y recuperadores alternativos y es utilizado como fuente de energía para: la generación de agua caliente y vapores, utilizados en procesos tecnológicos y domésticos, como son la esterilización del utillaje de laboratorio y lavado de confecciones textiles y otras fibras, y en la preparación de alimentos en las empresas; calentamiento de agua para uso doméstico e higiene de los operarios metalúrgicos, contribuyendo a la sostenibilidad de la salud del entorno humano al evitar los cambios bruscos de temperatura en el aseo; producción de energía eléctrica por termo transferencia. Para el traslado de los flujos térmicos de agua y vapor a las edificaciones tecnológicas, laborales o domésticas se utilizan tuberías de aleaciones de aluminio, con el aprovechamiento de la particularidad de dispersión térmica de este metal. Las emisiones gaseosas, una vez convertidas en sólidos en los filtros húmedos, se reutilizan en los procesos productivos, como son silicatos, nitratos, sulfuros, nitruros, con un alto por ciento de metales preciosos.

Palabras clave: Emisiones térmicas, termometalúrgicas, energía renovable, reciclaje, residuos.

USE OF RESIDUAL THERMO-METALLURGICAL EMISSIONS IN STEAM AND HOT WATER GENERATION IN METALLURGICAL COMPANIES

Abstract

The articles, parts and pieces of metals and their alloys are the basis of industrial development as fundamental components in the construction of mechanisms for the metalworking, automobile, aeronautical, naval, military, domestic industry, etc., and they are characterized by their thermo resistance and refractoriness; due to this for their manufacturing, metallurgical processes of smelting, forming, heat treatments are needed,

which need melting and heating furnaces with temperatures ranging from 750 °C to 2 500 °C, which generate emissions thermal with a high caloric intensity. With this research the evacuation of this heat emitted with alternative collectors and recuperators is carried out and is used as an energy source for: The generation of hot water and vapors, used in technological and domestic processes such as: the sterilization of laboratory tools and washing of textile and other fibers and in the preparation of food in companies; Water heating for domestic use and hygiene of metallurgical operators, contributing to the sustainability of the health of the human environment by avoiding sudden changes in temperature in the toilet; Production of electrical energy by thermo transfer. For the transfer of thermal water and steam flows to technological, labor or domestic buildings, aluminum alloy pipes are used, taking advantage of the particular thermal dispersion of this metal. Gaseous emissions once converted into solids in wet filters are reused in production processes, such as silicates, nitrates, sulfides and nitrides, with a high percentage of precious metals.

Key words: *Thermal emissions, thermo metallurgical, renewable energy, recycling, waste.*

Introducción

La industria metalmeccánica manifiesta como tendencia mundial la sustitución de piezas de acero y fundición gris ordinaria, por fundición con grafito nodular, debido a que puede superar al acero en cuanto a sus propiedades de fundición, menor densidad y menor costo por tonelada [Al-Ghonamy *et al.*, 2012; Aristizábal *et al.*, 2013; Jacas *et al.*, 2005]. Estas ventajas se aprecian de manera más visible en la industria automovilística, la industria naval, la construcción de maquinarias y la industria azucarera, entre otras. La aplicabilidad del hierro con grafito nodular ha sido posible gracias al desarrollo del tratamiento térmico de austemperizado, lo que ha permitido obtener fundiciones competitivas con los aceros, conocidas internacionalmente como ADIs, o sea, hierros dúctiles austemperados [Carnero *et al.*, 1999; Ordóñez Hernández, *et al.*, 2015], además de (a) método Sandwich, desarrollado por la Ford Motor Company, de Cleveland, en Estados Unidos de Norteamérica, con el fondo de cucharas especiales (existe una variante Deckel de este proceso); (b) método Trigger, desarrollado por la Corporación Meehanite, en el que la aleación se protege de la flotación prematura mediante carburo cálcico que se carameliza o vitrifica a la temperatura del caldo metálico; (c) Pre-Packing (Precargado), con la aleación nodulizante protegida en un tubo de acero o nodular; (d) sobretratamiento-dilución, desarrollado por Gebrüder Sulzer de Schaffhausen (Suiza); (e) Mag-Coke, o coque impregnado de 40 % a 50 % de Mg, y (f) Overpouring, adecuado para tratamientos frecuentes y periódicos de cucharas con 1,5 t a 3 t de caldo, desarrollado por Dow Chemical International.

Los hierros dúctiles austemperizados – ADI o Kymenite, desarrollados en Finlandia, es una fundición dúctil con tratamiento térmico isotérmico que produce una matriz ausferrítica. que comienza con el calentamiento y mantenimiento de la fundición a su «temperatura de austenitización» (900 °C) durante una hora y media, a fin de saturar la austenita con el C, después de lo cual es enfriado rápidamente y sostenido isotérmicamente en su «temperatura de austemperización» (400 °C), usualmente en un baño de sales antes de su enfriamiento final a la temperatura ambiente [Ordóñez Hernández *et al.*, 2015].

En los distintos procesos surgidos a lo largo del tiempo se ha empleado el Mg puro, ferroaleaciones de este elemento o formas físicas de protegerlo, como por ejemplo, el *mag-coke*. La nodularización con Mg está condicionada por sus propiedades físico-químicas, como son: (a) punto de ebullición de 1117 °C, muy inferior a los 1400 °C a 1500 °C, que es el intervalo habitual de temperaturas del caldo metálico en las fundiciones; (b) la presión de vapor alcanza ocho atmósferas; (c) su solubilidad en la fundición es muy baja; (d) su densidad es de 1,7 g/cm³, muy baja en comparación con los 7 g/cm³ de la fundición líquida, y (e) tiene gran afinidad con el oxígeno y el azufre [Sánchez-Figueroa, *et al.*, 2016c]. La adición de Mg conlleva una reacción que puede llegar a ser pirotécnica, con emisión abundante de luz y humo [Enríquez-Berciano, 2012; Ma y Zhang, 2009; Yunqing, 2015]. Cuando la modificación se hace en la cuchara, antes del molde, se hace obligatorio obtener temperaturas de 1500 °C o cercanas a la salida del horno, ya que en la modificación y posterior distribución de la aleación a los moldes se puede perder hasta 100 °C o más.

Se seleccionó el taller de fundición de la Empresa Mecánica de Holguín del Gesime, perteneciente al Ministerio de Industrias, donde se utiliza un horno de cubilote de 700 mm de diámetro interior para la producción de las aleaciones ferrosas y se parte para la experimentación del vertido en el molde a temperaturas de 1450 °C y 1425 °C. El parámetro de control principal estuvo centrado en el control de las temperaturas de sangrado de 1480 °C a 1470 °C en la piqueta del cubilote [Sánchez-Figueroa *et al.*, 2015b]. Esto exigió el cumplimiento estricto de las normas técnicas de la fusión y la calidad del coque utilizado, así como un manejo adecuado de la tecnología teniendo en cuenta las referencias estudiadas y el cumplimiento de la disciplina tecnológica en cuanto al control de los parámetros tecnológicos del cubilote.

La estructura metálica del cubilote consiste en un cilindro vertical, formado por planchas de acero soldadas de 6 mm a 13 mm de espesor, montadas por secciones sobre una plancha base, que a su vez es soportada por cuatro columnas de apoyo, las cuales están fijadas al cimiento [Sánchez-Figueroa, 2016]. En la Figura 1 se muestra una representación gráfica del horno de cuba alta discontinuo

de 700 mm de diámetro de trabajo (HCAD700), e la Empresa Mecánica de Holguín.

En el centro de la plancha base se encuentra una abertura de diámetro 700 mm, igual al diámetro interior del refractario del cubilote, donde se coloca la tapa de cierre y es fijada por medio de un puntal. La piqueta u orificio de descarga se encuentra en la superficie del cilindro, al frente de la posición de trabajo, a una altura de 120 mm sobre la plancha base. [Sánchez-Figueredo, 2016]. En la misma situación se encuentra el canal de descarga, con una inclinación de 10° hacia abajo para que el metal corra libremente.

La bigotera de escoria es un orificio de 50 mm de diámetro situado a 90° de la boca de descarga, a una distancia de 120 mm por debajo de las toberas, con un canal de descarga más corto que el de la piqueta. Las toberas son cinco y están situadas a una altura de 720 mm, calculada desde la plancha base hasta su parte inferior; esto constituye la altura de la cuba o crisol colector de metal. Las toberas son ventanas de mayor ancho que altura, cuya área total será igual a 20 % del área interior del cubilote.

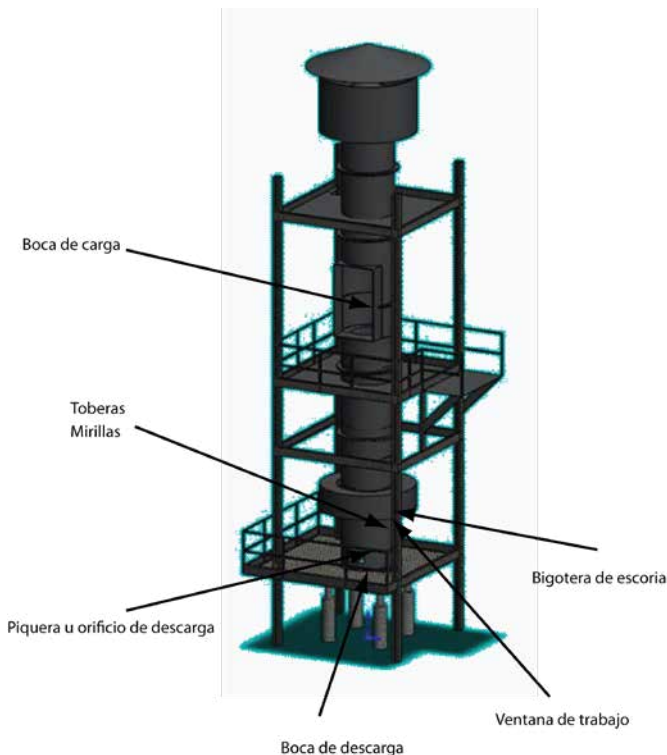


Fig. 1. Horno de cuba alta discontinuo de 700 mm de diámetro de trabajo (HCAD700) de la Empresa Mecánica de Holguín.

Durante su explotación las emisiones térmicas salen por la chimenea con una temperatura superior a los 700 °C, y teniendo en cuenta esta particularidad se construye un colector de gases y regenerador de calor.

Desarrollo

En la parte superior en el lugar del apaga chispas se construye un cilindro metálico como colector-disipador de calor como se representa en la Fig. 2.

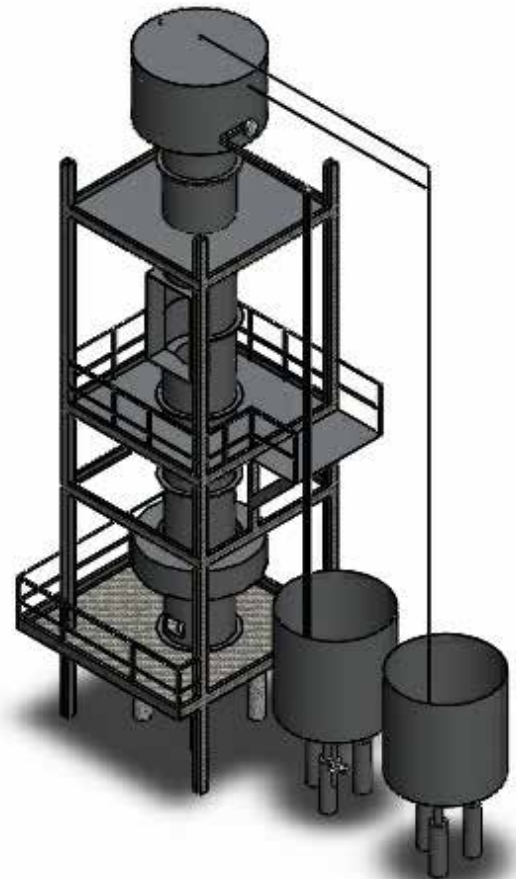


Fig. 2. Horno de cuba alta discontinuo de 700 mm de diámetro de trabajo (HCAD700) de la Empresa Mecánica de Holguín, con colector-disipador de calor adicionado.

Las emisiones térmicas y gaseosas con una temperatura superior a los 800 °C ascienden hasta la parte superior del horno dando directamente con el fondo de un recipiente que contiene un metro cúbico de agua, y la parte gaseosa no combustible es aspirada por un extractor que la impulsa hacia un recipiente con una columna alta de agua; las partículas no combustibles (humo) al entrar en contacto con la columna de agua se solidifican formando un lodo y el resto del aire asciende a la superficie incorporándose a la atmósfera totalmente puro como se representa en las figuras 3-5.

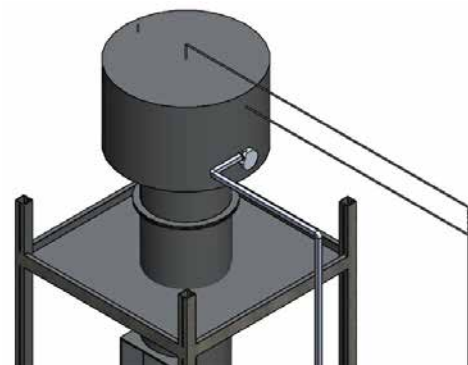


Fig. 3. Ubicación del extractor al aspirar las emisiones gaseosas e impulsarla hacia la columna de agua.

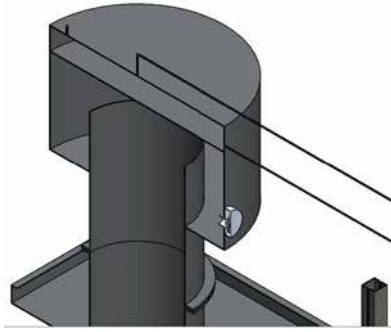


Fig.4. Vista isométrica donde se observa la unión de la parte superior del horno con el evacuador de calor y gases.

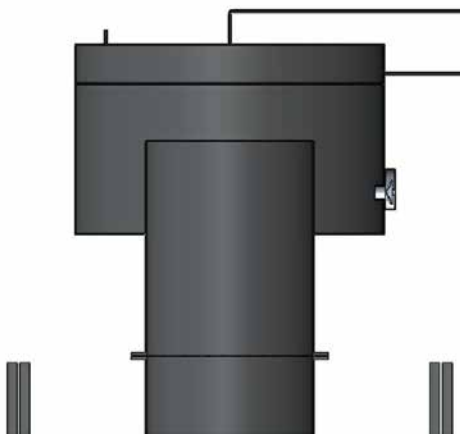


Fig.5. Ubicación de la entrada del agua de la cañería y salida del agua caliente hacia los recipientes de almacenamiento, y distribución del agua caliente hacia las actividades domésticas.

Conclusiones

La construcción del colector y recuperador alternativos de emisiones térmicas y gaseosas es de construcción sencilla, viable y muy eficiente.

Con los resultados de esta investigación se eliminan las dolencias provocadas a los operarios metalúrgicos por el choque térmico provocado al asearse con agua a temperatura ambiente, luego de estar expuestos a altas temperaturas durante la fusión y vertido del metal.

Recomendaciones

Se recomienda la generalización de los resultados de esta investigación en el resto de los hornos de fusión y calentamiento.

Referencias bibliográficas

- GHONAMY, A. I.; M. RAMADAN, N. FATHY, K. M. HAFEZ, Y A. A. EL-WAKIL (2012). «Effect of graphite nodularity on mechanical properties of ductile iron for waterworks fittings and accessories», *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 1-5, 2012.
- ARISTIZÁBAL, R. E.; P. A. PÉREZ, H. D. MACHADO, A. M. PÉREZ, Y S. KATZ (2013). «Studies of a Quenched Cupola Part IV: Behavior of Coke». en *AFS Proceedings*, Schaumburg, IL USA, 2013, pp. 1-11, Url: https://www.researchgate.net/publication/267343938_Studies_of_A_Quenched_Cupola_PART_IV_Coke_Behavior
- CARNERO, A. A.; K. P. BUNIN, E. D. GLEBOVA, Y M. I. PRITOMANOVA (1999). *Tratamiento termocíclico del hierro fundido y el acero (en ruso)* Vol. 167 Kiev., 1999.
- ORDÓÑEZ HERNÁNDEZ, U.; S. PARADA-DE-LA-PUENTE, C. FIGUEROA-HERNÁNDEZ, F. J. MONDELO-GARCÍA, A. BARBA-PINGARRÓN, Y A. DEL-CASTILLO-SERPA (2015). «Caracterización de la capa de boruros formada durante la austenización de un hierro nodular austemperizado», en *Ingeniería Mecánica*, Vol. 18, No. 1, pp. 71-79, 2015, Url: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/510/880>.
- ENRÍQUEZ-BERCIANO, J. L. (2012). «Fabricación de fundición nodular». U. P. d. Madrid, Ed. Madrid, España, 2012, p. 84.
- MA Y J. ZHANG, Y. (2009). «QT600-3 ductile iron casting and method for producing the same». Número de aplicación: CN20081243632 20081211. Espacenet. China. Organización: C. Q. L. C. Ltd. 2009-04-29. Patente No. CN101418414 (A).
- YUNQING, C. (2015). «Preparation method for preparing as-cast ferrite nodular iron by one time». Número de aplicación: CN20131497839 20131022 Espacenet. China. Organización: Q. H. M. C. Ltd. 2015-04-29. Patente No. CN104561745 (A).
- SÁNCHEZ-FIGUEREDO, R. P.; A. GARCÍA-DOMÍNGUEZ, R. PÉREZ-RODRÍGUEZ, E. I. RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ (2015b). «Influencia del vertido vibratorio en la resistencia a la tracción del hierro con grafito esferoidal», en *Minería y Geología*, Vol. 19, No. 3, pp. 79-90, 2015b, Url: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/download>, .
- SÁNCHEZ-FIGUEREDO, R. P.; A. GARCÍA-DOMÍNGUEZ, R. PÉREZ-RODRÍGUEZ, E. I. RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ (2016c). «Influencia del vertido vibratorio en la matriz y dureza del hierro gris con grafito esferoidal, en *Ingeniería Mecánica*, Vol. 19, No. 1, pp. 26-29, 2016c, Url: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>.
- SÁNCHEZ-FIGUEREDO, R. P. (2016). *Tecnología CAD/CAM para fundidos con grafito esferoidal*. Editorial Académica Española, Url: <https://www.eae-publishing.com/catalog/details//store/es/book/978-3-659-70316-4/tecnolog%C3%ADa-cad-cam-para-fundidos-con-grafito-esferoidal>.
- SÁNCHEZ-FIGUEREDO, R. P. (2017). «Fundición con grafito nodular esférico: Aplicación de vibraciones para aumentar el rendimiento del nodulizante por modificación “In Mold”, 2017», Tesis doctoral. Universidad de Holguín.