



2° JORNADAS IBERAMERICANAS DE MOTORES TÉRMICOS Y LUBRICANTES - MTL2018

ANALISIS DE FALLA

EN UN CIGÜEÑAL Y RESORTES DE VALVULAS DE COMPETICION

Ing. R. Grammatico

Analisis de falla

El análisis de falla es un *examen sistemático* (serie pasos a cumplir) que comprende

- La composición química;
- La observación mediante el análisis metalográfico (macro y micrográfico, y
- El análisis de las propiedades mecánicas (tracción, dureza; análisis de fatiga)

efectuado sobre la pieza dañada de manera de determinar la *causa raíz de la falla*

y usar esta información para mejorar la *confiabilidad y disponibilidad* del equipo mecánico.

Importancia del análisis de fallas en equipos mecánicos

En general se debe disminuir o eliminar:

- la probabilidad de que vuelva a ocurrir una *falla crítica* que detenga o saque de servicio el equipo durante su operación;
- la consecuencia de la falla desde el punto de vista del *lucro cesante* debido a un equipo fuera de servicio.
- las *perdidas de producción* o de *horas hombre* improductivas;
- la *degradación y rotura* de los equipos y hasta *accidentes*;

Es decir, se debe conseguir una *alta confiabilidad* que implique una *disponibilidad y seguridad* del equipo y de las personas (disminuir degradación y nivel de accidentabilidad).

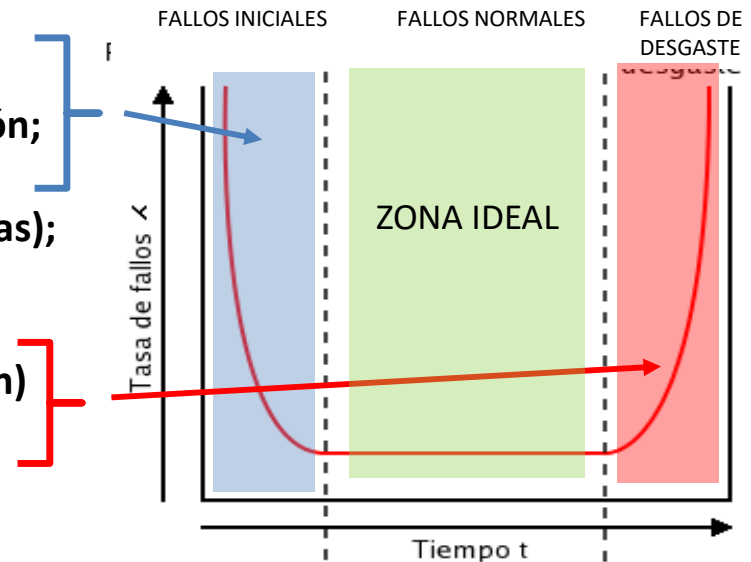
Existe una falla cuando:

- La pieza queda completamente inservible;
- Cuando a pesar de que funciona, no cumple su función satisfactoriamente, comprometiendo la integridad del resto del equipo.

Curva U del análisis de falla del equipo (Tasa de fallas vs tiempo de vida del equipo):

Causas de una falla

- Mal diseño o bien una mala selección del material;
- Imperfecciones en el material y/o del proceso de fabricación;
- Errores en el montaje inicial
- Factores ambientales, sobrecargas (energéticas – productivas);
- Errores en el servicio cuando se realizan mantenimientos preventivos,
- Piezas/Equipos que ya cumplieron su vida útil (amortización) zona de inviabilidad, necesidad de cambio del equipo.



Análisis de falla en un cigüeñal de competición

Comitente: Omar Wilke

Preparador: Omar Wilke

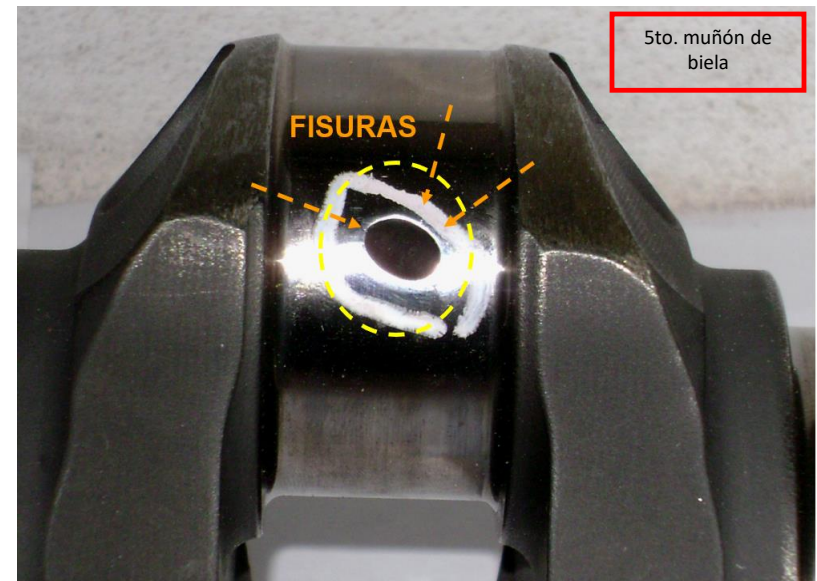
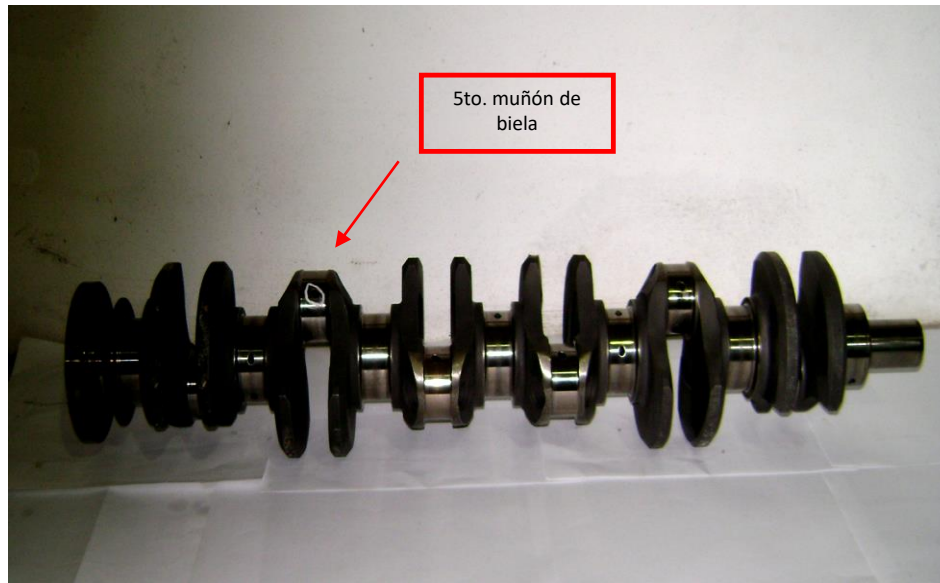
Piloto: Laureano Campanera

Auto: Coupé Chevy Turismo Carretera



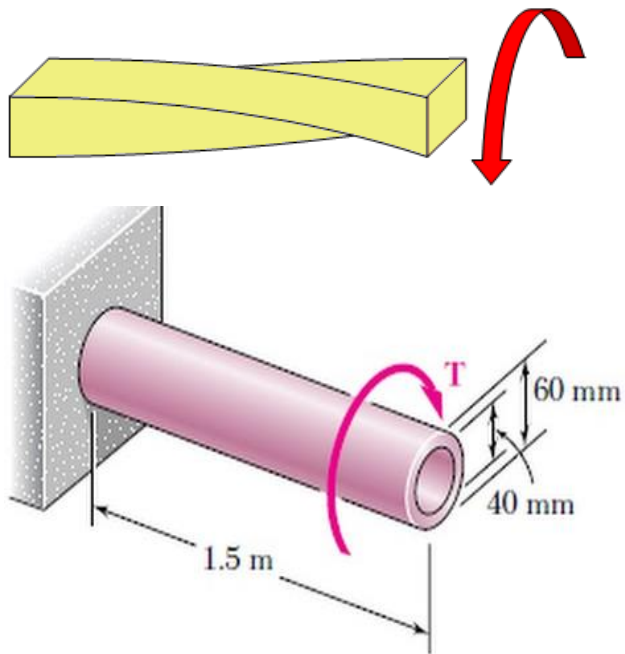
Presentación del caso

- Se tiene un cigüeñal de competición completamente nuevo que en su primer carrera se fisura generalmente a la altura del orificio de lubricación del muñón de biela;
- La falla persiste con un nuevo elemento en la siguiente carrera;
- No se detectan fisuras mediante partículas magnéticas previas al armado del motor, si luego del desarmado posterior a la carrera.



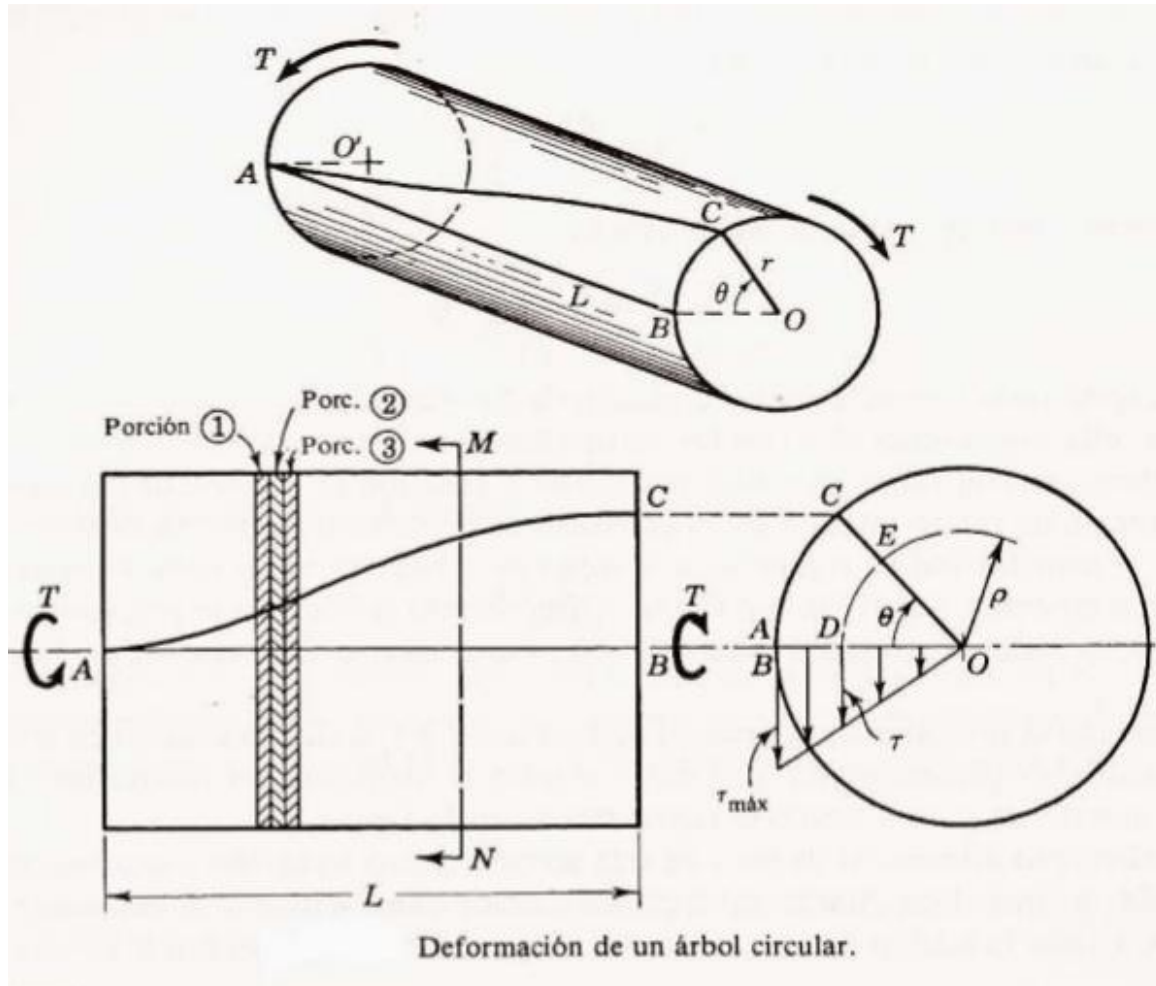
Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Un cigüeñal es un elemento mecánico que trabaja a la torsión



Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Esfuerzo de torsión



El cigüeñal es un elemento mecánico que esta sometido a la fatiga



En la fatiga actúan al mismo tiempo esfuerzos en la rotación:

- Flexión (tracción – compresión cíclicas);
- Vibraciones,

La falla por fatiga ocurre en tres etapas, generalmente:

- **Primera etapa:** La falla se inicia en una grieta muy pequeña en la superficie del material un tiempo después de haberse aplicado la carga cíclica.
- **Segunda etapa:** A continuación la grieta se propaga en forma gradual de afuera hacia adentro conforme la carga continua alternando.
- **Tercera etapa:** Finalmente cuando ya no hay suficiente superficie de metal sano para soportar la carga, ocurre rápidamente la ruptura súbita del componente, y se aprecia mediante una fractura rugosa.



El cigüeñal es un elemento mecánico que esta sometido a la fatiga



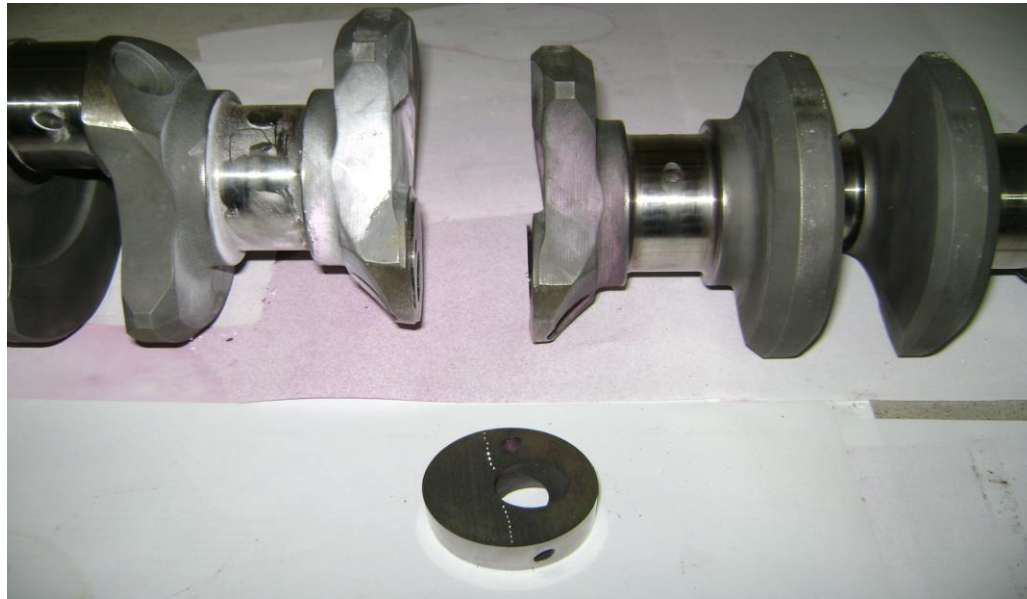
Las propiedades de fatiga son sensibles a los siguientes factores:

- Concentraciones de esfuerzos debido a radios de filete, muescas o ralladuras.
- Rugosidad superficial, cuando es peor el material romperá con menor resistencia a la fatiga. Depende del tipo del mecanizado que tenga la pieza.
- Esfuerzos residuales en la superficie (golpes, mecanizado).
- Condiciones ambientales – Corrosión.



Análisis de falla en un cigüeñal de competición

En nuestro laboratorio se ratifica la existencia de la fisura mediante el ensayo no destructivo de tintas penetrantes, con lo cual se procede al corte del quinto muñón de cigüeñal para la caracterización completa de la falla.



Análisis de falla en un cigüeñal de competición

Caracterización del material

El material es un acero 4140 forjado, nitrurado, templado y revenido, debiendo estar la composición química por norma entre los siguientes valores:

% C	% Mn	% Si	% Cr	% Mo	% S	% P
0,38 – 0,43	0,75 – 1,00	0,20 – 0,35	0,80 – 1,10	0,15 – 0,25	0,04 máx.	0,035 máx.

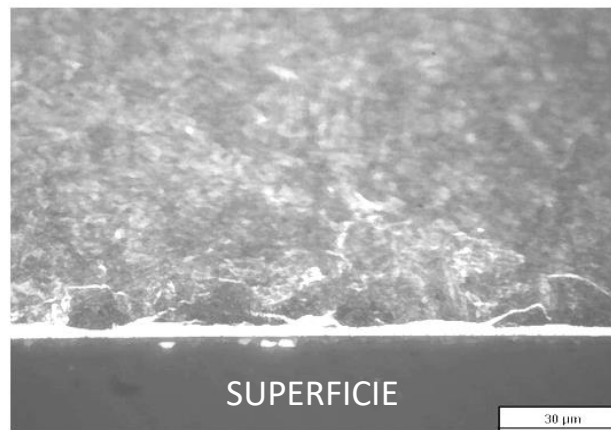
El valor promedio del análisis obtenido mediante espectrometría óptica es el siguiente:

% C	% Mn	% Si	% Cr	% Mo	% Ni	% S	% P
0,40	0,87	0,26	0,93	0,19	0,20	0,04	0,01

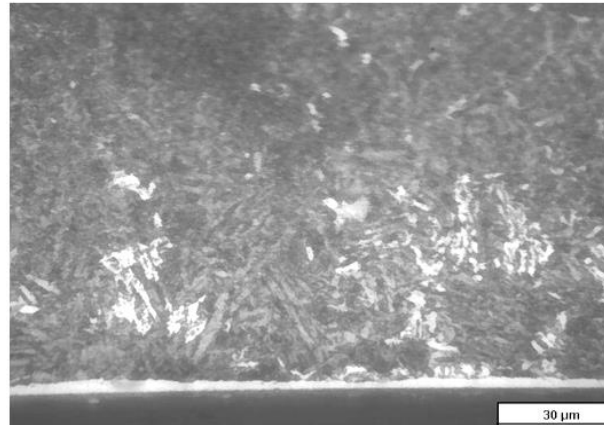


Análisis de falla en un cigüeñal de competición

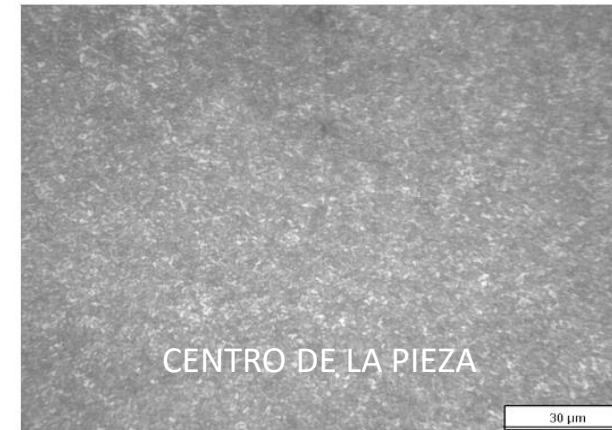
Análisis metalográfico



Capa nitrurada magnificación 970 x



Zona templada – Estructura martensítica
magnificación 970 x

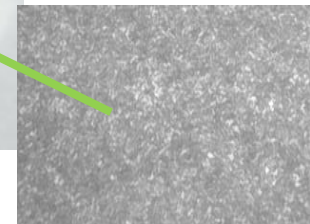
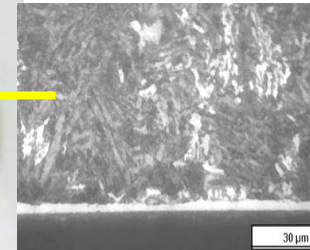
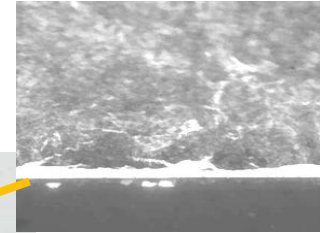
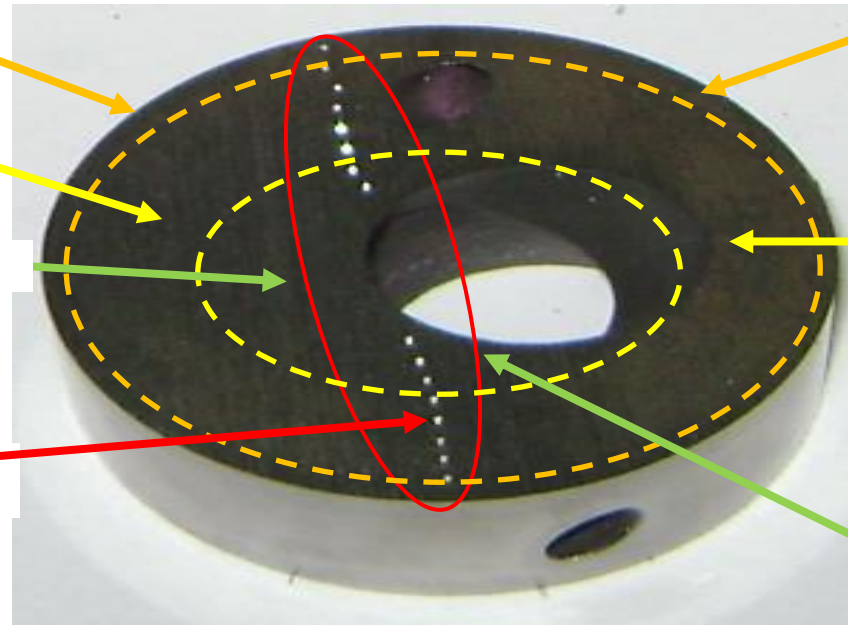


Zona central normalizada
magnificación 970 x

Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

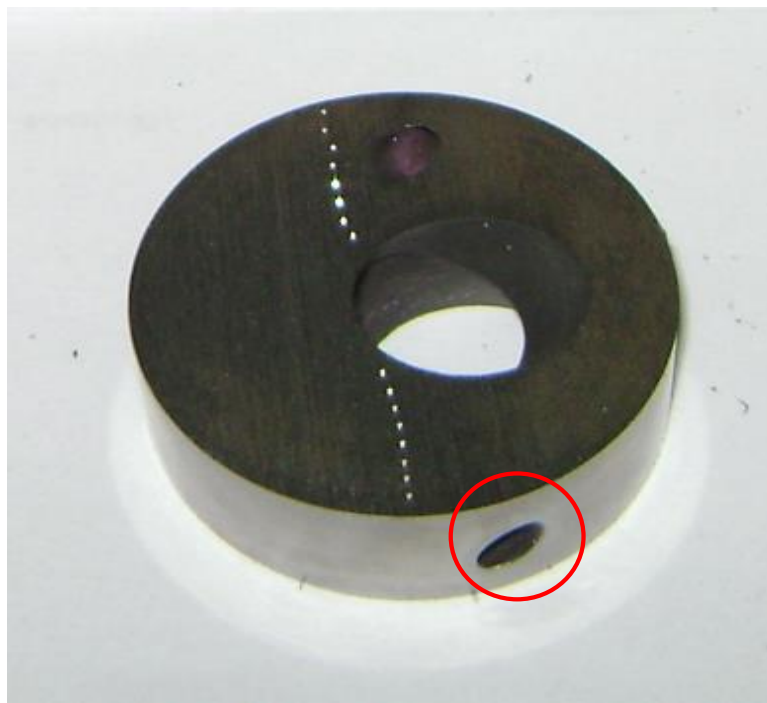
.Dureza

- Zona nitrurada HRc = 78
- Zona templada HRc = 48; 44
- Zona normalizada HRc = 26; 25; 24
- Toma de dureza Rockwell



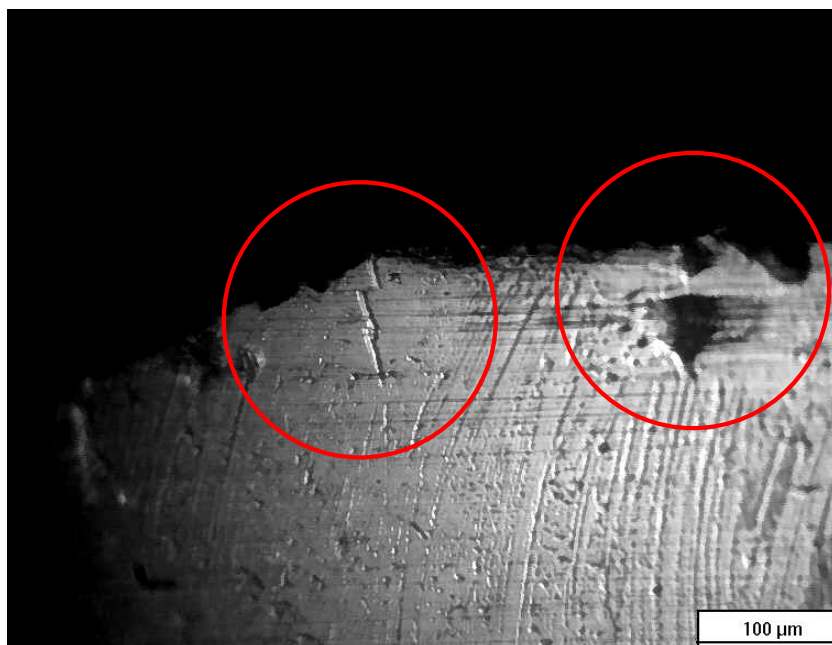
Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Análisis del orificio de lubricación del quinto muñón de biela

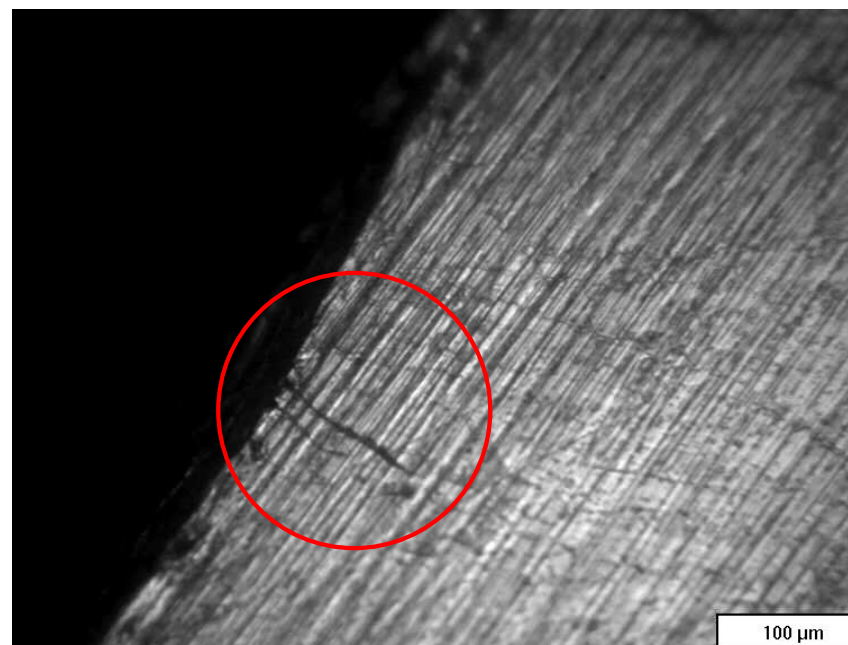


Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Análisis microscópico del orificio de lubricación del quinto muñón de biela



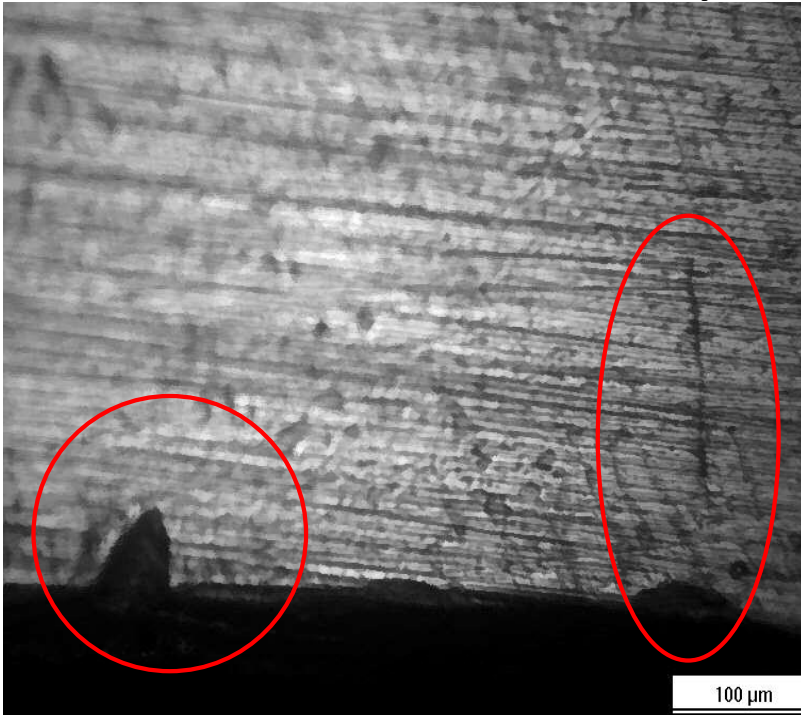
Marcas con arrancamiento de material + fisura – 210x



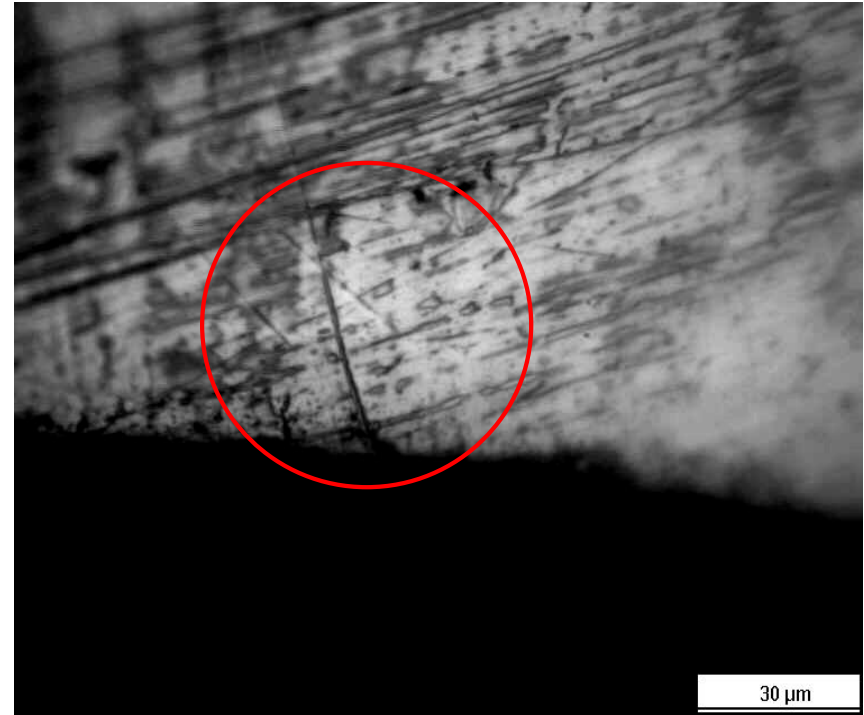
Fisura – 210x

Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Análisis del orificio de lubricación del quinto muñón de biela



Marcas con arrancamiento de material + fisura – 210x



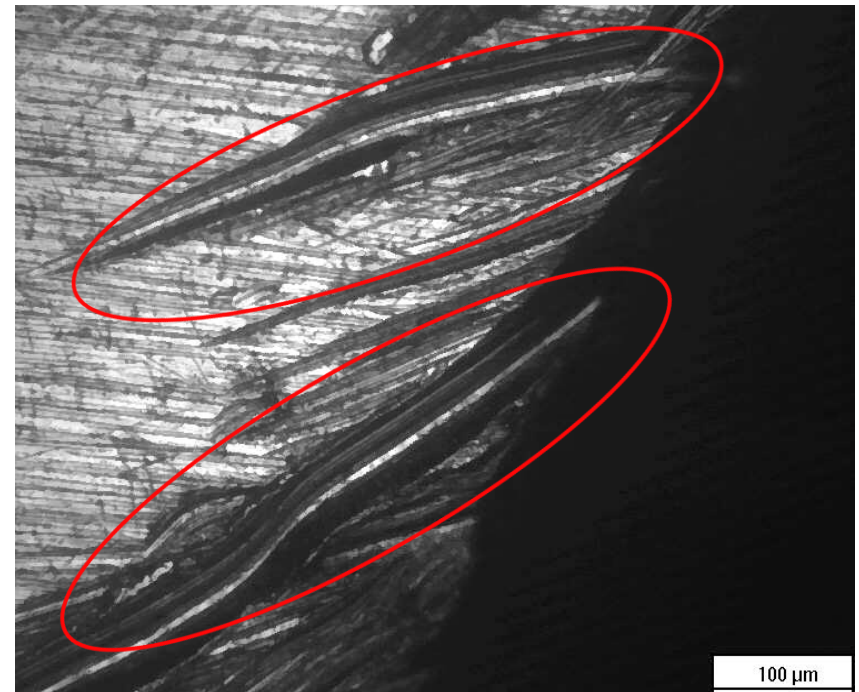
Fisura– 210x

Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Análisis del orificio de lubricación del quinto muñón de biela



Marcas con arrancamiento de material – 210x



Marcas – 210x

Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Conclusiones

- El acero AISI – SAE 4140 es propio para la fabricación de ejes forjados por ser el mismo de alta aptitud para la forja, es nitrurable y templable y de núcleo dúctil como para aguantar los esfuerzos de corte debido a la torsión. La aleación se encuentra el norma en lo que respecta a composición química.
- La capa nitrurada es la correcta en espesor y dureza.
- El revenido no fue el suficiente o no existió de manera de cambiar la estructura martensítica a la de martensita revenida en la zona templada.
- El centro de la pieza se nota una estructura uniforme de carburos de hierro y ferrita de tamaños pequeños y uniformes acorde a una estructura normalizada.



Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Conclusiones

- Se observa una mala terminación superficial por maquinado en el orificio de lubricación, con arrancamientos de material y fisuras, recordando que el cigüeñal es un elemento que esta solicitado a la fatiga y la mala terminación superficial no es admisible.
- No se observan fisuras en el ensayo por partículas magnéticas previo al armado del motor antes de la primera carrera, posiblemente por la escasa profundidad de las mismas.
- Se observan fisuras en el orificio de lubricación luego del desarmado posterior a la carrera debido a que las fisuras originadas en el mecanizado progresaron por efecto de la fatiga en el transcurso del trabajo del elemento.



Análisis de fallas en un cigüeñal de competición

Conclusión final

- En el material se originaron fisuras en el orificio de lubricación debido a una mala operación del maquinado del orificio de lubricación, posiblemente por una herramienta defectuosa o desafilada, lo que ocasiono una superficie con alta rugosidad en un elemento sometido a esfuerzos de fatiga
- Esto derivó en desechar el elemento y no incluirlo en el próximo armado para evitar el corte por progreso de la fisura y rotura total de muchas partes del motor (pistón; biela; válvulas; block) en el transcurso de la carrera.



Análisis de fallas en dos juegos de diferentes proveedores de resortes de válvulas de competición

Coemitente: JC Competición

Preparador: Daniel De Marco

Piloto: Matías Rossi

Auto: Coupé Chevy Turismo Carretera



Análisis de fallas en resortes de válvulas de competición

Presentación del caso

Se tienen 2 juegos de resortes de válvulas de competición pertenecientes a dos proveedores diferentes **A** y **B**.

Ambos juegos parten con similares resistencia a la compresión antes de la carrera.

Un juego perteneciente a un proveedor **A** no resiste la jornada de competición sin ablandarse con perdida de la compresión en las válvulas y por lo tanto hay una perdida de rendimiento del motor durante el transcurso de la carrera.

El siguiente juego perteneciente a un proveedor **B**, no se ablanda en carrera con el consiguiente buen del rendimiento del motor, además es posible utilizarlo en varias carreras mas.

La falla se reitera en las sucesivas carreras donde son utilizados los mismos juegos pertenecientes al proveedor **A**.



Análisis de fallas en resortes de válvulas de competición

Caracterización del material

Acero: AISI – SAE 9254 (acero al Si - Mn) recomendado para temperaturas máximas de 230°C



CONJUNTO ARMADO DE
RESORTES DE VALVULAS



PROVEEDOR A - RESORTE 1 RESORTE 2

PROVEEDOR B - RESORTE 3 RESORTE 4

Caracterización del material (acero 9254 con Si y Mn)



MUESTRAS PARA
ANÁLISIS

Composición química de la aleación

Resorte	C	Mn	Si	Ni	Cr	P	S	Mo
1	0.69	0.59	1.47	0.062	0.70	0.020	0.017	0.022
2	0.67	0.58	1.47	0.059	0.71	0.017	0.012	0.020
3	0.66	0.60	1.41	0.034	0.66	0.020	0.014	0.009
4	0.67	0.58	1.43	0.039	0.68	0.017	0.012	0.012

A

B

Valores de dureza obtenidos

	Medida 1 [HRC]	Medida 2 [HRC]	Medida 3 [HRC]	Valor promedio [HRC]
Resorte 1	61	57	57	58
Resorte 2	57	59	58	58
Resorte 3	58	57	55	57
Resorte 4	54	54	53	54

A

B

Análisis de fallas en resortes de válvulas de competición

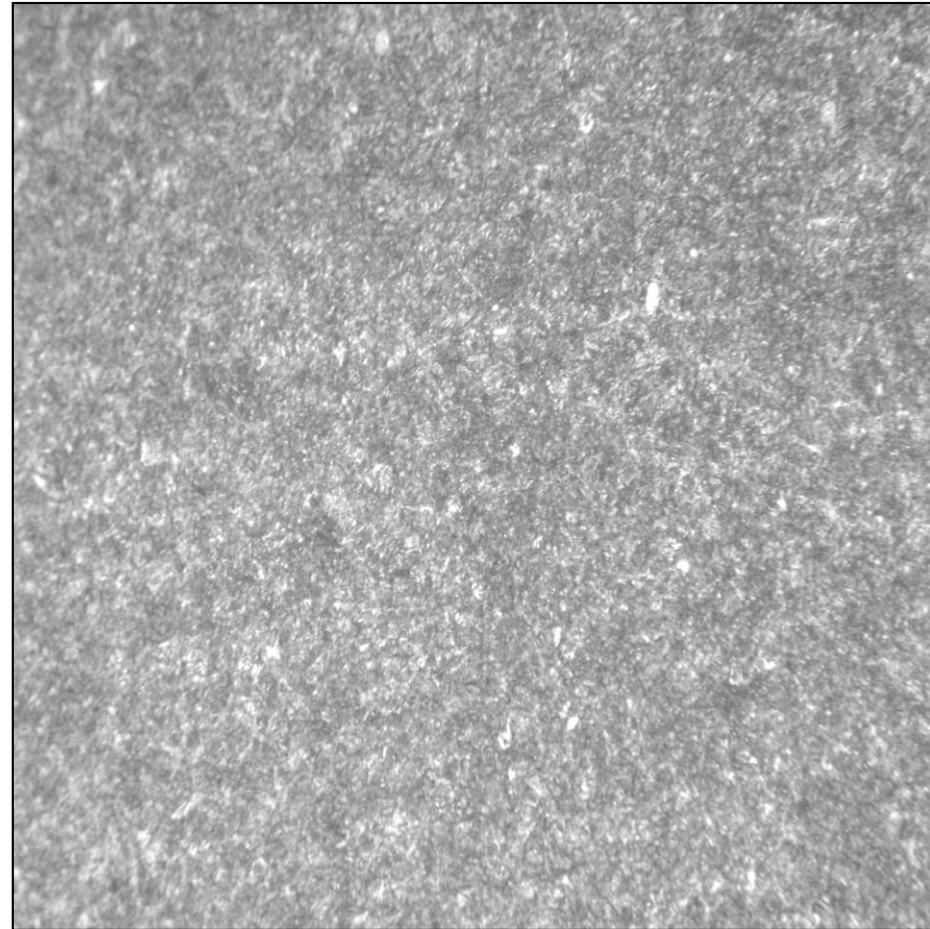
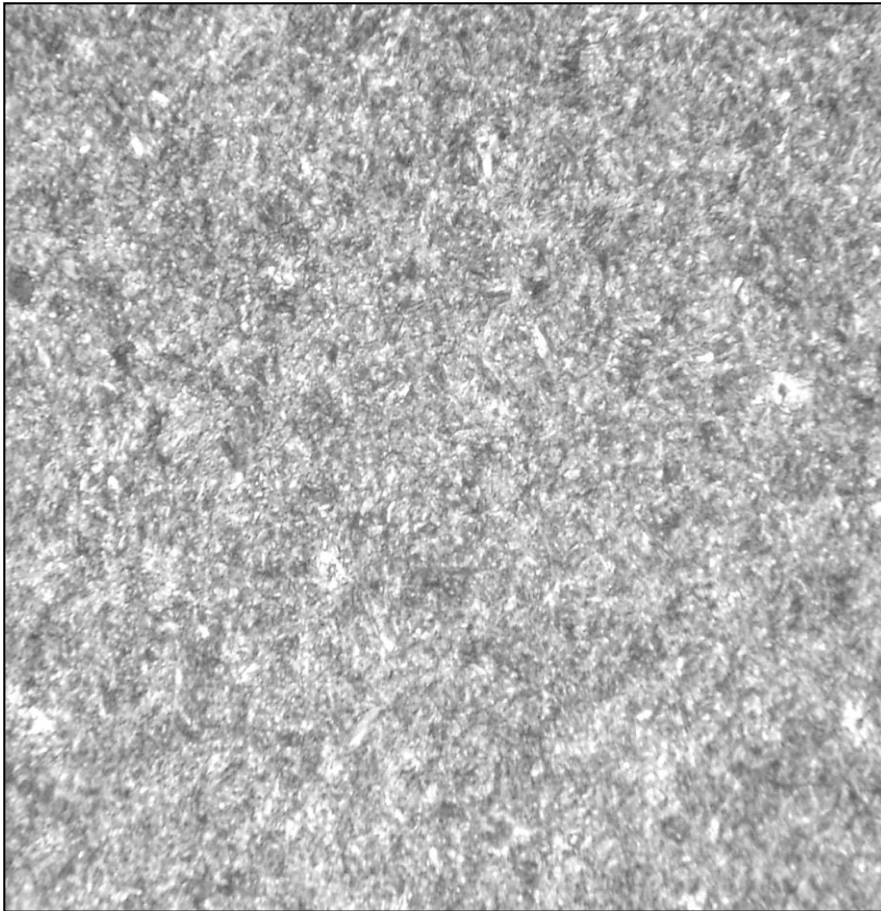
El análisis metalográfico se realizó en los dos juegos de resortes los cuales estaban sin uso.

El juego perteneciente al proveedor **A**, muestra 1 y 2, presentan una estructura martensítica perteneciente a un material templado.

Mientras que, el juego perteneciente al proveedor **B**, tiene una estructura más fina donde se pueden observar carburos y ferrita de formas pequeñas y globulizadas pertenecientes a un tratamiento térmico de templado y posterior revenido.

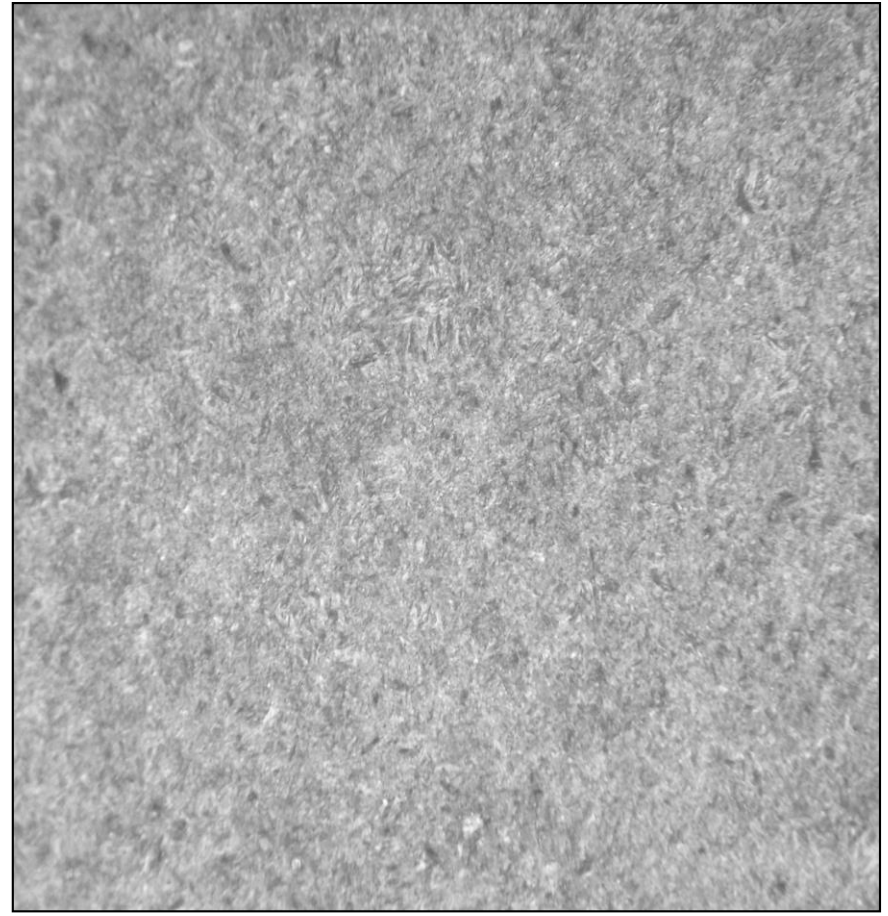
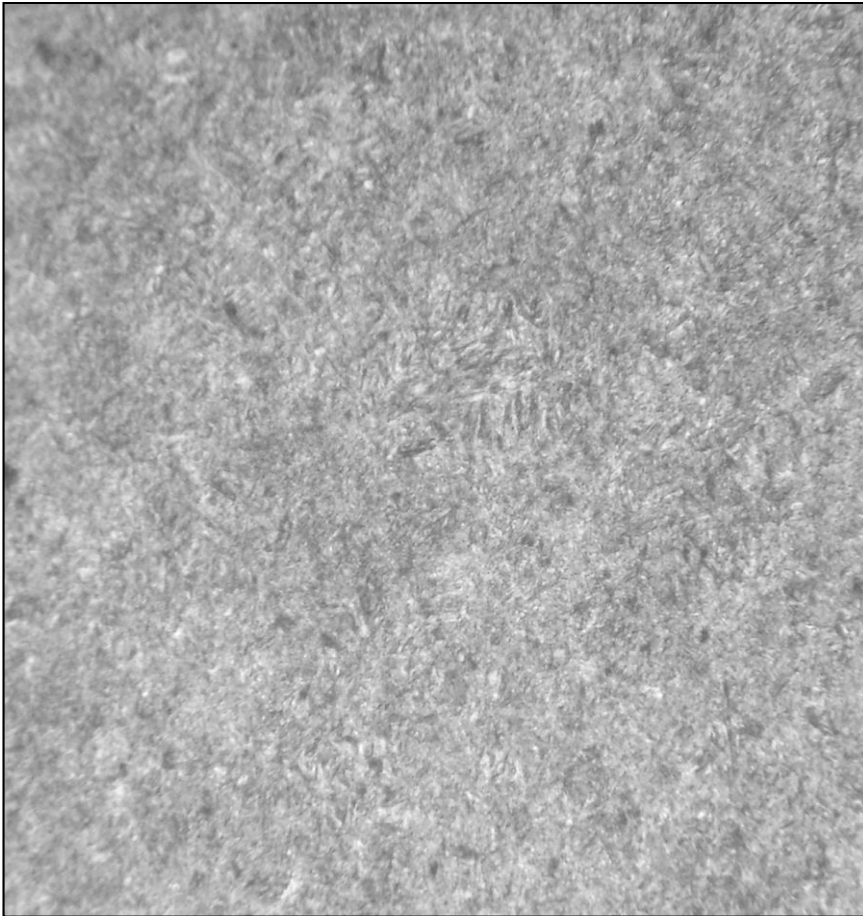


Análisis metalográfico 750 x (resorte nuevo sin uso)



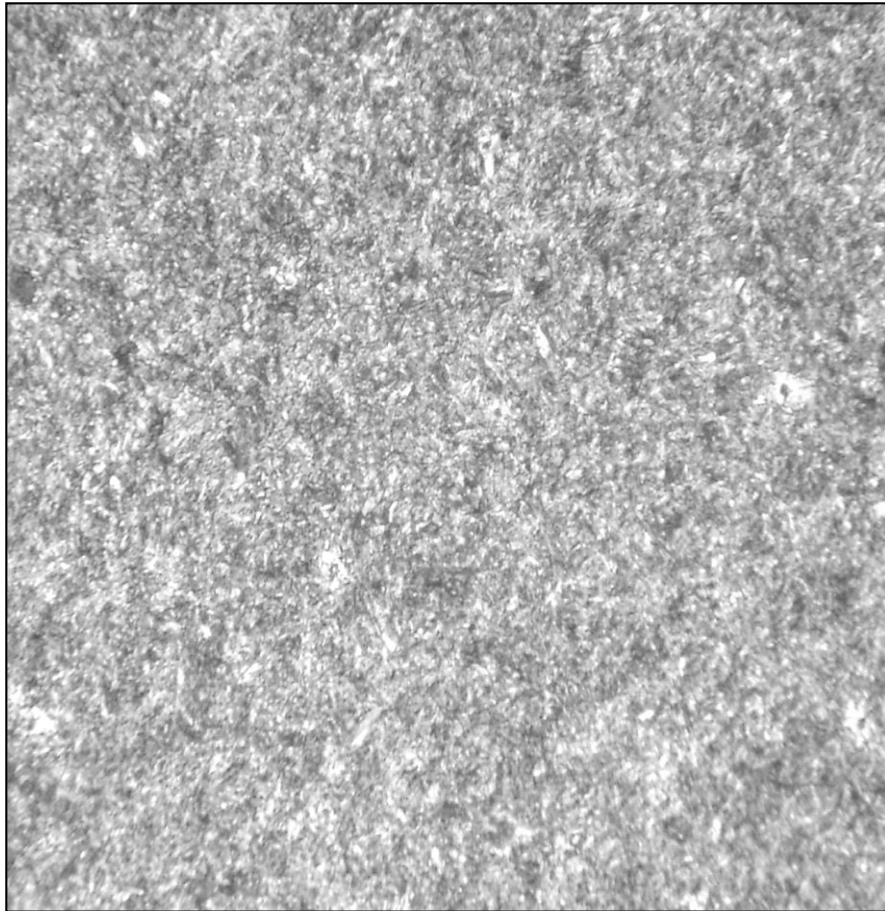
PROVEEDOR A - RESORTE 1 RESORTE 2

Análisis metalográfico 750 x (resorte nuevo sin uso)

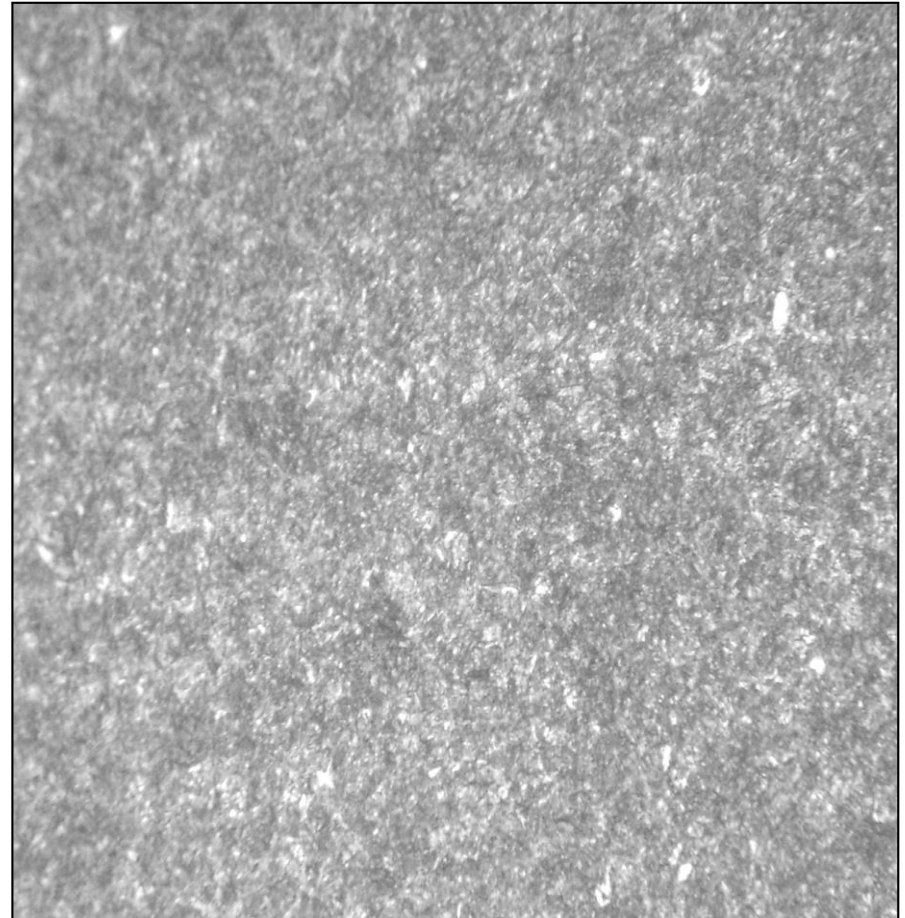


PROVEEDOR B - RESORTE 3 RESORTE 4

Análisis metalográfico de los resortes pertenecientes al proveedor A (750 x)

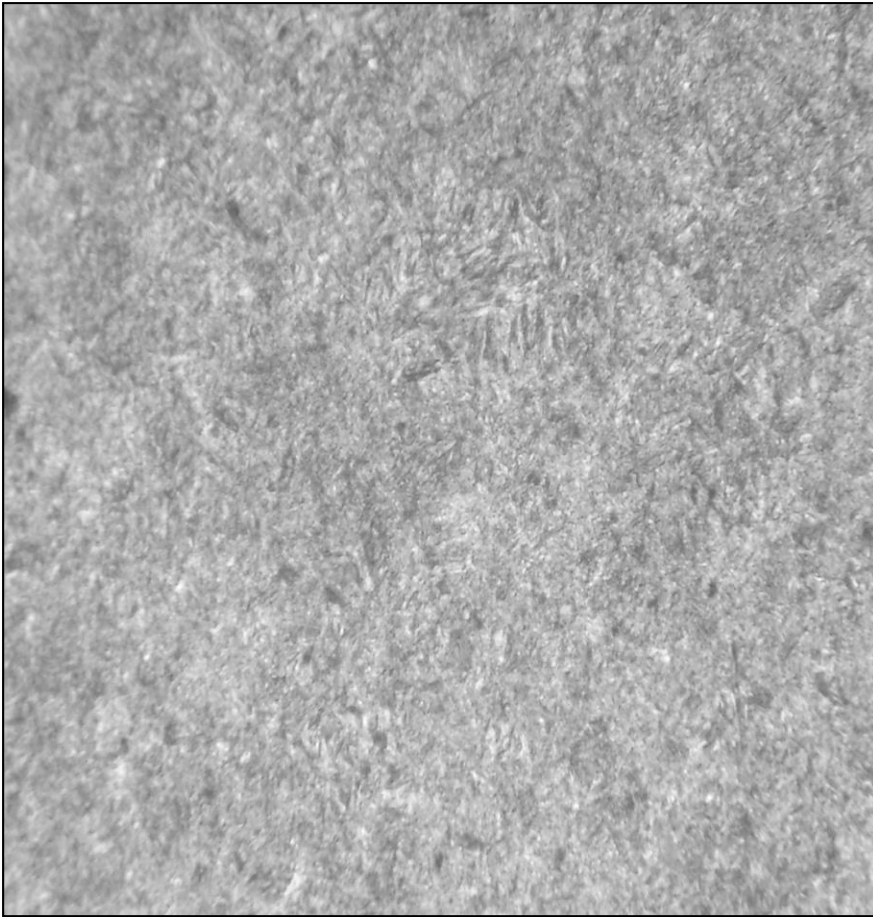


ANTES DE LA CARRERA

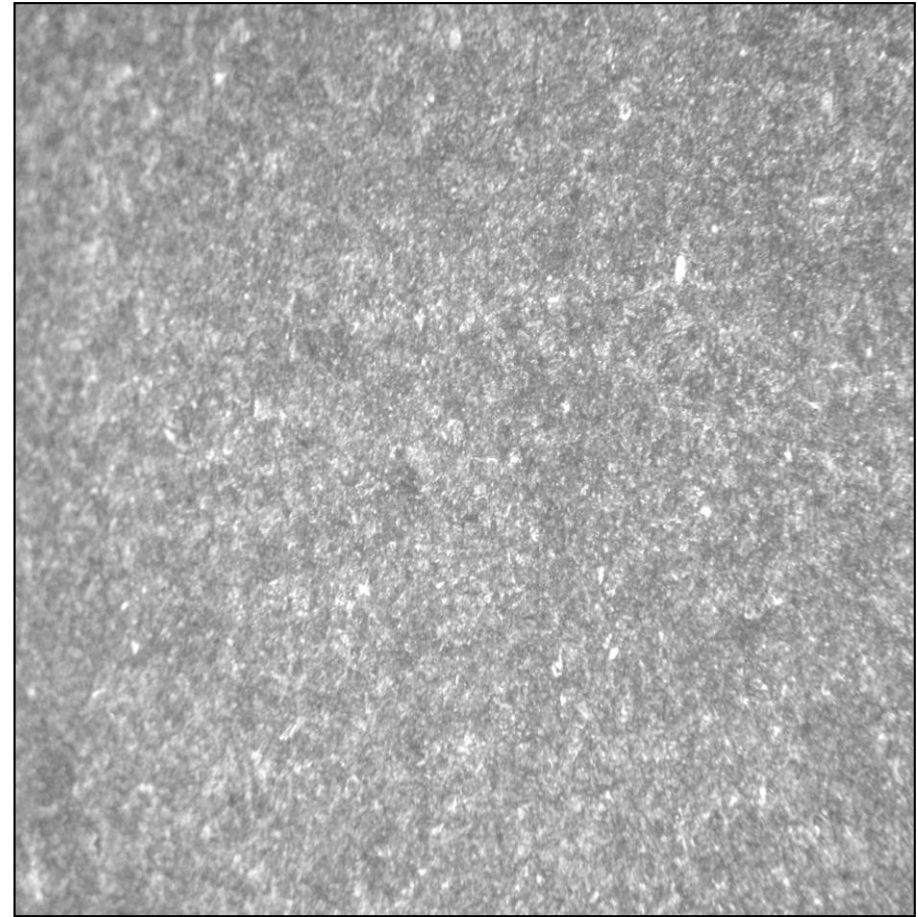


POSTERIOR A LA CARRERA

Análisis metalográfico de los resortes pertenecientes al proveedor *B* (750 x)



ANTES DE LA CARRERA



POSTERIOR A LA CARRERA

Dureza antes (tabla 3) y después de la carrera (tabla 4)

Tabla3 Valores de dureza obtenidos

	Medida 1 [HRC]	Medida 2 [HRC]	Medida 3 [HRC]	Valor promedio [HRC]
Resorte 1	61	57	57	58
Resorte 2	57	59	58	58
Resorte 3	58	57	55	57
Resorte 4	54	54	53	54

} A
} B

Tabla 4 Valores de dureza obtenidos

	Medida 1 [HRC]	Medida 2 [HRC]	Medida 3 [HRC]	Valor promedio [HRC]
Resorte 1	28	26	25	30
Resorte 2	32	29	30	28
Resorte 3	52	54	50	55
Resorte 4	51	50	49	51

} A
} B



- La composición química de los cuatro resortes se corresponden con la de un acero AISI SAE 9254. Estos aceros son los adecuados para servicios a temperaturas moderadas no superiores a 230°C.
- El bajo rendimiento de los resortes de válvulas provenientes del proveedor **A**, esta asociado al hecho de que su estructura es martensítica la cual proviene de un tratamiento termico de temple sin el correspondiente revenido. A la temperatura de trabajo, estos se revienen naturalmente bajando demasiado la dureza de los mismos originando la perdida de rendimiento.
- Los resortes 3 y 4 provenientes del proveedor **B** se encuentran templados y revenidos, no cambiando su estructura metalográfica con la temperatura de trabajo con lo cual sus propiedades permanecen (leve caída en la dureza) durante mucho tiempo de exposición a media temperatura.
- Resortes 1 y 2 (**A**) no terminan la carrera, mientras que resortes 3 y 4 (**B**) se reutilizan



Análisis de fallas en resortes de válvulas de competición

Conclusión final

- El revenido natural baja demasiado las propiedades mecánicas de un material, no ocurriendo lo mismo con un revenido artificial controlado en tiempo y temperatura, el cual mantiene las propiedades mecánicas obtenidas. Esto se debe al mantenimiento de la estructura metalográfica a la temperatura de trabajo.





Muchas gracias por su atención!!

