

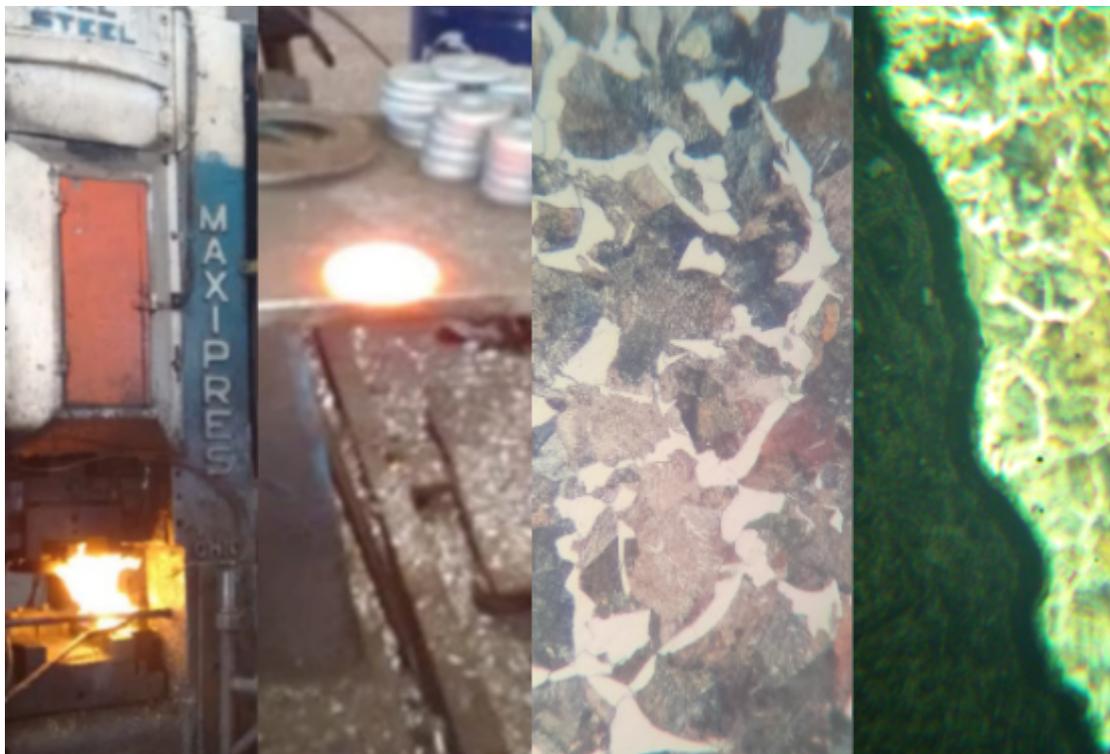
# **Incidencia de los niveles de deformación en las características metalográficas del acero SAE 1045 durante el ensayo “ring test”**

**Estudiantes:** Raul Pereyra - Aponte Pablo

**Carrera:** Tecnicatura en Metalurgia

**Tutores:** Ing. Diego Migliorino/ Daniel Martinez Krahmer (INTI)

Segundo cuatrimestre de 2021



**Tema:**

Estudio de las características metalográficas de probetas del ensayo “ring test” para caracterización de lubricantes gráficos.

**Origen del proyecto:**

La propuesta de estudio fue presentada por el Ingeniero Daniel Kraemer en base al paper “**Friction capabilities of graphite-based lubricants at room and over 1400 K temperatures**” presentado por los ingenieros A.J. Sanchez Egea, V. Martynenko, G. Abate, N. Deferrari, D. Martinez Kraemer y L.N. López de Lacalle y publicado en Springer Nature 2019. Se realiza para complementar la información volcada en él a partir del estudio metalográfico de las probetas ensayadas en el estudio fuente de ese paper. Se elige el tema entre otros porque su temática permite aplicar los conocimientos adquiridos en las materias como Metalurgia Física (Aplicando los conocimientos de metalografía en una muestra), Ensayos de materiales (Para analizar y obtener su dureza) y Metalurgia II (Para obtener los resultados y análisis por Norma de tamaño de grano).

**Procedimiento del ensayo “ring test”:**

Se ensayaron 24 anillos de acero SAE 1045 provistos por CRAFTSA S.A. mediante una prensa mecánica de 1300 t a una velocidad de 0.2 m/s mientras se verificó la temperatura de ensayo a 1400 °K con cámara infrarroja y temperatura alcanzada mediante un horno de inducción. En los 24 ensayos se combinaron tres tipos de lubricantes, dos concentraciones de grafito y cuatro grados de compresión.

**Conclusiones del ensayo “ring test”:**

- La relación del porcentaje en peso de aluminio y silicio ayuda a reducir la fricción debido a los compuestos silicato y alúmina en el punto de contacto.
- Las partículas de grafito ayudan a mejorar la capacidad de fricción a alta temperatura.
- El lubricante con 8% de concentración de grafito tiene menor coeficiente de fricción comparado con las demás concentraciones.

**Objetivo:**

El presente trabajo tiene la finalidad de interpretar qué ocurre en la estructura de aceros SAE 1045 luego de ser sometidos a un proceso de forja a 1400°K

Se analizarán probetas con cuatro niveles de deformación diferentes, para generar información sobre:

1. - Microestructura.
2. - Capa superficial.
3. - Tamaño de grano.
4. - Perfil de dureza

**Alcance:**

Se realizarán metalografías sobre las probetas forjadas por el método “ring test” involucradas en el estudio sobre la respuesta ante la fricción de lubricantes grafiticos base acuosa a 1200°C realizado en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial y publicado en Springer Nature 2019.

El ensayo “ring test” fue diseñado para comprobar el nivel de fricción entre la pieza y la matriz durante la forja de un material. Consiste en presionar un aro de acero a alta temperatura, si la fricción fuera cero, se comportará como un disco deformandose hacia el exterior, en cambio, conforme a la fricción aumenta, se reducirá el diámetro interior.

**Características de las probetas:**

Composición química según la clasificación SAE 1045

C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
0.43	0.6	0.04	0.05	0.2
0.50	0.9			0.4

**Tabla 1:** Composición química SAE 1045

Proveedor de la materia prima: CRAFTMSA S.A.

Geometría antes del ensayo “ring test”: Alt: 18.274 mm. Int: 27.521 mm Ext: 55.054 mm

**Altura final de cada probeta luego del ensayo “ring test”:**

Item	Identificación	h (mm)
PControl	S/M	18.28± 0,01
P1	03	12.96± 0,01
P2	31	10.50± 0,01
P3	4	8.55± 0,01
P4	50	7.17± 0,01

**Tabla 2:** Dimensiones del material recibido.

**Procedimiento del ensayo “ring test”:**

Se ensayaron 24 anillos de acero SAE 1045 proveídos por CRAFTMSA S.A. mediante un martillo mecánico de 1300 tn a una velocidad de 0.2 m/s mientras se verificó la temperatura de ensayo a 1400 °K por una cámara infrarroja, temperatura alcanzada mediante un horno de inducción. En los 24 ensayos se combinaron tres tipos de lubricantes, dos concentraciones de grafito y cuatro grados de compresión.

**Nomenclatura de las probetas:**

La probeta de muestra que no fue forjada fue identificada como s/m por no tener marca, las piezas forjadas mantienen la identificación según como están acuñadas de origen ordenadas de mayor a menor altura: “4”, “03”, “31”, “50”

**Hipótesis sobre el tamaño de grano:**

Debido a que el material fue mantenido a 1400°K (muy por encima de la temperatura de austenización) para luego ser enfriado “al aire” se debe considerar que fue sometido a un tratamiento térmico descrito en la curva de enfriamiento continuo para aceros hipoeutectoides. Los granos de austenita se convertirán por el efecto del enfriamiento rápido al aire en otros más pequeños de perlita y bainita o martensita. Al haberse dado la deformación antes del enfriamiento, los nuevos granos de ferrita serán equiaxiales.

**Plan de trabajo:**

Se estudiarán las microestructuras de las diferentes probetas a fin de verificar dureza, tamaño de grano y metalográficamente qué fases obtenemos para cada uno de los niveles de deformación.

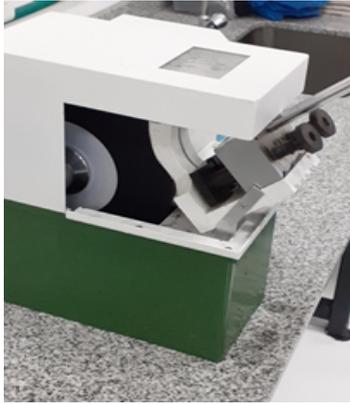
- Identificación de las probetas.
- Planteo del tamaño de las muestras.
- Corte e identificación de las muestras.
- Inclusión de las muestras en baquelita.
- Pulido.
- Ataque y generación de imágenes microscópicas.
- Generación del perfil de dureza.
- Realización del informe y conclusiones finales.

**Cronograma:**

<b><u>Descripción</u></b>	<b><u>17-may</u></b>	<b><u>24-may</u></b>	<b><u>31-may</u></b>	<b><u>7-jun</u></b>	<b><u>14-jun</u></b>	<b><u>28-jun</u></b>	<b><u>19-jul</u></b>
<b><u>Recepción de probetas/entrega de propuesta de trabajo</u></b>							
<b><u>Toma de muestras/Adaptación laboratorio</u></b>							
<b><u>Pulido</u></b>							
<b><u>Ensayos metalográficos</u></b>							
<b><u>Ensayos de dureza</u></b>							
<b><u>Informe Preliminar</u></b>							
<b><u>Informe final</u></b>							

**Tabla 3:** cronograma tentativo de trabajo.

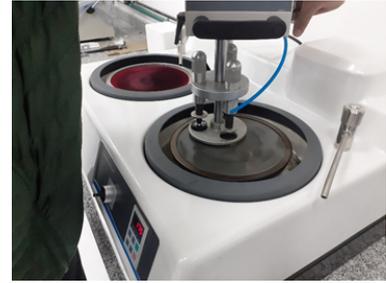
**Máquinas e instrumental utilizado:**



**Fig. 1: Cortadora metalográfica  
MC30**



**Fig 2: Incluidora MPI 30**



**Fig. 3: Pulidora metalográfica  
GP2**



**Fig. 4: Microscopio de platina  
invertida Microstar IMS300**



**Fig. 5: Microdurometro Vickers  
Digimesh MHV1000**



**Fig. 6: Microscopio electrónico  
Hitachi TM4000**

**Procedimiento:**

La preparación de las muestras se realizó siguiendo las recomendaciones de la guía E3 de la ASTM para preparación de muestras metalográficas y la norma B487 del método de ensayo para la medición de capa de óxido en muestras metálicas mediante la examinación microscópica de una sección transversal.

Siguiendo el plan de trabajo, se identificaron las muestras recibidas. Luego fueron cortadas utilizando la cortadora metalográfica marca: NRZ modelo: MC30

Se incluyeron diez muestras en resina epoxi mediante la incluidora marca: NRZ modelo: MP1-30 y una muestra se preparó sin incluir por las dimensiones requeridas para realizar el perfil de dureza. En total, se tomaron tres muestras de la probeta identificada como “50” y dos de cada una de las restantes identificadas como “s/m”, “31”, “4” y “03” (once muestras).



**1.- Análisis metalográfico (Microestructura):**

Según el diagrama hierro carbono, un acero hipoeutectoide que se encuentra a 1400°K debería al enfriarse lentamente convertir su microestructura austenítica en perlita con ferrita en borde de grano.

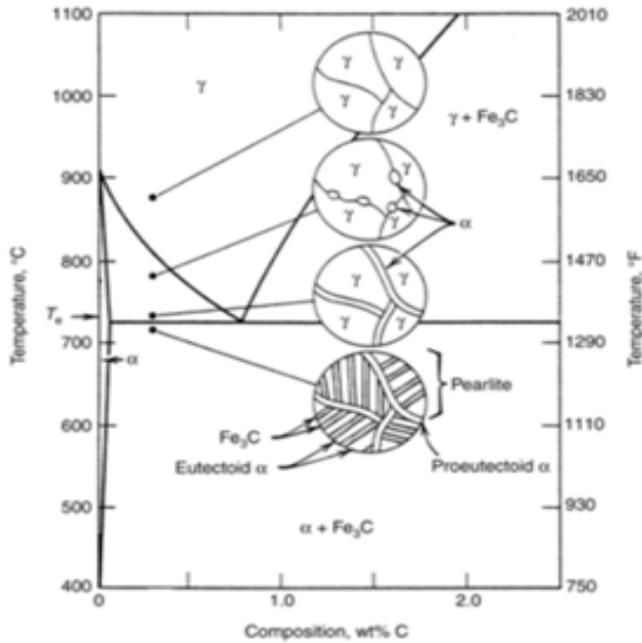


Fig. 12: Diagrama de fases Fe-C

**Imágenes de los granos de perlita con ferrita en borde de grano.**

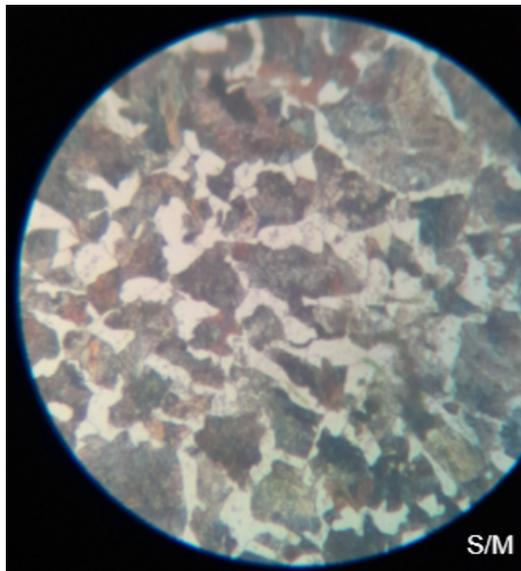


Fig. 13: Corte radial de la muestra S/M 800X

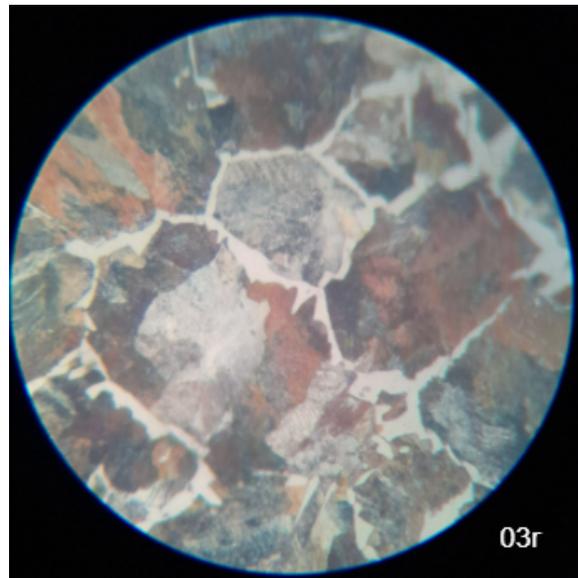


Fig. 14: Corte radial de la muestra 03r 800X

En la hipótesis inicial se esperaba encontrar en la metalografía microestructuras del temple, por lo cual se debería haber analizado la transformación con un diagrama TTT, pero no se encontraron ni bainita ni martensita por lo cual se utiliza en este informe el diagrama Fe-C.

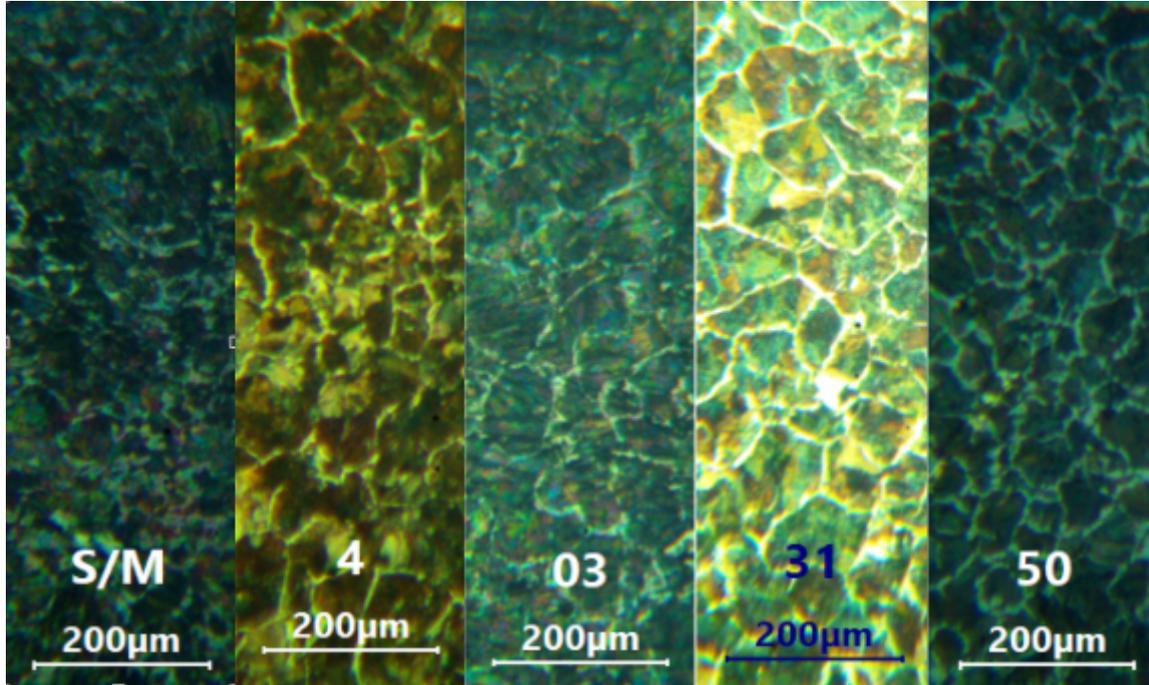


Fig. 15: Imagen comparativa de los diferentes tamaños de grano según muestra 100X.

**2.- Capa superficial:**

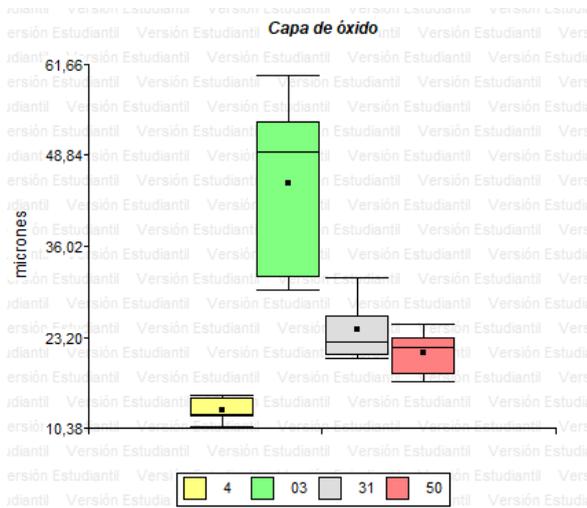
Para la medición de la capa superficial se cumplió con la norma ASTM B487-85. Dicha norma exige la correcta preparación de las muestras y la realización de los informes incluyendo la cantidad de medidas realizadas, su promedio aritmético y la distancia en que se reparten dichas mediciones. En el caso de este trabajo, todas las probetas fueron sometidas a la misma técnica de medida, esta es: cinco mediciones realizadas a lo largo de 1,2 mm.

El objetivo principal de este apartado fue medir la capa de óxido en cada muestra pero en la observación metalográfica se detectó una zona descarburada que fue medida cumpliendo la misma norma.

**Resultados y estadísticas de la medición de capa de óxido y de la zona descarburada:**

4	Óxido	Descarburado	3	Óxido	Descarburado	31	Óxido	Descarburado	50	Óxido	Descarburado
x1	10.6	91.7	x1	31.5	204.2	x1	26.2	119.4	x1	21.9	143.3
x2	12.2	87.5	x2	29.9	141.9	x2	20.2	172.0	x2	16.9	167.6
x3	15.0	58.3	x3	49.3	121.9	x3	20.5	147.5	x3	25.0	164.6
x4	14.5	95.9	x4	60.2	147.0	x4	31.5	154.5	x4	23.1	160.5
x5	11.9	76.6	x5	53.5	174.2	x5	22.6	186.8	x5	18.0	178.6
X	12.8	82.0	X	44.9	157.8	X	24.2	156.0	X	21.0	162.9

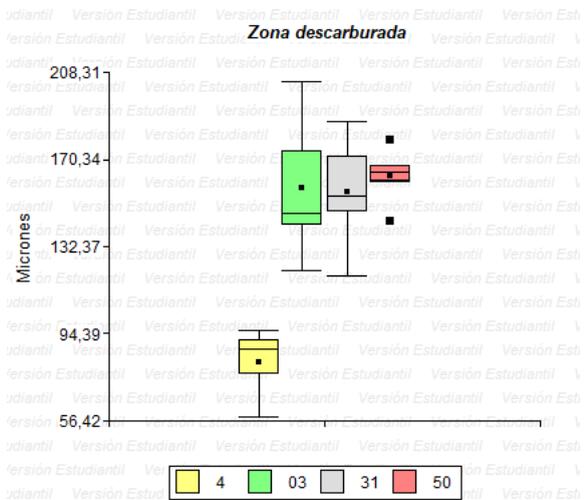
Fig. 16: Mediciones y promedios de capa de óxido y zona descarburada.



**Fig. 17:** Gráfico de caja para la capa de óxido de cada muestra

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
4	5	12,84	1,85	10,60	14,96	12,22
03	5	44,88	13,50	29,92	60,15	49,25
31	5	24,21	4,75	20,15	31,54	22,61
50	5	20,97	3,43	16,93	24,99	21,85

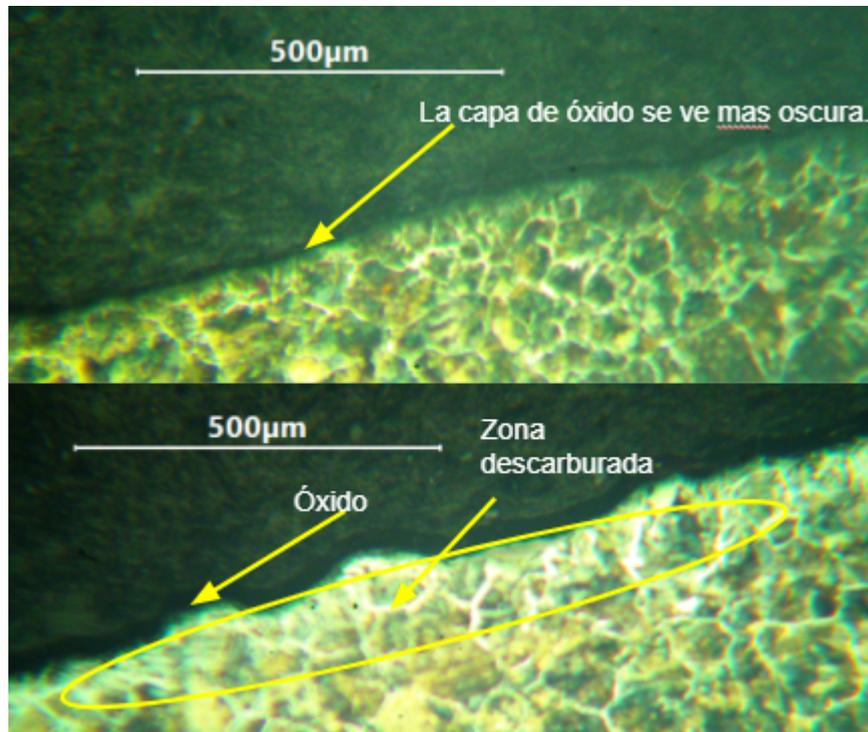
**Fig. 18:** Medidas resumen para la capa de óxido



**Fig. 19:** Gráfico de caja para la zona descarburada de cada muestra

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
4	5	82,00	15,07	58,30	95,90	87,50
03	5	157,84	31,94	121,90	204,20	147,00
31	5	156,04	25,59	119,40	186,80	154,50
50	5	162,92	12,86	143,30	178,60	164,60

**Fig. 20:** Medidas resumen para la zona descarburada



**Fig. 21:** Comparación entre el borde superior y el exterior de la misma probeta (4)

**Conclusiones sobre la capa superficial:**

Según la norma B487- 85 (1997) se midió la capa de óxido, pero también se halló una descarburación provocada por la exposición al ambiente del material mientras se encontraba a alta temperatura.

No se detecta una relación entre la cantidad de deformación y el espesor de la capa de óxido o de la zona descarburada.

Las zonas en contacto con las mordazas no sufrieron descarburación.

**3.- Tamaño de grano:**

La medición del tamaño de grano se realizó según la norma ASTM E112-13.

La norma describe tres métodos diferentes para medir el tamaño de grano, basados en un modelo estadístico.

**Método de las diagonales o de los 500 mm:**

Consiste en tomar una imagen metalográfica y dibujar sobre ella un cuadrado de 100 mm de lado con sus diagonales para luego contar las intersecciones con bordes de grano de dos de los lados del cuadrado y de sus dos diagonales.

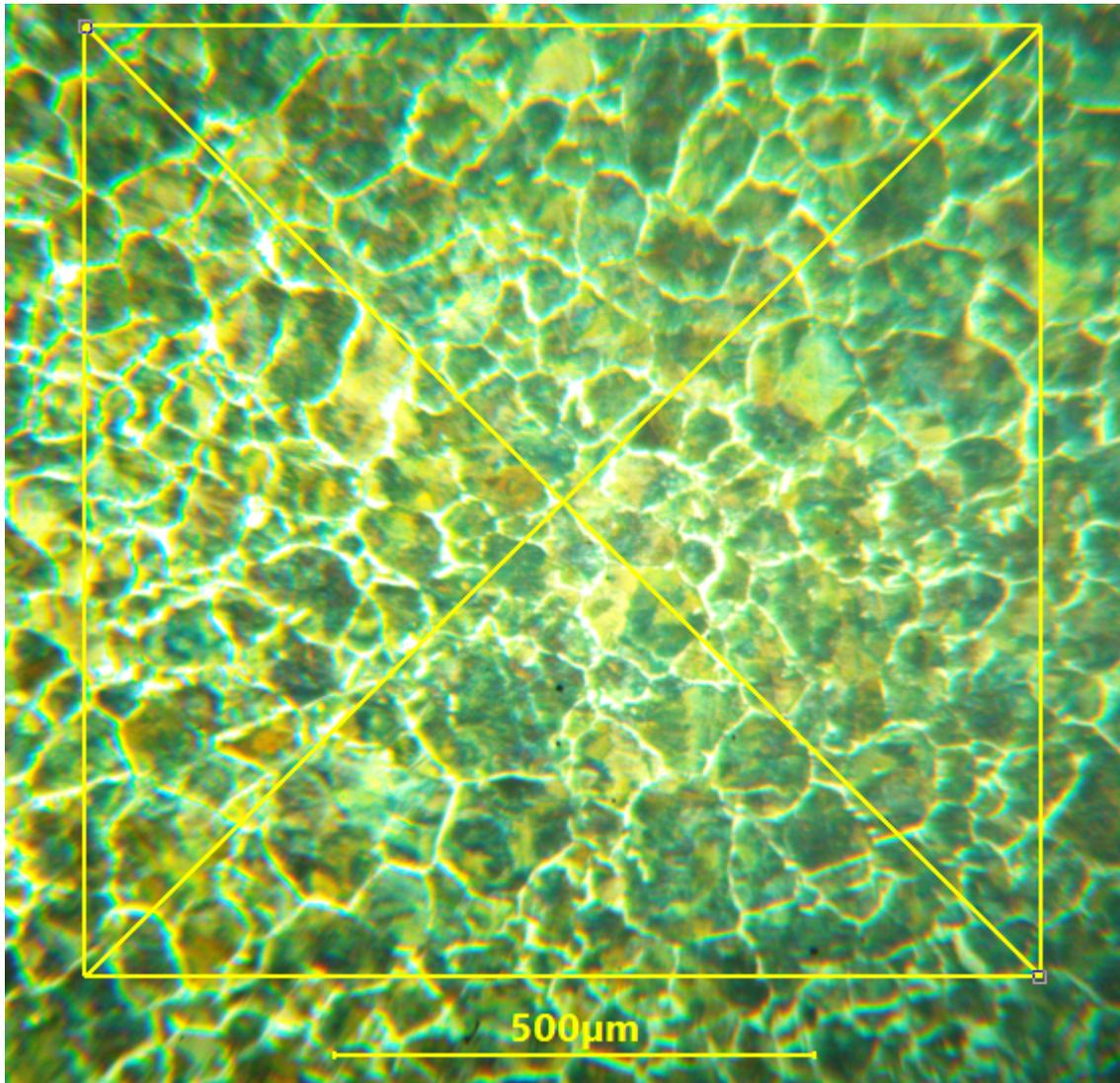
Si el número total de intersecciones no se encuentra entre las 40 y las 100 intersecciones, se debe cambiar la magnificación de la metalografía para que la cantidad de intersecciones entre en este rango.

Entonces, se utiliza un gráfico de doble entrada buscando en el eje horizontal el número de intersecciones contadas para, desde allí, subir hasta la línea que indica la magnificación que utilizamos para tomar la imagen analizada.

Una vez alcanzado el encuentro entre el número de intersecciones y la magnificación utilizada, se busca en el eje vertical a qué número de grano corresponde ese punto.

Los tamaños de grano para la norma ASTM E112-13 van desde el G0 para los más grandes hasta el G14 para los más pequeños.

La norma exige que para muestras cilíndricas se tomen probetas de corte radial y transversal para realizar la comparación entre medidas y determinar e informar si los granos son equiaxiales o no.



**Fig. 22:** Imagen metalográfica del corte radial de la muestra 31 con el cuadro para conteo de intersecciones.

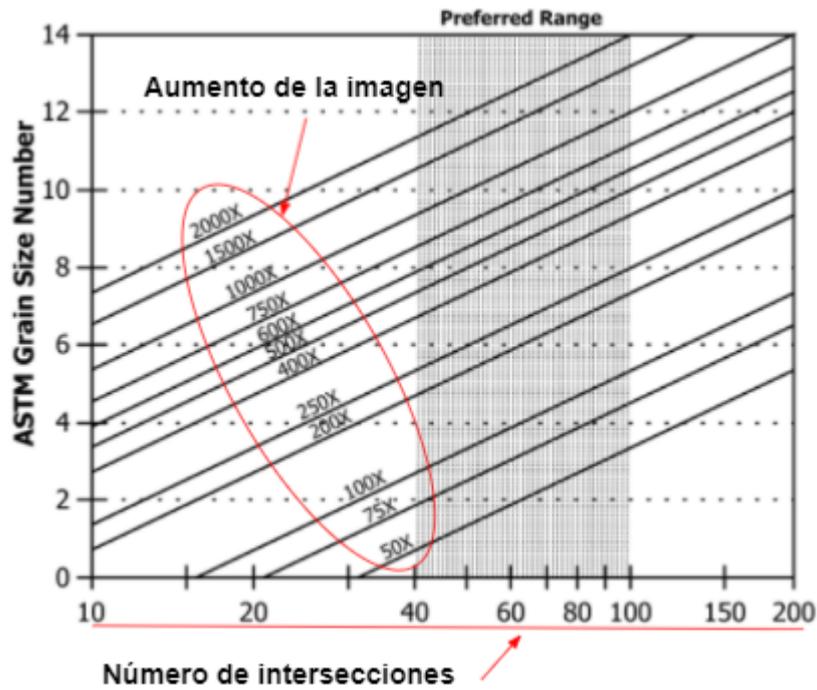


Fig. 23: Gráfico de doble entrada para interpretación de la cantidad de intersecciones.

**Resultados obtenidos:**

Muestra	Tamaño	Equiaxial	Uniforme
S/M	G5	SI	SI
4	G3-5	SI	NO
3	G3-5	SI	NO
31	G3-5	SI	NO
50	G3-5	SI	NO

Fig. 24: Tabla de resultados obtenidos de la medición de tamaño de grano.

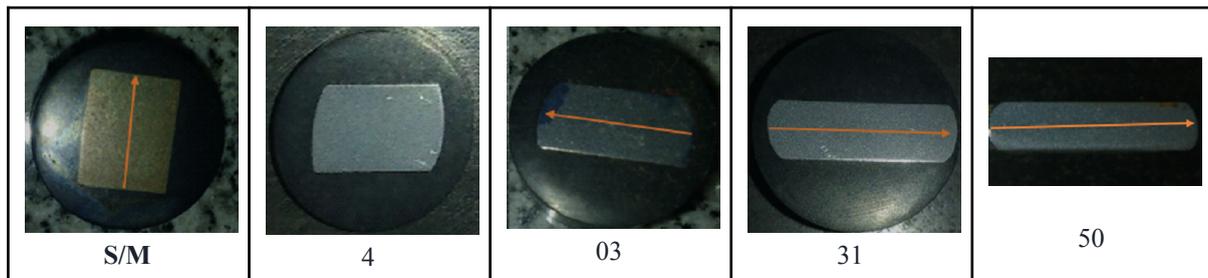
**Conclusiones sobre el tamaño de grano:** Teniendo en cuenta los antecedentes de las muestras se midió el tamaño de grano en diferentes zonas de cada probeta, dando como resultados:

- El tamaño de grano disminuye hacia los bordes externos de los anillos.
- Uniformidad de medidas en la muestra S/M (sin marca) que no fue forjada.
- En todas las muestras los granos son equiaxiales.
- En las muestras forjadas, el tamaño de grano es irregular

**4.- Perfil de dureza:**

Preparación de las probetas y como se realizó el cálculo:

Para el perfil de dureza se utilizó el microdurometro DIGIMESS y basándonos en la norma ASTM E384 – 05 para la preparación de las probetas se utilizó una carga de (1000 g) para las micro indentaciones tomando como referencia desde el centro de la pieza hasta el borde de la misma.



**Fig. 25:** Imágenes de las probetas y dirección de cada perfil de dureza.

**Resultados obtenidos:**

Datos	s/m (radial) hv	3 (radial) hv	4 (radial) hv	31 (radial) hv	50 (radial) hv
1	219.20	187.80	257.1	208.6	247
2	199.00	203.20	298.7	214.6	211
3	229.50	275.20	243	211.2	207
4	253.80	223.10	244	208.9	210
5	212.50	225.50	246	208.1	212
6	294.50	239.8		211.8	202
7	271,4	287.6		203.7	209
8		293.5		226.5	202
9		228.2		214	
10		225		206.8	
11		299.1		214.5	
12		209.6		207.6	
13				218.3	
14				210.5	
<b>Prome</b>	<b>234.75</b>	<b>241.47</b>	<b>257.94</b>	<b>214</b>	<b>212</b>

**Fig. 26:** Valores medidos de dureza Vickers.

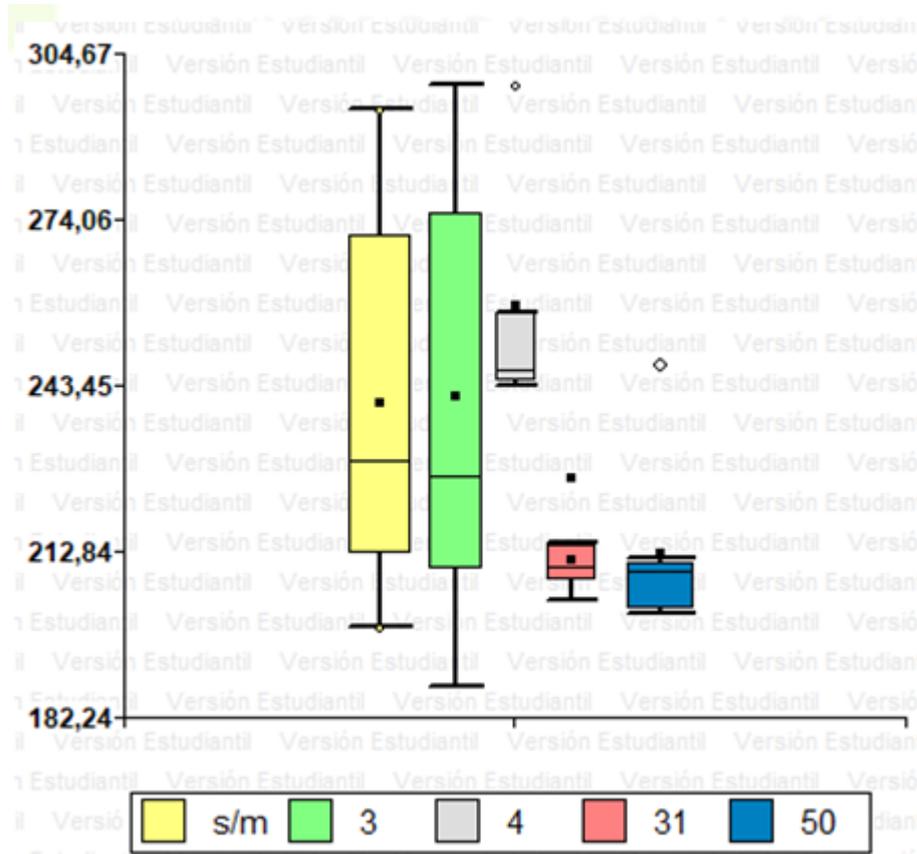


Fig. 27: Gráfico de caja para la dureza Vickers de cada muestra en HV 1000

Variable	n	Media	Mín	Máx	Mediana
s/m	7	239,99	199,00	294,50	229,50
3	12	241,47	187,80	299,10	226,85
4	5	257,94	243,30	298,70	246,40
31	12	211,36	203,70	226,50	210,05
50	8	212,31	201,60	247,30	209,20

Fig. 28: Medidas resumen para las mediciones de dureza Vickers.

**Conclusión sobre los perfiles de dureza:** Podemos observar la media o promedio de valores de cada una de las muestras como también sus respectivos valores atípicos, al ser piezas de diferente espesor no podemos compararlas entre sí, pero sí podemos observar y concluir que la dureza aumenta del centro hacia afuera en cada una de ellas.

---

### **Conclusiones finales:**

El presente trabajo es el resumen resultante de diversos informes realizados para cada muestra recibida y para cada ítem a analizar pues ese es el requerimiento de las normas con respecto a la manera de informar los resultados de las mediciones (anexos) De esos documentos, se desprenden como conclusiones principales:

- **El tamaño de grano de las piezas forjadas es mayor en su interior, por lo tanto es menor su dureza.**
- **El borde externo de las piezas forjadas sufre descarburación, por lo que deberá tomarse en cuenta el espesor de pieza útil menor al calcular productos de gran requerimiento.**
- **La ausencia de zona descarburada en las caras en contacto con las mordazas puede deberse a la ausencia de aire ambiente en esa interfase o a la presencia de un lubricante con alto contenido de carbono.**
- **En las piezas forjadas no se halló microestructuras propias del temple, garantizando su ductilidad y mecanizabilidad.**

---

**Bibliografía:**

**Cold and hot forging, Taylan Altan. (page 35. Ring test)**

**Paper (INTI) Friction Capabilities Graphite-based lubricants at room and over 1400 K temperatures.**

**Standard Test Methods for Determining Average Grain Size ASTM E112-13 (2016)**

**Standard Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thickness by Microscopical Examination of a Cross Section ASTM B487-85 (1997)**

**Agradecimientos y colaboración:**

**Ing. Daniel Krahmer**

**Ing. Diego Migliorino**

**Ing. Antonio Bencardino**

**Ing. Leandro Facal**

**Ing. Nora Loureiro**

**ANEXOS**

Se adjuntan a este trabajo los documentos producidos para cada muestra.