

Dureza Vickers Vickers Hardness Testing

Martín Ortiz-Domínguez^a, Arturo Cruz-Avilés^b

Abstract:

In this laboratory practical, the Vickers hardness of a known material will be determined by using a DuraScan 20 G5 microhardness tester for industrial applications.

Keywords:

Vickers hardness, microhardness, ductility, wear resistance

Resumen:

En la presente práctica de laboratorio se determinará la dureza Vickers de un material conocido, con ayuda de un microindentador DuraScan 20 G5, para aplicaciones industriales.

Palabras Clave:

Dureza Vickers, microindentador, ductilidad, Resistencia al desgaste

Introducción

Las propiedades mecánicas de los materiales nos permiten diferenciar un material de otro ya sea por su composición, estructura o comportamiento ante algún efecto físico o químico. En base a su estructura molecular un material tendrá una serie de características físicas y químicas específicas. La dureza es una característica de un material, no una propiedad física fundamental. Se define como la resistencia a la indentación, y se determina midiendo la profundidad permanente de la indentación. En términos más sencillos, cuando se utiliza una fuerza (carga)* fija y una indentación determinada, cuanto más pequeña sea la indentación, más duro será el material. El valor de la dureza de la indentación se obtiene midiendo la profundidad o el área de la indentación.

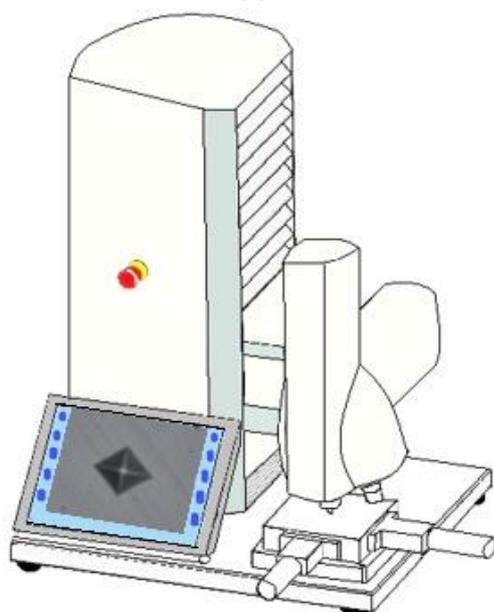
En la prueba de dureza de **Vickers**, es un método óptico, se mide el tamaño de la hendidura (las diagonales)

dejada por el indentador. Por el contrario, la profundidad de la indentación causada por el indentador se mide en los métodos de medición de profundidad (sólo Rockwell está estandarizado). Cuanto mayor sea la hendidura dejada por el indentador a una fuerza de ensayo definida en la superficie de una pieza (muestra), más suave será el material ensayado. Para determinar la dureza Vickers (HV) de acuerdo con la norma ISO 6507, el indentador de diamante en forma de pirámide (con un ángulo interfacial de 136°) se presiona en una probeta (pieza de trabajo) con una carga de ensayo definida a partir de 1 gf. Para determinar la dureza Vickers de un material, es necesario considerar el esquema de un microindentador DuraScan 20 G5 como se presenta en la Figura 1. (Campos, et al. 2013; Domenico, s.f.; ASTM E, s.f.; ASTM C, s.f.)

^a Autor de Correspondencia, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, UA EH, Tepeapulco, Hidalgo, México, ORCID: 0000-0003-4475-9804, Email: martin_ortiz@uaeh.edu.mx

^b Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, UA EH, Tepeapulco, Hidalgo, México, ORCID: 0000-0003-0455-1646, Email: arturo_cruz8085@uaeh.edu.mx

Figura 1. Esquema de un microindentador DuraScan 20 G5



Fuente: Elaboración propia.

Objetivo general

Determinar la dureza Vickers de un material conocido, con ayuda de un microindentador DuraScan 20 G5, para aplicaciones industriales.

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.

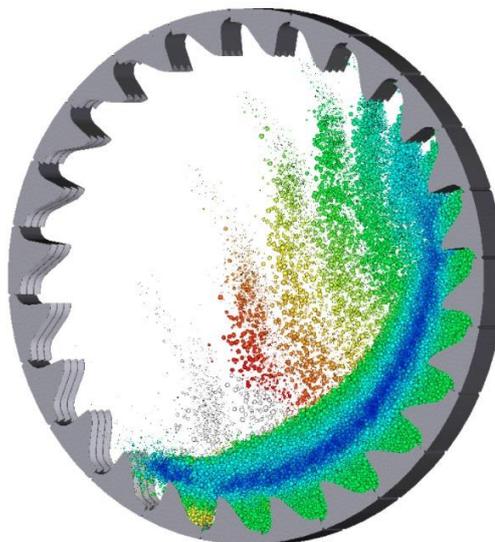
Aplicaciones prácticas

Características del material

- Prueba para comprobar el material
- Prueba de endurecimiento
- Prueba para confirmar el proceso
- Puede ser usado para predecir la fuerza de tensión

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 compuestos por partículas sólidas



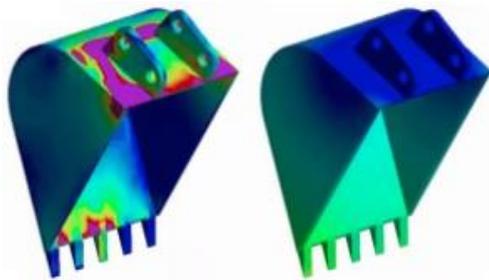
Fuente: Elaboración propia.

Funcionalidad

- Prueba para confirmar la capacidad de funcionar como se ha diseñado.
- Resistencia al desgaste
- Tenacidad a la fractura
- Resistencia al impacto

Un accidente causa quemaduras de ácido a alta temperatura en la piel de un trabajador y contamina los ríos, el suelo y el subsuelo. Una fuga de gas causa intoxicación de las poblaciones que rodean la industria y daña al ecosistema. Situaciones como estas deben evitarse a toda costa en una industria minera, de lo contrario generarán multas, daños a las personas, al equipo y a la producción. En estos casos, también es esencial contar con el valor de la dureza como aliado, para predecir no solo el desgaste de los materiales, sino también los fenómenos que afectan al equipo y las estructuras (ver Figura 3).

Figura 3. Simulación de resistencia al desgaste de una retroexcavadora



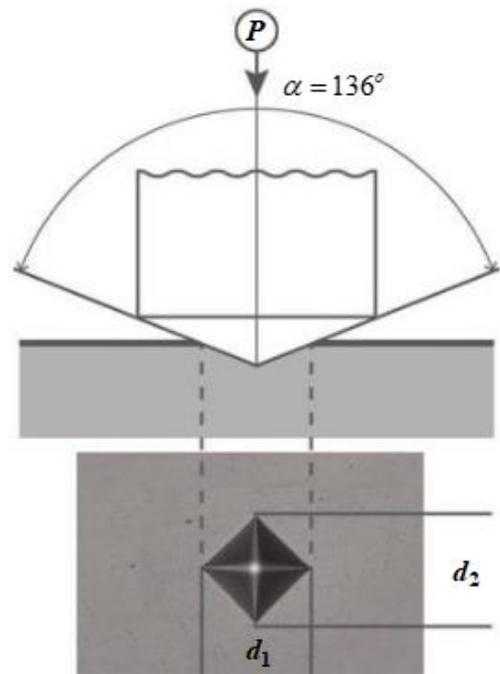
Fuente: Elaboración propia

Teoría

Deducción de la ecuación de dureza Vickers

La dureza Vickers (HV) resulta del cociente de la fuerza de ensayo aplicada (F en Newton 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 4).

Figura 4. Medidas de las diagonales de la indentación piramidal residual



Fuente: Elaboración propia

La gama de durezas Vickers recomendada se encuentra en la norma (ISO 6507). Dependiendo de la fuerza de ensayo y del material de la muestra utilizada, el valor de la dureza Vickers se encuentra entre 1 y 3000 HV.

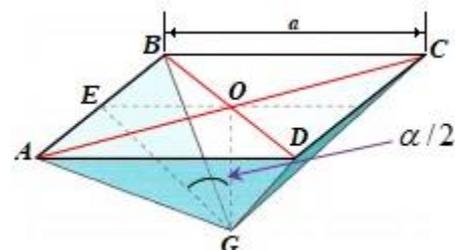
La dureza Vickers (HV), se define como:

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

Para la deducción de la impronta piramidal, nos apoyaremos en la Figura 5, donde se cumple que:

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

Figura 5. Área de la impronta piramidal



Fuente: Elaboración propia.

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

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 5, se cumple que:

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

Esta práctica permite que los estudiantes puedan estimar la dureza de una muestra de acero con ayuda de un microindentador DuraScan 20 G5 (ver Figura 7).

Figura 7. Equipo empleado para estimar la dureza Vickers de una muestra de acero



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Computadora



HP México (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; portamuestras; 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 8. Indentador Vickers



Fuente: 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.

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 10. Lentes del equipo



Fuente: Emco-Test (2022)

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

Figura 11. Portamuestras



Fuente: Emco-Test (2022)

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

Figura 12. Patrones de dureza



Fuente: 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 13. Lijas de carburo de silicio



Fuente: 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 14. Pulidora metalográfica



Fuente: 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 15. Montadora metalográfica



Fuente: 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 μm . Se utiliza con materiales duros como todos los tipos de cerámicos, aceros y fundiciones de hierro.

Figura 16. Alúmina



Fuente: 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 17. Baquelita



Fuente: 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 18. Pasta de diamante



Fuente: Buehler (2022)

Procedimiento experimental

Equipo de protección individual a utilizar:

- Bata blanca
- Botas de seguridad
- Guantes de látex blandos
- Gafas de protección

Aspectos importantes del dispositivo a utilizar (ver Figura 7):

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:

3. Leer el manual teórico de la práctica proporcionado por el docente o encargado de laboratorio para entender los principios fundamentales de la dureza Vickers.
4. Visualizar y conocer todos los componentes del dispositivo (ver Figura 7).
5. El flujo de trabajo en cinco pasos que ofrece el intuitivo software operativo ecos Workflow CIS: Muestra, Método, Posición, Resultado e Historial.



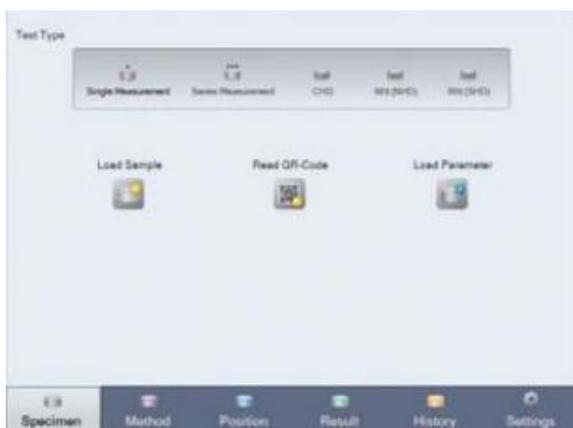
- Colocar la probeta patrón UNS J12582 sobre la mesa XY (yunque de prueba), para calibrar el microdurometro. La calibración de los instrumentos de proceso consiste en comparar y documentar la medición de un dispositivo respecto a un estándar de referencia trazable. Es importante calibrar para poder confiar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



- 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 (Microdurómetro) 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.



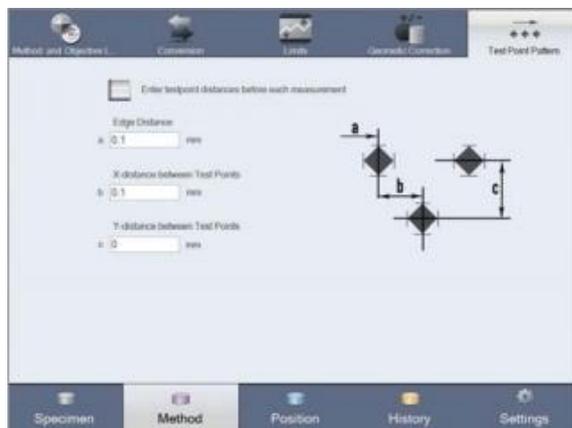
4 Resultados

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 Historial

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

No.	Method	Magnification	Depth	Position	Pressure	Area	Status
1	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
2	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
3	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
4	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
5	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
6	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
7	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
8	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
9	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
10	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
11	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
12	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
13	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
14	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
15	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
16	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
17	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
18	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
19	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK
20	SA1	75x	14.520	14.520	14.520	14.520	OK

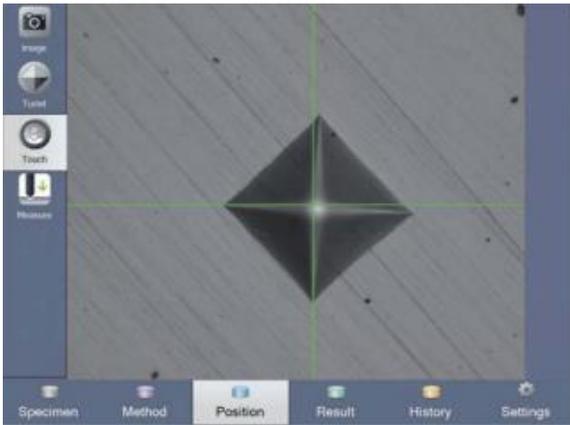
Control intuitivo

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.



Enfoque automático

El reconocimiento automático de la altura de la probeta activa el enfoque automático.



Número de ensayos posibles	Carga (N)	Dureza-Equipo (HV)	Promedio de las diagonales $((d_1 + d_2)/2)$ (m)	Dureza-Ec. (16) (HV)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

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.

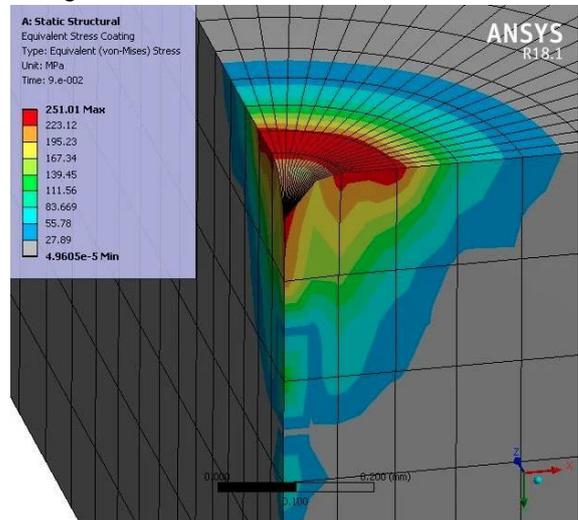
Tabla 1. Datos de ensayos posibles con diferentes rangos de carga-deformación.

Fuente: Elaboración propia.

Simulación

Con ayuda del software ANSYS (es una herramienta simulación CAE multifísico para análisis y simulación por elementos finitos (FEA). Incluye las fases de pre-proceso, resolución y post-proceso en una única plataforma de trabajo. ANSYS ejecuta análisis a piezas o conjuntos usados en ingeniería y diseño mecánico que están sometidos a uno o varios fenómenos físicos de manera individual o simultánea) se hace una simulación de dureza Vickers.

Figura 19. Simulación de dureza con ANSYS



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se determinó 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). Asimismo se preparó la muestra que deseaba conocer su dureza Vickers, a través de las técnicas metalográficas, para identificar la microestructura del material y familiarizarse con esta técnica de caracterización.

Agradecimientos

El trabajo descrito en la presente práctica de laboratorio fue financiado por la beca otorgada por **PROMEP**. Asimismo, le agradezco al **Dr. Jorge Zuno Silva**, quien es *Director de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún-UAEH*, México, por todas las facilidades para concluir este trabajo.

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-Bárceñas, D., Meneses-Amador, A., Ortiz-Dominguez, M., Cimenoglu, H., Figueroa-López, U., Andraca-Adame, J., (2013) Growth kinetics and mechanical properties of boride layers formed at the surface of the ASTM F-75 biomedical alloy. *Surface & Coatings Technology* 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/>
- HP México, (2022). Tienda oficial HP México, recuperado de: https://www.hp.com/mx-es/shop/promociones.html?gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAoboZbIa67mX5nPw9JQ0xBurdtc6Hz1Q-6zUwy6HHVG2gGXX0G5efAsfewMaAvivEALw_wcB&gclid=aw.d
- Metalinspec, (2022). Equipo para 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