

## TRANSPORTE DIFUSIVO DE CARBONO EN HIERRO

**Alberto Ingalls Cruz** ( [ingalls@unam.mx](mailto:ingalls@unam.mx) )

*Departamento de Ingeniería Metalúrgica*

**Introducción:** La medición experimental de los coeficientes del transporte difusivo en los materiales metálicos es fundamental para la simulación posterior de los procesos de manufactura. Estos parámetros son indispensables durante el desarrollo de los nuevos procesos de manufactura y la producción de nuevas componentes mecánicas, donde el transporte de la masa es una de las etapas controlantes de la rapidez de las transformaciones aplicadas. En este caso, cada coeficiente de difusión es una propiedad particular del sistema de trabajo, y depende fundamentalmente de la concentración de la especie química que difunde y de la temperatura del sistema. En este proyecto se considera como sistema de estudio al carbono difundiendo en hierro, para desarrollar una nueva metodología que permita la evaluación del coeficiente de difusión como una función simultánea de la composición de la especie química que difunde y de la temperatura, a partir de valores experimentales obtenidos durante la carburización y/o la descarburización de un acero.

**Hipótesis:** El coeficiente de difusión de carbono en hierro es directamente proporcional a la concentración de carbono y a la temperatura del sistema.

**Objetivo:** Desarrollar el modelo matemático para la evaluación del coeficiente de difusión del carbono en hierro, como función simultánea de la concentración y de la temperatura, a partir de la información publicada.

### **Metas:**

- (1) Revisar la literatura correspondiente al proceso de difusión de carbono en hierro (carburización y descarburización de un acero). El producto entregable de esta meta será el compendio de los datos experimentales y de los perfiles de carburizado y de descarburizado que se hayan publicado recientemente.
- (2) Describir fenomenológicamente la difusión del carbono en hierro durante la carburización y la descarburización. El producto entregable de esta meta es la descripción precisa y detallada del sistema bajo estudio, indicando los factores controlantes del proceso difusivo en este sistema y las respuestas esperadas como consecuencia.

- (3) Elaborar el modelo matemático (programa de cómputo) para la evaluación del coeficiente de difusión de carbono en hierro, durante la carburización y la descarburización de un acero, considerando que este coeficiente de transporte depende simultáneamente de la concentración del carbono y de la temperatura del sistema. El producto entregable en esta meta será el listado del programa de cómputo que resuelve el problema unidireccional del transporte difusivo, mediante la aplicación del método numérico de diferencias finitas.
- (4) Simular el proceso de difusión del carbono en hierro para determinar la influencia de la concentración y de la temperatura sobre el valor del coeficiente de difusión del carbono, durante la carburización y la descarburización de un acero. Los resultados entregables serán los valores calculados que describen la influencia de la concentración del carbono y de la temperatura sobre el transporte de carbono a través del hierro. El trabajo desarrollado hasta este punto deberá corresponder al 60% del trabajo de tesis. El trabajo restante corresponderá a la aplicación del modelo matemático, para estudiar la difusión del carbono a través del hierro, y a la elaboración del reporte final (tesis).

### **Metodología:**

- (1) Revisar la literatura correspondiente al proceso de difusión del carbono en hierro, para realizar la descripción fenomenológica de este sistema difusivo.
- (2) Elaborar el modelo matemático (programa de cómputo) para el cálculo de los valores del coeficiente de difusión efectivo del carbono en hierro, considerando que este coeficiente de transporte depende de la concentración de carbono.

Debe destacarse que, el método numérico de diferencias finitas aplicado deberá permitir el ajuste, al final de cada intervalo de cálculo, de los valores de las propiedades de transporte y de las condiciones de frontera en el sistema. Así, el proceso de cálculo realizado, con base en la información publicada y en los resultados experimentales, deberá ajustar al final de cada intervalo de cálculo el valor del coeficiente “efectivo” de la difusión del carbono como función de su concentración.
- (3) Realizar la simulación del proceso de difusión del carbono en hierro para determinar la influencia de la concentración y de la temperatura sobre el proceso de transporte de masa.

(4) Elaborar el reporte del trabajo realizado.

La evaluación cuantitativa del coeficiente de difusión de carbono en hierro, como función simultánea de la concentración y de la temperatura, se desarrollará mediante el análisis de procesos. Esto es, el alumno: (i) Analizará al sistema bajo estudio para reconocer el fenómeno de transporte controlante (transporte de masa), (ii) Representará matemáticamente el transporte difusivo de carbono en hierro y (iii) Simulará la conducta del transporte difusivo como función simultánea de la concentración y de la temperatura.

**Infraestructura:** El trabajo que desarrollará la estudiante o el estudiante se resume básicamente en la elaboración de un modelo matemático mediante la aplicación de los conocimientos. Por lo cual, la infraestructura requerida por este proyecto se define principalmente por la disponibilidad de los recursos bibliográficos y de una computadora personal.

**Cronograma:**

ACTIVIDAD	TIEMPO (Semanas)
1. Búsqueda y análisis de la información sobre el transporte difusivo de carbono a través del acero.	3
2. Descripción fenomenológica de la difusión de carbono a través del acero.	1
3. Descripción matemática de los fenómenos involucrados durante la difusión de carbono a través del acero.	1
4. Definición del sistema que será modelado matemáticamente.	1
5. Descripción de la metodología matemática que se aplicará en la solución de las ecuaciones que describen al sistema bajo estudio.	1
6. Desarrollo de la solución (elaboración del modelo matemático).	4

7. Verificación del modelo matemático desarrollado.	1
8. Validación del modelo matemático desarrollado.	1
9. Ajustes al modelo matemático desarrollado, en función de los resultados de la validación.	2
10. Elaboración y presentación del reporte del trabajo realizado.	1

**Evaluación:** La evaluación del proyecto se realizará a través de la evaluación parcial de las metas alcanzadas, estableciéndose como calificación final al promedio ponderado de las calificaciones parciales. La elaboración del reporte final corresponderá al 50% de la calificación final.

**Perfil deseado la estudiante o el estudiante:** (i) Interés personal en la aplicación de los conocimientos publicados y de los modelos matemáticos para la solución de problemas de ingeniería. (ii) Interés en el transporte difusivo de especies químicas, en especial en la difusión del carbono en hierro (la carburización y la descarburización de un acero).

**Lugar y horario de trabajo:** Este trabajo se desarrollará bajo la situación de emergencia sanitaria que se ha establecido. Por lo que, la supervisión del proyecto será a la distancia, considerando que el estudiante realizará sus actividades de lunes a viernes, en horas hábiles.

**Comentarios finales:** En el caso de ser necesario, la validación del modelo matemático se podría realizar a través de observaciones y de mediciones obtenidas durante el trabajo experimental que la estudiante o que el estudiante realizaría en las instalaciones del Departamento de Ingeniería Metalúrgica.