

Temple

Tempering

Martín Ortiz Domínguez ^a, Arturo Cruz Avilés ^b, Quirino Estrada ^c, Oscar A. Gómez Vargas ^d

Abstract:

This practice addresses the heat treatment of tempering, which transforms the austenitic phase into martensite, an exceptionally hard phase that increases the mechanical strength of metals, mainly steels and castings, with the help of an ARSA muffle furnace designed to operate at temperatures not exceeding 1100°C. To achieve this, the material is exposed to a cooling medium, which reduces the cooling time.

Keywords:

Tempering, austenitic phase, martensitic phase, hardness, mechanical strength

Resumen:

En la presente práctica se aborda el tratamiento térmico de temple que transforma la fase austenítica en martensita, una fase excepcionalmente dura y que aumenta la resistencia mecánica en los metales, principalmente aceros y fundiciones, con la ayuda de una mufla ARSA diseñada para ser operada a temperaturas que no excedan los 1100°C, para lograrlo, el material se expone a un medio refrigerante, lo que reduce el tiempo de enfriamiento.

Palabras Clave:

Temple, fase austenítica, fase martensita, dureza, resistencia mecánica

Introducción

Los tratamientos térmicos de temple son procesos mediante los cuales se busca obtener la máxima dureza de un material, que se calienta y luego se enfriá. En general, un tratamiento térmico consiste en la combinación de diferencias de temperatura en un metal sólido para obtener otra característica deseada. En este artículo tocaremos más en profundidad todo sobre los tratamientos térmicos de temple: en qué consisten, etapas del proceso y aplicaciones. Buscan modificar la estructura del acero para obtener mayor durabilidad. Gracias a este proceso, podemos obtener piezas

capaces de resistir fuerzas de impacto elevadas. El temple consiste en la modificación del acero a través del calentamiento a temperaturas elevadas, generalmente entre 750°C y 1300°C, para mantenerlo en este estado y posteriormente enfriarlo de manera constante y controlada a una temperatura menor a la de inicio (Formación mecanizada, 2021; Domenico, s.f.; ASTM E, s.f.; ASTM C, s.f.).

Con el proceso de temple, se pueden llegar a obtener las siguientes características en el acero:

- Buena resistencia al desgaste

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804>, Email: martin_ortiz@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-0455-1646>, Email: arturo_cruz8085@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma de Ciudad Juárez | Instituto de Ingeniería y Tecnología | Ciudad Juárez-Chihuahua | México, <https://orcid.org/0000-0003-0623-3780>, Email: quirino.estrada@uacj.mx

^d Tecnológico Nacional de México | IT de Tlalnepantla | Estado de México | México, <https://orcid.org/0000-0003-3310-6605>, Email: oscar.gv@tlalnepantla.tecnm.mx

- Alta dureza
- Mejora de ductilidad
- Resistencia a la tracción

En definitiva, los tratamientos térmicos de temple son muy útiles cuando se requiere la máxima dureza de un material, y en cuyo proceso, obtendremos una mayor durabilidad y piezas capaces de resistir fuerzas de impacto altas.



Figura 1. Esquema de una mufla ARSA diseñada para ser operada a temperaturas que no excedan los 1100°C (PQS Scientific S.A. de C.V., 2019).

Objetivo General

El objetivo del temple es transformar la fase austenítica en martensita, una fase excepcionalmente dura y que aumenta la resistencia mecánica del acero, con ayuda de una mufla ARSA diseñada para ser operada a temperaturas que no excedan los 1100°C, para lograrlo, el material se expone a un medio refrigerante, lo que reduce el tiempo de enfriamiento.

Objetivos específicos

- Determinar teóricamente la ecuación de dureza Vickers ($HV = 1.8544P / d^2$), a través de la definición de esfuerzo normal, geometría analítica y trigonometría básica, para hacer

comparaciones con la dureza que arroja el equipo de pruebas (microindentador DuraScan 20 G5).

- Preparar la muestra que desea conocer su dureza Vickers, a través de las técnicas metalográficas, para identificar la microestructura del material y familiarizarse con esta técnica de caracterización.
- Determinar la composición química que tiene el acero a través de análisis de EDS (Análisis de Rayos X por Dispersión de Energía), para identificar los elementos químicos presentes y sus cantidades relativas.

Seleccionar la temperatura de temple del acero, a través del diagrama hierro-carbono, para operar la mufla y mover la posición de la perilla a la temperatura de trabajo.

Aplicaciones prácticas

Los tratamientos térmicos de temple sirven para que los materiales soporten cargas de torsión o fuerzas de impacto por largos períodos sin deformarse, por lo que se puede utilizar para la fabricación de diferentes piezas:

- Engranajes
- Ejes
- Levas
- Husillos
- Junta universal
- Grúas de construcción

El temple se utiliza cuando se requiere una mayor dureza. Muchas aplicaciones, como la minería, la maquinaria pesada y la industria automotriz, requieren metales con una superficie dura, resistentes a la abrasión, los arañazos y a los impactos. La mayor dureza obtenida mediante el temple proporciona estas cualidades.

Industria Minera

La minería es una industria cada vez más impulsada por la tecnología, esto permite mejoras significativas en los procesos y equipamientos, creando también una nueva generación de prácticas en la minería, centradas en la seguridad, la automatización, la eficiencia energética, la gestión ambiental y la gestión de los costos (ver Figura 2). El conocer la dureza de los minerales, así como de los equipos empleados en la extracción de los mismos, ha demostrado ser fundamental para ayudar a las industrias a equilibrar las presiones de tiempo, costos, sostenibilidad y calidad.

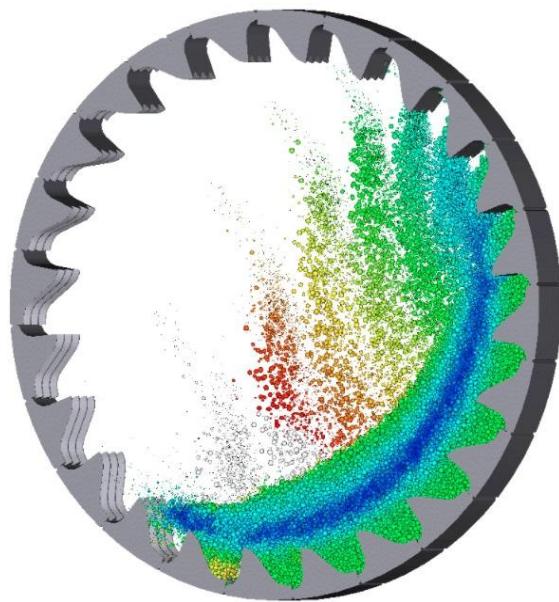


Figura 2. Simulación de materiales granulares compuesto por partículas sólidas. Fuente: Elaboración propia.

Maquinaria pesada

Durante el funcionamiento de la maquinaria pesada, las piezas y mecanismos están sometidos a una serie de factores que provocan su desgaste y rotura. Estos desgastes y roturas surgen debido a la acción de las fuerzas de fricción, de las cargas elevadas, a consecuencia del agrietamiento del metal, de la alta temperatura que rodea el medio, a causa de este, de la corrosión, etc.

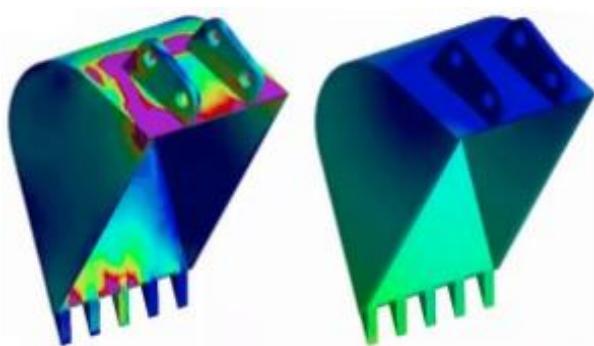


Figura 3. Simulación de resistencia al desgaste de una retroexcavadora. Fuente: Elaboración propia.

El principal desgaste de la maquinaria pesada, es el desgaste mecánico. Este aparece como resultado del trabajo de las fuerzas de fricción, durante el

resbalamiento de una pieza sobre otra. También se podría entender, como el cambio de forma y peso de la pieza, a causa de la eliminación de las partículas de su superficie durante el funcionamiento (ver Figura 3).

Industria Automotriz

Tanto en el cuerpo como en el chasis, los metales tienen que aportar sus propiedades de dureza, tenacidad a la fractura y resistencia a la corrosión para garantizar la vida útil del vehículo (ver Figura 4). En la necesidad de absorber la energía en caso de impactos, por ejemplo, los aceros de alta resistencia son especialmente útiles al no incrementar en exceso el peso del vehículo y presentar una gran resistencia y absorción de energía.



Figura 4. Carrocería y chasis de un automóvil. Fuente: Elaboración propia.

Deducción de la ecuación de dureza Vickers

La dureza Vickers (HV) resulta del cociente de la fuerza de ensayo aplicada (F en newtons N) y el área de superficie de la hendidura residual en el espécimen (ver fórmula abajo). Para calcular la superficie de la indentación piramidal residual se utiliza la media de las dos diagonales (d_1 y d_2 en mm), porque la superficie de base de las indentaciones de Vickers no suele ser exactamente cuadrada (ver Figura 5) (Ortiz Domínguez y Cruz Avilés, 2022)

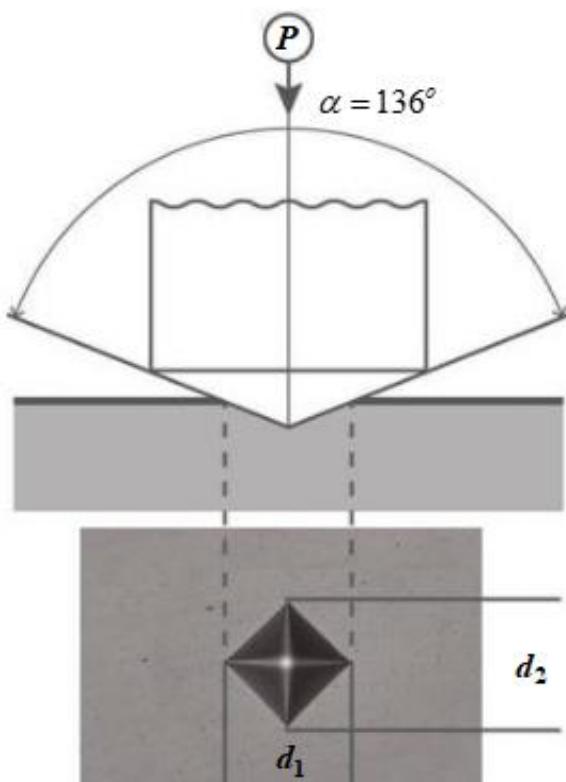


Figura 5. Medidas de las diagonales de la indentación piramidal residual (Ortiz Domínguez y Cruz Avilés, 2022).

La dureza Vickers (HV), se define como:

$$HV = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Para la deducción de la impronta piramidal, nos apoyaremos en la Figura 6, donde se cumple que:

$$\overline{AC} = \overline{BD} = d \quad (2)$$

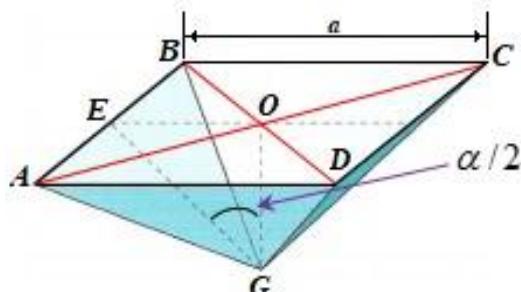


Figura 6. Área de la impronta piramidal. Fuente: Elaboración propia (Ortiz Domínguez y Cruz Avilés, 2022).

Asimismo, también se tiene que:

$$\overline{AD} = \overline{BC} \quad (3)$$

Para poder obtener el área de la impronta piramidal, contando con la medida de la diagonal procedemos de la siguiente manera:

El área total de la impronta (ver Figura 6) resulta en:

$$A = 4 \left(\frac{\overline{AB} \times \overline{EG}}{2} \right) = 2(\overline{AB} \times \overline{EG}) \quad (4)$$

Aplicando el teorema de Pitágoras a la Figura 6, tenemos:

$$(\overline{AB})^2 + (\overline{AD})^2 = (\overline{BD})^2 = d^2 \quad (5)$$

Como

$$\overline{AB} = \overline{AD} \quad (6)$$

Considerando a la Ec. (6) en la Ec. (5), resulta en:

$$(\overline{AB})^2 + (\overline{AB})^2 = d^2 \quad (7)$$

Despejando al segmento \overline{AB} de la Ec. (7), obtenemos:

$$\overline{AB} = \frac{d}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Por otro lado, de la Figura 6, se cumple que:

$$\sin(\alpha/2) = \frac{\overline{OE}}{\overline{EG}} \quad (9)$$

Despejando al segmento \overline{EG} de la Ec. (9), produce:

$$\overline{EG} = \frac{\overline{OE}}{\sin(\alpha/2)} \quad (10)$$

De la misma Figura 6, se cumple que:

$$\overline{OE} = \frac{\overline{AB}}{2} \quad (11)$$

Sustituyendo la Ec. (8) en la Ec. (11), se obtiene:

$$\overline{OE} = \frac{\overline{AB}}{2} = \frac{d}{2\sqrt{2}} \quad (12)$$

Sustituyendo la Ec. (12) en la Ec. (10), encontramos que:

$$\overline{EG} = \frac{d}{2\sqrt{2} \sin(\alpha/2)} \quad (13)$$

Volviendo a la fórmula para el área (ver Ec. (4)), y sustituyendo las Ecs. (8) y (13), se tiene:

$$A = 2 \left(\left(\frac{d}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{d}{2\sqrt{2} \sin(\alpha/2)} \right) \right) = \frac{d^2}{2 \sin(\alpha/2)} \quad (14)$$

Finalmente, sustituyendo la Ec. (14) en la Ec. (1), se obtiene:

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin(\alpha/2) \quad (15)$$

Donde $\alpha = 136^\circ$, por lo que la Ec. (15), se puede reescribir de la siguiente manera:

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin(136^\circ/2) = 1.8544P/d^2 \quad (16)$$

Materiales y procedimiento

Signos de advertencia utilizados en este instructivo de operación

Estos símbolos se utilizan en el instructivo de operación para un manejo seguro y adecuado que permita un uso sin riesgos para el alumno y para el equipo. Preste atención a los símbolos de Advertencia o Precaución del instructivo para evitar accidentes (ver Figuras 7).

¡Precaución! Significa que el usuario puede sufrir daño por una mala actividad realizada.	 PRECAUCIÓN
¡Advertencia! Significa que la unidad puede tener daño por uso indebido en el manejo de esta.	 ADVERTENCIA
Este símbolo indica que el equipo debe conectarse a una línea eléctrica aterrizada.	
Aviso: Este símbolo en el texto indica que hay información adicional sobre el funcionamiento y las características del producto.	 AVISO

Figura 7. Signos de advertencia utilizados en el instructivo de operación del usuario. Fuente: Elaboración propia.

Advertencias de seguridad

La mufla, está diseñada para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo trabajos de laboratorio, procesos a temperatura controlada, tratamientos

térmicos, secado y calcinación de precipitados, ensayos de fundición, cuenta con control analógico e indicador digital de temperatura, con una temperatura máxima de 1100°C (ver Figura 8).

No instale el equipo cerca de lugares donde se pueda filtrar gas inflamable	Puede causar incendios	
Apague y desconecte el equipo si algunos sonidos, olores o humo se producen	Llamar al técnico o docente encargado	
No utilizar en exteriores	Se puede dañar el equipo y/o producir fallas en el funcionamiento	
No use el equipo en lugares donde la humedad es alta o pueda inundarse	Puede causar un corto eléctrico. En caso de inundarse la unidad, solicite asesoría al técnico o docente encargado	
Se recomienda no desarmar, arreglar o modificar el equipo sin asistencia técnica adecuada	Puede producir fallas en el funcionamiento. Solicite ayuda al soporte técnico	
No coloque el equipo cerca de fuentes de calor. No introducir sustancias peligrosas al equipo. Nunca coloque papel o fibras textiles sobre el equipo.	Puede producir fallas en el funcionamiento. Puede ocasionar daños al usuario o al equipo. Puede ser causa de incendio	
No colocar objetos pesados sobre el cable de alimentación	Puede causar descarga eléctrica y/o incendio	
Conecte el enchufe correctamente y no lo toque con las manos húmedas	Puede causar un incendio si la conexión no es adecuada Puede causar lesiones a los usuarios	
No limpiar el equipo mientras se esté utilizando. No colocar líquidos sobre el equipo	Si ocurre un derrame cerca o sobre el equipo, apague, desconecte y contacte con Felisa o con su distribuidor para recibir soporte técnico	
No golpee el equipo y evite vibraciones. No rocíe sobre la superficie contenido inflamable de aerosoles	Puede haber desconexión de arneses. Puede causar incendio	
No limpie el equipo con solventes. Use paños húmedos (con agua) y suaves	Limpiar con solvente puede dañar la pintura o un incendio si está en uso	

Figura 8. Advertencias de seguridad. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9(a), se presentan los componentes exteriores de la mufla:

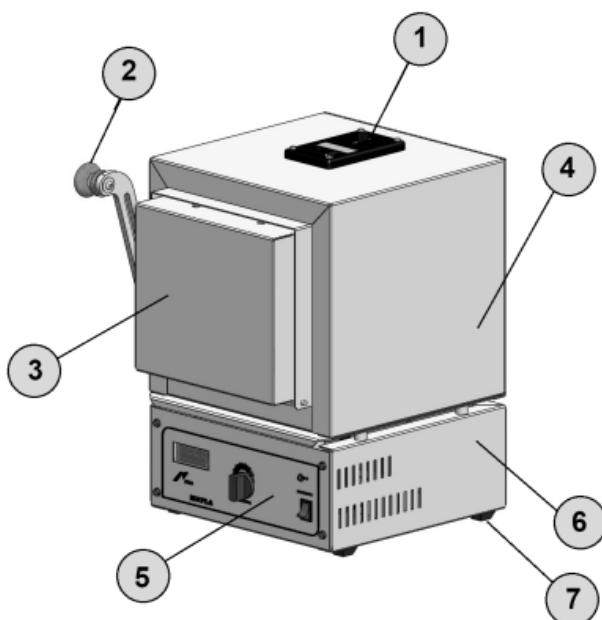


Figura 9(a). Componentes exteriores de la mufla: 1. Regulador de salida de aire caliente y de vapores; 2. Jaladera puerta; 3. Puerta; 4. Cajón exterior; 5. Panel de control, pantalla digital; 6. Soporte gabinete del ensamblaje de control; 7. Patas de hule. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9(b), se presentan los componentes interiores de la mufla:

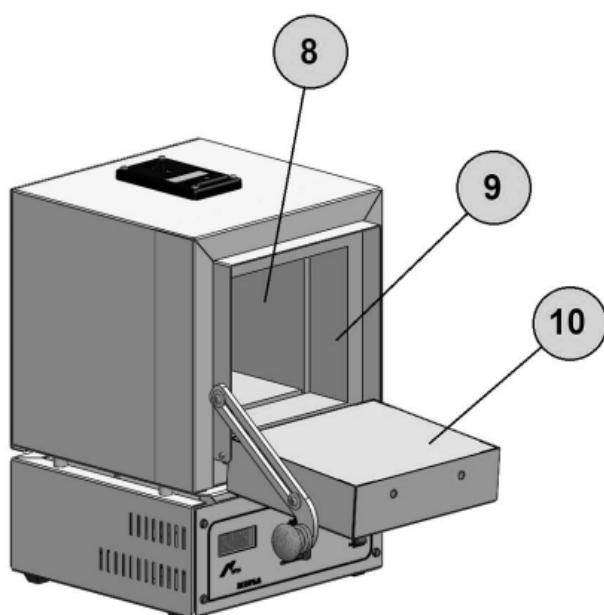


Figura 9(b). Componentes interiores de la mufla: 8. Cámara interior; 9. Aislante frontal; 10. Aislante puerta.

Elementos del panel de control

En la Figura 10, se presentan los elementos del panel de control de la mufla:

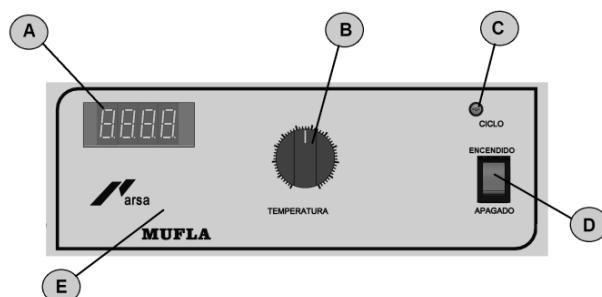


Figura 10. Panel de control de la mufla: A. Pantalla display; B. Control de temperatura; C. Led de ciclo; D. Interruptor; E. Serigrafía. Fuente: Elaboración propia

La mufla está diseñada para ser operada satisfactoriamente a temperaturas que no excedan los 1100°C.

Medición de la dureza

Esta práctica permite que los estudiantes puedan estimar la dureza de una muestra de acero con y sin tratamiento con ayuda de un microindentador DuraScan 20 G5 (ver Figura 11).



Figura 11. Equipo empleado para estimar la dureza Vickers de una muestra de acero (Emco-Test, 2022).

El aparato de prueba para determinar la dureza Vickers consta de: un indentador Vickers certificado con los

estándares internacionales de EN, ISO o ASTM; una PC; lentes; porta muestras; patrones de dureza.

1.- Indentador Vickers: emplea como elemento indentador una pirámide regular de diamante, de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136°. En la penetración del indentador contra la probeta, éste dejará una impresión cuadrada sobre el material de la probeta, que resulta más fácil de medir (más precisa) en este tipo de ensayo.



Figura 12. Indentador Vickers (Emco-Test, 2022).

2.- PC: técnicamente garantiza la compatibilidad con el microdurometro (incl. Windows 7 Professional 64 bit) con pantalla TFT-LCD, mouse y teclado.



Figura 13. Computadora (HP México, 2022).

3.- Lentes: son de alta calidad y con un gran campo de visión. Se puede hacer un uso perfecto de ellos gracias al uso de una cámara de 10 Mpix. El uso flexible del sensor de la cámara permite, por lo tanto, aún más niveles de zoom por objetivo.

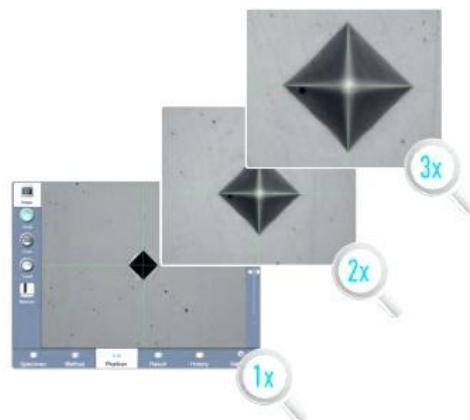


Figura 14. Lentes (Emco-Test, 2022).

4.- Portamuestras: permite sujetar las muestras incrustadas y no incrustadas.



Figura 15. Portamuestras (Emco-Test, 2022).

5. Patrones de dureza: permiten medir la dureza antes de que se desarrolle la práctica para comparar la dureza graduada y la que registra el equipo.



Figura 16. Patrones de dureza (Emco-Test, 2022).

6.- Lijas de carburo de silicio con diferentes granulometrías (80-2000): es un grano filoso, de baja tenacidad y alto afilado por fractura. Se utiliza principalmente para el lijado de materiales sólidos como: acero, vidrio, piedra, mármol, lacas, cerámica, titanio, goma, plásticos o fibra de vidrio. El uso de este abrasivo es el más común para las lijas de agua.



Figura 17. Lijas de carburo de silicio con diferentes granulometrías (80-2000) (Buehler. 2022).

7.- Pulidora metalográfica: es utilizada para dar el acabado final a la superficie objeto de estudio, haciendo uso de lijas y paños especializados.



Figura 18. Pulidora metalográfica (Metalinspec, 2022).

8.- Montadora metalográfica: se usa para mosaico de especímenes pequeños, especímenes en formas irregulares o especímenes que no son fáciles de tomar, el proceso anterior antes de moler y pulir especímenes metalográficos o de roca.



Figura 19. Montadora metalográfica (Metalinspec, 2022).

9.- Alúmina: se utiliza solamente cuando se debe hacer un estudio a altos aumentos libre totalmente de rayas. Su tamaño de grano habitual es de $0.06 \mu\text{m}$. Se utiliza con materiales duros como todos los tipos de cerámicos, aceros y fundiciones de hierro.



Figura 20. Alúmina (Buehler. 2022).

10.- Baquelita: se emplea para encapsular a las muestras, es dura y evita el efecto de borde (separación entre la baquelita y la muestra).



Figura 21. Baquelita (Buehler. 2022).

11.- Pasta de diamante: ha sido formulada específicamente para el pulido de cerámicos, aceros y fundiciones de hierro. Ofreciendo un rápido desbaste, así como un acabado superior. De esta manera se puede reducir el número de etapas de pulido con un costo menor y un resultado de mayor calidad.



Figura 21. Pasta de diamante (Buehler. 2022).

Equipo de protección individual a utilizar:

- Bata blanca
- Botas de seguridad
- Guantes de asbesto
- Gafas de protección

Material

- Barra de acero AISI 1018
- Mufla
- Placa cerámica
- Recipiente para contener los medios de temple
- Pinzas de sujeción
- Microscopio metalográfico
- Microdorómetro
- Reactivos de ataque para el acero (Nital al 2%)
- Agua dulce y aceite mineral

Pasos para llevar a cabo el temple

1. Corte dos probetas de acero AISI 1018 y dos probetas de acero AISI 1045 con una longitud de 2 cm x 2 cm x 2 cm.
2. Desbaste las cuatro probetas con lijas de carburo de silicio con diferentes granulometrías (80-2000).
3. Pula las cuatro probetas con alúmina con un tamaño de grano de 0.06 µm, dos de acero AISI 1018 y dos de acero AISI 1045.

4. Pula las cuatro probetas con pasta de diamante, dos de acero AISI 1018 y dos de acero AISI 1045.
5. Ataque químicamente las cuatro probetas seleccionadas con Nital al 2%.
6. Observe en el microscopio las cuatro probetas y tome fotos con el objetivo a 400X.
7. Con ayuda del Microdorómetro mida la dureza de ambos aceros.
8. Caliente las cuatro probetas en la mufla a una temperatura comprendida entre 850°C y 900°C durante 20 minutos.
9. Cuando las probetas estén listas para el temple, tome una de las probetas con las pinzas e introduzcalo en el recipiente con agua, agite formando un “ocho” dentro del medio de temple durante dos minutos para asegurarse que se ha enfriado, haga lo mismo con la probeta de acero AISI 1045, repita el proceso utilizando aceite como medio de temple, por último, las dos probetas restantes, se retiran de la mufla y se dejan enfriar a temperatura ambiente.
10. Pula las cuatro probetas con alúmina con un tamaño de grano de 0.06 µm, dos de acero AISI 1018 y dos de acero AISI 1045.
11. Pula las cuatro probetas con pasta de diamante, dos de acero AISI 1018 y dos de acero AISI 1045.
12. Ataque químicamente las cuatro probetas seleccionadas con Nital al 2%.
13. Observe en el microscopio las cuatro probetas y tome fotos con el objetivo a 400X.
14. Practique la prueba de dureza Vickers en todas las probetas.
15. **Compare los valores de dureza obtenidos.**

Aspectos importantes del dispositivo a utilizar (ver Figura 9):

1. Asegurarse de que no tenga ninguna carga (predeterminada) en el sistema del software antes de medir la dureza.
2. Limpiar la mesa XY (yunque de prueba).

Procedimiento para llevar a cabo el experimento de determinación de la dureza Vickers. Lee cuidadosamente los siguientes pasos, si tienes alguna duda pregunta a tu docente o encargado de laboratorio correspondiente:

1. Leer el manual teórico de la práctica proporcionado por el docente o encargado de laboratorio para entender los principios fundamentales de la dureza Vickers.

2. Visualizar y conocer todos los componentes del dispositivo (ver Figura 4).
3. El flujo de trabajo en cinco pasos que ofrece el intuitivo software operativo ecos Workflow CIS: Muestra, Método, Posición, Resultado e Histórico



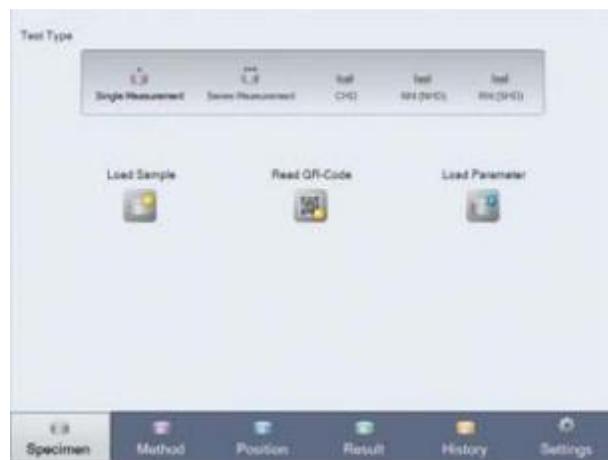
4. Colocar la probeta patrón UNS J12582 sobre la mesa XY (yunque de prueba), para calibrar el microdurometro. La calibración de los instrumentos de proceso consiste en comparar y documentar la medición de un dispositivo respecto a un estándar de referencia trazable. Es importante calibrar para poder confiar en la validez de las mediciones.



5. Pasos para la medición de la dureza del patrón (Dureza = 112 HV)

1 Probeta

Seleccione un tipo de prueba. Además de la medición individual, desde el DuraScan 20 (Microdorómetro) también es posible realizar mediciones en serie, CHD, Rht o Nht.



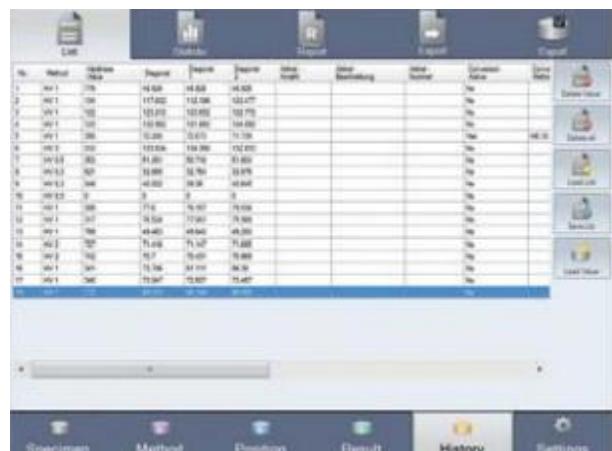
2 Método

Seleccione un tipo de medición, una lente, un método de ensayo y un nivel de zoom; y, si es necesario, conversiones, límites de dureza y correcciones de dispositivos normalizados.



3 Posición

Coloque su punto de prueba en la pieza de trabajo. Usando las herramientas proporcionadas. A continuación, inicie la prueba.



4 | Resultados

El resultado se muestra claramente y está disponible para otros usos. Si es necesario, también existe la opción de volver a medir automática o manualmente.

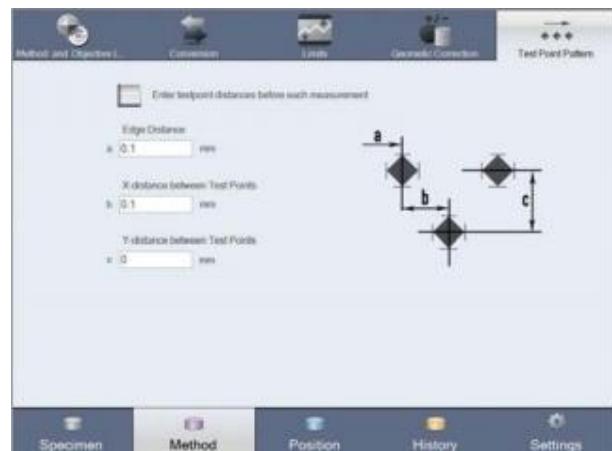


Medición en serie

Existe un asistente de puntos de prueba para las pruebas en serie, CHD, Nht o Rht. El asistente le ayuda a crear patrones de puntos de prueba al realizar pruebas en serie normalizadas (EN ISO 2639, 10328, 50190).

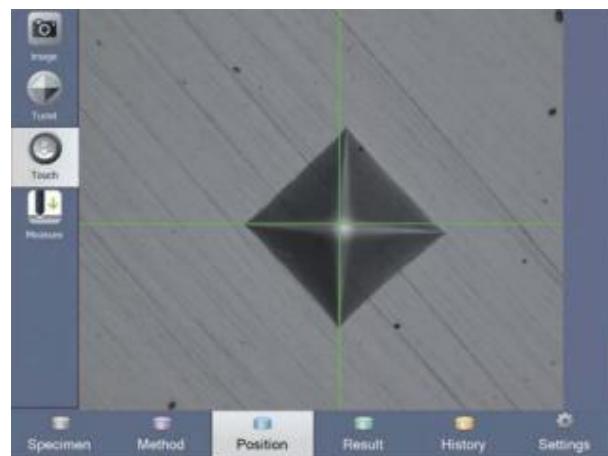
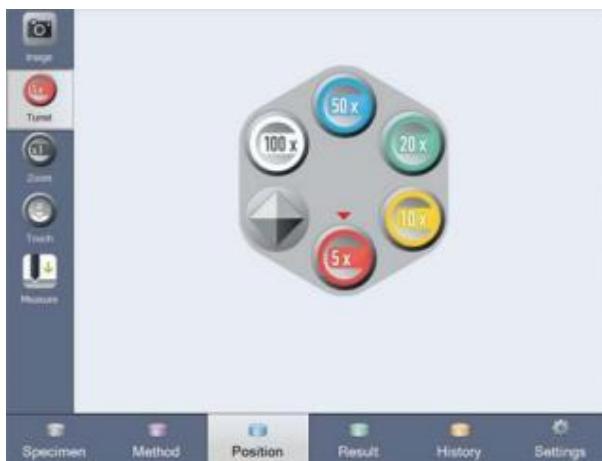
5

Todos los resultados se almacenan permanentemente de forma clara. Los datos pueden archivarse en su red, en otros sistemas y utilizarse para imprimir un informe con cualquier impresora instalada.



Control intuitivo

El control intuitivo proporciona una visión general de qué lente y qué penetrador están actualmente en posición. La opción de la torreta de 6 pliegues permite la selección a través de la pantalla y el clic del ratón.



Figuras y diagramas

Los valores de las pruebas se convierten en imágenes en forma de figuras o diagramas.



Resultados

Las lecturas se pueden tabular en la forma descrita en las Tabla 1. Los resultados se pueden calcular de acuerdo con la teoría dada en la Sección 7.

Tabla 1. Datos de ensayos posibles con diferentes rangos de carga-deformación. Fuente: Elaboración propia.

Probeta	Carga (N)	Dureza-Equipo (HV)	Promedio de las diagonales $((d_1 + d_2)/2)$ (m)	Dureza-Ec. (16) (HV)
AISI 1018 sin tratamiento				
AISI 1018 con tratamiento				
AISI 1045 sin tratamiento				
AISI 1045 con tratamiento				

Conclusión

En conclusión, el temple es esencial para piezas que requieren alta dureza y resistencia al desgaste, como herramientas, engranajes o componentes automotrices, pero debe considerarse siempre como parte de un ciclo de tratamientos térmicos (temple + revenido) que garantice un equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad en función de la aplicación final.

El temple es uno de los tratamientos térmicos más importantes aplicados al acero, ya que permite aumentar significativamente su dureza y resistencia al desgaste mediante un enfriamiento rápido después de un calentamiento controlado. Sin embargo, este proceso también genera tensiones internas y una estructura martensítica muy frágil, lo que hace que el material sea susceptible a agrietarse o fracturarse bajo esfuerzos de impacto.

Por ello, el temple rara vez se utiliza como tratamiento único: se complementa con el revenido, que corrige sus desventajas al mejorar la tenacidad, la estabilidad dimensional y la resistencia a la fatiga, sin perder completamente la dureza adquirida.

Referencias

ASTM E 384-89, (s.f.). Standard test method for microhardness of materials, *ibid.* vol. 3.01.

ASTM C 1327-96, (s.f.). Standard test method for Vickers indentation hardness of advancedceramics, *ibid.* vol. 15.01.

Buehler, (2022). Buehler materials, recuperado de: <https://www.buehler.mx/>

Campos-Silva, I., Bravo-Bárcenas, D., Meneses-Amador, A., Ortiz-Dominguez, M., Cimenoglu, H., Figueroa-López, U., Andracia-Adame, J., (2013) Growth kinetics and mechanical properties of boride layers formed at the surface of the ASTM F-75 biomedical alloy. *Surface & CoatingsTechnology* 237; 402–414.

Domenico L, (s. f.). Ensayos Mecánicos de los Materiales Metálicos, Labor.

Emco-Test, (2022), The DuraScan G5 serie, recuperado de: <https://www.emcotest.com/en/products-services/hardness-testing-machines/durascan-g5/durascan-70-g5-1380/>

Formación mecanizada, (2021) Temple, tratamiento térmico, recuperado de: <https://formacionmecanizado.com/temple-tratamiento-termico-mecanizado/>

HP México, (2022). Tienda oficial HP México, recuperado de: https://www.hp.com/mx-es/shop/promociones.html?gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOb0Zbla67mX5nPw9JQ0xBurdte6Hz1Q-6zUwy6HHVG2gGXX0G5efAsfewMaAvivEALw_wcB&gclsrc=aw.ds

Metalinspec, (2022). Equipopara metalografías, recuperado de: https://www.metalinspec.com.mx/categorias-de-equipos/desbaste-y-pulido-ataque-electrolitico?utm_campaign=Metalinspec+Marcas&utm_source=adwords&utm_term=metalografia&utm_medium=ppc&hsa_grp=26409534636&hsa_tgt=kwd-

3725672327&hsa_net=adwords&hsa_ad=378196976325&hsa_src=g&hsa_acc=8411974665&hsa_cam=379230996&hsa_ver=3&hsa_mt=p&hsa_kw=metalografia&gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi82vM58qwCvUq90q_0ZSi06VgtFpCnPKuLWhdDEY3sE36UrGvQ-SURoCGdcQAvD_BwE

Ortiz Domínguez, M., y Cruz Avilés, A. (2022). Dureza Vickers. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 9(18), 47–57. <https://doi.org/10.29057/escs.v9i18.8804>

PQS Scientific S.A. de C.V. (2019). Muflas ARSA, recuperado de: <https://www.productosquimicosdelsur.com.mx/arsa/muflas/>