



**Instituto Politécnico Nacional**

**Centro de Estudios Científicos y  
Tecnológicos 7 “Cuauhtémoc”**



**Unidad de aprendizaje: Ensayos Destructivos en  
Soldadura**

**Ensayo de Dureza Brinell y Rockwell**

**Profesor Titular: Bernache González César**

**Profesor Auxiliar: Neri Vega Jesús Gerardo**

**Alumnos (Equipo 01):**

**Alvarado Guzmán Erick**

**Esquivel Maldonado Oswaldo Josafat**

**González Cabrera Carlos Uriel**

**Tellez Salgado Eliud**

**Varela Ramírez Ángel Aarón**

**Grupo 4IVA**

**Ciclo Escolar 2024-1**

**Fecha de entrega: 18/06/24**

## Índice

<b>1</b>	Introducción.....	<b>3</b>
<b>2</b>	Objetivo de la práctica.....	<b>5</b>
	<b>2.1</b> Cálculos previos.....	<b>5</b>
<b>3</b>	Introducción Teórica.....	<b>7</b>
<b>4</b>	Descripción de herramientas, materiales y equipo.....	<b>11</b>
	<b>4.1</b> Materiales.....	<b>11</b>
	<b>4.2</b> Equipo .....	<b>13</b>
	<b>4.3</b> Herramientas .....	<b>17</b>
	<b>4.4</b> Accesorios... ..	<b>18</b>
<b>5</b>	Desarrollo de la práctica.....	<b>21</b>
	<b>5.1</b> Ensayo de dureza Rockwell HRC.....	<b>21</b>
	<b>5.1</b> Ensayo de dureza Rockwell HR30T.....	<b>21</b>
	<b>5.1</b> Ensayo de dureza Brinell HB.....	<b>21</b>
<b>6</b>	Observaciones generales.....	<b>31</b>
<b>7</b>	Conclusiones generales.....	<b>33</b>
<b>8</b>	Bibliografía y Cibergrafía.....	<b>35</b>

## Introducción

En este reporte de práctica relacionado con la dureza que viene siendo una propiedad que poseen todos los materiales y que se puede realizar de manera sencilla ya que el dispositivo que se utiliza para estos ensayos son fáciles de manejar y son transportables fácilmente, también con los valores que nos entregue este ensayo se puede usar para hacer una estimación de la resistencia a la tracción, se hará varios ensayos de penetración de dureza con los tres métodos propuestos para estos que viene siendo el método Brinell, método Vickers y el método Rockwell, aunque haya ensayo de dureza por rayado con sus respectivos métodos no se tomaran en cuenta para este ensayo.

Así mismo el objetivo de estas prácticas múltiples es comprobar la resistencia de los materiales solidos utilizados en el ensayo de dureza donde se verá su alta o baja dureza al ser penetrados con los distintos métodos ya mencionados, a pesar de que sean métodos diferentes se comprobara la semejanza que tienen sus resultados a la hora de llegar a un análisis de resultado de los mismos, se explicara también más a detalle lo que consiste cada uno de los métodos y en que se diferencian entre si ya que al ser distintos uno pensaría que el resultado podría variar mucho, pero que en realidad si todo va como lo establecido deberían de al menos tener variaciones ligeras, pero sus accesorios que se utilizan si son diversos y variados, sin mencionar que la máquina que se va utilizar será digital por lo que su calibración sería distinta, incluso en uno de los métodos no necesita una calibración como tal y se requiere fórmulas para poder obtener el resultado deseado.

Se hablará también del proceso y configuración que requiere cada método con la maquina digital y se hablara más a detalle de los accesorios requeridos para estos ensayos, ya que como se mencionó son diversos y variados para cada uno de ellos, incluso se hablara también de las herramientas que se nos proporcionó, sobre todo una en concreto que nos ayudó para medir la huella.

Se espera que con este ensayo se compruebe la diferencia de dureza entre los distintos materiales que hay y las semejanzas que comparten entre sí, diferencias como que tan duro puede llegar a ser un material y que pasa si un material no es tan duro que le puede llegar a ocurrir, se espera reforzar el conocimiento que se tiene y la perspectiva de la propiedad dureza de una manera más visual que teórica para poder comprender la importancia que tiene la dureza de ciertos materiales y

como estos incluso influyen en la vida diaria como en las construcciones y por qué se utiliza ciertos materiales para puentes, edificios, casas, techos, soportes, autopistas, etc.

Aunque como sucedió en ensayos pasados evidentemente van a ver errores con respecto al ensayo y no tendremos exactamente los resultados esperados por no seguir los lineamientos requeridos para el mismo, pero sin embargo se va lograr un aprendizaje como sucedió con otros ensayos de diferentes ámbitos, solo es cuestión de aprender de los errores y seguir estudiando y reforzando los conocimientos ya previos porque la única manera de aprender es con los errores.

## Objetivo de la práctica

El objetivo de esta práctica es el de poder analizar la dureza de distintos materiales ya sea de manera normal o una vez que estos ya hayan sido templados.

Durante la práctica se harán varios ensayos con los durometros y con materiales variados. Esto se va a realizar empleando tres escalas de dureza las cuales son las siguientes: Rockwell-C, Brinell y por ultimo, Vickers.

Mientras estos ensayos se llevan a cabo, se verá cómo es que los materiales puestos a templar previamente, van a ser mas duros que los que no se templaron mediante el uso de penetradores con acero templado y diamante, el primero para objetos menos duros y el Segundo para materiales con una gran dureza.

Una vez que el penetrador deje la huella en la pieza, nos arrojará algunos datos como lo son: La velocidad que llevaba el penetrador durante el ensayo, la dureza de la pieza utilizada y el tiempo que demoró todo este proceso.

### Cálculos Previos

Para estos ensayos no es necesario contar con una base de cálculos previos. Sin embargo, para ensayos de dureza Brinell se debe contar con las siguientes fórmulas.

#### Dureza Brinell (kgf/mm<sup>2</sup>)

$$HB = \frac{2p}{\pi D [D\sqrt{D^2 - d^2}]}$$

Donde:

HB = Dureza brinell (kgf/mm<sup>2</sup>)

p = Carga (kgf)

D = Diámetro del penetrador (mm)

d = Diámetro de la huella (mm)

Despejando p:

$$P = \frac{HB\pi D [D\sqrt{D^2 - d^2}]}{2}$$

**Ley de Petrenko**

$$T = (K) (DB) + C$$

Donde

T = Resistencia a la tensión o esfuerzo en el punto máximo (kgf/mm<sup>2</sup>)

K = Constante (adimensional)

DB = Dureza Brinell (kgf/mm<sup>2</sup>)

C = Constante (adimensional)

Valores de constantes para diferentes metales

<b>Material</b>	<b>K</b>	<b>C</b>
Aceros al carbón	0.346	0
Aceros Aleados	0.340	0
Aluminio	0.370	0
Latón	0.400	0
Cobre	0.550	0
Fundiciones de hierro	0.200	-13

## Introducción teórica

### ¿Qué es un ensayo de dureza?

El ensayo de dureza es una prueba que mide la resistencia de un material a la deformación permanente (plástica) bajo una carga aplicada. Este ensayo se utiliza tanto en materiales sin soldadura como en zonas soldadas para evaluar la calidad y las propiedades del material

**La carga, el tiempo de actuación y el diámetro del penetrador varían en función del espesor de la muestra y de la dureza de la sustancia** que se pretende analizar

### Propiedades que se evalúan en un ensayo de dureza

- ❖ Resistencia a la Deformación: La dureza está directamente relacionada con la resistencia del material a la deformación plástica. Un material más duro ofrece mayor resistencia a la deformación permanente bajo una carga aplicada.
- ❖ Resistencia al Desgaste: Materiales con mayor dureza suelen tener una mejor resistencia al desgaste, ya que la dureza proporciona una indicación de la capacidad del material para resistir la abrasión y la fricción.
- ❖ Tenacidad: Aunque la dureza no mide directamente la tenacidad, los resultados del ensayo pueden dar pistas sobre la ductilidad del material. Materiales extremadamente duros pueden ser frágiles, mientras que aquellos con dureza moderada pueden mostrar una buena combinación de dureza y ductilidad.
- ❖ Homogeneidad del Material: Mediante la realización de múltiples pruebas en diferentes puntos del material, se puede evaluar la uniformidad de las propiedades mecánicas en toda la pieza. La variación significativa en los valores de dureza puede indicar problemas como segregación o tratamientos térmicos desiguales.
- ❖ Efectos de Tratamientos Térmicos y Procesos de Manufactura: Los ensayos de dureza pueden revelar cambios en las propiedades del material debido a procesos de tratamiento térmico, como endurecimiento superficial, temple y revenido. También pueden mostrar la influencia de procesos de manufactura como la soldadura, el forjado o el laminado.
- ❖ Identificación de Microestructuras: La dureza puede estar correlacionada con la microestructura del material. Por ejemplo, diferentes fases en una aleación (como martensita, austenita, perlita, etc.) tienen durezas características que pueden ayudar en la identificación de la microestructura presente.
- ❖ Comparación de Materiales y Procesos: Los ensayos de dureza permiten comparar diferentes materiales o los efectos de diferentes procesos de manufactura y tratamiento sobre la misma base de referencia. Esto es útil en la selección de materiales y procesos para aplicaciones específicas.

## Métodos Comunes de Ensayo de Dureza

Para realizar un ensayo de dureza en soldadura, se utilizan varios métodos, cada uno con sus propias características y aplicaciones. Algunos de estos son:

### Ensayo Brinell

En un ensayo Brinell, la estimación de la dureza tiene lugar mediante el proceso conocido como indentación. Consiste en aplicar un objeto (indentador o penetrador) con una determinada carga sobre la superficie del material a estudiar. Posteriormente, se mide la profundidad de la huella generada con una lupa microscópica. Todo ello se realiza con una máquina calibrada llamada durómetro.

**Aplicaciones:** Uso en soldaduras en materiales ferrosos y no ferrosos.

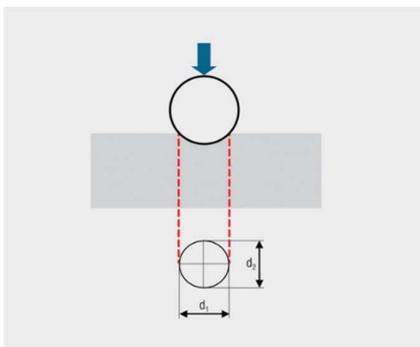
#### Penetradores.

- Esferas metálicas
- Tamaños del penetrador: 1, 2,5, 5 y 10 mm

#### Ensayos de dureza brinell y normas

Actualmente, la normativa internacional que regula la planificación y puesta en práctica de este tipo de pruebas para los metales es el estándar ISO 6506, conocido comúnmente como norma Brinell y compuesto de cuatro partes:

- ISO 6506-1: Método de la prueba.
- ISO 6506-2: Verificación y calibración de las máquinas de pruebas.
- ISO 6506-3: Calibración de los bloques de referencia.
- ISO 6506-4: Tablas de valores de dureza.
- NOM-B-116-1988. Para Dureza Brinell.



## Ensayo Rockwell

El ensayo de dureza Rockwell consiste en una **prueba no destructiva que se realiza sobre muestras cuando es necesario determinar la dureza de un material**. Hugh M. Rockwell y Stanley P. Rockwell realizaron las primeras pruebas e inventaron las primeras máquinas en 1919. **La dureza que mide la escala Rockwell se refiere a la resistencia a la penetración de un material, generalmente metálico**. Los métodos de dureza de este método actualmente se especifican en la norma ASTM E-18, cuyo conocimiento es

**Aplicaciones:** Uso en soldaduras en acero y otros metales duros.

### Penetradores

El ensayo de dureza Rockwell utiliza 1 de los 5 penetradores posibles:

- Punta de diamante
- Bola de tungsteno de 1/16", 1/8", 1/4" o 1/2"

### Ensayos de dureza Rockwell y ASTM normas

La dureza se define como la resistencia de un material a la indentación permanente. Los métodos actuales de prueba de dureza Rockwell se especifican en la norma ASTM E-18 y cualquier persona que desee realizar una prueba de dureza Rockwell debe seguir con los estándares de prueba según las normas. Los estándares de la industria más comunes que se cumplen cuando se usa el método Rockwell son:

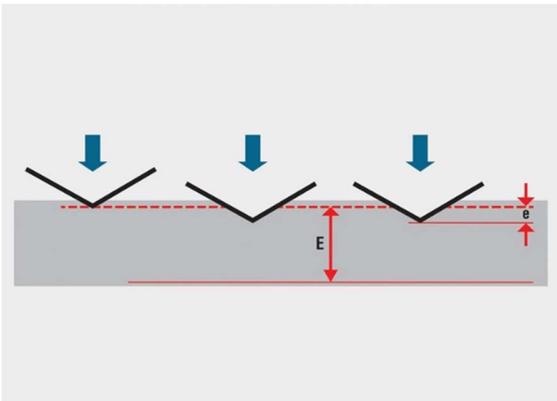
- ASTM E18 para metales
- ISO 6508 para metales
- ASTM D785 para plásticos
- ISO 2039 para plásticos
- NOM-B-119-1988. Para Dureza Rockwell.

**Sub-escalas de dureza rockwell**

Scale	Indentor	Load Kgs	Dial	Application
A	Diamond	60	Black	Carbides, Thin Steel, Shallow Case-hardened Steel, Case-carburized surfaces
B	1/16" Ball	100	Red	Aluminium Alloys, Copper Alloys, unhardened steel etc in rolled drawn, extruded or cast metal
C	Diamond	150	Black	Hard Cast Irons, Pearlitic Malleable Iron, Steel, deep Case Hardened Steel, Titanium
D	Diamond	100	Black	Pearlitic Malleable Iron, Thin steel & Medium case-hardened steel
E	1/8" Ball	100	Red	Cast Iron, aluminium and magnesium alloys, bearing metal
F	1/16" Ball	60	Red	Thin soft sheet metals, annealed copper alloys
G	1/16" Ball	150	Red	Copper-nickel-zinc and Cupro-nickel alloys, malleable irons
H	1/8" Ball	60	Red	Lead, zinc, aluminium, magnesium alloys
K	1/8" Ball	150	Red	Bearing metals, very soft or thin materials
L	1/4" Ball	60	Red	Plastic materials: bakelite, vulcanised fibre
M	1/4" Ball	100	Red	Nylon, Polystyrene, Flexiglass
P	1/4" Ball	150	Red	
R	1/2" Ball	60	Red	Rigid sheet and plate materials used for electrical insulation are tested by M & L Scales
S	1/2" Ball	100	Red	When the "spring constant" or correlation factor is included in the test procedure, only R Scale is used
V	1/2" Ball	150	Red	

## Ensayo Vickers

El ensayo de dureza Vickers es un método desarrollado en 1924 por Smith y Sandland en Vickers como alternativa al test Brinell o al ensayo de dureza Rockwell **para medir la dureza de los materiales**. El ensayo Vickers suele ser más sencillo de utilizar que otros ensayos de dureza, ya que los cálculos necesarios son independientes del tamaño del indentador y éste puede utilizarse para analizar una **amplia gama de materiales**, independientemente de su dureza.



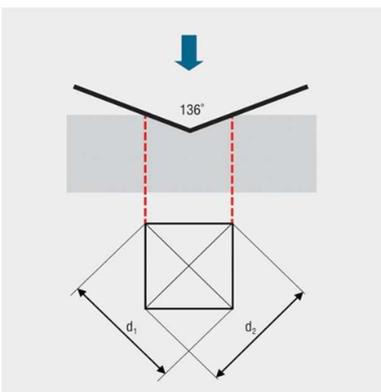
**Aplicaciones:** Uso en soldaduras en metales duros y para mediciones de microdureza en pequeñas zonas de la soldadura.

### Penetradores.

- Su penetrador es una pirámide de diamante con un ángulo base de  $136^\circ$

### Ensayos de dureza brinell y normas.

- ASTM E384
- ISO 6507
- JIS Z 2244.
- NOM-B-118-1988. Para Dureza Vickers.



## Ensayo Knoop

La prueba de dureza Knoop es similar a Vickers, pero utiliza un indentador de forma diferente. El indentador Knoop es más alargado y de forma rectangular. También se empuja hacia la superficie de una muestra para producir una muesca que luego se puede medir. A diferencia del método Vickers, Knoop usa solo el eje largo cuando calcula la muesca como indicador de dureza.

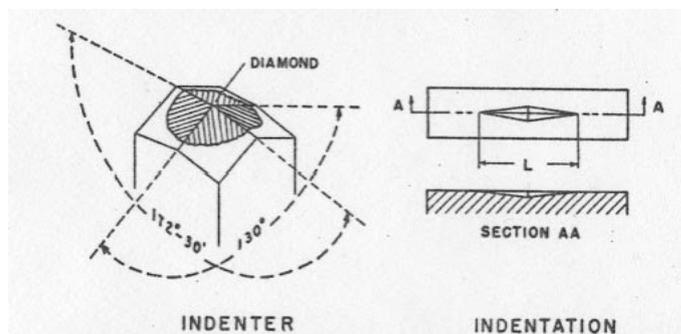
El método Knoop a menudo se usa con cargas más ligeras y la forma de la sonda significa que es adecuado para muestras que necesitan muescas juntas o en el borde de una muestra. También puede ofrecer mayores niveles de precisión que el método Vickers, debido a que la diagonal longitudinal del penetrador es mayor. Dicho esto, es necesaria una preparación cuidadosa de la muestra para garantizar que los resultados sigan siendo precisos.

**Aplicaciones:** Uso en soldaduras con recubrimientos o en capas superficiales.

### Penetradores.

Los penetradores para pruebas de dureza Knoop están diseñados de manera específica para crear indentaciones en el material de ensayo que sean fácilmente medibles y que proporcionen información precisa sobre la dureza del material. Estos penetradores son generalmente de diamante, debido a su extrema dureza y resistencia al desgaste, lo que garantiza que mantengan su forma precisa durante numerosas pruebas.

La forma del penetrador Knoop es la de una pirámide asimétrica con una base romboidal. Los ángulos de las caras de esta pirámide son críticos para la precisión de la prueba: un ángulo largo de aproximadamente 172.5 grados y un ángulo corto de aproximadamente 130 grados. Esta geometría permite que la longitud de la impresión (diagonal mayor) sea aproximadamente 7 veces mayor que la anchura (diagonal menor). Esta forma específica permite obtener medidas precisas y reproducibles, especialmente útiles para materiales frágiles o capas delgadas.

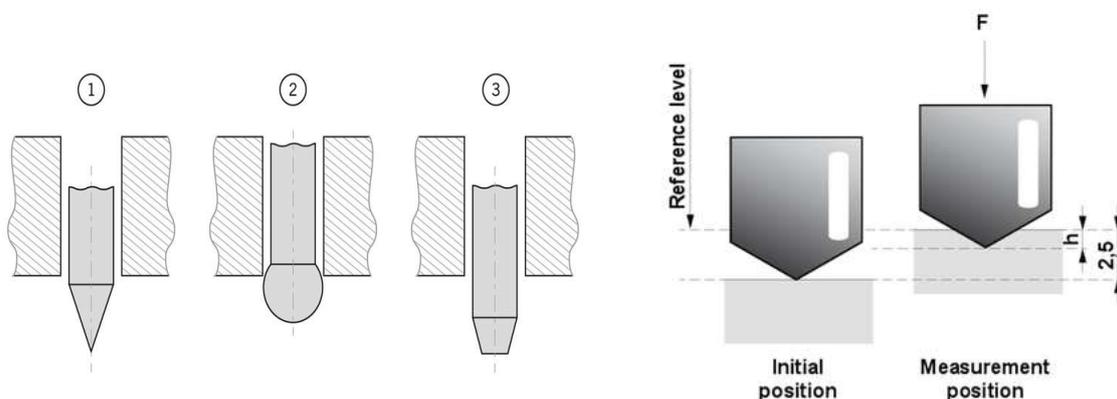


## Normas y estándares

- ISO 4545-1:2017 - Materiales metálicos - Ensayo de dureza Knoop - Parte 1: Método de ensayo.
- ISO 4545-2:2017 - Materiales metálicos - Ensayo de dureza Knoop - Parte 2: Método de verificación y calibración de máquinas de ensayo.
- ISO 4545-3:2017 - Materiales metálicos - Ensayo de dureza Knoop - Parte 3: Método de calibración de bloques patrón de dureza.
- ASTM E384 - Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.
- ASTM E92 - Standard Test Method for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E140 - Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness.
- JIS Z 2251 - Japanese Industrial Standard for Vickers and Knoop hardness testing.
- DIN 50359 - Testing of metallic materials - Knoop hardness test - Test method (equivalente a ISO 4545).

## Ensayo de shore:

La dureza Shore, que lleva el nombre de su inventor, Albert Ferdinand Shore, es un ensayo de dureza de materiales que mide la resistencia a la indentación. Se trata de una prueba estandarizada y utilizada en la industria para medir la dureza de un material mediante la profundidad de penetración cuando el material es tan blando que no se puede utilizar los ensayos de dureza Rockwell. En este sentido, los métodos de prueba ASTM D2240 e ISO 868, con lecturas de dureza que van entre 0 y 100, son los que más se utilizan.



El penetrador utilizado en las pruebas de dureza Shore está diseñado de manera específica para medir la dureza de materiales como caucho, elastómeros y plásticos. Hay varios tipos de escalas de dureza Shore (por ejemplo, Shore A, Shore D), y cada una utiliza un tipo de penetrador ligeramente diferente adaptado al rango de dureza que se desea medir.

### **Características del penetrador Shore A**

1. **Material:**
  - Generalmente, el penetrador es de acero, lo que garantiza su durabilidad y precisión en las mediciones.
2. **Forma:**
  - El penetrador de Shore A tiene la forma de un cono truncado con un extremo plano.
  - El diámetro del extremo plano es de 0.79 mm (0.031 pulgadas).
  - La base del cono tiene un diámetro de 1.25 mm.
  - La altura del cono truncado es de 2.5 mm.

### **Características del penetrador Shore D**

1. **Material:**
  - Al igual que el penetrador Shore A, está hecho generalmente de acero para asegurar la durabilidad y precisión.
2. **Forma:**
  - El penetrador de Shore D tiene la forma de un cono puntiagudo.
  - El ángulo del cono es de 30 grados.
  - La punta del cono tiene un radio de 0.1 mm.

### **Funcionamiento y uso**

- **Procedimiento de Indentación:**
  - En la prueba de dureza Shore, el penetrador se presiona contra la superficie del material bajo una carga especificada.
  - La carga aplicada es estándar: para Shore A es 1 kg y para Shore D es 5 kg.
  - La dureza se mide en una escala de 0 a 100, donde 0 indica que el penetrador ha penetrado completamente en el material y 100 indica que no ha habido penetración.
- **Equipamiento:**
  - El durómetro es el equipo utilizado para realizar estas pruebas. Contiene el penetrador y un mecanismo de carga estandarizado.
  - Incluye una escala para leer la dureza directamente, que es una medida de la resistencia del material a la penetración del penetrador bajo la carga especificada.

## Aplicaciones y Ventajas

El diseño del penetrador Shore permite medir de manera efectiva la dureza de materiales suaves y medianamente duros. La prueba es rápida y no destructiva, lo que la hace ideal para control de calidad en la fabricación de productos de caucho, elastómeros y plásticos. La simplicidad del diseño del penetrador y del procedimiento de prueba permite que se realicen mediciones repetibles y consistentes en una variedad de entornos industriales y de laboratorio.

## Consideraciones Adicionales:

Preparación de la muestra: Es crucial que la superficie de la soldadura esté bien pulida y libre de óxidos y contaminantes.

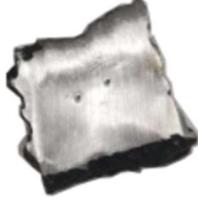
Selección del método: Depende del tipo de material, el tamaño de la zona soldada y el nivel de detalle requerido en la medición.

Normas y estándares.

- ISO 7619-1:2010 - Caucho, vulcanizado o termoplástico - Determinación de la dureza (dureza Shore).
- ISO 7619-2:2012 - Caucho, vulcanizado o termoplástico - Determinación de la dureza (dureza IRHD).
- ISO 868:2003 - Plásticos y ebonita - Determinación de la dureza por indentación con el durómetro (Shore dureza).
- ASTM D2240 - Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. Esta es la norma más comúnmente referenciada para medir la dureza Shore en elastómeros, plásticos y otros materiales.
- ASTM D1415 - Standard Test Method for Rubber Property—International Hardness.
- ASTM D2244 - Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates.
- DIN 53505 - Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD).
- JIS K 6253 - Japanese Industrial Standard for rubber hardness testing.

## Descripción de materiales y equipo

### Material

<p><b>Acero A36 de bajo carbono:</b> aleación de hierro y carbono que contiene cantidades pequeñas de otros elementos como manganeso, fósforo, azufre y silicio, y se le conoce como acero de bajo contenido de carbono, o dulce, el cual contiene una composición de carbono de entre 0.05 % y 0.25 %.</p>	
<p><b>Acero A36 de bajo carbono templado:</b> La misma composición de la probeta ya mencionada pero este fue sometido a un tratamiento térmico el cual consiste en calentar el material a altas temperaturas que sería el punto crítico <math>A_3</math>, y que después se enfrió rápidamente con agua o aceite.</p>	
<p><b>Tuerca</b> Poseen algunos componentes químicos como cromo, molibdeno y níquel</p>	
<p><b>Cilindro de Acero inoxidable 304L</b> contiene entre 16 y 24 por ciento de cromo y hasta 35 por ciento de níquel de bajo carbón. Con el fin de excluir la formación de carburos de cromo durante el enfriamiento en la región afectada por el calor de una soldadura.</p>	
<p><b>Aluminio 1008</b> 1008" proviene de su composición química; 0.08% a 1.2% de contenido de carbono por peso, significando que las aleaciones de 1008 son más del 99 % del material base.</p>	

**Solera de 1/8" de acero de bajo carbono con soldadura de un electrodo 6013.**

Unión a tope de dos soleras de acero dulce unidas con un cordón que es de un electrón cuya composición es de una barra de acero de uso general con un revestimiento butílico.



## Equipo

### Maquina electrónica de dureza universal Wizhard

La maquina se conforma por dos partes la pantalla de control para calibrar la maquina y nos indique la dureza del material, y el lugar donde se coloca la probeta para hacer el ensayo



Panel de control

Lugar de la probeta

### Panel de control



Al prender la maquina el inicio mostrara la escala, velocidad, y tiempo, para configurar estas características seleccionas el botón menú de la pantalla aquí es donde se ponen los parámetros para el ensayo y así calibrar la maquina; la escala Brinell o Rockwell. El tiempo antes de la carga, durante la carga, y pos carga. Y la velocidad alta, media, o baja. Una vez acabado de calibrar la maquina solo se presiona el símbolo de regreso y ya podremos empezar con el ensayo. Para que nos muestre la dureza del material.

## Lugar de la probeta

Antes de poner la probeta se coloca el penetrador en la parte superior y en la parte inferior la mesa para que la probeta este estable dependiendo de si es cilíndrica o plana.

Donde va colocado la mesa es el cilindro que se mueve así arriba y ejerce fuerza para que el penetrador deje marca en la probeta. La forma de que la maquina inicie el ensayo es con el penetrador ya puesto y la probeta colocada, entonces giramos el cilindro asta que la maquina produzca un pequeño pitido, ahí es cuando la maquina empieza ejercer fuerza a la probeta para dejarle una marca y medir la dureza o que la maquina nos diga la dureza del material.



## Herramientas

### Lupa de medición para Brinell

Este instrumento nos permite medir el diámetro de la huella que nos da el penetrador de balín de 10mm, esto con afín de poder sacar la dureza del material en brinell, este nos la medida del diámetro de la huella en micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) que es la décima parte de un milímetro.



## Accesorios

### Mesas para probetas planas y cilíndricas:

Estos se colocan en la cilíndrica de la máquina, su único propósito es darle estabilidad a las probetas al momento de realizar el ensayo.



### Penetradores:

La función de los penetradores es dejar una huella por la fuerza que ejerce la máquina de dureza y así saber que tan duro es un material, este se coloca magnéticamente y se ubicada en la parte superior donde se ubica el cilindro de la máquina que ejerce presión así el penetrador colocado.

El penetrador de Brinell cuenta con un balín de acero de 10mm y se aplica a cualquier material y carga.

Los penetradores para Rockwell son dos uno con punta de diamante y otro con punta de bola; para saber que penetrador se va usar, dependerá de la carga que se quiere obtener y el tipo de disco de patrón. Todo esto se sabe gracias a la tabla de diferentes escalas de dureza Rockwell.



### Discos de patrones de calibración:

Estos son usados en Rockwell, pero en Brinell no, su uso es el calibrar la máquina de dureza para un ensayo en Rockwell.

Hay distintos discos de patrón y cada uno tiene un acertado de una carga y tipo de penetrador a usar preestablecida, y aunque el valor nominal de dureza no corresponde exactamente al valor de calibración del disco observado cuanto la maquina se calibra por primera vez, este debe realizar distintas lecturas probando con distintos parámetros de la maquina hasta dar con una medida que el disco pide.



## Desarrollo de la práctica

### Dureza Rockwell HRC

Para dar inicio a este ensayo de dureza Rockwell fue necesario poner todo lo que necesitaba la máquina de dureza (durómetro) en primera instancia para así poder realizarlo de forma satisfactoria.

Los accesorios esenciales para el ensayo fueron los siguientes: El penetrador (pirámide de diamante de la cual no se sabían las medidas), tener una mesa la cual sea estable para que no haya perturbaciones en los resultados, un cable de alimentación eléctrica para conectarle al durómetro y que pueda funcionar, además de un patrón de calibración para dureza HRC.

Primero se conectó el durómetro con el cable de alimentación eléctrica para que prendiera, después de eso procedimos a configurar la máquina específicamente para hacer ensayos a escala HRC y se hizo la configuración para la pirámide de diamante.

Una vez seleccionada la escala y el penetrador se pusieron las mesas en el tornillo y el penetrador se pone en la parte superior de la ya mencionada.

Cuando ya se tenían los accesorios listos en la máquina se colocaron las piezas para comenzar con los ensayos. Cada una de las piezas fueron colocadas encima de la mesa dónde el penetrador aplicó una presión sobre el material dejando una huella sobre este.



En total se hicieron cinco ensayos con la escala HRC cuyos resultados se pueden ver en la tabla siguiente. De igual manera se ve reflejado el cómo se hicieron unos intentos por calibrar el durómetro los cuales fueron tres en los que la máquina no arrojó resultados correctos, pero al cuarto intento ya se calibró bien.



Cuando el tiempo de carga terminó, se retiró el material sometido a presión y se procedió a repetir el procedimiento con la siguiente pieza.

### Resultados obtenidos

Pieza	Tiempo	Velocidad	Dureza
Tuerca	20s, 20s, 20s	Alta	7.6
Acero A36 bajo carbono s/t	20s, 20s, 20s	Alta	-11.6
Acero A36 templado	20s, 20s, 20s	Alta	34.3
Acero Inoxidable 304L	20s, 20s, 20s	Alta	8.4
Aluminio	20s, 20s, 20s	Alta	-36.8

## Dureza Rockwell HR30T

Primero antes de empezar el ensayo se comprueba el estado de la maquina durómetro digital y procedemos a conectarla a la corriente eléctrica con su respectivo cable.

Después traemos todos los accesorios y materiales para el ensayo, en este caso se utilizarán cinco muestras donde en cada una se repetirá el mismo procedimiento que se debe de seguir a continuación.

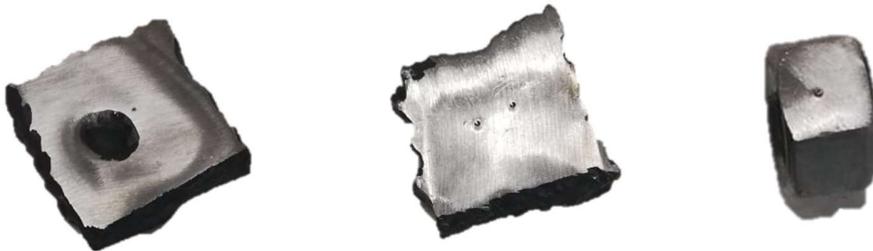
De acuerdo con ciertas especificaciones ya mencionadas con anterioridad procedemos a elegir la escala adecuada para cada material y seleccionamos también el penetrador que se va a utilizar, en este caso es uno de bola templada.

Procedemos a calibrar, la encendemos ya previamente y empezamos a configurar sus parámetros correspondientes como el tiempo y la escala. Esto se hace porque previamente teníamos un rango teórico calculado a partir de un patrón de calibración, en el que tendría que estar la máquina para poder realizar el ensayo en los tres materiales que se usaron, de igual forma para realizar la calibración correspondiente no debe de haber algo en el plato de la máquina.



Calibración con patrón HR30T

Ya una vez con la maquina calibrada se procedió a colocar los materiales en el plato para poder iniciar con el ensayo y tener los valores correspondientes a su dureza.



Superficies ensayadas. Acero A36 Templado (izquierda). Acero A36 sin templar (centro). Tuerca (derecha)



Superficies ensayadas. Tubo de acero inoxidable 304L

Acabando de hacer el ensayo se registró los datos de tiempo calibrado en la máquina, velocidad de ensayo y dureza para cada superficie, y se repitió ya lo antes mencionado con los otros materiales respectivamente.

Acabando de realizar el ensayo en las muestras que se utilizaron, se recogen todos los accesorios y se apaga la máquina, se desconecta y guarda el cable junto con los demás accesorios que se habían utilizado para el ensayo en su lugar correspondiente dentro del laboratorio.

### Resultados obtenidos

Pieza	Tiempo	Velocidad	Dureza HR30T
Tuerca	10s, 10s, 10s	Media	71.6
Acero A36	10s, 10s, 10s	Media	53.9
A36 Templado	10s, 10s, 10s	Media	85.1
Inoxidable 304L	10s, 10s, 10s	Media	68.8
Aluminio	10s, 10s, 10s	Media	47.2

## Dureza Brinell HB

Para comenzar el ensayo de dureza Brinell, primero se trajo todos los accesorios necesarios: penetrador (bola 10mm), mesa, cable de alimentación eléctrica, un microscopio y una linterna LED.



Primero se conectó el durómetro a la corriente eléctrica. Seguido de esto se configuró el ensayo para ser con la escala Brinell HB y se escogió la configuración del penetrador de bola con HB 10/100 10mm.

Tras tener la escala seleccionada, se colocaron las mesas en el tornillo y el penetrador en la parte superior de este. Una vez colocados los accesorios, se colocaron las probetas en su sitio para ser ensayadas.

La primera probeta se colocó encima de la mesa. Después, el penetrador mediante una carga de presión en la superficie dejó una huella.



Cuando el tiempo de carga término, se retiró la probeta del plato y se examinó la medida de la huella mediante el microscopio y la linterna. Cabe destacar que se utilizó un marcador de tinta para facilitar la identificación de la huella en el microscopio.

Al finalizar la medición de la huella, se ingresaron los datos en el durómetro, siendo que el D1 es el diámetro del penetrador (10mm) y el d2 es el diámetro de la huella.



Este procedimiento se repitió para cada probeta medida en el durómetro.



**Resultados obtenidos**

Material	Diámetro del Penetrador (mm)	Diámetro de la Huella (mm)	Dureza Brinell (HB)
Acero A36	10	1.1	3.8
Acero A36 Templado	10	0.7	4.1
Aluminio	10	1.2	3.7
Tuerca	10	1.0	3.9
Latón Endurecido	10	1.5	3.5
Solera con soldadura (material base)	10	1.5	3.5
Solera con soldadura (HAZ)	10	0.8	4.0

**Comprobaciones**

Acero A36

$$P = \frac{(3.8)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.1mm)^2}]}{2} = 6565.92kgf$$

$$HB = \frac{2(6565.92kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.1mm)^2}]} = 3.8kgf/mm^2$$

Acero A36 Templado

$$P = \frac{(4.1)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(0.7mm)^2}]}{2} = 4508.18kgf$$

$$HB = \frac{2(4508.18kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(0.7mm)^2}]} = 4.1kgf/mm^2$$

Aluminio

$$P = \frac{(3.7)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.2mm)^2}]}{2} = 6974.33kgf$$

$$HB = \frac{2(6974.33kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.2mm)^2}]} = 3.7kgf/mm^2$$

Tuerca

$$P = \frac{(3.9)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.0mm)^2}]}{2} = 6126.10kgf$$

$$HB = \frac{2(6126.10kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.0mm)^2}]} = 3.9kgf/mm^2$$

Latón Endurecido

$$P = \frac{(3.5)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.5mm)^2}]}{2} = 8246.68kgf$$

$$HB = \frac{2(8246.68kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.0mm)^2}]} = 3.5kgf/mm^2$$

Solera con soldadura (material base)

$$P = \frac{(3.5)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.5mm)^2}]}{2} = 8246.68kgf$$

$$HB = \frac{2(8246.68kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(1.5mm)^2}]} = 3.5kgf/mm^2$$

Solera con soldadura (HAZ)

$$P = \frac{(4.0)\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(0.8mm)^2}]}{2} = 5026.54kgf$$

$$HB = \frac{2(5026.54kgf)}{\pi(10mm)[(10mm)\sqrt{(10mm)^2(0.8mm)^2}]} = 4.0kgf/mm^2$$

## Relación Dureza Brinell y Tenacidad

### Ley de Petrenko

$$T = (K) (DB) + C$$

Material	K	C
Aceros	0.346	0
Aluminio	0.370	0
Cobre o Latón	0.400	0

### Acero A36

$$T = (0.346)(3.8) + 0 = 1.31kgf/mm^2$$

### Acero A36 Templado

$$T = (0.346)(4.1) + 0 = 1.14kgf/mm^2$$

### Aluminio

$$T = (0.370)(3.7) + 0 = 1.36kgf/mm^2$$

### Tuerca

$$T = (0.346)(3.9) + 0 = 1.34kgf/mm^2$$

### Latón endurecido

$$T = (0.400) (3.5) + 0 = 1.40kgf/mm^2$$

### Solera con soldadura (material base)

$$T = (0.346) (3.5) + 0 = 1.21kgf/mm^2$$

### Solera con soldadura (HAZ)

$$T = (0.346) (4.0) + 0 = 1.38kgf/mm^2$$

## Observaciones generales

Tómese énfasis en que para la dureza Brinell es necesario medir el diámetro en la huella marcada en la superficie de la probeta, utilizando el microscopio para dicha medición; por lo que es necesario tener una buena iluminación para resaltar las marcas. Sin embargo, en algunos casos no es posible la identificación de esta huella en superficies accidentadas, oxidadas o pintadas, por lo que es recomendable el pulido de la cara en la que se realizara el ensayo Brinell. En las probetas esto se realizó mediante discos de desbaste y lija con un esmeril de mano.

Es de consideración que la escala métrica presente en la lente del microscopio está acotada en décimas de milímetros, por lo que cada raya tiene una separación de 0.1mm entre una y otra.

Para la facilitación de la identificación de la huella en ciertas superficies fue necesario el uso de un marcador de tinta, mediante rayas en disposición de cruz "+" rodeando la huella, sin marcar sobre la misma.

Para el ensayo sobre la probeta con soldadura se tuvo que identificar la HAZ (Zona Afectada por el Calor). Se tomó en consideración la franja más cercana al cordón de soldadura que presentaba un cambio en el tono del color respecto al resto del metal. Como punto de referencia para una zona no afectada por el calor, se eligió al más lejano posible del cordón. Adicionalmente, para la correcta sujeción de la solera en el plato, se utilizó un contrapeso para evitar su desplazamiento.

Para la realización de los ensayos de dureza Rockwell HRC y HR30T fue necesaria la calibración previa de la máquina. Se consideró el rango marcado en cada patrón de calibración. Sin embargo, tras varios intentos con la subescala HR30T no se logró calibrar, por lo que fue necesario cambiar el patrón de calibración a otro con un rango diferente, el cual dio un resultado positivo a la calibración.

La máquina cuenta con salida para una impresora de registros, sin embargo, esta no contaba con los insumos de tinta suficientes, por lo que en la salida de los ensayos se configuro para ser de solo en pantalla.

## Conclusiones Generales

La dureza es una propiedad mecánica importante, puesto que nos permite identificar daños por calor, elaborar herramientas más duraderas o poder cortar o desbastar materiales de manera más sencilla.

Para poder medir la dureza es necesario comparar esta propiedad con la de otro material ya predeterminado, como un acero templado o una punta de diamante con formas establecidas.

Por las huellas dejadas por los distintos penetradores podemos concluir que:

- La escala Brinell puede aplicarse a una gran mayoría de perfiles, espesores y materiales, siendo como una escala universal que requiere una cara bien pulida.
- La sub-escala Rockwell HR30T puede aplicarse a perfiles delicados o espesores finos y materiales blandos, siendo que es una huella casi imperceptible.
- La sub-escala Rockwell HRC puede aplicarse a perfiles resistentes o espesores gruesos y materiales duros, siendo que es una huella profunda y grande.

Las diferentes escalas de dureza arrojan datos diferentes de dicha propiedad entre un mismo material, sin embargo, estos son proporcionales entre sí, siendo que el más duro de todos fue el acero templado. Con esto puede demostrarse que el temple es un tratamiento térmico que aumenta la resistencia a la penetración de un material, cambiando drásticamente su dureza.

Sin embargo, no solo el templado cambio las propiedades mecánicas del metal en la pieza. En la solera con soldadura se identificó que lejos del cordón, el metal era más blando que la muestra de acero A36, a pesar de ser el mismo material; pero, por otro lado, cerca del cordón de soldadura la dureza aumentó hasta casi el nivel de este mismo acero con un solo temple. Esto nos habla de que el calor del electrodo ha modificado la estructura cercana a él, endureciendo dicha zona afectando sus propiedades mecánicas. Podemos relacionar esto a que, si, por ejemplo, se hiciera un ensayo de doblado en dicha solera esta se fracturaría en vez de doblarse, puesto que al aumentar la dureza se logra disminuir su tenacidad y no se podrá deformar por tantos milímetros.

## Bibliografía y cibergrafía

Nash, W. (1995). *Resistencia de materiales (2.a ed.)*. McGraw-Hill INC.

Ortiz, L. (2007). *Resistencia de materiales. (3.a ed.)*. GAAP Editorial SL.

Velé, L. M. (2008). *Materiales industriales. Teoría y aplicaciones. (1.a ed.)*. Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM).

Acero inoxidable AISI 304L (Bajo carbón) - Integrinox Monterrey. (n.d.).  
<https://www.integrinox.com/tipos-de-acero/aisi304L>

Velé, L. M. (2008). *Materiales industriales. Teoría y aplicaciones. (1.a ed.)*. Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM).

Tema, G. (2023, 6 julio). *Aluminio 1008: Conozca Sus Propiedades y Usos - Jabrían. Jabrían.* <https://www.gabrian.com/es/aluminio-1008-conozca-suspropiedades-y-usos>

*Ensayo de Propiedades mecánicas de Materiales. (n.d.)*. INFINITIA Industrial Consulting. <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/>

educaplus.org. (n.d.). *Propiedades de los elementos. Dureza. Educaplus.org.*  
<https://www.educaplus.org/elementos-quimicos/propiedades/dureza-brinell.html>

Metalmecánica. (2023, April 13). *Medición en escalas de dureza Rockwell. Metalmecánica.* <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/medicion-en-escalas-de-dureza-rockwell>

*Ensayo de dureza Rockwell: ISO 6508, ASTM E18. (n.d.)*. Ensayo De Dureza Rockwell: ISO 6508, ASTM E18.  
<https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/normas-para-metales/ensayo-de-dureza-rockwell-iso-6508/>

Jesus. (2021, December 28). *Ensayo de dureza Brinell. TRATAMIENTOS TERMICOS BILTRA.* <https://www.biltra.com/tratamientos-termicos-ensayo-de-dureza-brinell/>