



III Encontro Multidisciplinar em Ciência e Engenharia de Materiais  
01 a 04 de Setembro de 2024  
Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé/RS, Brasil

## TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE ACERO

MARRERO, Santiago<sup>1</sup>, GARCIA.Melody<sup>1</sup>, DUARTE<sup>1</sup>, Martín, FLORES, Wladimir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

E-mail para contato: [jose.marrero@utec.edu.uy](mailto:jose.marrero@utec.edu.uy); [melody.garcia@utec.edu.uy](mailto:melody.garcia@utec.edu.uy),  
[martin.duarte@utec.edu.uy](mailto:martin.duarte@utec.edu.uy), [wladimirflores@unipampa.edu.br](mailto:wladimirflores@unipampa.edu.br)

**RESUMO** – Este estudio se centra en la aplicación de tratamientos térmicos y la caracterización de muestras de acero para evaluar sus propiedades mecánicas. Utilizando técnicas avanzadas de microscopía óptica, se realizó un análisis detallado de la microestructura de diversas aleaciones. Se aplicaron tratamientos térmicos como el temple, el revenido, el recocido y el normalizado, observando los cambios en la microestructura y las propiedades resultantes. Los ensayos de dureza se llevaron a cabo utilizando la escala Vickers.

Los resultados preliminares indican que los tratamientos térmicos alteran significativamente la microestructura de los materiales, afectando directamente sus propiedades mecánicas. El temple produjo una estructura martensítica, aumentando la dureza y la resistencia, aunque con fragilidad, que se redujo mediante el revenido. La caracterización reveló dificultades en la diferenciación entre la ferrita y la martensita, debido a sus similitudes estructurales, lo que subraya la necesidad de optimizar las condiciones de revelado químico.

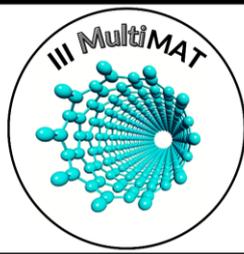
Los datos obtenidos destacan la importancia de refinar los métodos de revelado y utilizar bases de datos de referencia para mejorar la precisión en la identificación de fases. Las mejoras en las propiedades mecánicas, apoyadas por el incremento de la dureza y la resistencia, sugieren que la transformación martensítica fue efectiva durante el proceso de templado. Estos hallazgos proporcionan una base para optimizar tratamientos térmicos en general, y mejorar el desempeño de materiales en aplicaciones industriales en particular.

## 1 INTRODUCCIÓN

La metalografía es una técnica fundamental en el campo de la ingeniería de materiales, ya que permite el estudio detallado de la microestructura de los metales y sus aleaciones. A través del análisis metalográfico, es posible identificar las fases presentes en una muestra, determinar el tamaño de grano y observar la distribución de los componentes, información crucial para entender el comportamiento mecánico y las propiedades físicas de los materiales.

El objetivo principal de este proyecto es aplicar técnicas avanzadas de caracterización de aleaciones y evaluar sus propiedades mediante ensayos de dureza. Además, se analizarán los efectos de diversos tratamientos térmicos sobre las propiedades de las aleaciones, proporcionando una visión integral de cómo estos procesos pueden modificar y mejorar el desempeño de los materiales en aplicaciones industriales.

En este estudio, se emplearán métodos de microscopía óptica para la caracterización de muestras, y se realizarán ensayos de dureza utilizando durómetro para evaluar las propiedades mecánicas de las aleaciones seleccionadas. Los tratamientos térmicos, tales como el temple, se



aplicarán para observar los cambios en la microestructura y propiedades mecánicas resultantes. Estos procedimientos y análisis permitirán una comprensión profunda de la relación entre la microestructura y las propiedades de los materiales, y cómo los tratamientos térmicos pueden optimizar estas propiedades para diversas aplicaciones industriales.

### 1.1 Caracterización de Aleaciones

La caracterización de aleaciones es un aspecto vital en la ingeniería de materiales, ya que las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de una aleación dependen en gran medida de su microestructura. Los métodos de análisis de microestructura incluyen la identificación de fases, la medición del tamaño de grano y la observación de la distribución de los componentes.

Las aleaciones de acero, por ejemplo, pueden presentar diversas fases como ferrita, austenita, martensita y perlita, cada una con propiedades específicas. La determinación de estas fases y su proporción es esencial para predecir el comportamiento de la aleación bajo diferentes condiciones de servicio. La caracterización también implica el estudio de las inclusiones no metálicas, que pueden afectar negativamente las propiedades mecánicas del material.

### 1.2 Tratamientos Térmicos

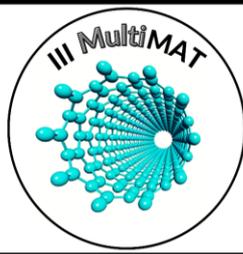
Los tratamientos térmicos son procesos fundamentales en la ingeniería de materiales que se utilizan para modificar las propiedades mecánicas y físicas de los metales y sus aleaciones. Estos tratamientos involucran el calentamiento y enfriamiento controlado de los materiales para alterar su microestructura y mejorar características específicas como la dureza, la tenacidad y la resistencia al desgaste.

- **Temple:** Involucra el calentamiento del material a una temperatura elevada, seguido de un enfriamiento rápido en agua, aceite o aire. Este proceso aumenta la dureza y la resistencia.
- **Revenido:** Se realiza después del temple para reducir la fragilidad del material. Consiste en calentar el material a una temperatura moderada y enfriarlo lentamente.
- **Recocido:** Proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento lento, destinado a suavizar el material, mejorar su ductilidad y eliminar tensiones internas.
- **Normalizado:** Similar al recocido, pero con un enfriamiento más rápido en aire. Mejora la uniformidad de la microestructura y las propiedades mecánicas.

### 1.3 Principios de Dureza

La dureza es una propiedad mecánica clave de los materiales que indica su resistencia a la deformación plástica local. Existen varias escalas de dureza, incluyendo la dureza Brinell, Rockwell y Vickers, cada una con su metodología de ensayo y aplicación específica. La dureza es una propiedad crítica en aplicaciones donde los materiales están sujetos a desgaste, impactos y cargas estáticas.

- **Dureza Brinell:** Este ensayo utiliza una esfera de acero o carburo de tungsteno que se presiona contra la superficie del material con una carga específica. La medida de la dureza se obtiene dividiendo la carga aplicada por el área de la indentación.



- **Dureza Rockwell:** Este método mide la profundidad de penetración de un penetrador cónico o esférico bajo una carga principal y una carga menor. La dureza Rockwell se lee directamente en una escala que depende del tipo de penetrador y la carga utilizada.
- **Dureza Vickers:** Utiliza un penetrador piramidal de diamante y es adecuado para todos los tipos de materiales, proporcionando una medida precisa de dureza basada en la impresión diagonal dejada por el penetrador.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Objetivos

- a) Aplicar técnicas de microscopía óptica para la caracterización de la microestructura de las aleaciones.
- b) Realizar ensayos de dureza utilizando durómetro para evaluar las propiedades mecánicas de las aleaciones seleccionadas.
- c) Analizar los efectos de tratamientos térmicos (temple, revenido, recocido y normalizado) sobre la microestructura y propiedades mecánicas de las aleaciones.
- d) Establecer la relación entre la microestructura y las propiedades mecánicas de los materiales y cómo los tratamientos térmicos pueden optimizarlas para aplicaciones industriales.

### 2.2 Método

#### a. Preparación de Muestras:

- Cortar muestras representativas de las aleaciones de interés.
- Pulir y atacar químicamente las muestras para revelar la microestructura.

#### b. Microscopía Óptica:

- Utilizar un microscopio óptico para la observación inicial de la microestructura, con un análisis detallado de las fases presentes, el tamaño de grano y la distribución de los componentes.

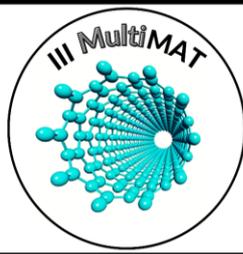
#### c. Identificación de Fases:

- Analizar las imágenes obtenidas para identificar fases como ferrita, austenita, martensita y perlita en aleaciones de acero.
- Estudiar inclusiones no metálicas y su impacto en las propiedades mecánicas.

#### 2.2.1 Procedimientos de Tratamiento Térmico:

##### a. Temple:

- Calentar las muestras a temperaturas elevadas específicas.



- Enfriar rápidamente en medios como agua, aceite o aire.

**b. Revenido:**

- Calentar las muestras templadas a temperaturas moderadas.
- Enfriar lentamente para reducir la fragilidad.

**c. Recocido:**

- Calentar las muestras y enfriarlas lentamente para mejorar la ductilidad y eliminar tensiones internas.

**d. Normalizado:**

- Calentar las muestras y enfriarlas en aire para mejorar la uniformidad de la microestructura.

**2.2.2 Evaluación de la Microestructura Post-Tratamiento:**

- Repetir los procedimientos de microscopía óptica para observar los cambios en la microestructura resultantes de los tratamientos térmicos.

**2.2.3 Métodos de Ensayo de Dureza:**

**a. Dureza Vickers:**

- Utilizar un penetrador piramidal de diamante.
- Medir la impresión diagonal dejada por el penetrador y calcular la dureza.

**2.2.4 Comparación de Resultados:**

- Comparar los valores de dureza obtenidos antes y después de los tratamientos térmicos para evaluar las mejoras en las propiedades mecánicas.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los tratamientos térmicos alteran significativamente la microestructura de los materiales, lo que a su vez afecta sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, el temple produce una estructura martensítica que es extremadamente dura pero también frágil. El revenido posterior al temple reduce la fragilidad, permitiendo un equilibrio entre dureza y ductilidad.

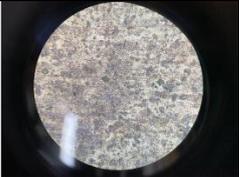
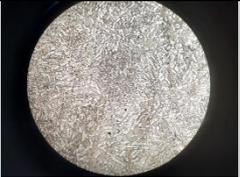
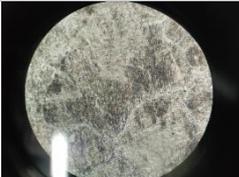
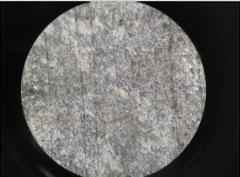
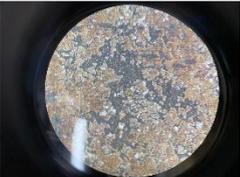
Asimismo, los tratamientos térmicos también pueden mejorar la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica de los materiales, haciendo que sean adecuados para aplicaciones en entornos exigentes. La selección del tratamiento térmico adecuado depende de los requisitos específicos de la aplicación y del tipo de material utilizado.



**III Encontro Multidisciplinar em Ciência e Engenharia de Materiais**  
**01 a 04 de Setembro de 2024**  
**Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé/RS, Brasil**

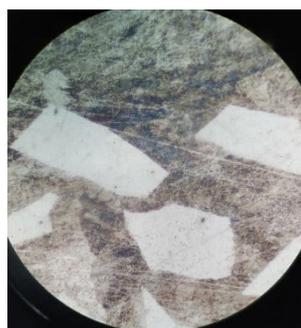
Hasta el momento se han realizado ensayos de dureza, empleando la escala Vickers, en algunas muestras que están referenciadas como 1010 T, 1020 T, 1045 T (todas las muestras fueron templadas en agua) y otro grupo de 1010 (Chapa de acero laminada), 1020 B (Bruto de colada), 1045 B (Bruto de colada). Con estos ensayos se han obtenido algunos resultados preliminares que muestran la dureza media de las mismas:

Tabla 1: Dureza preliminar de las muestras Vs. Dureza muestras tratadas

	1010 - Chapa	1020	1045
<b>Condiciones preliminares</b>			
<b>Dureza</b>	158,02 HV	182,26 HV	266,38 HV
<b>Comentario</b>	10 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg. <a href="#">Enlace</a>	11 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg. <a href="#">Enlace</a>	10 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg. <a href="#">Enlace</a>
<b>Muestras tratadas</b>			
<b>Dureza</b>	414,55 HV	236,34 HV	479,60 HV
<b>Comentario</b>	10 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg.	11 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg.	11 puntos - HV - 0,05 Kg - 10 seg.

Como puede observarse en la Tabla 1, los materiales brutos han mostrado una dureza acorde al porcentaje de carbono que cuentan, de tal manera que el que posee menor porcentaje de contenido de carbono posee una menor dureza, algo que era esperable. En cuanto a las muestras que fueron tratadas presentan resultados que no son congruentes con su contenido de carbono.

Figura 1: Perlita y Ferrita em uma muestra de acero 1045





**III Encontro Multidisciplinar em Ciência e Engenharia de Materiais**  
**01 a 04 de Setembro de 2024**  
**Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé/RS, Brasil**

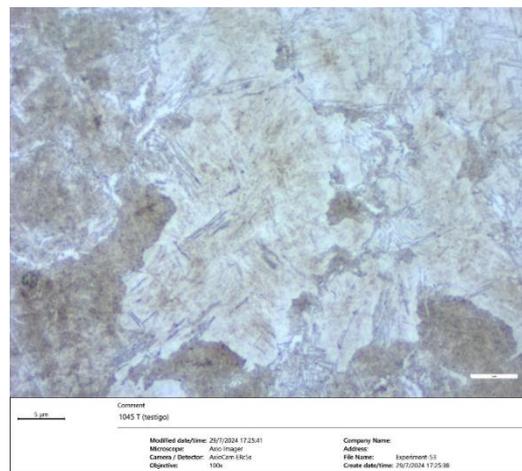
Posteriormente se han cortado nuevas piezas de la muestra que fue templada y se han obtenido los siguientes resultados:

- Dureza media del 1010T (testigo) = 276,67 HV.
- Dureza media del 1020T (testigo) = 227,48 HV.
- Dureza media del 1045T (testigo) = 475,91 HV.

Durante el estudio de la microestructura de las aleaciones tratadas térmicamente, se observó que las condiciones de revelado químico con nital requieren ajustes para lograr una mayor definición de las fases esperadas. Específicamente, las muestras templadas mostraron una dificultad considerable en la diferenciación clara entre la ferrita y la martensita debido a las similitudes en sus picos durante el análisis. Esto se debe a que la martensita, siendo una forma metaestable de la ferrita con un posicionamiento aleatorio de los átomos de carbono, presenta características que pueden confundirse fácilmente con la ferrita.

Por esas razones, hubo que repetir el proceso y realizar nuevamente el tratamiento y el revelado en las muestras, para medir nuevamente la dureza, y analizar las estructuras obtenidas a fin de caracterizar la aleación.

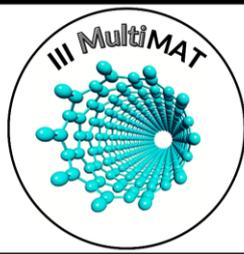
Figura 2: Revelado y observación microscópica de la muestra de acero 1045



A pesar de esta dificultad, se visualiza la presencia de agujas martensíticas, una estructura típica que se forma durante el templado. La presencia asumida de estas agujas se vio respaldada por el incremento significativo en las propiedades mecánicas de las aleaciones, como la dureza y la resistencia. Este incremento en las propiedades mecánicas sugiere que, efectivamente, la transformación martensítica ocurrió durante el proceso de templado.

#### **4 CONCLUSIÓN**

Durante el estudio de la microestructura de las aleaciones tratadas térmicamente, se identificó la necesidad de trabajar en las condiciones de revelado químico para obtener una mayor definición de las fases esperadas. Específicamente, las muestras templadas presentaron dificultades significativas para diferenciar claramente entre la ferrita y la martensita debido a las similitudes en sus picos durante el análisis. Esto se debe a que la martensita, siendo una



**III Encontro Multidisciplinar em Ciência e Engenharia de Materiais**  
**01 a 04 de Setembro de 2024**  
**Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé/RS, Brasil**

forma metaestable de la ferrita con un posicionamiento aleatorio de los átomos de carbono, presenta características que pueden confundirse fácilmente con la ferrita.

Se visualizó la presencia de agujas martensíticas, una estructura típica que se forma durante el templado. La presencia asumida de estas agujas se vio respaldada por el incremento significativo en las propiedades mecánicas de las aleaciones, como la dureza y la resistencia. Este incremento en las propiedades mecánicas sugiere que efectivamente la transformación martensítica ocurrió durante el proceso de templado.

En conclusión, aunque se logró identificar indicios de martensita a través del aumento en las propiedades mecánicas, es crucial refinar los métodos de revelado químico y utilizar bases de datos de referencia para mejorar la definición y precisión en la caracterización de las fases microestructurales en aleaciones tratadas térmicamente. Esto permitirá optimizar los tratamientos térmicos y mejorar el desempeño de los materiales en diversas aplicaciones industriales.

## **5 AGRADECIMENTOS**

Al profesor Dr. Martín Duarte por haber suministrado las muestras desde su laboratorio, a efectos de caracterizarlas, y por haber ayudado con las diferentes técnicas y metodología de trabajo.

## **6 NOMENCLATURA**

HV: Dureza en Vickers

## **7 REFERENCIAS**

- ASM INTERNATIONAL. Handbook: Heat Treating. ASM Handbook, Volume 4, 1991.  
AVNER, S. H. Introduction to Physical Metallurgy. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1974.  
CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering: An Introduction. 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 2010.  
DAVIS, J. R. (ed.). Metals Handbook: Desk Edition. 2nd ed. Materials Park, OH: ASM International, 1998.  
DIETER, G. E. Mechanical Metallurgy. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1986.  
SMITH, W. F.; HASHEMI, J. Foundations of Materials Science and Engineering. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

**Marque com um “X” a modalidade de apresentação que tenha preferência.**

OBS.: A decisão final será decidida pelo comitê científico. Preenchimento não obrigatório!

( ) Apresentação oral

**(X)** Apresentação em pôster