



ANÁLISIS DE FALLA A TORNILLO SIN FIN

Empresa : MOLIBDENOS Y METALES S.A.

ÍNDICE

A.- Identificación de la Muestra:	5
B.- Metodología de Trabajo y Análisis:.....	6
C.- Antecedentes:	8
D.- Inspección Visual:	9
E.- Microscopía Electrónica de Barrido:	12
F.- Resultados de Análisis Químico:	14
G.- Ensayo de Microdureza:	15
H.- Análisis Metalográfico:	17
I.- Observaciones:.....	26
J.- Comentarios:.....	26

Cliente : MOLIBDENOS Y METALES S.A.
Dirección : CAMINO NOS 66 LOS MORROS, SAN BERNARDO
Tipo de Muestra : Muestra metálica
Cantidad : 01
Tipo de Ensayo : Análisis de Falla **Fecha de Recepción** : 13-11-2019
Solicitante : Rafael Sanhueza San **Fecha de Emisión Informe** : 04-02-2020
Martín

ANÁLISIS DE FALLA A TORNILLO SIN FIN**AUTORES: Bruno Astorga Z. y Alejandro Castillo A.**

Objetivo: Determinar las causas raíz de la falla del componente.

Alcance: El presente estudio considerará solo a la muestra proporcionada por el cliente, así como los antecedentes proporcionados por el mismo. A partir de esto se realizarán ensayos de laboratorio y se generará un informe con conclusiones.

Comentarios:

De los resultados obtenidos, se puede comentar lo siguiente:

Inspección Visual:

La inspección visual indica que existen depósitos de muestra adheridos en la superficie. Además, se aprecia que existe un desgaste heterogéneo, es decir, existe una diferencia de altura entre los hilos de aproximadamente 10 mm.

Microscopía Electrónica de Barrido:

Los análisis de microscopía electrónica realizado a los depósitos superficiales indican que la muestra presenta restos de óxidos de molibdeno.

Resultados Análisis Químico:

La composición química del material base no concuerda con la referencia proporcionada por el cliente, es decir, la muestra no concuerda con el acero tipo A2, según la norma ASTM A681.

Ensayo de Microdureza:

Los perfiles de microdureza realizados revelan que las muestras presentan un nivel de dureza homogéneo, sin embargo, la muestra que sufre un menor desgaste posee una dureza levemente mayor.

Análisis Metalográfico:

El análisis metalográfico indica que la muestra presenta una microestructura compuesta por martensita y carburos. Además, se aprecia que existe una diferencia en el volumen de los carburos del sector 1 respecto al sector 2.

En resumen:

Los análisis realizados al tornillo sin fin, no revelan problemas de material que puedan atribuir una falla anticipada del eje.

Pese a que no cumple la composición química de un acero de herramientas tipo A2, existiendo un mayor contenido de carbono, y si bien existen diferencias metalúrgicas entre los hilos, como una menor dureza (leve diferencia) y la presencia de un volumen de carburos de mayor tamaño en el hilo de mayor tasa de desgaste, no es posible atribuir estas características a la falla del componente. Se estima que estas diferencias podrían aportar resistencia al desgaste, sin embargo, se recomienda realizar una evaluación posterior para determinar la mejor combinación entre microestructura y resistencia al desgaste para el material que está en contacto con este componente.

Palabras claves: Desgaste, microestructura.

A.- Identificación de la Muestra:

ID ITEM	Identificación del Cliente
13207-01	Se ha recibido una muestra, identificada por el cliente como: " Tornillo sin fin ".

En la figura A.1 se presenta una imagen de la muestra recibida.



Figura A.1 Imagen de la muestra recibida.

B.- Metodología de Trabajo y Análisis:

La metodología para realizar el análisis de falla, será basada en buscar la información que entregue las respuestas de las diferentes variables involucradas, las cuales son representadas según la figura B.1.

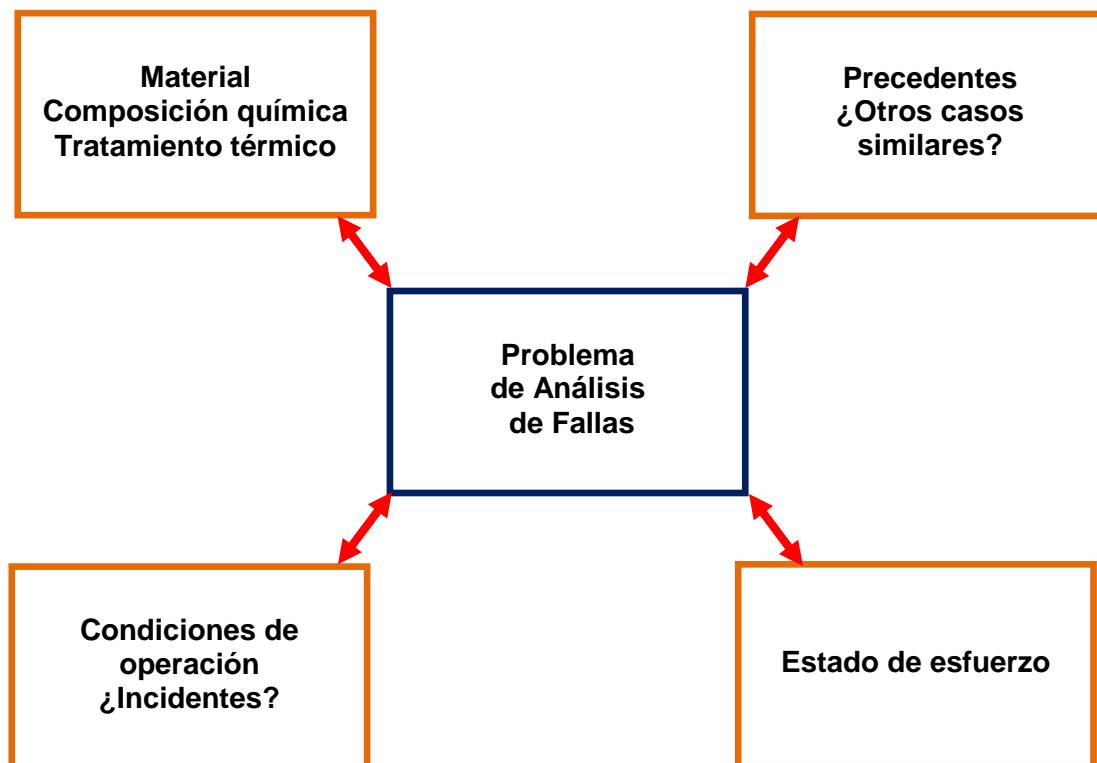


Figura B.1 Imagen de variables involucradas en la falla.

- Para iniciar el estudio, se procede con la revisión de los antecedentes entregados por el cliente, donde se indica la información relacionada al uso de la pieza, como condiciones operacionales, eventos relacionados con la falla y tiempo de uso.
- Revisión de normativas, características del material y sus fundamentos teóricos, revisión de la literatura relacionada.
- Inspección de la superficie y morfología de la fractura.
- Identificación del modo de falla.
- Envío de muestras a taller mecánico para la preparación de probetas.
- Envío de muestras para análisis de laboratorio.
- Revisión de resultados.
- Determinación del origen de falla.

	ANÁLISIS DE FALLA AM-13207-0101 MOLIBDENOS Y METALES S.A.	Fecha: 04 de Febrero de 2020
		Revisión: 0.-
		Página 7 de 29



Los análisis que serán realizados, corresponden a los siguientes:

B.1- Inspección Visual:

Este análisis contribuye a determinar cuál es o fueron los posibles puntos de interés que dieron origen a la falla, lo cual es altamente relevante en el análisis ya que corresponde a una primera aproximación a una hipótesis del trabajo.

B.2- Microscopía Electrónica de Barrido:

Mediante MEB (Microscopía Electrónica de Barrido), el estudio pretende observar de manera detallada las características de la fractura, evidenciar los orígenes de las grietas y como se relacionan con las características del material, diseño, sobreesfuerzos, etc.

B.3- Análisis Químico:

El objetivo del análisis es determinar la composición química del acero, elementos presentes en el acero, rango de los elementos fragilizadores y condición respecto de la norma respectiva.

B.4- Ensayo de Microdureza:

Mediante el ensayo de microdureza el estudio puede verificar si existe una zona afectada térmicamente o pérdida de propiedades en pequeñas zonas.

B.5- Análisis Metalográfico:

Se realiza análisis metalográfico para determinar la condición microestructural del material y observar la condición del tratamiento térmico si es adecuado o no.

C.- Antecedentes:

Por antecedentes entregados por el cliente, se cuenta con la siguiente información:

- La corriente del tornillo pre-compactor en promedio es de 32Hz, cuando hay desgaste la corriente aumenta hasta los 52Hz.
- La falla del componente es recurrente y el cambio de pieza es de 6 veces al año.
- La muestra en estudio estuvo en servicio durante 52 días aproximadamente (cada día funcionó durante 16 horas en promedio)
- El cliente proporciona planos sobre del equipo donde operó el componente, estos se muestran en la figura C.1
- De los planos es posible apreciar que el componente se encuentra manufacturado a partir de un acero tipo A2 y que podría poseer un recubrimiento anti-desgaste.

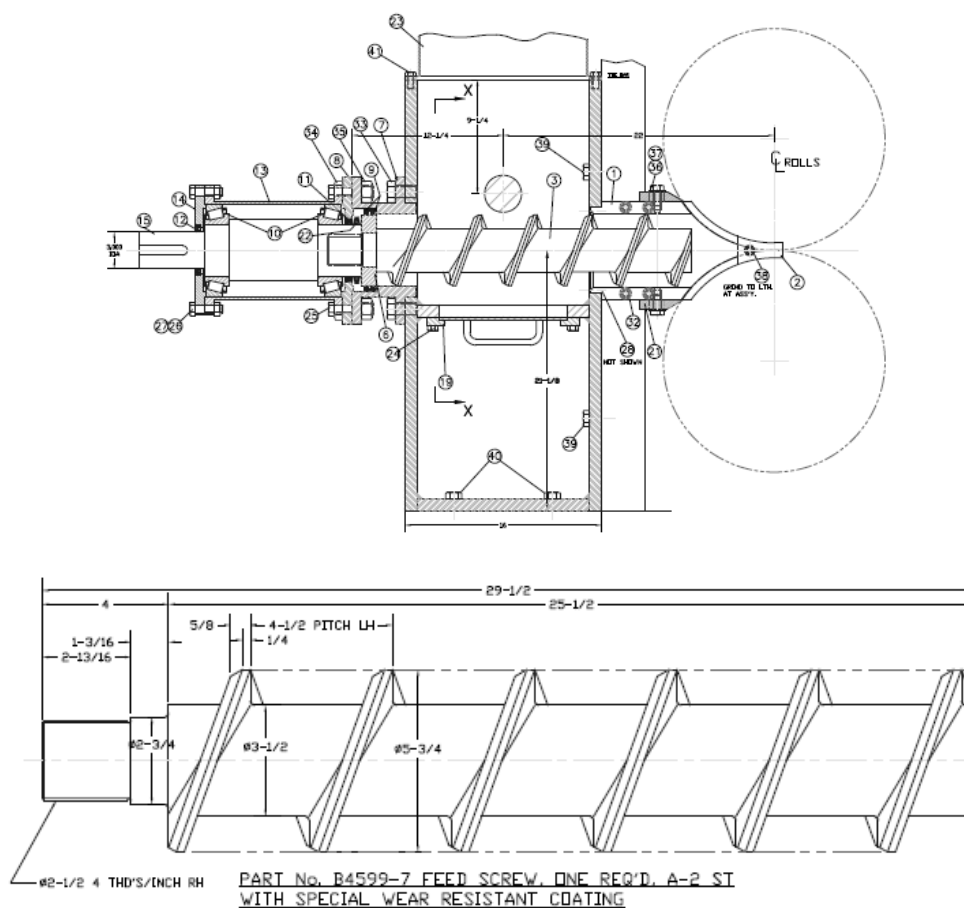


Figura C.1 Planos proporcionados por el cliente.

	ANÁLISIS DE FALLA AM-13207-0101 MOLIBDENOS Y METALES S.A.	Fecha: 04 de Febrero de 2020
		Revisión: 0.-
		Página 9 de 29



D.- Inspección Visual:

Con el objetivo de observar y analizar la condición superficial de la muestra, se procedió a la inspección visual, con la finalidad de encontrar defectos que entreguen evidencia del origen de la falla.

La figura D.1 muestra imágenes del componente identificado como: “**Tornillo sin fin**”, previo a su limpieza, en las cuales es posible apreciar que la muestra presenta una gran cantidad de depósitos, evidenciando distintas tonalidades en la superficie de la muestra.

La figura D.2 muestra imágenes del componente posterior a su limpieza, en las cuales es posible apreciar una diferencia de altura entre los hilos del tornillo sin fin de aproximadamente 10 milímetros. El **sector 1** de la muestra es el que presenta mayor altura en comparación al **sector 2**.



Figura D.1 Imágenes de la inspección visual realizada al tornillo sin fin, previo a su limpieza.

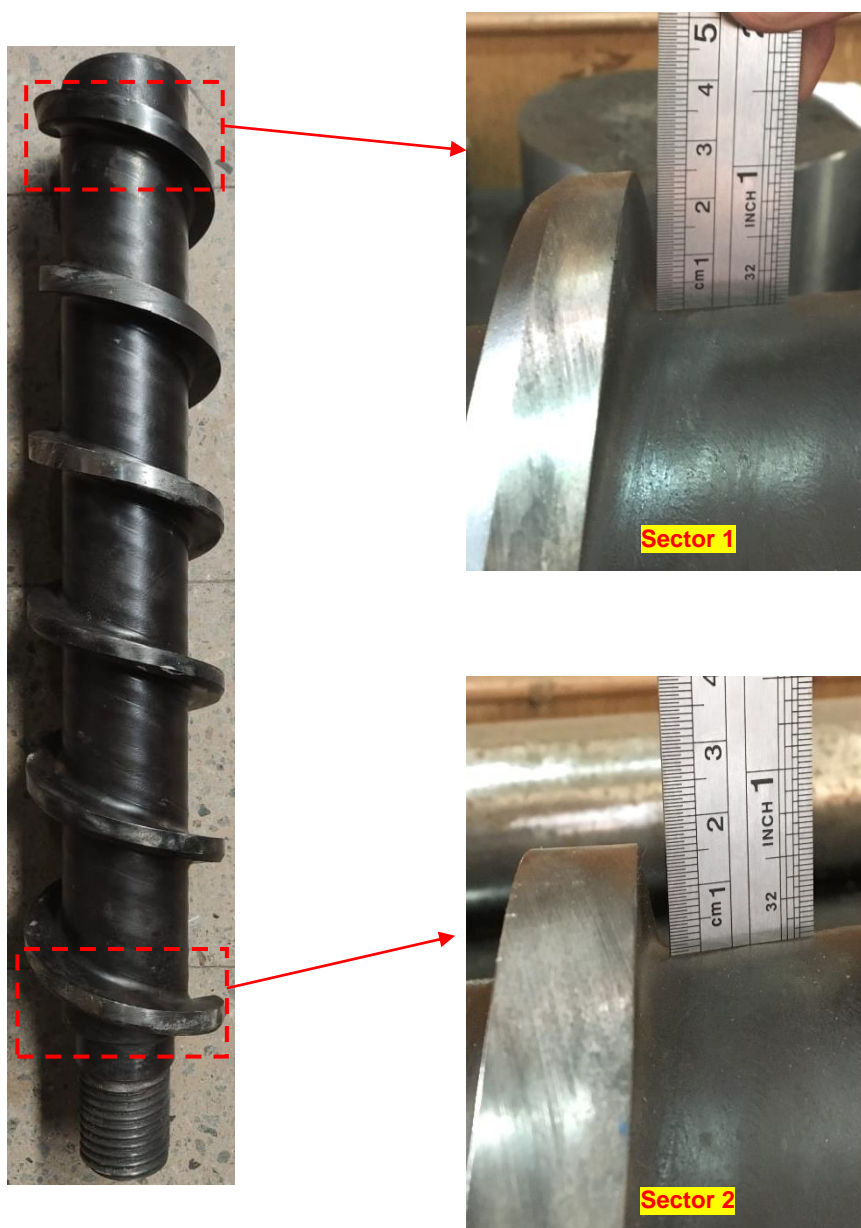


Figura D.2 Imágenes de la inspección visual realizada al tornillo sin fin, posterior a su limpieza.

E.- Microscopía Electrónica de Barrido:

Con el objetivo de caracterizar los depósitos superficiales encontrados en la muestra recibida, se procedió al análisis por microscopía electrónica de barrido. El análisis fue realizado en un microscopio electrónico de barrido marca JEOL, dotado de análisis EDS (Energy Dispersive Spectrometry).

En las figuras E.1 a E.3 se muestran imágenes obtenidas a distintos aumentos de los depósitos analizados en la inspección visual, diferenciados según su tonalidad.

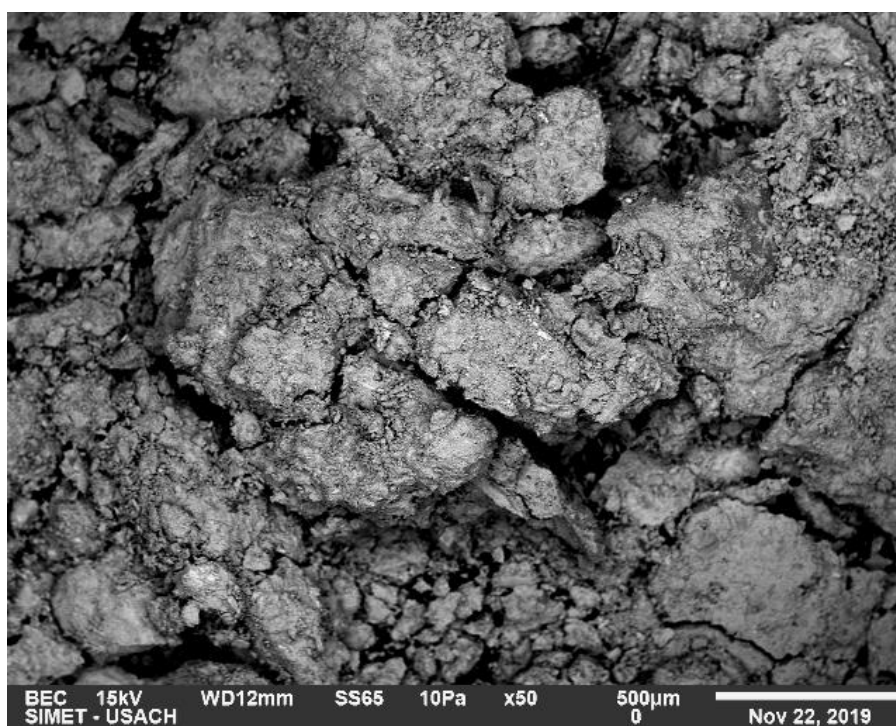


Figura E.1 Imagen obtenida a 50 aumentos, depósitos blancos.

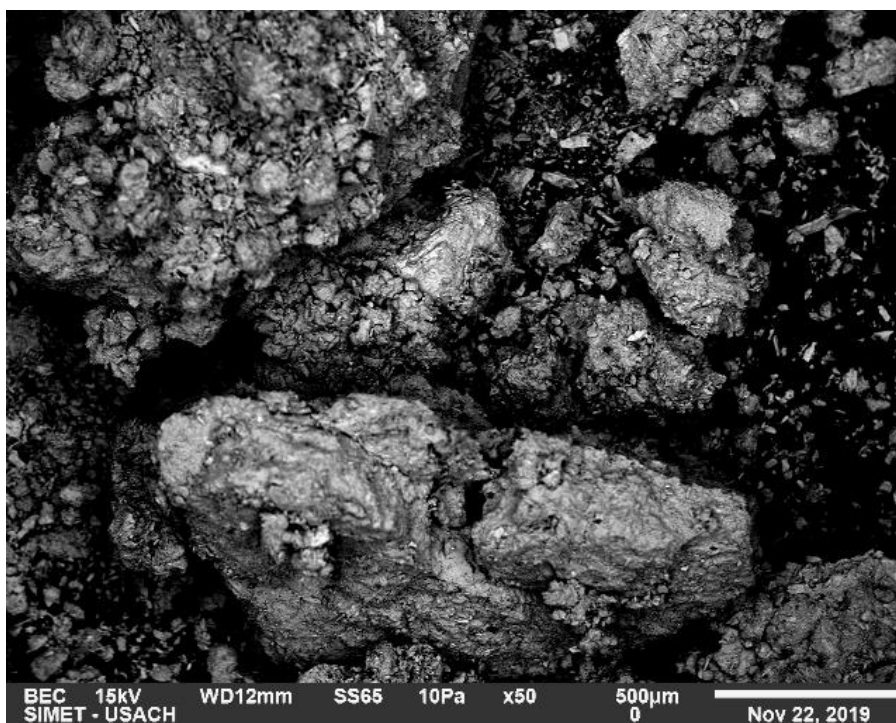


Figura E.2 Imagen obtenida a 50 aumentos, depósitos grises.

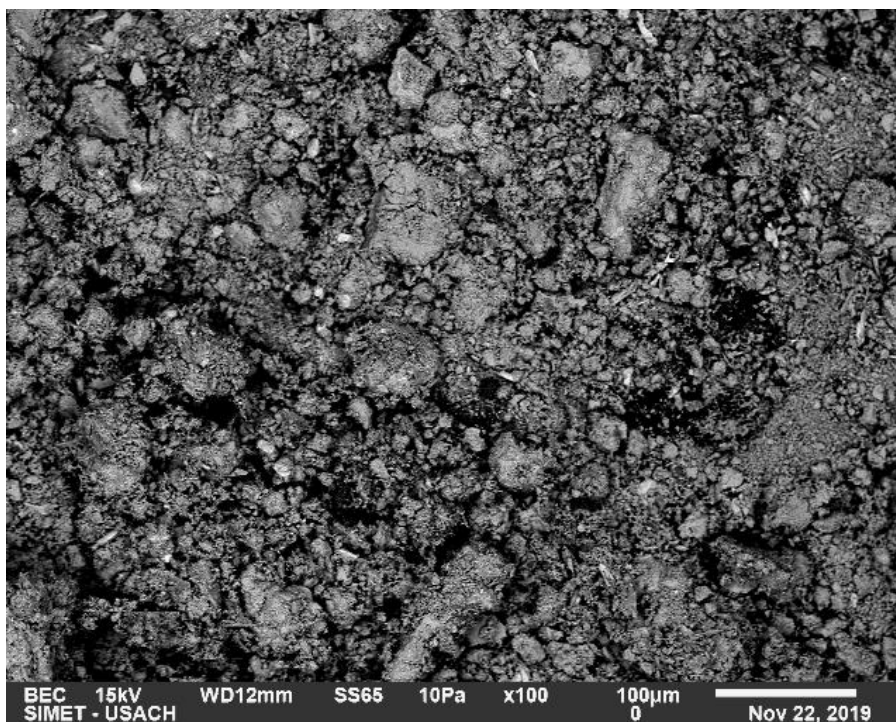


Figura E.3 Imagen obtenida a 100 aumentos, depósitos verdes.

La tabla E.1 muestra los resultados de los análisis químicos (semi-cuantitativos), realizados a los distintos depósitos superficiales.

Tabla E.1 Análisis químico (semi-cuantitativo) realizados a los depósitos superficiales.

ID Muestra	%O	%Si	%Mo	%Al	%Fe
13009-01-S01 "Depósitos blancos"	34,6	0,97	64,43	-	-
13009-01-S02 "Depósitos grises"	34,29	-	60,45	1,16	4,09
13009-01-S03 "Depósitos verdes"	31,38	0,98	61,62	-	6,02

F.- Resultados de Análisis Químico:

En la tabla F.1 se muestra los valores resultantes del análisis químico, obtenido mediante espectrometría de emisión óptica.

Tabla F.1 Resultados de Análisis Químico.

ID ITEM	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%Cu
13207-01-Q01	1,27	0,288	0,472	0,010	0,002	4,86	0,136	0,94	0,007	0,075
	%Co	%Ti	%Nb	%V	%B	-	-	-	-	%Fe
	0,011	<0,0005	<0,004	0,163	0,001	-	-	-	-	Resto
Referencia	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	-	%Mo	%V	%Fe
ASTM A681 Tipo A2	0,95 - 1,05	0,10 - 0,50	0,40 - 1,00	Máx. 0,030	Máx. 0,030	4,75 - 5,50	-	-	0,15 - 0,50	Resto

G.- Ensayo de Microdureza:

Con el objetivo de determinar la posible variación de dureza de la muestra, se procedió a realizar una serie de cortes para así obtener mediciones de microdureza. La Figura G.1 presenta las muestras obtenidas, en donde las flechas amarillas indican la dirección de los perfiles de microdureza. La tabla G.1 presenta los resultados obtenidos de las mediciones realizadas. Dado que el sector 2 se encuentra desgastado, se ha desplazado la curva para comparar las mismas distancias.



Figura G.1 Imagen de los sectores seleccionados para realizar las mediciones.

Tabla G.1 Resultados de Ensayos de Microdureza.

Microdureza (1 HV)			
Distancia desde la superficie (mm)	13207-01-MD01 Sector 1	Distancia desde la superficie (mm)	13207-01-MD02 Sector 2
0,2	609	-	-
0,4	613	-	-
0,6	597	-	-
0,8	611	-	-
1,0	607	-	-
1,2	605	-	-
1,4	596	-	-
1,6	611	-	-
1,8	613	-	-
2,0	590	-	-
3,0	600	-	-
4,0	613	-	-
5,0	617	-	-
6,0	602	-	-
7,0	603	-	-
8,0	607	-	-
9,0	598	-	-
10,0	590	-	-
10,2		10,2	574
10,4	-	10,4	586
10,6	-	10,6	565
10,8	-	10,8	576
11,0	605	11,0	628(*)
11,2	-	11,2	587
11,4	-	11,4	597
11,6	-	11,6	595
11,8	-	11,8	576
12,0	608	12,0	561
13,0	609	13,0	570
14,0	590	14,0	582
15,0	605	15,0	588
16,0	596	16,0	576

(*) Medición cercana a un carburo de gran dimensión.

En la figura G.2 se presenta un gráfico de los perfiles de microdurezas obtenidos.

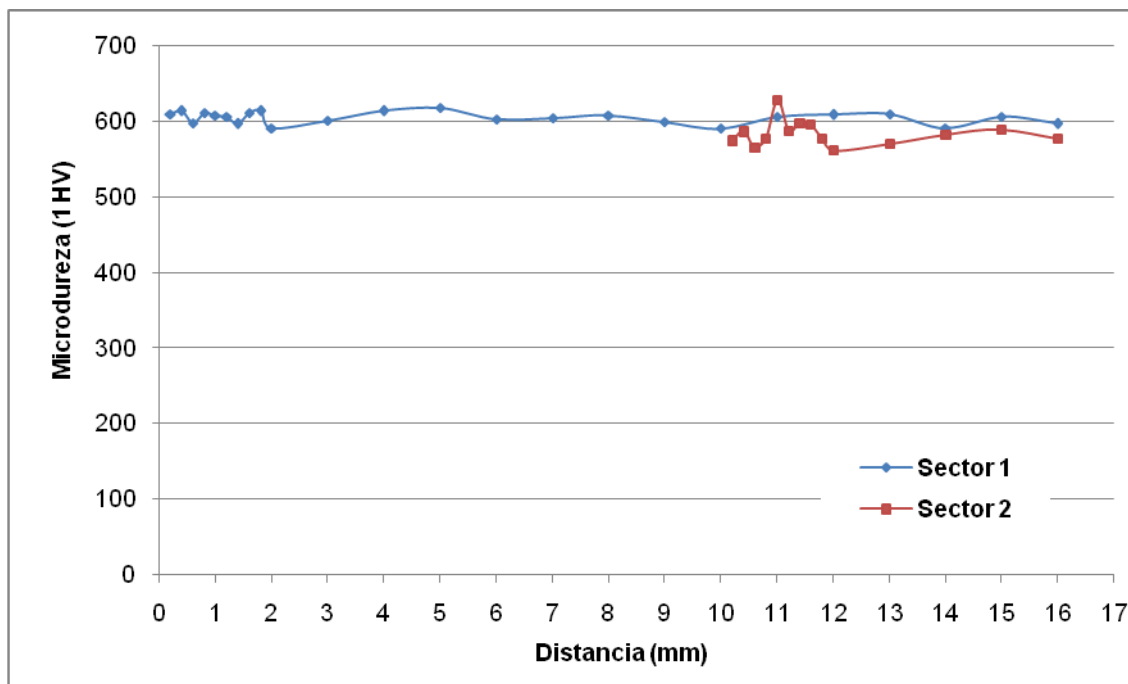


Figura G.2 Gráfico de microdureza v/s distancia.

H.- Análisis Metalográfico:

Para realizar el análisis metalográfico, se realizó una serie de cortes a las muestras en estudio. Posteriormente se procedió a un desbaste con lija número 80 hasta el número 1.200 y a continuación, se pulió la superficie utilizando alúmina 1, 2 y 3 como abrasivo.

Para poder revelar las fases presentes en las muestras, se ha procedido a atacar químicamente la superficie con Nital al 3% (Ácido Nítrico 3%V/V) durante 5 segundos.

H.1- Análisis Metalográfico, Sector 1:

La figura H.1 presenta los sectores seleccionados para realizar el análisis metalográfico.



Figura H.1 Imagen de las zonas de análisis metalográfico.

Las figuras H.2 y H.3 muestran imágenes de la muestra atacada a 100 y 500 aumentos respectivamente de la **superficie**, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos secundarios.

Las figuras H.4 y H.5 muestran imágenes de la muestra atacada a 100 y 500 aumentos respectivamente del **sector medio** del hilo, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos secundarios.

Las figuras H.6 y H.7 muestran imágenes de la muestra atacada a 100 y 500 aumentos respectivamente del **material base**, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos secundarios.

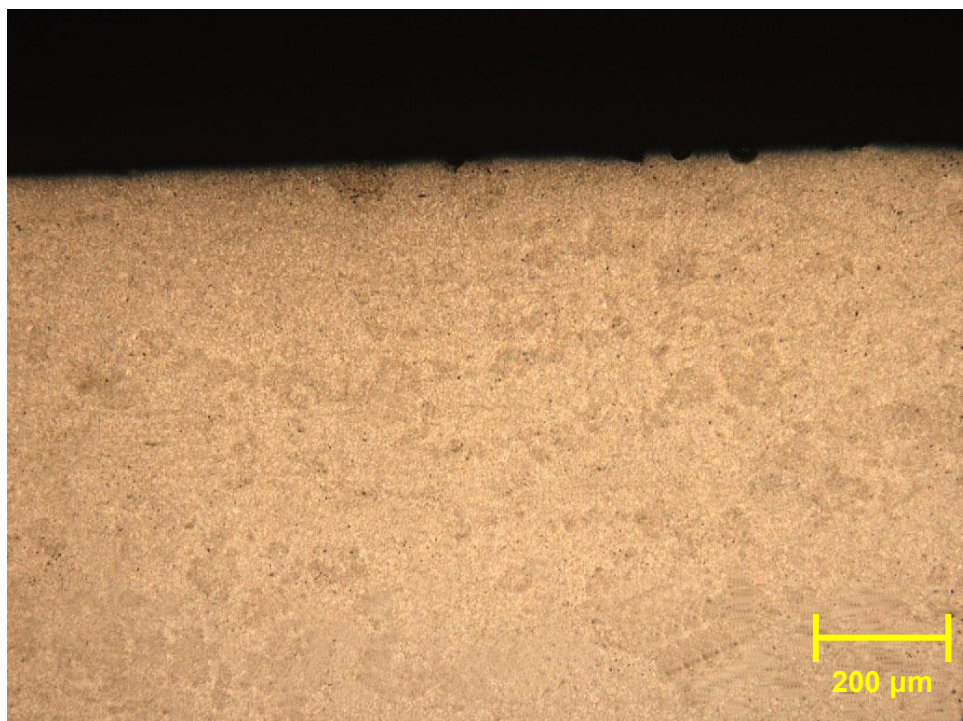


Figura H.2 Imagen atacada a 100 aumentos, **Superficie**.



Figura H.3 Imagen atacada a 500 aumentos, **Superficie**.

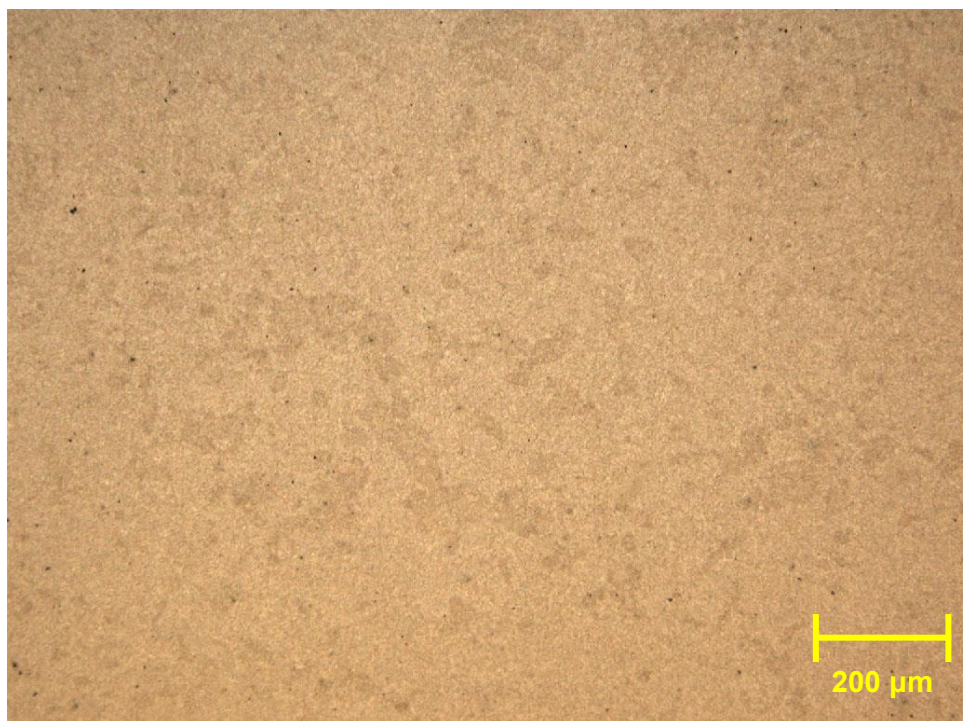


Figura H.4 Imagen atacada a 100 aumentos, **Sector medio**.



Figura H.5 Imagen atacada a 500 aumentos, **Sector medio**.

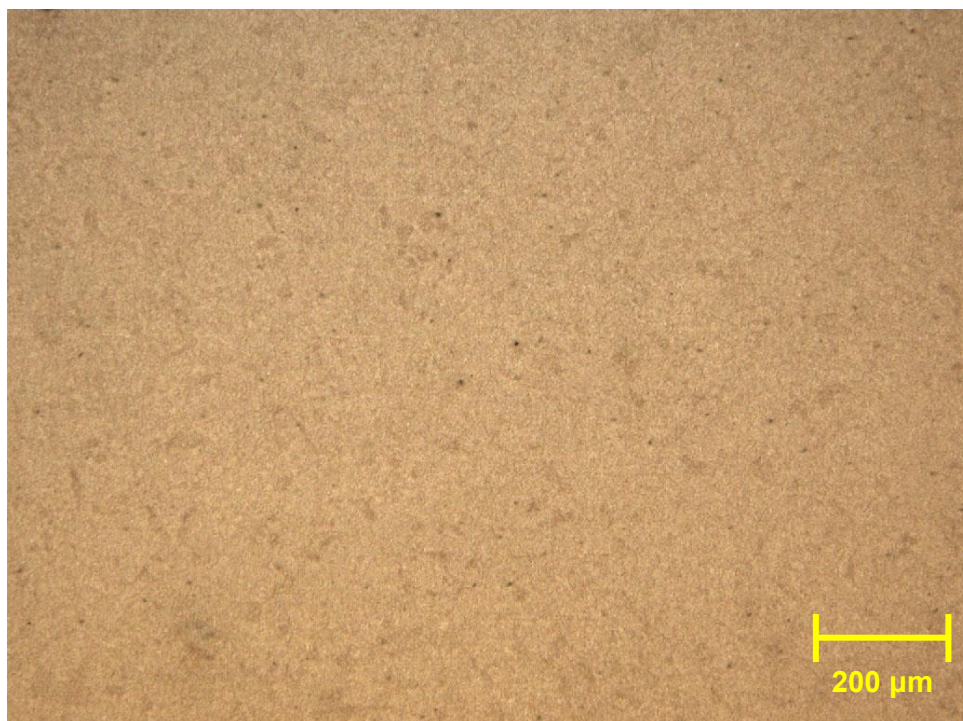


Figura H.6 Imagen atacada a 100 aumentos, **Material Base**.



Figura H.7 Imagen atacada a 500 aumentos, **Material base**.

H.2- Análisis Metalográfico, Sector 2:

La figura H.8 presenta los sectores seleccionados para realizar el análisis metalográfico.

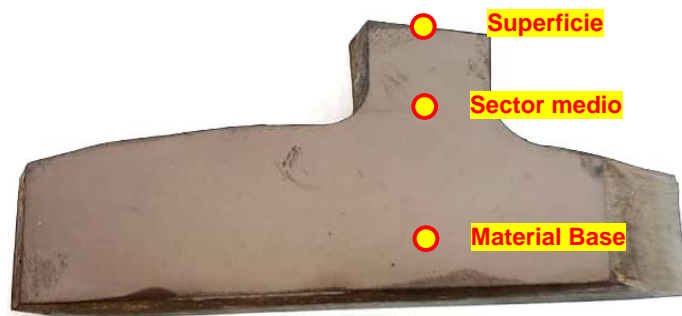


Figura H.8 Imagen de las zonas de análisis metalográfico.

Las figuras H.9 y figura H.10 muestran imágenes de la muestra atacadas a 100 y 500 aumentos respectivamente de la **superficie**, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos primarios y secundarios.

Las figuras H.11 y figura H.12 muestran imágenes de la muestra atacadas a 100 y 500 aumentos respectivamente del **intermedio**, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos primarios y secundarios.

Las figuras H.13 y figura H.14 muestran imágenes de la muestra atacadas a 100 y 500 aumentos respectivamente del **centro**, donde es posible observar una microestructura compuesta por martensita revenida con carburos primarios y secundarios.

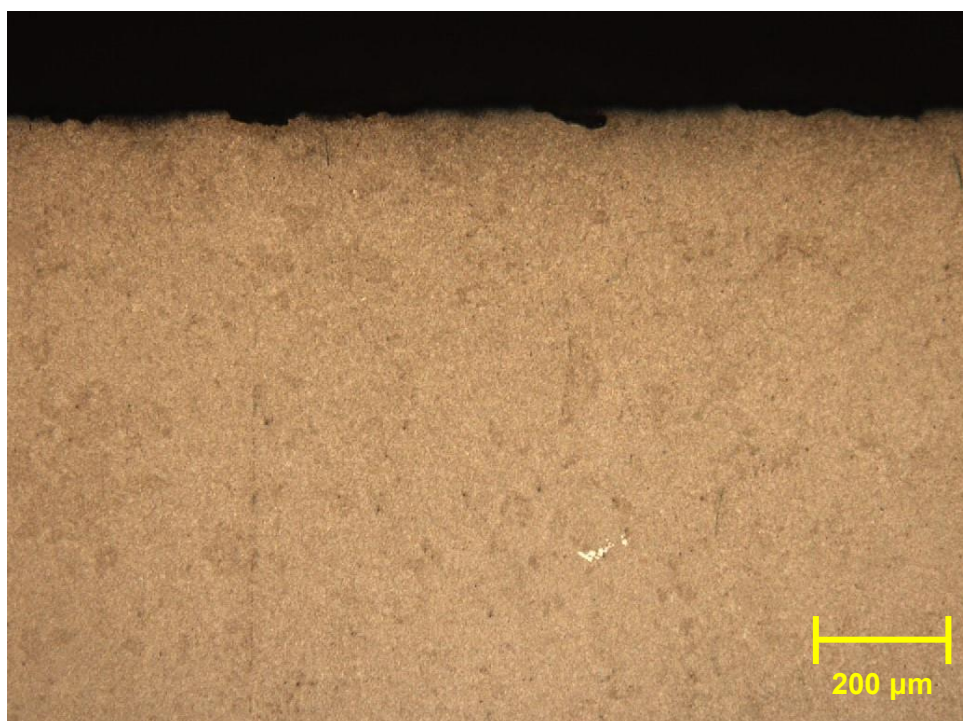


Figura H.9 Imagen atacada a 100 aumentos, **Superficie.**



Figura H.10 Imagen atacada a 500 aumentos, **Superficie.**



Figura H.11 Imagen atacada a 100 aumentos, **Sector medio**.



Figura H.12 Imagen atacada a 500 aumentos, **Sector medio**.



Figura H.13 Imagen atacada a 100 aumentos, **Material base.**



Figura H.14 Imagen atacada a 500 aumentos, **Material base.**

	ANÁLISIS DE FALLA AM-13207-0101 MOLIBDENOS Y METALES S.A.	Fecha: 04 de Febrero de 2020
		Revisión: 0.-
		Página 26 de 29



I.- Observaciones:

No presenta.

J.- Comentarios:

De los resultados obtenidos, se puede comentar lo siguiente:

J.1 Inspección Visual:

La inspección visual indica que existen depósitos de muestra adheridos en la superficie, además, se aprecia que existe un desgaste heterogéneo, es decir, existe una diferencia de altura entre los hilos de aproximadamente 10 mm.

J.2 Microscopía Electrónica de Barrido:

Los análisis de microscopía electrónica realizado a los depósitos superficiales indican que la muestra presenta restos de óxidos de molibdeno.

J.3 Resultados Análisis Químico:

La composición química del material base no concuerda con la referencia proporcionada por el cliente, es decir, la muestra no concuerda con el acero tipo A2, según la norma ASTM A681.

J.4 Ensayo de Microdureza:

Los perfiles de microdureza realizados revelan que las muestras presentan un nivel de dureza homogéneo, sin embargo, la muestra que sufre un menor desgaste posee una dureza levemente mayor.

J.5 Análisis Metalográfico:

El análisis metalográfico indica que la muestra presenta una microestructura compuesta por martensita y carburos, además, se aprecia que existe una diferencia en el volumen de los carburos del sector 1 respecto al sector 2.

	ANÁLISIS DE FALLA AM-13207-0101 MOLIBDENOS Y METALES S.A.	Fecha: 04 de Febrero de 2020
		Revisión: 0.-
		Página 27 de 29



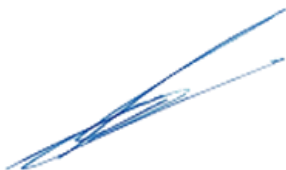
En resumen:

Los análisis realizados al tornillo sin fin, no revelan problemas de material que puedan atribuir una falla anticipada del eje.

Pese a que no cumple la composición química de un acero de herramientas tipo A2, existiendo un mayor contenido de carbono, y si bien existen diferencias metalúrgicas entre los hilos, como una menor dureza (leve diferencia) y la presencia de un volumen de carburos de mayor tamaño en el hilo de mayor tasa de desgaste, no es posible atribuir estas características a la falla del componente. Se estima que estas diferencias podrían aportar resistencia al desgaste, sin embargo, se recomienda realizar una evaluación posterior para determinar la mejor combinación entre microestructura y resistencia al desgaste para el material que está en contacto con este componente.

NOTAS:

- Después de 10 días de corridos desde la emisión de este informe se entenderá como aceptado en su versión final, cualquier modificación posterior tendrá un recargo adicional.
- Los resultados obtenidos son válidos sólo para las muestras ensayadas y entregadas por el cliente.
- Este informe no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio SIMET-USACH almacenará las muestras ensayadas por un periodo máximo de 30 días, a contar de la emisión del informe.
- Los ensayos de análisis químico fueron realizados en un espectrómetro de emisión óptica, marca SPECTRO modelo SPECTROMAx. El alcance de la acreditación es para aceros al carbono y de baja aleación según norma ASTM E415 para los siguientes elementos: C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni y Mo, en el rango de medición que establece la norma. Los valores de las incertidumbres combinadas expandidas son diferentes para cada elemento medido, estos valores se encuentran en el registro Reg.2808 (registro interno) y podrá ser enviado en caso de ser requerido.
- Para las declaraciones de conformidad (cumple/no cumple) el laboratorio utiliza la regla de decisión basada en la aceptación simple, indicada en la guía JCGM 106:2012 acápite 8.2, lo que significa que el laboratorio no considera la incertidumbre del ensayo para realizar la declaración de conformidad. la incertidumbre de cada ensayo acreditado aparece en su nota individual.



Bruno Astorga Z.
Ingeniero de Procesos
Laboratorio SIMET-USACH



Alejandro Castillo A.
Gerente de Investigación y Desarrollo
Laboratorio SIMET-USACH



Alfredo Artigas A.

Director

Laboratorio SIMET-USACH

	ANÁLISIS DE FALLA AM-13207-0101 MOLIBDENOS Y METALES S.A.	Fecha: 04 de Febrero de 2020
		Revisión: 0.-
		Página 29 de 29



Es de responsabilidad del receptor verificar la veracidad de este informe y que corresponda a la última revisión, mediante el código QR o en nuestra página Web.

Verificación de este documento en <http://simet.cl/verificacioninforme.php>, ingresando el número de informe y el código verificador.

Código de Verificación: TaqQNjx7uenF



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Laboratorio de Ensayos e Investigación de Materiales SIMET-USACH
Av. Ecuador 3769, Estación Central-Santiago-Chile
Fono-Fax: 56-2-23234780, Email: simet@usach.cl
www.simet.cl

