

## **1.- Título**

**“Efecto del flujo de gas, el número y la posición de inyectores sobre el mezclado térmico en ollas agitadas con gas asistido por la técnica PLIF térmica”**

**1a.- Tutores responsables:** Dr. Marco Aurelio Ramírez Argáez y M. en I. Luis Enrique Jardón Pérez.

## **2.- Introducción**

Ante la creciente demanda de acero (no solo en cantidad, sino en calidad), en los últimos años se ha incrementado el interés industrial y académico en todos y cada uno de los procesos siderúrgicos que conforman las rutas integradas y no integradas de producción de acero, y en particular en la metalurgia de la olla, buscando comprender la dinámica de fluidos, así como los fenómenos de transporte de especies químicas y de energía que ocurren dentro del reactor, esto con el fin de incrementar la calidad final del acero, optimizar el consumo de insumos y disminuir los tiempos de procesamiento para cumplir con las exigencias del consumidor actual. Las dos herramientas que se explotan comúnmente en el estudio del Horno Olla son el modelado matemático y el modelado físico [1]. Esta última herramienta es la que se plantea en este trabajo.

El Horno Olla es un proceso decisivo en la calidad del acero, en el cual se refina al acero practicando la desoxidación, desulfuración, el mezclado químico, térmico y la eliminación y/o modificación de inclusiones. En la mayoría de los trabajos de investigación recientes y reportados en la literatura acerca de modelado físico de Horno Olla, se caracteriza el desempeño de este reactor o su grado de agitación a través de la medición de tiempos de mezclado químico, definido como el tiempo en que un soluto inyectado en un punto y en un pulso al sistema, alcanza un nivel de uniformidad en todo el baño al menos de 95% de la composición de equilibrio. Así, se ha estudiado el mezclado en Hornos Olla variando algunos parámetros de operación como el flujo de gas, la posición de los inyectores, inyección simple y doble, el ángulo de separación para inyectores dobles y espesores de la capa de escoria sobre el tiempo de mezclado y en algunos otros casos también se ha evaluado la apertura de la capa de escoria y también se reportan incluso configuraciones óptimas que minimizan la apertura de escoria y al mismo tiempo minimización el tiempo de mezclado [2-9]. Debe señalarse que el mezclado químico no necesariamente es sinónimo de cinéticas de mezclado térmico, eliminación de inclusiones o intercambios metal/escoria.

Como antecedentes importantes a este proyecto propuesto, se tiene el proyecto del alumno Daniel Ricardo González Morales, quien cursó el proyecto en el semestre 2018-2 y ya se ha graduado en 2018 [10] y los proyectos recientemente completados durante el semestre 2019-1 de Aline Pérez González y Tamara Segoviano, trabajos en los cuales se implementó con éxito la técnica PLIF (Planar Laser Induced Fluorescence o Fluorescencia inducida por láser en un plano) química en donde se midieron los mezclados químicos con un soluto fluorescente (Rodamina 6G) en baños isotérmicos.

También recientemente durante el semestre 2019-2, la alumna Ana Gómez implementó de manera exitosa la técnica PLIF térmica, que se adquirió recientemente, la cual usa Rodamina B en vez de la Rodamina 6G, ya que la primera sustancia muestra sensibilidad en su fluorescencia con cambios en la temperatura. Esta alumna fue capaz de realizar simulaciones físicas con fuentes de calor en la superficie del baño simulando a los arcos eléctricos que mantienen al acero caliente y pudo medir campos de temperatura en un plano para un sistema sin agitación con gas y también, de manera relevante, con agitación promovida por inyección céntrica de gas.

En este nuevo proyecto se plantea estudiar el efecto de variables de operación como el flujo de gas, el número y posición de tapones sobre la eficiencia en el mezclado térmico a través del empleo de la técnica PLIF térmico. Anteriormente, se había determinado de manera precisa el efecto de estas variables sobre el mezclado químico y se tiene definido el efecto de cada variable, sin embargo, la naturaleza de las fuentes de energía en el proceso

industrial hacen pensar que no necesariamente las mejores condiciones de mezclado químico sirven para promover el mejor mezclado térmico. En el caso de mezclado químico se sabe que las condiciones mejores son inyecciones con 2 tapones localizados a 4/5R, separados 180°C y con flujo alto de gas.

### **3.- Hipótesis**

Las condiciones de operación que promuevan un mezclado térmico óptimo no necesariamente serán las mismas que las que promueven un mezclado químico óptimo.

### **4.- Objetivo(s)**

GENERAL:

- Estudiar el efecto del flujo de gas, número y posición de las toberas de inyección de gas, sobre el mezclado térmico en modelos físicos de ollas agitadas con gas, usando la técnica novedosa PLIF térmico.

PARTICULARES:

- Diseñar experimentos en un modelo físico de sistemas de ollas agitadas con gas no isotérmicos con fuentes de energía que simulen arcos eléctricos que mantienen caliente al acero líquido.
- Establecer la similitud térmica adecuada en el caso del mezclado térmico para poder extrapolar los resultados del modelo físico al prototipo.
- Evaluar el efecto del flujo de gas, posición y número de inyectores de gas a través de un diseño de experimentos factorial completo y su posterior análisis estadístico de resultados.
- Proponer condiciones óptimas del flujo de gas, posición y número de inyectores de gas que maximicen el mezclado térmico.

### **5.- Metas**

- Ejecutar experimentos no-isotérmicos en ollas agitadas con gas en modelos físicos simulando apropiadamente la fuente superior de energía.
- Determinar estadísticamente los efectos principales de cada variable y sus interacciones sobre el mezclado térmico (diferencia de temperatura entre la zona más caliente y la más fría en la olla).
- Determinar las condiciones óptimas de las variables que minimicen el gradiente térmico en la olla.
- Un reporte escrito del proyecto realizado.

### **6.- Metodología**

El estudiante realizará las siguientes actividades para cumplir con los objetivos y metas del proyecto:

- Revisión de la literatura, enfocándose en artículos de mezclado químico y térmico (si los hubiese) en ollas de aceración.
- Verificación del criterio de similitud térmica.
- Capacitación en el uso del equipo PIV, incluyendo las bases teóricas y la operación del equipo.
- Capacitación en el uso de la técnica PLIF térmica.
- Calibración de la técnica.
- Medición del mezclado térmico de todos los experimentos a realizarse con el empleo de un diseño experimental factorial completo a dos niveles, implementado con PLIF térmico.

- Validación del mezclado térmico de un solo experimento implementado con termopares y tarjetas de adquisición de datos.
- Análisis estadístico de resultados, al obtener resultados de la experimentación para determinar el efecto de las variables sobre el mezclado térmico de ollas agitadas con gas en presencia de gradientes térmicos.
- Maximizar el mezclado térmico aplicando algoritmos formales en MATLAB® para encontrar condiciones óptimas de operación.
- Escritura del reporte, se escribirá el reporte a lo largo de las 16 semanas del semestre con el objetivo último de tener una base suficiente para la escritura de la tesis de licenciatura.

## 7.- Infraestructura

El grupo de trabajo cuenta con equipos de cómputo e impresoras suficientes. Cuenta con dos modelos físicos de horno de olla escalados 1/6 y 1/17, así como el equipo necesario para implementar la técnica PLIF térmico nunca usada anteriormente en este grupo. También, dentro de la infraestructura ya presente, se incluyen termopares tipo k enchaquetados, tarjetas de adquisición de datos y hornos de calentamiento de agua portátil recientemente adquiridos.

## 8.- Cronograma de actividades

En el siguiente cronograma se presentan de forma resumida las actividades a realizar y los tiempos estimados para las mismas.

No.	Actividad	Semana															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Revisión de la literatura	x	x	x	X	x	x	x	x							x	x
2	Capacitación en el uso del equipo PIV y PLIF térmico			x	X	x											
3	Calibración de PLIF térmica					x	x	x	x	x	x	x					
4	Experimentación												x	x			
5	Validación de la técnica													x	x		
6	Análisis de resultados y optimización												x	x	x	x	
7	Escritura del reporte				X				x				x			x	x

## 9.- Cometarios adicionales

Este trabajo se enmarca en el proyecto de doctorado del alumno M. en I. Luis Enrique Jardón Pérez. El proyecto es parte del proyecto financiado PAPIIT clave IN115619, vigente y cuyo responsable técnico es el tutor de este proyecto.

## 10.- Referencias

- 1.- Ghosh, A., Secondary steelmaking: principles and applications. 2000: CRC Press.
- 2.- Geng, D., Lei, H. and He, J. Optimization of mixing time in a ladle with dual plugs. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 2010. 17(6): p. 709-714.
- 3.- Singh, R.K., et al., Improvement in LF process through optimization of dual porous plugs location in gas stirred ladles. Materials and Manufacturing Processes, 2010. 25(1-3): p. 92-98.

- 4.- Cloete, S.W.P., J.J. Eksteen, and S.M. Bradshaw, A numerical modelling investigation into design variables influencing mixing efficiency in full scale gas stirred ladles. *Minerals Engineering*, 2013. 46: p. 16-24.
- 5.- Mazumdar, D., P. Dhandapani, and R. Sarvanakumar, Modeling and optimisation of gas stirred ladle systems. *ISIJ International*, 2017. 57(2): p. 286-295.
- 6.- Peranandhanthan, M. and D. Mazumdar, Modeling of slag eye area in argon stirred ladles. *ISIJ international*, 2010. 50(11): p. 1622-1631.
- 7.- Patil, S.P., et al., Mixing Models for Slag Covered, Argon Stirred Ladles. *ISIJ International*, 2010. 50(8): p. 1117-1124.
- 8.- Jardón Pérez, L.E., et al., Optimizing gas stirred ladles by physical modeling and PIV measurements. *Materials and Manufacturing Processes*, 2018. 33(8): p. 882-890.
- 9.- Amaro Villeda, A.M., M.A. Ramirez Argáez, and A.N. Conejo, Effect of slag properties on mixing phenomena in gas-stirred ladles by physical modeling. *ISIJ international*, 2014. 54(1): p. 1-8.
- 10.- Daniel Ricardo González Morales, Evaluación del efecto del espesor de escoria y de flujos asimétricos sobre el mezclado en una olla con dos taponés mediante modelado físico y matemático, Tesis de Licenciatura IQM, Facultad de Química, UNAM, 2018.