

# Ajuste, Y Calibración De Durómetro Metrocom Utilizando Aluminio 6061, Pulido Con Partículas De 1.0 Micrómetros

**José Rafael Pimentel Cuéllar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura.  
Universidad Don Bosco.  
Soyapango, El Salvador.  
jose.pimentel@udb.edu.sv

**Gilberto Antonio Carrillo Alvarado<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura.  
Universidad Don Bosco.  
Soyapango, El Salvador.  
gilberto.carrillo@udb.edu.sv

**Raquel Alejandra Rivera Andino<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura.  
Universidad Don Bosco.  
Soyapango, El Salvador.  
raquel.riveraandino@gmail.com

**José Ronaldo Urbina Benítez<sup>4</sup>**

<sup>4</sup>Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura.  
Universidad Don Bosco.  
Soyapango, El Salvador.  
urbinaronaldo25@gmail.com

**Abstract** - This research determined the influence of the adjustments and calibrations made to a conventional hardness tester and how they affect the hardness measurements in aluminum over long periods of time. The sample used was 6061-T6 aluminum and a 2.50 mm ball indenter to make the traces. The development of the adjustment and calibration of the hardness tester was carried out to obtain more stable values over time, as well as to obtain a characterization of the mechanical properties (hardness) of 6061-T6 aluminum and to be able to compare the results with the theory. This supports the theory in terms of hardness, according to calculations based on applied load and the diameter of the footprint, in which it was observed that the larger the diameter, the lower the hardness, of equal sections of the samples, homogeneity. A MITUTOYO No. 2109S-10 and a conventional lathe were used for the adjustments, while the hardness tests were carried out on a METROCOM 9033-96 TYPE RC/MP hardness tester, the measurement of the trace with a Jiusion digital microscope, and a scale used with a tolerance equal to  $\pm 0.1$  mm. As a result of the adjustment and subsequent tests, an improvement in the values for hardness with respect to aluminum was evidenced, obtaining a lower bias than measurements prior to the adjustment, establishing a map for the tested sample according to the hardness and determining an interval for calibration in specific periods.

**Keywords—** *hardness, adjustments, aluminum, harness tester*

## I. INTRODUCCIÓN

La propiedad de la dureza en los materiales metálicos es ampliamente utilizada en la industria como la aeroespacial, farmacéutica, productores de productos plásticos, fabricantes de cartón, manufactureros de elementos electrónicos, etc., con el fin de establecer si los productos o materiales serán capaces de soportar los diferentes esfuerzos en su vida útil, desde la primera hasta la última instancia de producción hasta el más alto nivel de producción.

Para cuantificar la dureza en los materiales se utiliza el durómetro, que muestra un valor de acuerdo con el tipo de ensayo y escala, como ejemplo Brinell, Rockwell, Vickers, Shore, por mencionar algunos

Se debe considerar que los durómetros se encuentren en óptimas condiciones para la precisa medición de la dureza. Ya que las variaciones relacionadas con nuestra escala son  $\pm 0.10$  mm en mediciones relacionadas con el diámetro de huella, a los que corresponde una variación en dureza Brinell de manera exponencial, resultando valores erróneos y con mediciones más alejadas de lo real. En muchos casos, las desviaciones tendrán efectos críticos para el desempeño y correcto funcionamiento en cada pieza.

A continuación, se presenta el proceso desarrollado para llevar a cabo el ajuste y calibración del durómetro MetroCom 9033-96 tipo RC/MP. Finalizando con la toma de datos para dureza mediante las indentaciones realizadas con el equipo ajustado y datos obtenidos.

## II. PROCEDIMIENTO

### A. Accesorios de indentación y soporte.

El mantenimiento se inició con la limpieza de las partes expuestas a humedad y óxido: plataforma de

trabajo, porta-indentadores de bolas, partes internas del comparador de caratula para dureza Rockwell B-C. Se utilizó un removedor de óxido químico, evitando el desprendimiento de material en cada pieza, ya que eso podría afectar las posteriores mediciones.

En aquellas piezas que presentaban un deterioro bastante notable en el exterior se realizó la limpieza en tres etapas la primera con un removedor de óxido químico, la segunda se utilizó un cepillo de alambre con cerdas de latón para remover la menor cantidad de material en la parte externa, mientras que en la parte interna un cepillo con filamentos plásticos lo suficientemente duros para remover residuos del removedor de óxido químico, y como último paso se recubrió con pintura metálica gris, únicamente de manera externa cada una de la piezas, ya que hacerlo internamente podría afectar el ajuste y por ende las mediciones.

La figura 1 muestra el indentador para ensayo de dureza Brinell previo y posterior al proceso de limpieza. El trabajo se realizó en los indentadores de 2.50 mm, 5.00 mm y 1/8 in, tanto en las superficies externas como internas, eliminando el óxido presente.



Figura 1. *Indentadores bola de acero endurecido con diferentes diámetros. a) indentador de bola (2.50 mm) previo a la remoción de capa superficial de óxido. b) indentadores de bola (5.00 mm y 1/8 in) después de la remoción de óxido con químicos, cepillo de cerdas latonas y plásticas, recubrimiento de una capa externa de pintura para protección contra la humedad.*

En la plataforma de trabajo se verificó la uniformidad utilizando un comparador de caratula MITUTOYO N° 2109S-10, para establecer si no existía algún desnivel que afectara significativamente la toma de la huella en las probetas. En la figura 2 se observa el montaje de la plataforma de trabajo y la realización de las pruebas de planitud, para corregir la variación en aproximadamente 5 micrones se utilizó un proceso de lijado semiautomático, ayudándose de un torno, con lo que se reduce el error de 0.9% a 0.85% en relación con la unidad mínima utilizada como medida de la huella que es de 0.1 mm.

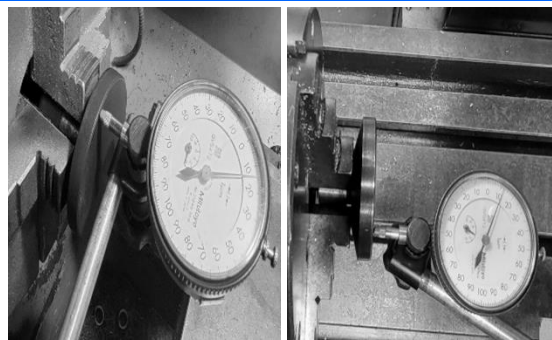


Figura 2. *Plataforma de trabajo antes y después del rectificado a) plataforma con desnivel de hasta 15.00  $\mu\text{m}$  antes del lijado. b) plataforma de trabajo con un desnivel de 10.00  $\mu\text{m}$ , después de utilizar lija 3000.*

#### B. Medidor de caratula para carga inicial y medición de dureza Rockwell B y C.

El medidor de carátula que determina la carga inicial y dureza Rockwell B y C presentaba atascamiento cuando se ejercía una fuerza mayor a la establecida de 10.00 kgf de forma inicial. De igual manera al aplicar la carga complementaria para los ensayos mencionados anteriormente reflejaba un error en la medición. Se desmontó el comparador para revisar el mecanismo interno y descartó cualquier daño interno del resorte de tracción o espiral. Al interior se observó la presencia de algunas manchas en piezas de latón que presentan movimiento y óxido en algunas piezas de sujeción como tornillos.

Las piezas fueron desmontadas y limpiadas con un cepillo con cerdas de latón para remover la capa fina de óxido, las otras piezas fueron desmontadas limpiadas con alcohol absoluto a una pureza del 99.70% de manera que pudieran ser removida la presencia de humedad en las piezas y evitar que continuara la oxidación. Posterior a la limpieza de las piezas, verificación estructural y de funcionamiento de los resortes, se procedió al montaje en la carcasa, y finalmente se lubricó el mecanismo de pin tipo cremallera, engranes y palancas, con lo que se evita que el sistema se atasque al sobrepasar cargas mayores a 10.00kgf.

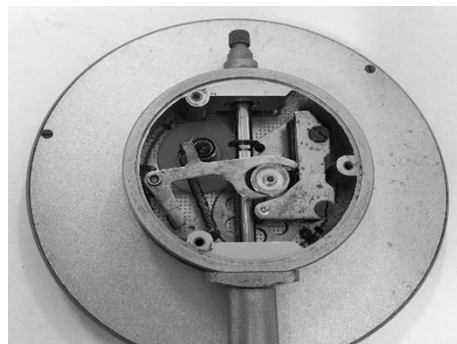


Figura 3. *Parte posterior del comparador de caratula, después del desmontaje, limpieza y lubricación de piezas.*

### C. Determinación de la carga inicial.

La carga inicial o precarga se midió utilizando una balanza con una capacidad máxima de 15.00 kg. La balanza se montó en una caja de madera hasta obtener el nivel deseado, y sobre la bandeja de acero inoxidable se puso una probeta de acero AISI-4340 con una masa de 0.030 kg, se colocó en cero el indicador en el valor de 0.00 kg.

Con la balanza montada sobre la caja y esta a su vez sobre la plataforma de trabajo del durómetro, se aplicó la carga inicial como se indica en el procedimiento. La hoja del procedimiento hace referencia que, al llegar a la marca roja de la aguja en el dial pequeño o el valor de la tercera línea, es efectiva en su totalidad la carga de 10.00 kgf.

Los resultados de las pruebas realizadas para verificar que la carga inicial fuera de 10.00 kgf y que estas fueran lo más constante posible o reproducible en las 5 diferentes pruebas de carga su próxima ajuste o calibración.

El intervalo de calibración para el durómetro es igual a 12 meses de uso con una desviación de 0.05516955 mm, una deriva de  $4.2640 \times 10^{-3}$  mm/mes de lo que resultó un intervalo de calibración igual a 23.4516 meses, tomando en consideración que se tiene dos semanas de pausa en diciembre, se tomara como intervalo de calibración cada 23.50 meses [2].

### D. Preparación de pieza de aluminio 6061-T6 (pulido con polvo de óxido de aluminio).

Para determinar carga adicional y medición de dureza Brinell se utilizó una pieza de aluminio pulida de manera que la variación por las irregularidades ocasionadas por el corte y el mecanizado en la pieza no afectara las medidas, aunque esto no es necesario [7].

TABLA I. PROPIEDADES QUÍMICAS.

Elementos en el Aluminio 6061-T6	Porcentaje
Aluminio, Al	95.8 – 98.6 %
Cromo, Cr	0.04 – 0.35 %
Cobre, Cu	0.15 – 0.40 %
Hierro, Fe	<= 0.70%
Magnesio, Mg	0.80 - 1.2 %
Manganeso, Mn	<= 0.15 %
Silicio, Si	0.40 - 0.80 %
Titanio, Ti	<= 0.15 %
Cinc, Zn	<= 0.25 %
Otros, cada uno	<= 0.05 %
Otros, total	<= 0.15 %

Porcentaje promedio de la pieza de aluminio [5].

El proceso de preparación de la probeta consistió en rectificar la pieza de aluminio de manera que no tuviera desnivel, y que quedara lo más uniforme desde el inicio. Se utilizaron 3 técnicas diferentes para seleccionar, con una rectificadora rotativa, con una

afiladora de herramientas y con un torno convencional, dando el mejor resultado el torno.

Posteriormente se utilizó un equipo de lijado LUNN MAJOR, con lijas de 220, 320, 600, 1000, 1500, 2000 y 3000 y realizando el lijado desde las lijas de menor numeración hasta la de mayor numeración, así como se muestra Figura 5. Después se utilizó un equipo ALLIED- DUALPREP 2, rotativo para dar el acabado final en el que se utilizó polvo abrasivo de óxido de aluminio de 5.00 y 1.00 micrómetros (90-130020 y 90-187190), en la Figura 5. Se muestra los resultados del pulido con el polvo abrasivo.

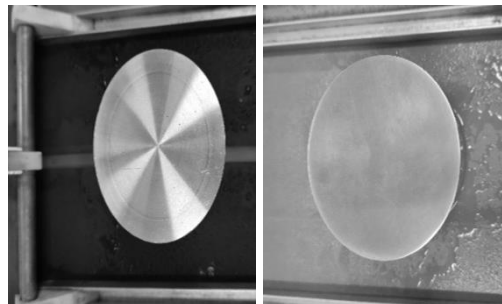


Figura 4. Proceso de lijado con lija de 220 (izquierda), proceso de lijado con lija de 3000 (derecha).



Figura 5. Proceso de pulido con polvo abrasivo de óxido de aluminio.



Figura 6. Pieza de aluminio 6061-T6 en E.E. (izquierda), pieza de aluminio lijada hasta lija 3000 y posteriormente con óxido de aluminio hasta 1 micrómetro (diámetro de la partícula - derecha).

### E. Verificación de dureza.

Con la pieza totalmente pulida y sin observar imperfecciones a con el ojo, se utilizaron los lentes de un durómetro para medir micro dureza SHIMADZU HMV-2, para observar la microestructura mostrada en la Figura 7. Apreciando inclusiones en el material aun pulido. Con esto en mente se procedió a realizar una cuadrícula de 3X3 mm en toda la pieza de manera que

se pudiera delimitar el espacio a indentar con la bola de 2.50 mm, obteniendo 442 puntos de indentación aproximadamente, así como se muestra en Figura 8. Esto para marcar cada huella en los espacios delimitados, de manera que cada una no interfiera con las de su alrededor, evitando así aumentos de dureza por compresión de la periferia.

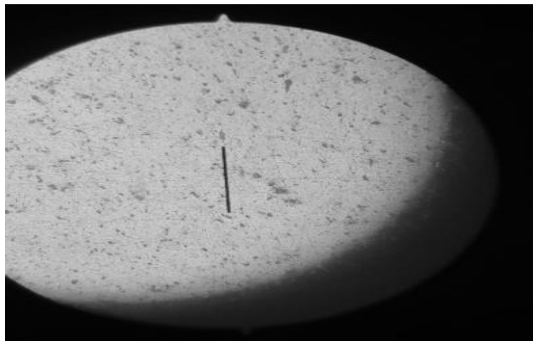


Figura 7. Análisis de la pieza de aluminio pulida en un aumento de 500X, mostrando granos elongados de aluminio (manchas negras son inclusiones de Mg<sub>2</sub>Si) [8].

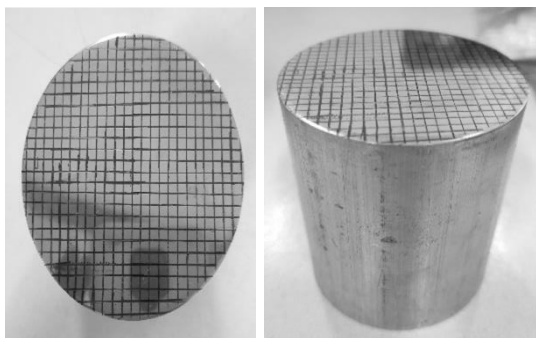


Figura 8. Vista superior - Pieza de aluminio marcada con cuadrícula de 3X3 mm, para realizar indentaciones en el interior de cada cuadro.

Con la pieza de aluminio pulida y marcada, se montó con los accesorios necesarios para el desarrollo de los ensayos de manera que se colocó el indentador y la pesas en el porta pesas en la parte posterior (pesas marcadas con el número 0, 2 y 5), luego se debe asentar el indentador utilizando una probeta del mismo material y realizar al menos tres pruebas con el procedimiento completo de un ensayo de dureza (no es necesario medir el diámetro de las huellas resultantes), al finalizar el procedimiento anterior se coloca la pieza pulida en la plataforma de trabajo así como se muestra en la Figura 9. Utilizando el proceso designado por la ASTM para medición de dureza Brinell [1], se inició la marcación de cada huella.



Figura 9. Pieza de aluminio pulida y marcada, previa a realizar las indentaciones.

Con toda las indentaciones hechas en el interior de cada uno de los cuadros delimitados, procedemos a medir el diámetro de cada una de las huellas haciendo uso de un microscopio digital y la escala que lo acompaña. Obtenido el valor de la huella o el diámetro de esta, se realiza el cálculo para el valor de dureza utilizando la ecuación mostrada en la Figura 10. O se hace uso de una tabla estandarizada para el diámetro de la bola (2.50 mm) y la carga total utilizada (62.50 kgf), en la cual se determinó el diámetro de la huella y nos da el valor de dureza Brinell de manera directa, así como se muestra en la Figura 9.

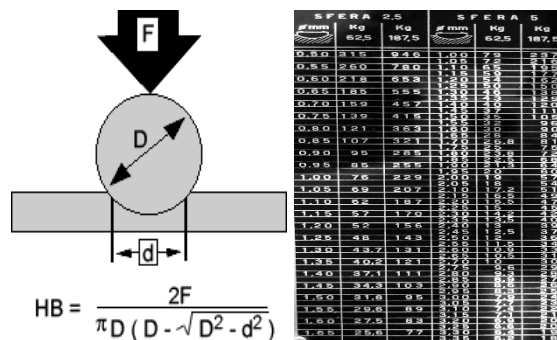


Figura 10. Fórmula para el cálculo de dureza Brinell, para diferentes cargas y diámetros de bola (izquierda), Tabla estandarizada para bolas de 2.50 y 5.00 mm, utilizando cargas de 62.50 y 187.50 kgf (derecha).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente grafica se aprecia la distribución de los 442 datos de indentación medidos en toda la pieza de aluminio, de los cuales no fueron afectados entre ellos marcaciones alrededor, ya que no se presentaron ningún tipo de dato anómalo con una dureza excesiva o que sobrepasara los valores esperados, obteniendo un valor promedio de 97.512 HB, resultando en un error de 2.644% con relación al promedio obtenido de datos técnicos del material [4,5].

En la figura 11 se muestra la distribución normal de las muestras y la comparativa de donde se presentaron la mayoría de los datos (acumulado), mostrando la densidad de datos más grande es encuentra en 94.95 HB, con un leve desplazamiento así la izquierda con relación al centro de la campana.

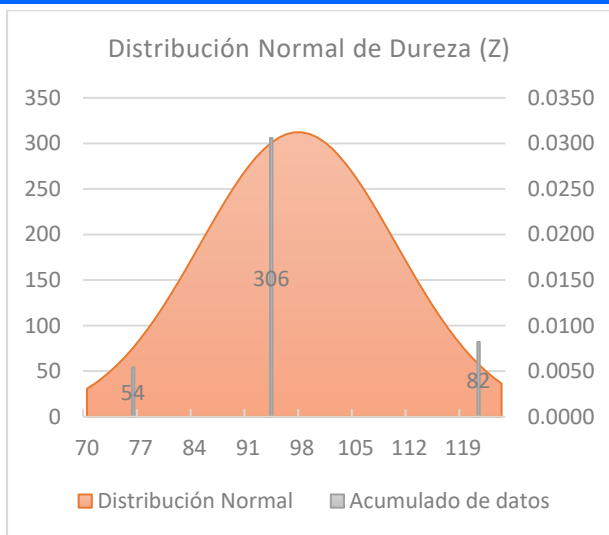


Figura 11. Se muestra la distribución de los datos de dureza obtenidos (442 indentaciones realizadas en la pieza de aluminio 6061-T6).

Mientras que en la figura 12, se logra apreciar el rango de durezas en los primeros 40 datos, mostrando una confiabilidad en los datos medidos de 72.5%, tomando como base al valor promedio [4,5].

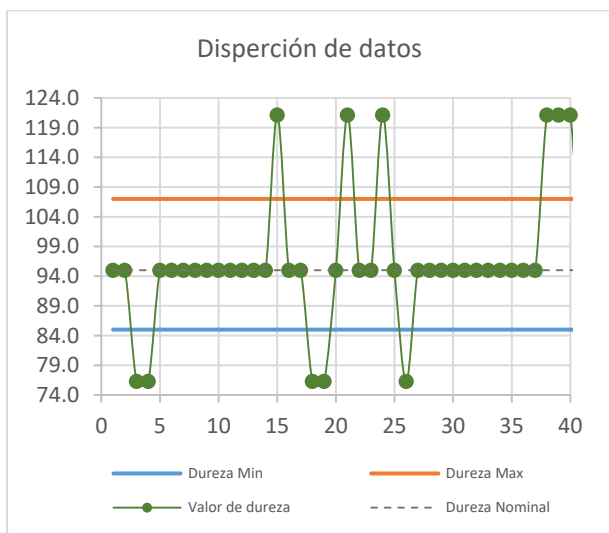


Figura 12. Dispersión de datos de dureza entre los valores máximos y mínimos.

En la figura 13, se realizó un mapa de calor basado en los valores de dureza obtenidos mostrando en verde todo valor que estuviera por debajo del 95.00 HB, en amarillo todo valor que estuviera muy cercano o fuera exactamente 95.00 HB y en rojo todos los valores que fueran mayores, mostrando mayor cantidad de valores en rojo en el centro o cerca del centro y valores en verde cerca de las orillas de la pieza.

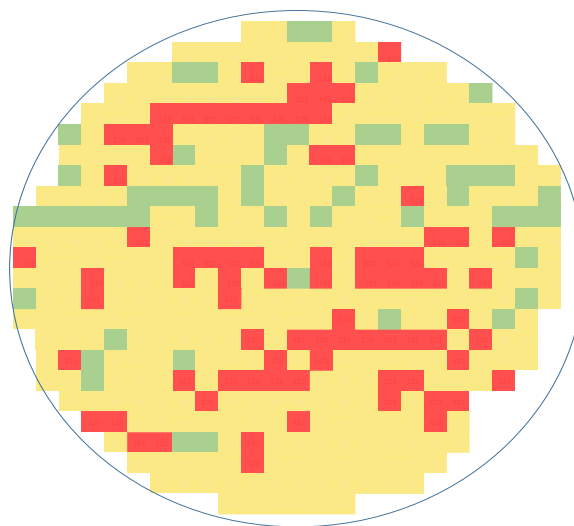


Figura 13. Distribución de las indentaciones realizadas en la pieza de aluminio 6061-T6 donde el color verde indica 76.30 HB, el color amarillo 95.00 HB y el color rojo 121.10 HB.

#### IV. CONCLUSIONES

El ajuste realizado al inicio de la investigación corrige las variaciones de mediciones que se habían presentado anteriormente, disminuyendo notablemente la variación en los valores de dureza, luego de ser lubricadas todas las piezas que realizaban un movimiento, como las presentes en el comparador de caratula para aplicar carga y medición de dureza Rockwell B y C, los porta bolas de acero utilizados internamente y externamente se encontraba llenos de óxido, que durante mucho tiempo no había sido removido afectando la correcta colocación de la bola de acero con el soporte, también considerar el intervalo de calibración determinado en 23.50 meses para evitar errores en mediciones posteriores.

Después de realizar el ajuste general del durómetro, se tomaron huellas en función del procedimiento general del durómetro, obteniendo una notable mejoría con los datos obtenidos, primero siendo más constantes y cercanos a los valores de tablas, el proceso de lijado y pulido, homogenizaron más los resultados, ya se esperaba que cuanto más cercano al centro de la pieza el valor de dureza aumentara y más cerca de los extremo exteriores los valores disminuyeran, ya que como se observa en la figura 13, se tiene valores dispersos y no focalizados en áreas específicas.

Finalmente, los valores obtenidos muestran una homogenización de la dureza y valores constante, a pesar que no fuera completamente como nos explica la teoría que en el centro se encuentra la región con mayor dureza y en las orillas del material menor dureza, además de mostrar poca dispersión de datos, mostrando que el mantenimiento, ajuste y calibración del durómetro resultó como se esperaba disminuyendo la variación de los datos, de igual forma se debe utilizar una escala para la medición de las huellas con una mejor exactitud entre 0.05 a 0.01 mm.

## REFERENCIAS

[1] ASTM INTERNACIONAL. (1 de julio de 2019). A370 – 20: Métodos de prueba estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero. 18 - 30. Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos. Recuperado el abril de 2021

[2] Benjamín Soriano, V. A. (25 - 27 de octubre de 2004). DETERMINACIÓN DE INTERVALOS DE CALIBRACIÓN. 6. Recuperado el Julio de 2021

[3] Donald R. Askeland, P. P. (2004). Ciencia e ingeniería de los materiales (7ma. ed.). (I. Thomson, Ed.) Estados Unidos. Recuperado el junio de 2021

[4] Inc, e. (s.f.). eFunda. (e. Inc, Editor) Recuperado el 23 de 06 de 2021, de eFunda: [https://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show\\_aluminum.cfm?ID=AA\\_6061&show\\_prop=hard&Page\\_Title=Aluminum%20Alloy%20AA%206061](https://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_6061&show_prop=hard&Page_Title=Aluminum%20Alloy%20AA%206061)

[5] Matweb. (- de - de -). Matweb. Recuperado el 20 de mayo de 2021, de Matweb: [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=1b8c06d0ca7c456694c7777d9e10be5b](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1b8c06d0ca7c456694c7777d9e10be5b)

[6] Murillo, D., Ávila, K., & Narváez, C. A. (julio-diciembre de 2009). Simulación del ensayo de dureza Brinell para la aleación de aluminio. *Prospectiva*, 7(2), 75-81. Recuperado el julio-diciembre de 2021

[7] Stüdemann, H. (1968). Ensayo de materiales y control de defectos en la industria de metal. En H. Stüdemann, Ensayo de materiales y control de defectos en la industria de metal (L. C. Zaluskowski, Trad., págs. 110-119). Bilbao, España: URMO. Recuperado el abril de 2021

Voort, G. F. (2004). Metallography And Microstructures (Vol. 9). (G. F. Voort, Ed.) Estados Unidos: ASM International. Recuperado el 15 de junio de 2021