

Departamento de Ingeniería Metalúrgica

**Asignatura: Proyecto (clave 1909)**

Semestre 2019-1

Título del proyecto:

**“Predicción de la evolución de los campos térmico y microestructural durante el tratamiento térmico QTB de varillas de acero”**

Profesor responsable del proyecto:

**Dr. J. Bernardo Hernández Morales**

## **Introducción**

La varilla para construcción grado 42 ofrece una resistencia mecánica de  $4,200 \text{ kg/cm}^2$ . Para lograr esto la varilla, ya conformada, se temple mediante espreas para formar una capa de martensita en la periferia de la varilla; el temple se interrumpe detener el avance de la transformación martensítica hacia el centro de la varilla y así provocar el auto-revenido de la capa martensítica debido al calor liberado por la transformación del núcleo a ferrita, perlita y trazas de bainita; este es el proceso QTB.

Cabe mencionar que, recientemente, se han desarrollado una tesis de Licenciatura y una de Maestría en las que se ha caracterizado la microestructura final de varillas tratadas en planta, de las propiedades mecánicas resultantes y de la relación de estas con las variables de proceso. Sin embargo, la industria de los tratamientos térmicos utiliza cada vez más herramientas basadas en conocimiento básico - en lugar de metodologías basadas en empirismo - para diseñar y optimizar sus procesos. Es por esto, que en este proyecto se propone desarrollar un modelo termo-microestructural del proceso QTB para varillas de acero grado 42.

## **Hipótesis**

Es posible modelar la evolución de los campos térmico y microestructural durante el proceso QTB de varillas de acero, mediante la aplicación de las ecuaciones fundamentales de transporte de energía, e información de cinética de transformación continua de austenita acoplada con el principio de aditividad.

## Objetivo

Predecir, con ayuda de un modelo matemático determinístico, la evolución de los campos térmico y microestructural durante el tratamiento térmico QTB de varillas de acero grado 42.

## Metas

- Estimar la condición a la frontera térmica
- Evaluar, analíticamente, la evolución del campo térmico sin incluir transformaciones de fase, para verificar el componente térmico del modelo matemático
- Diseñar un diagrama de flujo para la solución numérica, mediante el método de diferencias finitas implícito, del problema termo-microestructural
- Implementar el diagrama de flujo en un código construido en FORTRAN
- Validar y aplicar el modelo termo-microestructural
- Escribir el reporte del Proyecto

## Metodología

### *Experimental*

No se contempla realizar trabajo experimental, dado que se cuenta con una sólida base de datos de perfiles microestructurales y de microdureza de varillas tratadas en planta por el proceso QTB. Además, se tiene acceso libre a la planta donde se procesan las varillas para consultas con los ingenieros u observación directa del proceso

### *Computacional*

Se desarrollará un programa de cómputo que calcule simultáneamente la evolución del campo térmico y microestructural, con énfasis en la transformación no isotérmica de austenita a martensita y a perlita + ferrita. Dada la geometría de las varillas, se puede considerar que el flujo de calor ocurre en una sola dirección (radial, coordenadas cilíndricas). La ecuación de conducción de calor en el sólido se resolverá mediante el método implícito de diferencias finitas. La cinética de la transformación austenita-perlita+ferrita en condiciones no-isotérmicas se modelará con la ecuación de Avrami y el principio de aditividad; la evolución de la transformación a martensita se basará en la ecuación de Koistinen-Marburger. Los parámetros de las ecuaciones cinéticas se tomarán de la literatura. La condición de frontera activa será el coeficiente de transferencia de calor, que se estimará de correlaciones publicadas.

El programa de cómputo se desarrollará en dos versiones:

- Versión 1.0: flujo de calor 1D, no estacionario, propiedades termofísicas constantes y evolución conocida (supuesta) de la fracción transformada a bainita
- Versión 2.0: flujo de calor 1D, no estacionario, propiedades termofísicas variables, y evolución de la fracción de austenita transformada calculada a partir de información de cinética de transformación.

Nota:

Se propone la versión 1.0 del programa de cómputo como una etapa intermedia que permitirá al estudiante desarrollar el código en dos etapas. Así, el estudiante construirá un primer código, de alcance limitado, como base para la versión final del programa de cómputo. Esta estrategia facilitará la planeación, ejecución y seguimiento del proyecto.

### **Infraestructura disponible**

- Base de datos de perfiles de microestructura y de microdureza de varillas procesadas por QTB
- PC y compiladores

### **Cronograma**

Mes 1

- Inicio de la revisión bibliográfica
- Estimación de la condición a la frontera térmica
- Versión 1.0 del programa de cómputo
- Inicio de la escritura del reporte

Mes 2

- Verificación de la versión 1.0 del programa de cómputo
- Actualización del reporte

Mes 3

- Versión 2.0 del programa de cómputo
- Actualización del reporte

#### Mes 4

- Validación de la versión 2.0 del programa de cómputo
- Predicciones con la versión 2.0 del programa de cómputo
- Preparación del reporte final
- Preparación de la presentación