

MEDICIÓN DE LA DUREZA DE ACEROS EN HERRAMIENTAS MANUALES DE USO INDUSTRIAL

MEASUREMENT OF THE HARDNESS OF STEELS IN HAND TOOLS FOR INDUSTRIAL USE

Recibido: 13 de septiembre del 2021
Aceptado: 6 de noviembre 2021

E. Lugo Cornejo¹
M. G. Guerrero Porras²
B. Meza Arteaga³
E. Espino Ávila⁴

RESUMEN

La metalmecánica es el sector que comprende la maquinaria industrial y las herramientas que proveen a las demás industrias metálicas. De esta manera, el metal y las aleaciones de hierro son el insumo básico para la utilización de bienes en el proceso productivo. Por ende, constituye un eslabón fundamental dentro de la industria en la vinculación con distintos sectores al producir bienes de consumo durables y dividirse en diferentes ramas como herramientas y equipos en especial en el proceso de punzonado de metales, que los hace esenciales para la vida cotidiana.

En esta ocasión se llevó a cabo el análisis de herramientas manuales y las que son utilizadas en la cizalla punzonadora múltiple en el proceso de perforación para el ensamble y unión por soldadura de estructuras metálicas en una empresa local.

Para llegar a los resultados se presenta la forma en que se obtuvo la dureza de herramientas utilizadas en las operaciones de punzonado, a las cuales se les realizó el cambio estructural en aceros de apriete manual y punzones intercambiables, específicamente en aquellas que fueron manufacturadas en la planta, se realizaron las etapas pertinentes en el laboratorio de metrología, se aliviaron esfuerzos, se habilitaron las piezas en el proceso de maquinado y se volvieron a endurecer para mejorar sus propiedades mecánicas útiles en las actividades operativas.

PALABRAS CLAVE: Microestructura, propiedades mecánicas, herramientas, dureza.

ABSTRACT

Metalworking is the sector that includes industrial machinery and tools that provide other metal industries. In this way, metal and iron alloys are the basic input for the use of goods in the production process. Therefore, it constitutes a fundamental link within the industry in linking with different sectors by producing durable consumer goods and being divided into different branches such as tools and equipment, especially in the metal punching process, which makes them essential for daily life.

On this occasion, the analysis of manual tools and those used in the multiple punching shear in the drilling process for the assembly and welding of metal structures in a local company was carried out.

To reach the results, the way in which the hardness of tools used in punching operations was obtained is presented, to which the structural change was made in manual tightening steels and interchangeable punches, specifically in those that were manufactured in the plant, the pertinent steps were carried out in the metrology laboratory, efforts were relieved, the parts were enabled in the machining process and they were hardened again to improve their mechanical properties useful in operational activities.

KEY WORDS: Microstructure, mechanical properties, tools, hardness.

¹ Profesor del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles. efrain.lugo@tecvalles.mx

² Profesora del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles, guadalupe.guerrero@tecvalles.mx

³ Profesor del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles, belem.meza@tecvalles.mx

⁴ Estudiante del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles, 17690092@tecvalles.mx

INTRODUCCIÓN

El acero se compone de áreas cristalinas individuales, denominadas "granos". La estructura, el tamaño y la orientación de estos son el resultado de la composición del material (aleación) y el modo en que se ha formado (p. ej.: forjado, fundición o aditivos). La formación de los granos es a partir de material fundido que se solidifica e interactúa entre sí y con otros componentes. Por lo normal, la estructura del grano se adapta a la aplicación técnica. (Moore, 2002).

La microestructura del acero se puede evaluar con un microscopio (estereomicroscopio, microscopio óptico con luz reflejada, microscopio digital o de barrido y microscopio electrónico de transmisión). El tamaño de las características observadas oscila desde los milímetros a los micrómetros e incluso los nanómetros. Observar la microestructura es de gran utilidad, por ejemplo: para determinar tamaños de grano, comprobar si hay defectos, preparar objetos en microelectrónica, analizar fallos o soldaduras de todo tipo. (Ídem, 2002). La importancia del tamaño y la orientación del grano, así como otras características estructurales, se debe a que está directamente relacionadas con las propiedades mecánicas y tecnológicas de estos materiales.

Dichas características estructurales también dependen de influencias externas posteriores: Influencias químicas (p. ej.: corrosión), influencias químicas y/o físicas (p. ej.: tratamientos térmicos) e influencias mecánicas (tras el proceso de formación, p. ej.: forjado, rodado, curvado, etc.)

Los altos costos de los punzones comerciales utilizados en la cizalla, han llevado a que la empresa los fabrique en sus propias instalaciones, pero, por su tipo de operación es necesario endurecerlas, este proceso se lleva bajo el criterio de prueba y error, es decir, sin temperatura ni tiempo controlado, ni ningún medio de enfriamiento específico, lo que lleva a que dichos elementos mecánicos presenten deformaciones al momento de la operación en dicha maquinaria, la que requiere 65.000 PSI o bien 45.0 kgf/mm² o 45,000 kgf/cm² para perforar (ver figura 1.1) y sufren desgaste debido a la actividad constante, así como fallas al momento de perforar placas de diferentes espesores.



Figura 1. Herramientas para el análisis y transformación estructural

Esto motivó a que se realizará el cambio estructural pertinente para la operación requerida y demostrar el cambio microestructural de las herramientas intercambiables de golpe, punzones manufacturados en planta y las manuales de apriete para el mejor desempeño de las actividades operativas para la empresa.

El cambio estructural (tratamientos térmicos) en los materiales permite una mayor resistencia para que estos mejoren sus características físicas, químicas y mecánicas, requeridas en metales como aceros ya que permite que las herramientas y dispositivos utilizados en

diferentes procesos prolonguen su vida útil disminuyendo costos por tiempo de preparación, por cambio y compra de herramientas. (Kalpakjian, 2014)

El análisis se realizó en herramientas intercambiables de golpe, punzones comerciales, las intercambiables de golpe, punzones fabricados en planta, manuales de apriete, las de apoyo en maquinados-contrapunto y en la materia prima para perforar, en cada uno de ellos no se conoce el tipo de acero ANSI/SAE.

Para el estudio de los punzones comerciales y la herramienta de apoyo en maquinado-contrapunto, se determinó la cantidad de oposición que ejercen al ser rayados y penetrados (dureza) tal y como se reciben del proveedor y/o manufactura, considerando que el fabricante de estos punzones los envía endurecidos y preparados para utilizarse en equipos para perforar.

Mientras que, a las demás herramientas, se les tomó lectura inicial endurecidas, se aliviaron esfuerzos y se volvieron a endurecer con diferentes medios de enfriamiento: agua, agua con salmuera, agua con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y aceite y se tomó la lectura de dureza de la materia prima que se utilizan para perforar.

METODOLOGÍA

Para las herramientas intercambiables de golpe punzones comerciales, las intercambiables de golpe punzones fabricados en la planta, las manuales de apriete y la de apoyo en maquinados-contrapunto se utilizó el siguiente método:

- A.- Se identificó la herramienta para conocer su dureza.
- B.- Se preparó la malla estructural retirando impurezas con lijas del 300 al 600.
- C.- Con patrones metálicos proporcionados por el proveedor se calibró el equipo de medición.
- D.- Se dispusieron las bases y los dispositivos secundarios para sujeción de las herramientas.
- E.- Se tomó lectura para aceros endurecidos con 150 kg indentador en V con punta de carburo de tungsteno, para aceros “blandos” 100 kg con indentador de espera de 1/16.

Equipos e Instrumentos: Durómetro *Rockwell*, mufla de laboratorio de 1lt, esmeril de 4”, termómetro electrónico, vernier y calibrador de alturas.

Equipos y materiales: Letras de golpe, tinta para mecanizado, madera, recipientes de 19 litros, hidróxido de calcio, salmuera, aceite, mediana viscosidad, indentador de punta en v de tungsteno, indentador de punta esférica de 1/16, bases de apoyo para piezas, careta electrónica, peto y guantes de carnaza, *block* patrón, *block* en v, lijas diferente grano, carda trenzada, martillo de bola, pinzas mecánicas, pinzas de presión, pinzas de corte y pinzas de laboratorio.

Procedimiento:

- 1.- Se determinó la dureza de los punzones comerciales, manufacturados y contrapunto en el durómetro de lectura directa *Rockwell* utilizando indentador en V con 150 kg de carga en 4 puntos aleatorios de la pieza.
- 2.- Para mejorar las características de estas herramientas se aliviaron los esfuerzos internos (para después maquinarse y volverse a endurecer) llevando las piezas a una temperatura de

50°C por encima de la temperatura eutectoide a razón de 1h por volumen de material, dejándolo enfriar de forma lenta para recobrar el estado α (alfa) homogéneo en toda la estructura de los aceros. Ya enfriadas las piezas, se retiran las “escamas” producidas por la oxidación química y se preparan para tomar la dureza en su estado inicial.

3.- Una vez preparada la superficie de las piezas se midió la dureza de las herramientas con indentador de esfera de 1/16 y 100 kg de peso tomando cuatro puntos aleatorios superficiales a lo largo de cada punzón.

4.- Después de tomar la dureza de las piezas en su estado α (alfa), se llevaron a la planta para que pasaran por el proceso de maquinado y darle las formas deseadas según el caso.

5.- Una vez remanufacturados los punzones se regresaron al laboratorio para realizar el cambio estructural haciendo pasar las piezas por una temperatura de austenización y enfriándose por diferentes medios a temperatura ambiente como agua, agua con salmuera, agua con hidróxido de calcio y aceite. Ya frías las piezas se les retiró la cementita con una carda trenzada y se preparó la superficie para verificar la dureza de transformación.

6.- Para obtener la lectura de las piezas endurecidas se utilizó indentador en V con punta de carburo de tungsteno, se aplicaron 150 kg de carga en 4 puntos aleatorios superficiales y se probaron de forma física con lima y en planta con golpe directo.

RESULTADOS

En la tabla 1 se representa la condición de dureza de los punzones comerciales, la medición de los cuatro puntos aleatorios (x1, x2, x3, x4) donde se verificó dicha propiedad y el promedio de estas, así como sus conversiones aproximadas en PSI y la propia conversión a kgf/cm², además del rango que permite conocer la distribución aproximada de las lecturas del equipo y la desviación estándar que será la cantidad de durezas alrededor de la media y sus conversiones en PSI y kgf/cm² para dicha variación.

Tabla 1.- Resultado de dureza de punzones comerciales no se conoce el tipo de acero ANSI/SAE.

CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
1D/RC	47.0	49.5	55.5	55.0	52	256000	17920	56	47	9	4	83000	5810
CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
2D/RC	54.0	53.0	55.5	54.0	54	276000	19320	56	53	3	1	78000	5460
CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
3D/RC	61.0	68.5	62.0	57.5	62	324000	22680	69	58	11	5	85000	5950
Rango													
CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
4D/RC	54.0	53.0	52.5	53.5	53	266000	18620	54	53	2	1	78000	5460
CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
5D/RC	31.0	33.5	29.5	36.5	33	150000	10500	37	30	7	3	82000	5740
CONDICIÓN	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
6D/RC	53.5	49.5	56.5	47.0	52	256000	17920	57	47	10	4	83000	5810

La tabla 2 presenta la dureza inicial de los punzones manufacturados en planta, como se encontraron al inicio del estudio, la dureza en su condición α (alfa) después de aliviar los esfuerzos internos y la dureza con el cambio reticular con los diferentes medios de enfriamiento, además de los 4 puntos aleatorios de donde se tomó la dureza, el promedio de cada etapa y las respectivas conversiones aproximadas en las unidades PSI y kgf/cm², el

rango de lecturas que arrojó el equipo utilizado, así mismo la variabilidad alrededor de la media de las lecturas con sus respectivas conversiones.

Aquí, se hace la lectura en el equipo de medición y se hace una prueba física con golpe y lima en cada pieza reestructurada, la pieza 4RD endurecida y las no endurecidas 1,2,3,5,6 RD.

Tabla 2.- Dureza de punzones manufacturados no se conoce el tipo de acero ANSI/SAE

CONDICIÓN	3RD	X1	X2	X3	X4	X̄	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est	INSPECCIÓN FÍSICA
1	RB	72.0	71.5	73.0	70.0	72	64000	4480	73	70	3	1	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	63.5	68.5	57.0	52.0	60	52000	3640	69	52	17	7	
	RC/RB	83.0	70.0	87.0	76.0	79	72000	5040	87	70	17	8	
2	RB	73.5	71.0	74.0	68.0	72	64000	4480	74	68	6	3	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	67.5	65.0	62.5	60.0	64	56000	3920	68	60	8	3	
	RC/RB	81.0	76.0	88.0	82.0	82	76000	5320	88	76	12	5	
3	RB	67.5	61.0	77.0	73.5	70	62000	4340	77	61	16	7	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	61.5	60.5	58.0	59.5	60	52000	3640	62	58	4	1	
	RC/RB	78.0	86.0	81.0	82.0	82	76000	5320	86	78	8	3	
4	RB	56.5	54.0	58.5	60.0	57	71000	4970	60	54	6	3	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	77.5	82.0	78.0	73.0	78	50000	3500	82	73	9	4	
	AGUA	RC	47.0	44.0	49.5	47.5	47	229000	16030	50	44	6	
5	RB	70.0	70.0	76.0	78.0	74	66000	4620	78	70	8	4	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	52.5	51.5	50.5	52.5	52	45500	3185	53	51	2	1	
	AGUA/SALMUERA	RC/RB	95.0	84.0	87.0	91.0	89	89000	6230	95	84	11	
6	RB	60.0	58.0	57.5	56.0	58	51000	3570	60	56	4	2	VISUAL CON LIMA Y GOLPE
	RB	58.0	53.0	50.0	49.0	53	46000	3220	58	49	9	4	
	AGUA CAHO2	RC/RB	91.0	91.0	95.0	90.0	92	95000	6650	95	90	5	

La tabla 3 representa la condición de dureza de inicio de las herramientas de apriete, su alivio de esfuerzos y su transformación microestructural por el medio de enfriamiento, los puntos aleatorios, su promedio y la conversión aproximada en PSI cuadrada, así como la conversión en kgf/cm², el rango de valores que proporciona el equipo y los valores alrededor de la media con sus respectivas conversiones de unidades.

Tabla 3.- Dureza de herramientas de apriete no se conoce el tipo de acero ANSI/SAE

CONDICIÓN	3/8-5/16	X1	X2	X3	X4	X̄	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
INICIO	RC	40.00	39.00	41.00	40.50	40.13	182000	12740	41	39	2	1	78000	5460
ALFA	RB	85.00	86.50	84.50	86.00	85.50	82000	5740	87	85	2	1	875	61
ACEITE	RC	76.00	78.50	75.00	77.00	76.63	416914	29184	79	75	4	1	78000	5460
CONDICIÓN	7/16-1/2	X1	X2	X3	X4	X̄	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
INICIO	RC	47.00	43.00	44.50	41.50	44.00	204000	14280	47	42	6	2	80000	5600
ALFA	RB	87.50	87.00	86.50	86.00	86.75	85000	5950	88	86	2	1	875	61
ACEITE	RC	55.00	54.00	55.50	56.00	55.13	276000	19320	56	54	2	1	78000	5460
CONDICIÓN	9/16-1/2	X1	X2	X3	X4	X̄	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
INICIO	RC	27.50	28.50	25.00	26.50	26.88	128000	8960	29	25	4	1	78000	5460
ALFA	RB	86.50	85.50	84.00	86.00	85.50	82000	5740	87	84	3	1	875	61
ACEITE	RC	82.00	83.50	81.50	83.00	82.50	452571	31680	84	82	2	1	78000	5460

La tabla 4 representa los resultados de dureza de la herramienta de sujeción contrapunto, por la naturaleza de la herramienta se tomaron 4 lecturas aleatorias por sección, a partir de la “punta” hacia atrás 4 secciones, el promedio de cada una de ellas, las conversiones de unidades respectivas, el rango de lecturas que arrojó el equipo y su desviación estándar, junto con sus respectivas unidades de medición.

Tabla 4.- Resultado de la dureza de la herramienta de apoyo contrapunto no se conoce el tipo de acero ANSI/SAE

Sección	X1	X2	X3	X4	X̄	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
1a (punta)	57.5	52	51	53.5	54	266000	18620	58	51	7	3	82000	5740
2a	42	45	41.5	45	43	196000	13720	45	42	4	2	80000	5600
3a	54.5	51.5	54	51.5	53	266000	18620	55	52	3	2	80000	5600
4a	51.5	50	51	51.5	51	247000	17290	52	50	2	1	78000	5460

La tabla 10 presenta los datos de dureza de la materia prima (placa) para perforación con los respectivos 4 puntos aleatorios de lecturas, el promedio de la conversión en PSI, así como el rango de valores que arrojó el equipo junto con aquellos datos que se encuentran alrededor de la media junto con sus conversiones de unidades por cada unidad de dureza.

En la tabla 5 se aprecia el rango promedio de la variación de lecturas en el equipo de medición, en otras palabras, el comportamiento de las mediciones por las que estará fluctuando la medición, mientras que el promedio de la desviación estándar será la variabilidad de datos alrededor de la media.

Entre menor es la dispersión, los datos son homogéneos y a una mayor dispersión, los datos son más heterogéneos. Por otro lado, la desviación estándar baja indica que la mayor parte de los datos tienden a estar más agrupados cerca de la media o valor esperado mientras que si es alta se extiende sobre un rango de valores más amplio, es decir una variación alta en el proceso debido a diferentes factores.

Tabla 5. Promedio de rangos y desviación estándar de cada medición en las diferentes herramientas y materiales.

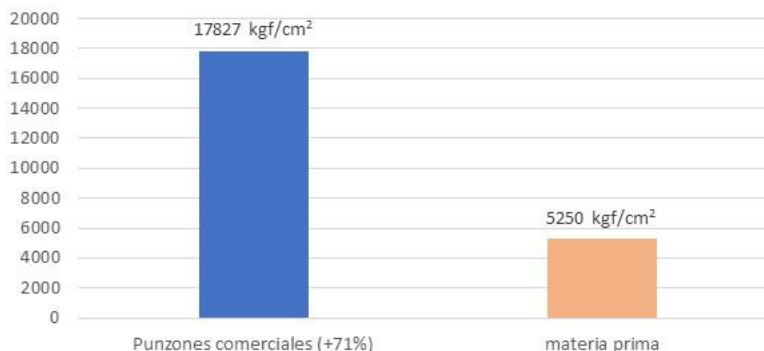
PUNZONES COMERCIALES		
PROMEDIO		
DUREZA	RANGO	Desv. Est
Unica	7	3
CONTRAPUNTO		
PROMEDIO		
DUREZA	RANGO	Desv. Est
UNICA	2	1
PUNZONES MANUFACTURADOS		
NO ENDURECIDO/PROMEDIO		
DUREZA	RANGO	Desv. Est
Inicial	7	3
Alivio	8	3
filal	10	4
PUNZONES MANUFACTURADOS		
ENDURECIDO/PROMEDIO		
DUREZA	RANGO	Desv. Est
Inicial	6	3
Alivio	8	3
filal	6	2
HERRAMIENTA DE APRIETE		
PROMEDIO		
CONDICIÓN	RANGO	Desv. Est
DUREZA		
Inicial	4	2
Alivio	2	1
filal	3	1
MATERIA PRIMA		
PROMEDIO		
CONDICIÓN	RANGO	Desv. Est
UNICA	4	2

La tabla 6 y la gráfica 1, presentan el promedio de dureza del acero 51 RC de los punzones comerciales que se aproxima a 254,667 PSI o 17,827 kgf/cm², este tipo de herramientas tiene la capacidad de resistir más de 17 t/cm² respecto a la materia prima utilizada (ver tabla 10). Existe una variabilidad de la toma de datos del equipo de aproximadamente 7 RC y una variabilidad alrededor de la media de cerca 3 RC, 82000 PSI o un poco más de 5 toneladas de fuerza por cada centímetro cuadrado. Por tanto, el promedio de la dureza de los punzones comerciales respecto al promedio de dureza de la materia prima utilizada es aproximadamente un 71% mayor, lo que permite con toda facilidad perforar con estas herramientas las materias primas (placa).

Tabla 6.- Promedio de durezas de punzones comerciales

Dureza	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	v. max	v. min	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
Unica	51	254667	17827	54	48	7	3	82000	5740

Gráfica 1.- Relación de dureza punzones comerciales y materia prima



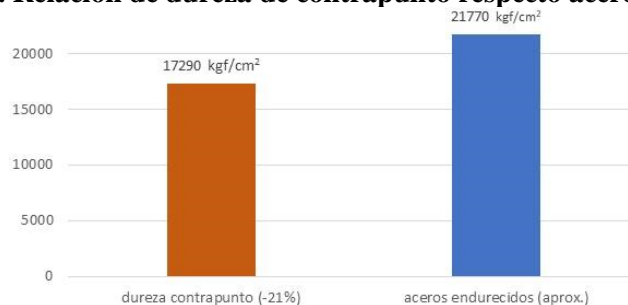
La tabla 7 junto con la gráfica 2, demuestra los promedios de dureza de las diferentes secciones de la herramienta de sujeción contrapunto con un valor de 50 RC que representa 247,000 PSI que también significa 17,290 kgf/cm² con un rango de lecturas en el equipo de 2 RC y una variabilidad alrededor de la media de 1 RC o bien 78,000 PSI o 5,460 kgf/cm².

Si se considera que por las dimensiones de la herramienta de sujeción contrapunto (aprox. 80x275 mm) que se “monta” en tornos paralelos robustos con capacidades aproximadas de 3000 mm de distancia entre puntos, con volteos entre bancada de 600 mm entre otras características, quiere decir que estas herramientas de sujeción son útiles para maquinar piezas de grandes dimensiones, acero aleados y endurecidos que rondan en 60 RC es decir de 311,000 PSI o bien, entre 21,770 kgf/cm². Si el promedio de la dureza en el contrapunto es de 50 RC es un 21% menor a la resistencia o fuerza requerida para maquinar aceros útiles para operaciones de alta capacidad, por tanto, esto ocasionó la deformación del mismo.

Tabla 7. Promedio de durezas de la herramienta de sujeción contrapunto

Sección	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
Promedio	51	50	49	50	50	247000	17290	51	49	2	1	78000	5460

Gráfica 2. Relación de dureza de contrapunto respecto acero endurecidos



En la tabla 8 y grafica 3 se presentan la dureza inicial de los punzones manufacturados que se encuentran en 59000 PSI es decir 4130 kgf/cm² con un rango de datos de 7 unidades de

dureza y alrededor de la media de 3 unidades, después de aliviarlos se presentó un promedio de durezas de 50300 PSI es decir 3500 kgf/cm² 8 unidades de dispersión en la lecturas tomadas en equipo de medición y 3 unidades alrededor de la media, al hacer el proceso de tratamiento térmico y enfriarse por los medios respectivos se obtuvo un promedio de dureza de 71000 PSI aproximadamente 7432 kgf/cm² con un rango de 10 unidades dispersos en las lecturas y 4 alrededor de la media.

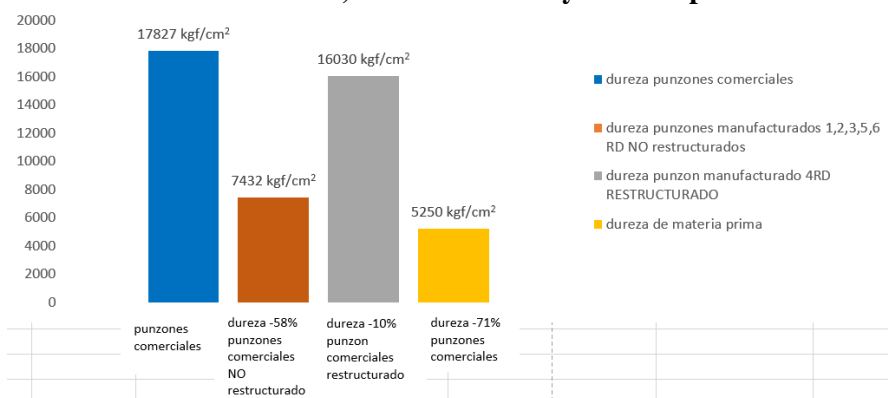
Al observar las mediciones, probarlas con golpe y lima las piezas 1,2,3,5 y 6 RD no presentaron el cambio estructural esperado, pero si deformaciones significativas.

Mientras el punzón 4 RD presentó una dureza inicial de 59000 PSI o 4130 kgf/cm², después de aliviar tensiones presentó una dureza de 50300 PSI, es decir, 3500 kgf/cm² y una vez realizado el tratamiento térmico y enfriamiento correspondiente se observa una dureza de 229000 PSI o bien 16030 kgf/cm². Con la prueba de golpe y lima no produce deformaciones significativas en la punta del mismo y lo confirma la reestructuración de la herramienta analizada. Se demuestra el comparativo respecto al promedio de dureza de los punzones comerciales, con respecto a los manufacturados NO reestructurados el punzón manufacturado reestructurado y la dureza de la materia prima, así como los porcentajes de diferencia respectivos.

Tabla 8. Promedio de duras de punzones manufacturados NO estructurados (1,2,3,5,6 RD) y reestructurado (4RD)

CONDICIÓN		PROMEDIO						
PIEZAS 1, 2, 3, 5, 6 RD	DUREZA	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est
	Inicial	67	59000	4130	70	63	7	3
	Alivio	58	50300	3500	65	57	8	3
	final	78	71000	7432	83	74	10	4
NO RESTRUCTURADOS								
CONDICIÓN		PROMEDIO						
PZA 4 RD	DUREZA	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est
	Inicial	72	64000	4480	74	68	6	3
	Alivio	64	56000	3920	68	60	8	3
	final	47	229000	16030	50	44	6	2
RESTRUCTURADO								

Gráfica 3. Comparativo de durezas punzones comerciales, manufacturados, NO reestructurados, reestructurados y materia prima



En la tabla 9 y gráfica 4, se presenta el promedio en la condición inicial de dureza de las herramientas de apriete.

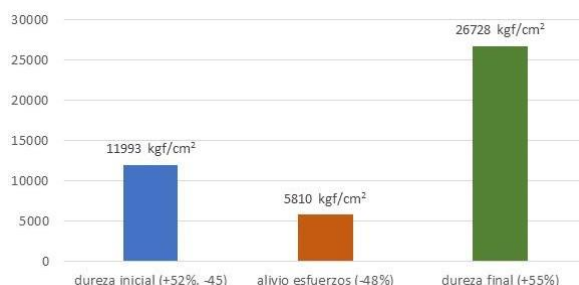
Al inicio se encontró un promedio de dureza de 37 RC equivalente a 171,333 PSI aproximadamente 11,993 kgf/cm² de presión en un rango de 4 RC de lecturas y una desviación estándar alrededor de la media de 2 RC es decir 80,000 PSI o 5,600 kgf/cm²; y después de aliviados los esfuerzos en las herramientas de apriete, la lectura de la dureza pasó a ser de 86 RB es decir 83,000 PSI o bien 5,810 kgf/cm² en rango de 2 RB y la desviación estándar de 1 RB aproximadamente 875 PSI o bien 61 kgf/cm².

Al realizar la reticulación microestructural en las herramientas utilizando un solo medio de enfriamiento -aceite- se tuvo un promedio de dureza 71 RC aproximadamente 381,828 PSI 26,728 kgf/cm². En un rango de lecturas de 3 RC y alrededor de la media de 1 RC aproximadamente de 78,000 PSI o 5,460 kgf/cm². Después la reticulación en las herramientas de apriete se incrementó la dureza en un 55%.

Tabla 9.- Promedio de durezas de herramientas de apriete

CONDICIÓN	PROMEDIO								
	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
Inicial	37	171333	11993	39	35	4	2	80000	5600
Alivio	86	83000	5810	87	85	2	1	875	61
final	71	381828	26728	73	70	3	1	78000	5460

Gráfica 4. Relación de transformación microestructural de herramientas de apriete

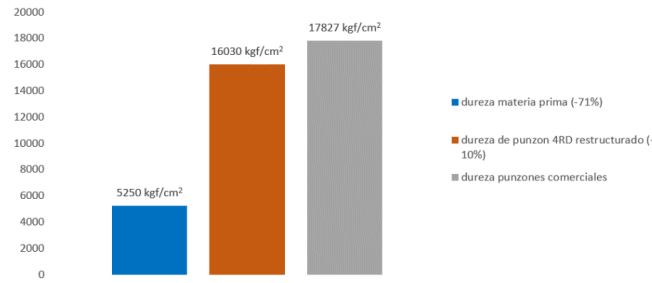


La tabla 10 y la gráfica 5, presentan el promedio de dureza de la materia prima que es de 7,500 PSI o bien 5,250 kgf/cm² con un rango de 4 RB de datos distribuidos mientras que una variación de 2 RB alrededor de la media de 1,750 PSI o bien 123 kgf/cm², ver gráfica 11, así como el comparativo respecto al punzón 4RD reestructurado respecto al promedio de dureza de los punzones comerciales.

Tabla 10. Promedio de durezas de la materia prima utilizada para perforar

CONDICIÓN	x1	x2	x3	x4	\bar{X}	PSI	kgf/cm ²	V. MAX	V. MIN	RANGO	Desv. Est	PSI	kgf/cm ²
INICIAL	82.5	82	79	81.5	81	75000	5250	82.5	79	4	2	1750	123

Gráfica 5. Relación de dureza de la materia prima respecto a la dureza de punzón 4RD manufacturados endurecidos y la dureza del promedio de punzones comerciales



Para determinar un criterio por el que no se endurecieron las piezas 1,2,3,5,6 RD; se realizó el siguiente experimento. Se sometieron 2 probetas plenamente identificadas de acero 1045 -propias para tratamiento térmico- a los mismos cambios isotérmicos junto con las herramientas 5RD Y 6RD, la tabla 10.1 representa los datos obtenidos de las probetas al mediano carbón cuando se alivian y endurecen en condiciones similares, lo que demuestra que, el acero de los punzones 1, 2, 3, 5, Y 6 RD no son los apropiados para dichos cambios estructurales.

Tabla 10.1. Probetas de acero al mediano carbono aliviadas y endurecidas junto con las probetas fabricadas en planta

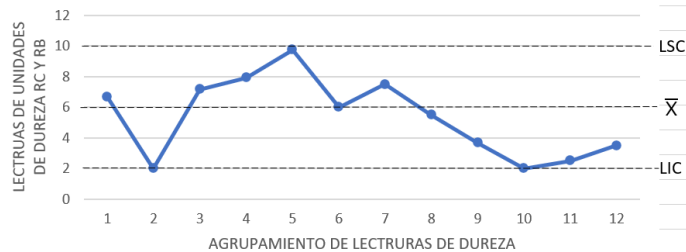
INSPECCIÓN VISUAL CON GOLPE, LIMA Y EQUIPO DE MEDICIÓN.	PUNZONES Y PROBETAS				ENDURECEN
	PUNZONES MANUFACTURADOS	PROBETAS ACERO 1045	INICIAL	ALIVIO	FIN
			kgf/cm²		
	5RD	1	22680	4970	20090
	6RD	2	17920	5180	24640

La tabla 11 junto con las gráficas 6 y 7, presenta el promedio de promedios del rango de 6 puntos de dureza en las lecturas, en otras palabras, una baja dispersión entre los datos muestreados, mientras que los 2 puntos de dureza, como agrupamiento, indican una baja variabilidad o bien datos homogéneos en las lecturas alrededor de la media.

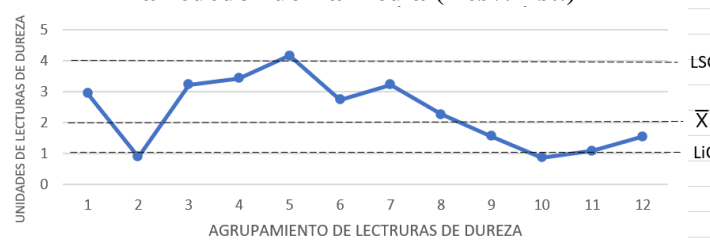
Tabla 11. Promedio de promedios de rangos y desviación estándar de lecturas en durómetro

PROMEDIO	LECTURAS EN EQUIPO	
	PROMEDIO	
	RANGO	Desv. Est
	6	2

Gráfica 6. Datos de dureza RC Y RB en equipo de medición (Rango).



Gráfica 7. Variabilidad de las lecturas de dureza RC Y RB en equipo de medición alrededor de La media (Desv. Est.)



CONCLUSIONES

Después de los resultados obtenidos en los diferentes materiales se llega a las siguientes conclusiones:

- 1.- El promedio de las lecturas de dureza de los punzones comerciales evidencian las condiciones óptimas para su operación debido a que sufren menor desgaste y prologan su vida útil. Habría que considerar el tipo de acero con el que se fabricaron.
- 2.- Por el promedio de la dureza en la herramienta de sujeción -contrapunto- respecto a las características de tamaño y de operación podría ser poco eficiente en su desempeño y en las propiedades mecánicas de uso.
- 2.- Utilizar los materiales adecuados útiles para tratamiento térmico, por el tipo de trabajo que realizan los punzones manufacturados y que pueden ser aceros aleados al cromo, vanadio, tungsteno que aportan excelente resistencia al desgaste y retención de filo como D2, S1 o S7.
- 3.- Los datos del promedio de dureza realizados en las herramientas de apriete ratifican la reticulación estructural de las herramientas, favoreciendo sus propiedades de funcionamiento.

De lo anterior se hacen las siguientes recomendaciones:

- 1.- Poner en operación en la cizalla múltiple la herramienta de golpe punzón intercambiable que sufrió el cambio estructural y registrar su desempeño en operación.
- 2.- Utilizar los aceros adecuados para el desempeño de los punzones manufacturados.
- 3.- Utilizar equipos de tratamiento térmico industriales para la transformación de piezas del tamaño de los utilizados en planta.
- 4.- Utilizar un equipo de medición con mejor desempeño y características propias para piezas de dimensiones industriales.
- 5.- Realizar un análisis inferencial para conocer lo que afecta a las mediciones de dureza.
- 6.- Realizar un análisis de las microestructuras formadas al utilizar diferentes medios de enfriamiento.
- 7.- Realizar una evaluación más amplia de las herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

- Degarmo, P. (1994). *Materiales y procesos de fabricación*. Barcelona: Reverté.
- Fink, D. G. (1981). *Manual práctico de electricidad para ingenieros, tomo 1*. Barcelona: Reverté.
- Kalpakjian, S. (2014). *Manufactura: ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- Materiales en ingeniería*. (2002). México: Alfaomega.
- Miravete, A. (2000). *Materiales compuestos*. Zaragoza: Miravete.
- Moore, H. (2002). *Materiales y procesos de fabricación, industria metalmeccánica y de plásticos*. México: Limusa.
- Morral, F. (1982). *Metalurgia general tomo 1*. Barcelona: Reverté.
- Neely, J. (1992). *Materiales y procesos de manufactura*. México: Limusa.
- Orlicky, J. (2011). *Material requirements planning: the new way of life in production and inventory management*. New York: Mc Graw Hill.
- Pero-Sanz Elorz, J. A. (1988). *Materiales metálicos: solidificación, diagramas, transformaciones*. España: Dossat.