

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**PROYECTO**

**Título:**

**“Propuesta de un nuevo diseño de rotor para el desgasificado de aluminio asistido por modelado matemático y validado con modelado físico”**

**Tutor Responsable: Dr. Marco Aurelio Ramírez Argáez**

**Email: [marco.ramirez@unam.mx](mailto:marco.ramirez@unam.mx)**

**Teléfono: 55 56225246**

**Dependencia: Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM**

---

**FIRMA: DR. MARCO AURELIO RAMÍREZ ARGÁEZ**

**Profesor de Carrera Titular C TC**

**Departamento de Ingeniería Metalúrgica, FQ-UNAM**

## **Antecedentes**

La desgasificación del aluminio líquido mediante la técnica del rotor inyector ha sido un tema de profundo interés de estudio y análisis dentro del área de ingeniería metalúrgica en las últimas décadas [1-3]. El hidrógeno, que se encuentra disuelto en el aluminio líquido proveniente de la humedad, debe eliminarse, ya que de lo contrario producirá poros en las piezas solidificadas de aluminio con pésimas propiedades mecánicas. Actualmente se disponen de diversas tecnologías para efectuar la limpieza del aluminio, sin embargo, el entendimiento global del proceso en lo relativo a la cinética y fluido dinámica del mismo aún no son del total dominio. Se sabe que el proceso de desgasificado está controlado por fenómenos de transporte de masa que se pueden acelerar agitando el baño con la transmisión de cantidad de movimiento que provee el rotor al fundido. Otros dos aspectos que aceleran la cinética de desgasificación es proveer una elevada área interfacial burbuja-líquido, altos tiempos de residencia y una distribución de burbujas uniforme en toda la olla de desgasificado. Regresando a la agitación, que promueve convección y difusión turbulenta, una medida de la eficiencia de esta agitación en reactores tipo batch agitados mecánicamente con propela o rotor es el uso del concepto de tiempo de mezclado. El tiempo de mezclado se define como el tiempo transcurrido desde la adición de un soluto a un solvente hasta que se alcanza un cierto grado de uniformidad química en todo el sistema. Este grado de uniformidad se define con el criterio de mezclado que típicamente es del 95 o del 99%. Entonces, el tiempo de mezclado es el tiempo que le toma a un trazador en alcanzar un 95 o 99% de uniformidad medido desde que se adiciona el trazador. Un menor tiempo de mezclado indica una mejor agitación del sistema.

Por otro lado, en términos de análisis de procesos metalúrgicos en donde se evalúa el efecto de las principales variables de proceso sobre el desempeño del mismo, se puede decir que estudios previos indican los valores óptimos de las dos principales variables de operación que son la velocidad angular del rotor y el flujo de gas de purga. Sin embargo, otra variable de diseño se sabe que juega un papel fundamental en el proceso de desgasificado y esta es el diseño de la geometría del rotor [4-5]. En este sentido, ya se ha propuesto un diseño de rotor novedoso creado 100% en este grupo de la Facultad de Química que ha probado en trabajos anteriores un superior desempeño que el mostrado por rotores comerciales en cuanto a la cinética de desgasificado. El rotor difiere en que en vez de toberas usa aspas para agitar al baño y romper el flujo de gas en burbujas finas. Sin embargo, un análisis hecho en simulaciones numéricas demostró que este diseño podía mejorarse mediante un rediseño (modificar zona troncocónica y aumentar el número de aspas), por lo que en un proyecto anterior se estudió el desempeño de este rediseño comparándolo contra el desempeño del diseño propuesto en pruebas con aluminio líquido (el diseño original tenía 4 aspas y el rediseño tuvo 5 aspas). El resultado del rediseño no superó al diseño original en desempeño comparando las cinéticas de desgasificado tanto en modelado físico como en aluminio líquido.

Por eso, y en una búsqueda permanente de mejorar significativamente el diseño de los rotores que sean verdaderos óptimos para la industria del aluminio, y en base a toda la experiencia previa de estudio de flujo de fluidos y transporte de masa en modelos, modelo matemático y en aluminio líquido, en este proyecto se pretende evaluar el desempeño un NUEVO diseño de rotor, tal que mejore la transferencia de la cantidad de movimiento, produzca mejores ángulos de descarga y mayor efecto bombeo y que se traduzca en baños mejor agitados donde el transporte de masa se acelere y sea más rápido el proceso de desgasificado. El estudio se haría con modelado matemático que se validaría con el modelado físico.

## **Hipótesis**

- El diseño de un rotor para el desgasificado de aluminio mejorará el grado de agitación y la cinética de desgasificado en una olla de desgasificado batch.

## **Objetivos**

- Comparar el desempeño entre este nuevo rotor y los rotores diseñados anteriormente a través de modelado matemático y validarlo mediante modelado físico.

## **Metas:**

- Se propondrán diseños de rotor nuevos que se evaluarán mediante modelado matemático prediciendo las cinéticas de desgasificado y la fluidodinámica con cada rotor.
- El rotor que resulte en el desempeño mejor de los resultados de modelado matemático se evaluará y validará su desempeño a través de curvas desgasificado contra tiempo en modelo físico.
- El rotor que resulte en el desempeño mejor de los resultados de modelado matemático se evaluará y validará su desempeño a través de mediciones con PIV (Particle image velocimetry) en modelo físico.
- Se redactará un reporte de las actividades realizadas después de 16 semanas.
- Al final de la estancia de investigación se tendrá un avance aproximado del 80 % de la tesis que hará el estudiante, la cual tendrá el mismo nombre que el presente proyecto.

### **Metodología de trabajo**

El alumno planteará el modelo matemático a través del establecimiento de las suposiciones, ecuaciones gobernantes y condiciones de frontera adecuadas e implementará el modelo en el software comercial Fluent Ansys v. 19 para su solución numérica. Este modelo y su implementación ya se encuentran realizados, por lo que el estudiante implementará los dibujos de los diseños nuevos de rotores que se vayan proponiendo de acuerdo al análisis de desempeño de antiguos rotores propuestos, y una vez que éstos sean dibujados, se realizará la malla y se convergerá la solución numérica.

Este proyecto es parte de una línea de investigación muy madura en nuestro grupo, por lo que tanto el modelo físico como el modelo matemático ya se han construido, y en ese sentido el trabajo específico del estudiante será construir en Nylamid e implementar en el modelo físico el nuevo diseño propuesto de mejor desempeño en las simulaciones numéricas. El rotor de Nylamid se empleará para pruebas de PIV y pruebas de desoxidado de agua también en el modelo físico.

### **Descripción de las actividades a realizar**

Revisión de la literatura. Se estudiará y asimilará críticamente 10 artículos técnicos relacionados con el tema, así como el trabajo previo hecho en este tema por este grupo.

Se dibujará las geometrías propuestas en base a un análisis de los desempeños de los diseños previamente formulados. Estas geometrías se incluirían en el trabajo de modelado numérico hecho en Ansys para predecir el comportamiento de cada diseño. Del análisis numérico debe surgir un diseño de mejor desempeño o ganador, el cual se construirá en Nylamid para validar su desempeño en modelado físico.

Experimentación en modelado físico: se realizarán experimentos de desgasificado y PIV. Se saturará con O<sub>2</sub> el agua y se inyectará el gas de purga (N<sub>2</sub>) con un flujo y una velocidad de rotación de rotor constantes, y que son condiciones ya optimizadas en trabajos anteriores. Se medirá con oximetría la evolución del contenido de oxígeno en el tiempo y este procedimiento se haría por duplicado para estimar el error experimental. También se medirán los patrones de flujo y la energía cinética turbulenta con la técnica PIV para comparar esta fluido dinámica con el diseño propuesto y compararla con la de los diseños previos y de este modo explicar las diferencias medidas entre cinéticas de desgasificado.

Finalmente se harán los análisis de resultados y escritura de reporte: Se sacarán las conclusiones pertinentes, además de escribir un reporte final.

### Cronograma de actividades

Actividad/semana	1 y 2	3 y 4	5 y 6	7 y 8	9 y 10	11 y 12	13 y 14	15 y 16
Revisión de la literatura	X	X	X					
Pruebas modelado numérico			X	X	X	X		
Pruebas en modelado físico para validar desempeño de diseño ganador						x	x	
Análisis de resultados							X	X
Escritura de reporte								X

### Resultados esperados

- Diseño de rotor de desempeño superior (en cuanto a la cinética de desgasificado) a todos los anteriormente probados.
- Escribir un reporte de actividades después de 16 semanas.

### Bibliografía preliminar

- [1] Sigworth, G.K. and T.A. Engh, "Chemical and kinetic factors related to hydrogen removal from aluminum", Metallurgical and Materials Transactions B, 1982. 13(3): p. 447-460.
- [2] Zhang, L.; Taniguchi, S.; Matsumoto, K. "Water model study on inclusion removal from liquid steel by bubble flotation under turbulent conditions", Ironmaking & Steelmaking 2002, 29 (5), 326–336.
- [3] Grandfield J. F., Irwin D. W. "Mathematical and Physical Modelling of Melt Treatment Process" Light Metals 1990, p.p. 737-746.
- [4] Nilmani M., Thay P.K. & Simensen C.J., 1992," A comparative study of impeller performance", Light Metals, 939-946.
- [5] Camacho-Martinez, J.L., Ramírez-Argáez, M. A., Zenit-Camacho R., Juárez-Hernández A., Oscar Barceinas-Sánchez, J. D., and Trápaga-Martínez G., "Physical Modelling of an Aluminium Degassing Operation with Rotating Impellers—A Comparative Hydrodynamic Analysis", Materials and Manufacturing Processes, 2010. 25(7): p. 581-591.