



**Ciencia Latina**  
Internacional

---

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,  
Volumen 8, Número 1.

**DOI de la Revista:** [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1)

# **IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO H13 PARA TEXTURIZADO**

**HEAT-TREATMENT IMPORTANCE IN H13 TOOL STEEL  
MICROSTRUCTURE ANALYSIS FOR TEXTURING**

**Maricruz Hernandez Hernandez**

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, México

**Victor Hugo Mercado Lemus**

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, México

**Juan Terrazas Gutiérrez**

Posgrado CIATEQ, A. C., México

## Importancia del Tratamiento Térmico en el Análisis de la Microestructura del Acero H13 para Texturizado

**Juan Terrazas Gutiérrez<sup>1</sup>**

[j-terrazas@live.com.mx](mailto:j-terrazas@live.com.mx)

<https://orcid.org/0009-0006-0431-5976>

Posgrado CIATEQ, A. C.  
México

**Victor Hugo Mercado Lemus**

[victor.mercado@ciateq.mx](mailto:victor.mercado@ciateq.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-9040-4484>

CONAHCYT-Corporación Mexicana de  
Investigación en Materiales (COMIMSA)  
México

**Maricruz Hernandez Hernandez**

[maricruz.hernandez@ciateq.mx](mailto:maricruz.hernandez@ciateq.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-7188-3355>

CONAHCYT-Corporación Mexicana de  
Investigación en Materiales (COMIMSA)  
México

### RESUMEN

Este trabajo aborda la importancia de la apropiada selección de un acero grado herramienta en la industria automotriz para la producción de componentes plásticos mediante moldeo por inyección, destacando la influencia crítica de la calidad del acabado de los moldes en la eficiencia de producción y la rentabilidad. Se enfatiza en la selección del acero grado herramienta basada en la homogeneidad microestructural y la ausencia de inclusiones no metálicas, considerando las condiciones de fabricación como el mecanizado, rectificado, pulido y texturizado. La investigación destaca dos categorías de agentes químicos utilizados en el texturizado: los agentes grabadores para revelar detalles microestructurales y los agentes de texturizado superficial para mejorar la lubricación y adhesión. Además, se aborda la metalografía como herramienta básica para identificar causas microestructurales de fallos en aceros texturizados, y se discuten técnicas de tratamiento térmico y metalografía en aceros H13, resaltando la relación entre los parámetros de procesamiento, la microestructura y las propiedades finales del material.

**Palabras clave:** moldeo por inyección, aceros grado herramienta, texturizado de superficies, metalografía, optimización de procesos

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [j-terrazas@live.com.mx](mailto:j-terrazas@live.com.mx)

# Heat-Treatment Importance in H13 Tool Steel Microstructure Analysis for Texturing

## ABSTRACT

This paper addresses the importance of selecting the appropriate tool steel in the automotive industry for the production of plastic components through injection molding, highlighting the critical influence of mold finish quality on production efficiency and profitability. It emphasizes the selection of tool steel based on microstructural homogeneity and the absence of non-metallic inclusions, considering manufacturing conditions such as machining, grinding, polishing, and texturing. The research highlights two categories of chemical agents used in texturing: etchants for revealing microstructural details and surface texturing agents for improving lubrication and adhesion. Furthermore, it addresses metallography to identify microstructural causes of failures in textured steels, and discusses heat treatment and metallography techniques in H13 steels, highlighting the relationship between processing parameters, microstructure, and the final properties of the material.

**Keywords:** injection molding, tool grade steels, surface texturing, metallography, process optimization

*Artículo recibido 24 enero 2024*

*Aceptado para publicación: 27 febrero 2024*



## INTRODUCCIÓN

La metalografía es una herramienta indispensable para la comprensión de las microestructuras y por ende de las propiedades mecánicas de los metales y sus aleaciones, así como en la prevención de fallas, procesos de control de calidad y desarrollo de materiales. De esta manera, Es necesario conocer las bases teóricas de la microestructura de los materiales para definir el procedimiento y preparación adecuados de la muestra en específico.

Los aceros grado herramienta se preparan para exámenes macroscópicos y microscópicos utilizando los mismos procedimientos básicos usados para los aceros al carbono y aleaciones (Voort, 2004). A menudo, los aceros grado herramienta son más difíciles de preparar para el examen que los aceros al carbono y las aleaciones porque están altamente aleados y generalmente se les trata térmicamente para obtener una dureza mucho mayor. Algunos aspectos específicos en la preparación del acero grado herramienta que necesitan ser considerados son: a) Precipitación de carburos: Los aceros grado herramienta a menudo contienen una alta concentración de carburos, los cuales pueden ser difíciles de pulir. Se debe tener cuidado para evitar el sobre-pulido, que puede eliminar los carburos de la superficie de la muestra. b) Dureza: Los aceros grado herramienta a menudo son muy duros, lo que puede dificultar su rectificado y pulido. A menudo se requieren ruedas de rectificado de diamante y compuestos de pulido. c) Tratamiento térmico: El tratamiento térmico del acero grado herramienta puede afectar su microestructura. Por ejemplo, los aceros martensíticos pueden ser muy frágiles, lo que puede dificultar su preparación para el examen.

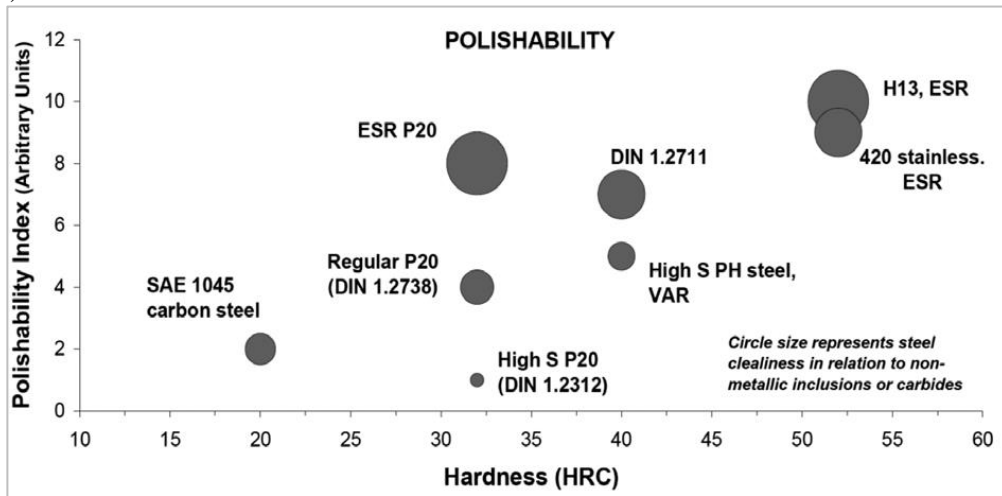
A pesar de los desafíos, la preparación adecuada de los aceros grado herramienta es esencial para un examen preciso de su microestructura. Siguiendo los procedimientos correctos, los metalurgistas pueden obtener información valiosa sobre las propiedades de los aceros grado herramienta y su idoneidad para diferentes aplicaciones. En esencia, la metalografía sirve como un puente entre el mundo microscópico de los metales y su comportamiento macroscópico.

Una amplia gama de aceros grado herramienta se utiliza en diversas aplicaciones automotrices. Grados pre-endurecidos como el P-20 ofrecen soluciones rentables para partes de bajo estrés, mientras que grados avanzados como H13 proporcionan una fuerza y rendimiento superiores para componentes exigentes, en la Figura 1 podemos observar los principales aceros grado herramienta utilizados en la

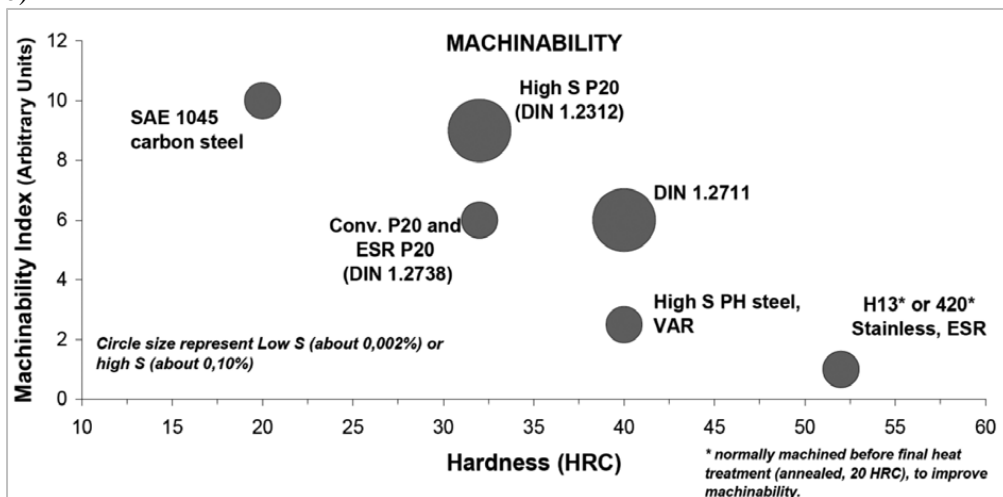
fabricacion de moldes de inyeccion de plastico, comparando el indice de pulibilidad y el indice de maquinabilidad. Nuevos desarrollos en recubrimientos y tratamientos superficiales mejoran aún más la resistencia al desgaste y a la corrosión. Uno de los aceros grado herramienta que presenta mejor desempeño para la fabricación de moldes de inyección de plástico es el acero denominado AISI H13, se utiliza ampliamente en aplicaciones de trabajo en caliente debido a su excelente combinación de alta tenacidad y resistencia al desgaste. Es un acero al cromo-molibdeno-vanadio (Cr-Mo-V) Tabla 1.

**Figura 1.**

a)



b)



Efecto de la dureza sobre (a) capacidad de pulido y (b) maquinabilidad. (Agnelli Mesquita & Schneider, 2010)

**Tabla 1.** Composición química del Acero AISI H13

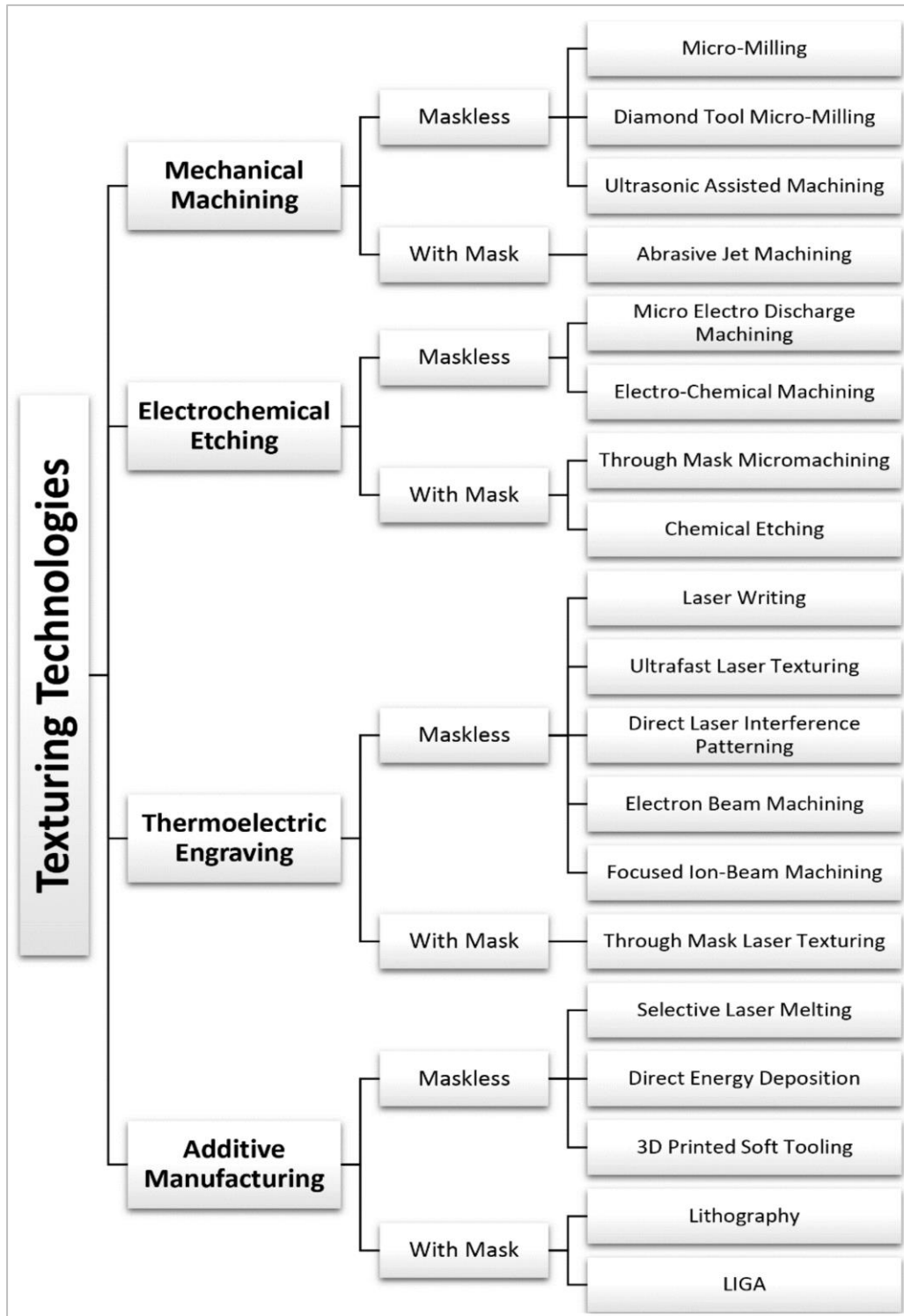
<b>Composición química Acero AISI H13</b>					
Componente	C	Si	Cr	Mo	V
Análisis %	0.40	1.00	5.30	1.40	1.00

La metalografía juega un papel crucial en la comprensión y optimización de las propiedades de los aceros texturizados como son:

1. Revelado de características microestructurales: El análisis metalográfico permite la observación detallada de la microestructura de los aceros texturizados, incluyendo el tamaño, la forma y la orientación del grano, así como la presencia de fases. Esta información es vital para comprender los factores que influyen en la texturización y su impacto en las propiedades del material.
2. Evaluación de la textura: Técnicas metalográficas específicas, como la difracción de electrones retrodispersados (EBSD), pueden medir directamente la distribución de la orientación del grano, cuantificando la textura y proporcionando información invaluable sobre su desarrollo e impacto en el comportamiento mecánico.
3. Entendimiento de las relaciones entre las propiedades y el proceso: Al correlacionar la microestructura observada con el historial de procesamiento, la metalografía ayuda a establecer el vínculo entre los parámetros de procesamiento y la textura resultante y propiedades. Este conocimiento es crucial para optimizar rutas de procesamiento para lograr características materiales deseadas.
4. Solución de problemas: Cuando surgen problemas con los aceros texturizados, como una anisotropía inesperada en las propiedades mecánicas o una falla prematura, la metalografía puede identificar la causa microestructural subyacente, facilitando acciones correctivas o ajustes en el proceso.

Las superficies texturizadas en los componentes plásticos agregan diferentes características al producto final, desde aplicaciones sencillas como mejoramiento de la apariencia, hasta aplicaciones de alto nivel de ingeniería como lo son las aplicaciones biomédicas. Las tecnologías de texturizado se pueden clasificar como: mecánica, electroquímica, termoeléctrica y aditiva, dependiendo del principio de funcionamiento principal (Figura 2).

**Figura 2.** Sumario y clasificación de las tecnologías de texturizado.



(Masato, Piccolo, Lucchetta, & Sorgato, 2022)

Para alcanzar una dureza específica de 46 HRC en un acero grado herramienta H13 se debe realizar cuidadosamente el tratamiento térmico controlado. Este procedimiento incluye etapas de austenización, temple y revenido. Es fundamental reconocer que las condiciones específicas pueden variar dependiendo de la composición exacta del material, las dimensiones del componente y el equipo de

tratamiento térmico disponible. La temperatura de austenización típicamente ronda los 1020°C a 1050°C. Esta etapa es crucial para disolver los carburos en la matriz y formar austenita. Los medios de temple usuales para H13 incluyen aire forzado, aceite o baños de sal. Los aceites de temple para aceros grado herramienta se pueden categorizar en diferentes tipos basados en su velocidad de enfriamiento, desde enfriamiento rápido hasta aceites de enfriamiento más lento. Generalmente se prefiere un aceite de enfriamiento medio a rápido para el acero grado herramienta comercial H13, dependiendo del área transversal del componente y los detalles del proceso de tratamiento térmico. Después del temple, es fundamental llevar a cabo uno o más ciclos de revenido para alcanzar la dureza deseada de 46 HRC y mejorar la tenacidad del material. El revenido se lleva a cabo típicamente a temperaturas que van desde 550°C hasta 650°C (1020°F a 1200°F), dependiendo de la dureza final deseada y las propiedades mecánicas.

## **METODOLOGÍA**

### **Preparacion del material**

Para la realización del experimento se fabricaron probetas utilizando el material acero H13 grado herramienta comercial sin tratamiento térmico, con una dimensión de 15 x 15 x 10 mm y una dureza en estado de suministro de 240 Brinell (HB). Se realizó un seccionamiento con una maquina CNC 5 ejes CB Ferrari MCL 85, para este procedimiento se utiliza refrigerante de corte y un avance de corte y profundidad de corte relativamente bajos para evitar modificar las características del material debidas al calentamiento por fricción.

Para preparar la superficie después del mecanizado, se recomienda utilizar una máquina rectificadora de superficies planas para tener una superficie plana y minimizar el alto proceso de pulido. Se realiza de la misma manera para los aceros al carbono y para aceros aleados. Se debe tener cuidado de utilizar un paso de corte bajo y una profundidad de corte baja para reducir el calentamiento y la deformación. En este caso se utiliza una maquina rectificadora CN ALPA RM 1600.

### **Endurecimiento**

Para alcanzar una dureza específica de aproximadamente 46 HRC en un acero AISI H13, se debe seguir un procedimiento de tratamiento térmico cuidadosamente controlado. Este procedimiento incluye etapas de austenización, temple y revenido.



**Austenización (Calentamiento a la temperatura de austenización):** Calentar el acero lentamente a una temperatura de austenización recomendada de aproximadamente 1020°C a 1050°C (1870°F a 1920°F). Esta etapa es crucial para disolver en la matriz los carburos y formar austenita.

**Mantenimiento:** Mantener la pieza a esta temperatura durante un tiempo suficiente para asegurar una completa austenización. El tiempo puede variar dependiendo del tamaño y la geometría de la pieza, pero típicamente se encuentra en el rango de 30 minutos a 1 hora, para el caso de estas probetas se mantienen durante 30 minutos.

**Temple (Enfriamiento):** Enfriar la pieza rápidamente en un medio de temple adecuado. Para el H13 o materiales similares, los medios comunes incluyen aire forzado, aceite, o baños de sales.

**Revenido:** Después del temple, es esencial realizar uno o más ciclos de revenido para alcanzar la dureza deseada de 46 HRC y mejorar la tenacidad del material. El revenido se realiza típicamente a temperaturas entre 550°C a 650°C (1020°F a 1200°F), dependiendo de la dureza final deseada y las propiedades mecánicas.

## **Pulido**

El pulido de aceros grado herramienta es un proceso meticuloso que requiere atención al detalle para lograr una superficie de alta calidad, libre de imperfecciones y con el acabado deseado. Este proceso es especialmente importante en aplicaciones donde la calidad de la superficie tiene un impacto directo en el rendimiento de la herramienta, como en moldes para plásticos o matrices de forja.

Se recomienda realizar este proceso con un ambiente controlado. Por lo general, los cuartos o habitaciones limpias son adecuadas para evitar que el polvo en el ambiente pueda rayar o dañar la muestra.

**A continuación, se describe un procedimiento general de pulido para este tipo de acero:**

### **1. Preparación de la superficie**

**Limpieza:** Asegurar que la superficie esté completamente limpia y libre de aceites, suciedad o cualquier contaminante. Esto puede implicar desengrasar con solventes adecuados y/o limpieza mecánica.

**Inspección:** Examina la superficie en busca de defectos, rayaduras, o marcas de mecanizado que necesiten ser eliminadas durante el proceso de pulido.

## **2. Desbaste**

Lijado inicial: Comienza con un lijado grueso utilizando papel de lija de grano 180 a 220 para eliminar marcas de mecanizado y defectos superficiales. Utiliza agua o aceite como lubricante para evitar el sobrecalentamiento y la formación de óxidos. Para obtener mejores resultados el aceite lubricante se debe aplicar con jeringa, no utilizando un depósito para sumergir la piedra cerámica o el fieltro, esto provocará contaminación y rayaduras en la muestra por residuos de granos o acero.

Progresión del grano: Trabaja progresivamente con papeles de lija de grano más fino (320, 400, 600) para eliminar las rayaduras dejadas por el papel de grano más grueso anterior. Este proceso gradual asegura una transición suave hacia una superficie más pulida.

## **3. Pulido fino**

Papel de lija de grano fino: Continúa con papel de lija de grano fino (800, 1000, hasta 2000 o más) bajo lubricación adecuada para obtener una superficie más lisa. Este paso es crucial para preparar la superficie para el pulido final.

Compuestos de pulido: Aplicar compuestos de pulido con un paño suave o ruedas de pulido. Comenzar con compuestos de grano más grueso y progresar hacia compuestos de grano más fino para alcanzar el acabado deseado. Considere que los consumibles deben cambiarse durante el proceso por artículos nuevos y limpios para evitar contaminación y daños.

## **4. Pulido final**

Pulido de alto brillo: Utilizar una rueda de pulido limpia y compuestos de pulido de grano ultrafino para obtener un acabado de espejo. Se realiza más comúnmente utilizando una o más etapas de compuesto abrasivo de diamante, desde 15  $\mu\text{m}$  hasta 3  $\mu\text{m}$ . Se deben usar herramientas rotativas neumáticas con velocidades de 100 a 150 rpm y presión moderada, teniendo cuidado de no pulir durante mucho tiempo en la misma área, esto puede causar “pitting” (picaduras) y pulido excesivo (over polishing).

Los tiempos de pulido dependen del número de pasos del procedimiento y de la naturaleza de la aleación (composición y condición del tratamiento térmico).

## **5. Limpieza final**

Limpieza profunda: Limpia la pieza meticulosamente para eliminar todos los residuos de los compuestos de pulido. Puede ser necesario utilizar solventes específicos y técnicas de limpieza

ultrasonidos para eliminar completamente todos los residuos.

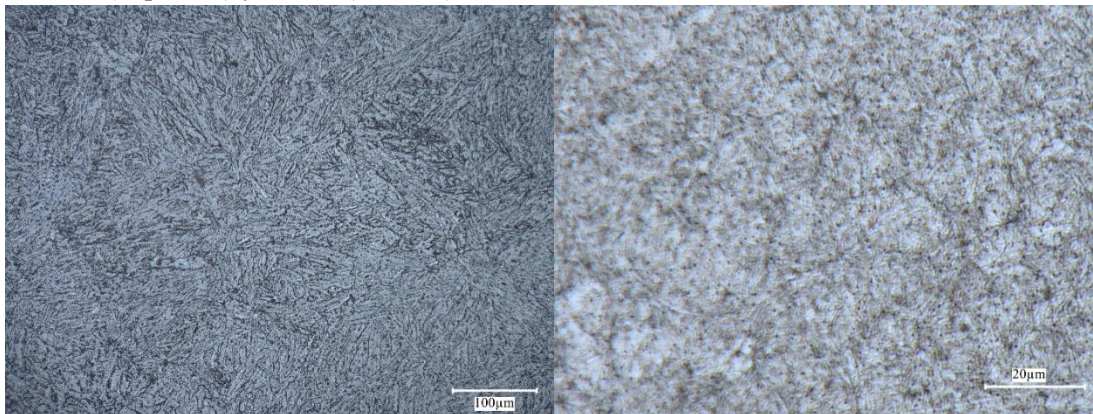
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El examen por microscopía y la preparación metalográfica de los aceros grado herramienta presentan desafíos debido a su alta dureza, concentración elevada de carburos y microestructura específica. Esta comprensión intrincada de la microestructura de un metal es invaluable para determinar sus propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y rendimiento general. La metalografía juega un papel crucial en la comprensión y optimización de las propiedades de los aceros texturizados, revelando características microestructurales que permiten la observación detallada del tamaño de grano, forma, orientación y la presencia de fases primarias y secundarias. Esta información es vital para entender los factores que influyen en la textura y su impacto en las propiedades del material. La metalografía ayuda a establecer la conexión entre los parámetros de procesamiento y la textura y propiedades resultantes al correlacionar la microestructura observada con el historial de procesamiento. Este conocimiento es crucial para optimizar las rutas de procesamiento para lograr las características materiales deseadas.

Aquí, se muestran dos muestras de aceros grado herramienta H13, tal como se recibieron y tratados térmicamente, para destacar los efectos del tratamiento térmico en la microestructura y propiedades finales. Se utilizó una solución de Nital con una concentración del 2% (2 ml de HNO<sub>3</sub> y 98 ml de etanol al 95%) a temperatura ambiente como agentes de ataque para revelar las fases metalográficas más características. La microestructura se caracterizó utilizando un microscopio óptico Keyence 970F con ampliaciones de 20X-5000X.

La Figura 3 muestra las imágenes ópticas típicas que muestran las microestructuras del acero H13 grado herramienta tratado térmicamente. La microestructura inicial de la muestra recibida del acero grado herramienta H13 en condición recocida consiste en una matriz ferrítica. La imagen de la derecha muestra claramente la distribución homogénea de los carburos, lo que contribuye a un fortalecimiento relativamente débil por precipitación. Como resultado, después del tratamiento de la solución y el posterior enfriamiento del aceite, la muestra tiene una estructura completamente martensítica.

**Figura 3.** Micrografías ópticas de acero grado herramienta H13 tratado térmicamente con un aumento de 500x (izquierda) y 3000x (derecha)



Elaboracion propia

Según el análisis de la microestructura del acero grado herramienta H13, está claro que el tratamiento térmico desempeña un papel fundamental en la optimización de las propiedades del acero para aplicaciones industriales, en particular para el texturizado de moldes, al adaptar la microestructura del acero para cumplir con los estrictos requisitos de sus aplicaciones, asegurando su confiabilidad y eficiencia. El estudio destaca la eficacia de procesos de tratamiento térmico específicos para mejorar las propiedades mecánicas y la calidad de la superficie del acero grado herramienta H13. Estos tratamientos son cruciales para lograr la dureza, tenacidad y resistencia a la fatiga térmica deseadas, que son esenciales para el desempeño del acero en entornos de alta demanda. La investigación de las transformaciones microestructurales proporciona información valiosa sobre cómo estos tratamientos mejoran la capacidad del material para resistir los desafíos de los procesos de fabricación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agnelli Mesquita, R., & Schneider, R. (2010). Tool steel quality and surface finishing of plastic molds.

*Exacta.*

Ahmad, Z. (2006). *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Amsterdam: IChem;

Elsevier.

Coblas, D., Fatu, A., Maoui, A., & Hajjam, M. (2014). Manufacturing textured surfaces: State of art and recent developments. *Institution of Mechanical Engineers*.

Davis, R., & Pretesh, J. (2018). Application of Taguchi-Based Design of Experiments. *InTech*, 21.

- Højerslev, C. (2001). Tool steels. *Risø National Laboratory*, 27.
- Hoyle, G. (1988). *High Speed Steels*. London: Butterworth-Heinemann.
- Iturriaga de la Fuente, G. (1999). *México Patente n° 2268902*.
- Kovach, C., & Moskowitz, A. (1969). Effects of manganese and sulfur on the machinability of martensitic stainless steels. *Trans Met Soc Aime*.
- Masato, D., Piccolo, L., Lucchetta, G., & Sorgato, M. (2022). Texturing Technologies for Plastics Injection Molding: A Review. *Micromachines*.
- Rao, P., & Kunzru, D. (2007). Fabrication of microchannels on stainless steel by wet chemical etching. *Journal of Micromechanics and Microengineering*.
- Sheila, W., Bisson, C., & Duffy, A. P. (2012). Applying a behavioural and operational diagnostic typology of competitive intelligence practice: empirical evidence from the SME sector in Turkey. *Journal of Strategic Marketing*, 20(1), 19-33. doi:  
<http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2011.628450>
- Song, Y., Rampley, C. P., & Chen, X. (2019). Application of bacterial whole-cell biosensors in health. In Y. Song, C. P. Rampley, & X. Chen, *Handbook of Cell Biosensors* (pp. 1-17). Springer Nature Switzerland AG.
- Voort, G. V. (2004). *ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures*.
- Zhang, J., & Meng, Y. (2012). A study of surface texturing of carbon steel by photochemical machining. *Elsevier*.