

ANALISIS DE FALLA DE MORDAZAS DE ACERO DE UN TORNO HORIZONTAL

M.A. Neri-Flores ⁽¹⁾, C. Carreño-Gallardo ⁽¹⁾, y A. Martínez-Villafañe ⁽¹⁾

(1) Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.,
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109, Chihuahua, México.

E-mail: miguel.neri@cimav.edu.mx

Resumen

Se realizó el análisis de falla de las mordazas de un torno horizontal, fabricadas con acero tratado térmicamente. Las mordazas fueron sometidas a esfuerzos de corte en el torno horizontal, fallando durante el maquinado de una pieza. Las mordazas fueron caracterizadas metalúrgicamente utilizando las técnicas de análisis químico por ICP, análisis estereoscópico de las superficies fracturadas, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido, medición de micro-dureza en las zonas cercanas a la fractura, y fractografía. La composición química indica que el acero era un acero 4130, sometido a un tratamiento térmico de temple y revenido, para obtener una microestructura de martensita revenida en la superficie, y una matriz constituida por ferrita y martensita revenida en el centro de la mordaza. Las grietas se iniciaron en la zona de cambio de espesor de la pieza, produciendo la falla. La grieta se inicia en la zona del cambio de espesor, y se propaga a través de las zonas débiles de ferrita. Las zonas donde cambia el espesor, actuaron como concentradores de esfuerzos, originando que se iniciaran las grietas en estas zonas.

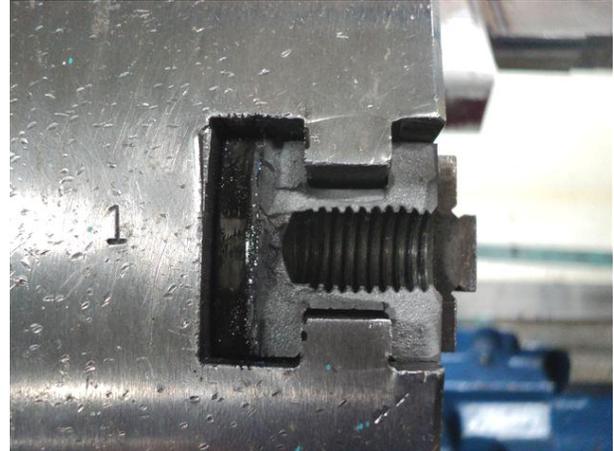
Introducción

Una de las ramas más interesantes de la ingeniería por su inherente valor académico e industrial es la mecánica forense. Esta se encarga de establecer e investigar las causas de fallas o accidentes en componentes mecánicos y civiles de todo tipo, que van desde agujas para coser hasta componentes utilizados en la industria aero-espacial y bio-médica. Dichos análisis de fallas son importantes para poder establecer de una manera adecuada y sistemática las causales de fallas y poder tomar los correctivos necesarios para evitar la repetición de accidentes, que además de causar pérdidas materiales pueden conllevar a pérdidas humanas irreparables [1]. En la investigación de fallas intervienen ramas de la ingeniería tan variadas como materiales de ingeniería, mecánica del medio continuo, mecánica de la fractura, metalurgia, procesos de manufactura, termodinámica y transferencia de calor, tribología, corrosión y fractografía entre otras. En la ejecución de un análisis de fallas se deben tener en cuenta factores tales como la historia previa del elemento a analizar, tipo de material y estructura, temperaturas de trabajo, planes de mantenimiento y hasta la hoja de vida de los operarios del equipo o máquina llegan a ser importantes en algunos casos. Este estudio en particular describe el análisis e investigación de las causas de la falla de una mordaza plana perteneciente a una prensa hidráulica. Las mordazas fueron fabricadas con un acero AISI-SAE 4130. La mordaza fue instalada en el torno luego de su proceso de manufactura y presentó falla por fractura frágil.

En la Fotografía N° 1 se muestra una mordaza entera antes de la falla. En la Fotografía N° 2 se muestra la mordaza fallada quedando la mitad de la misma atorada en el cabezal del torno.



Fotografía N° 1.- Mordaza completa.



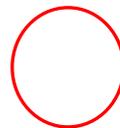
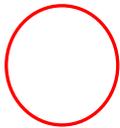
Fotografía N° 2.- Mordaza fracturada.

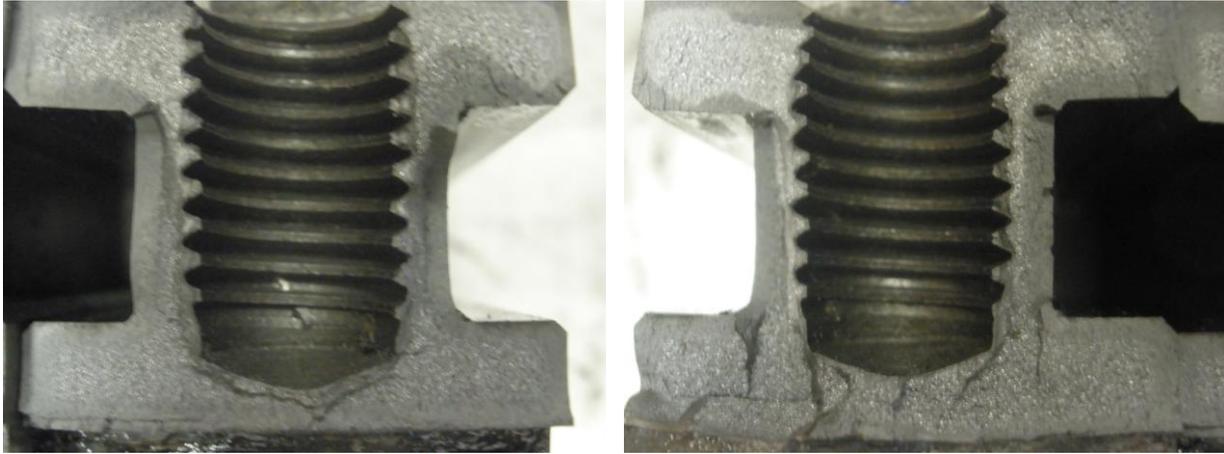
Desarrollo experimental

Para realizar el análisis de falla de las mordazas se utilizaron las técnicas de estereoscopia, análisis químico, microscopia óptica, microscopia electrónica de barrido, y medición de microdureza.

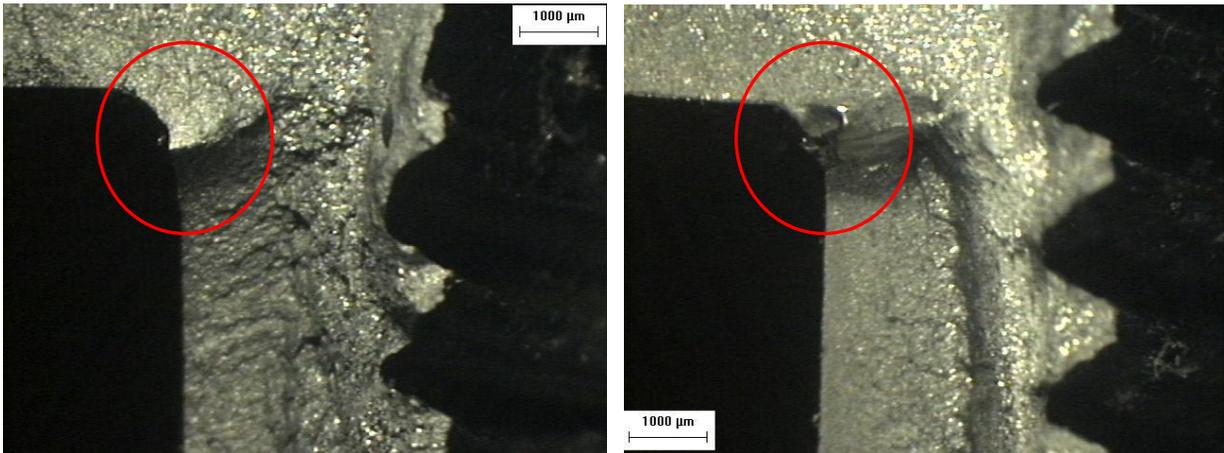
Análisis estereoscópico

Las Fotografías N° 3 y 4 muestran la superficie de fractura de las dos mordazas, presentando una fractura mixta tanto dúctil (opaca), como frágil (brillante). Las fotografías N° 5 y 6 presentan la superficie de fractura de la mordazas, con un acercamiento de la zona del cambio de espesor de las mismas, en donde se originaron las grietas, debido a la concentración de esfuerzos en esas áreas.





Fotografía N° 3.- Mordaza # 1 fracturada. Fotografía N° 4.- Mordaza # 2 fracturada.



Fotografía N° 5.- Fractura 1 vista a 7X.

Fotografía N° 6.- Fractura 2 vista a 7X.

Análisis químico

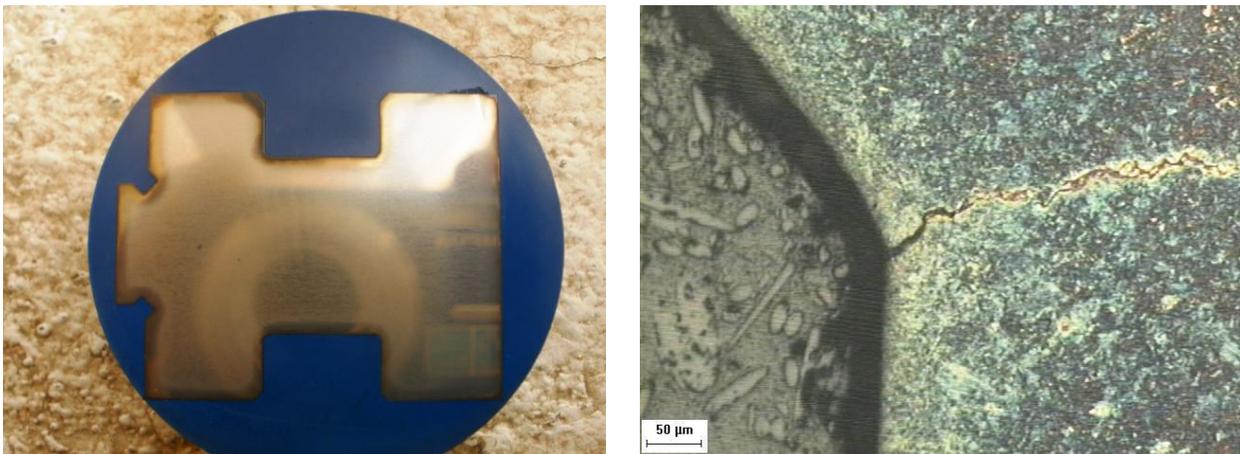
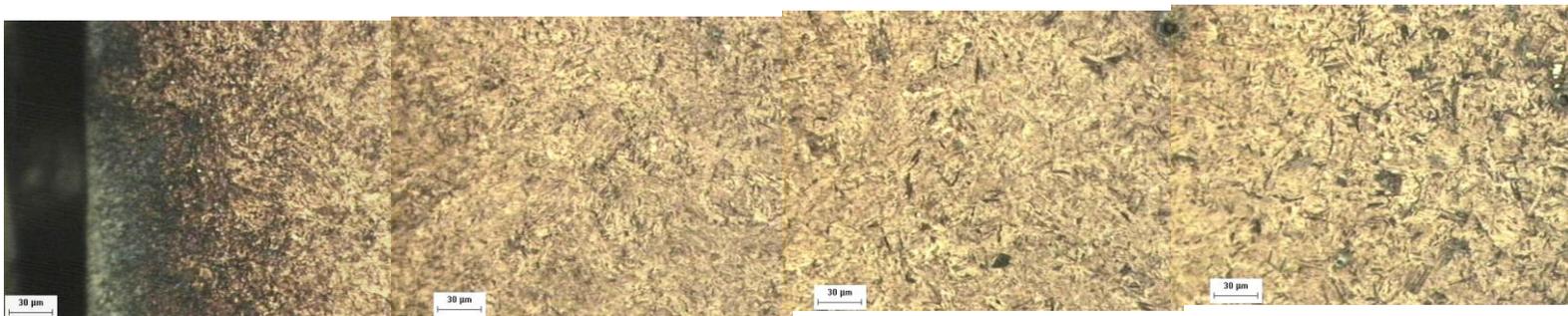
Se obtuvieron algunas rebabas de las mordazas # 1 y # 2, y fueron analizadas por ICP con el fin de determinar la composición química de las mismas. Estos resultados se compararon con la composición química de algunos aceros aleados (AISI 4135 y 4130), coincidiendo con la composición química del acero AISI 4135, como se muestra en la tabla N° 1.

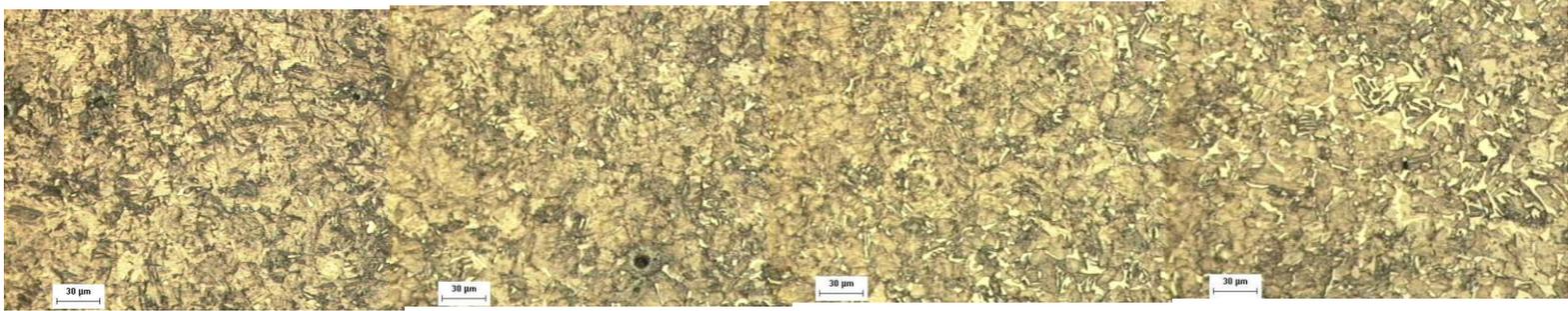
Acero/Muestra	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ti	%V	%P	%S
AISI 4135	0.33-0.38	0.15-0.35	0.70-0.90	0.80-1.10	0.15-0.25	--	--	≤0.035	≤0.040
AISI 4130	0.28-0.33	0.15-0.30	0.40-0.60	0.80-1.10	0.15-0.25	--	--	≤0.035	≤0.040
Mordaza # 1	0.348	0.205	0.895	1.116	0.016	0.091	0.013	N.D.	N.D.
Mordaza # 2	0.294	0.212	0.978	1.110	0.016	0.096	0.014	N.D.	N.D.

Tabla N° 1.- composición química de las mordazas y de los aceros AISI 4130 y 4135.**Microscopia óptica**

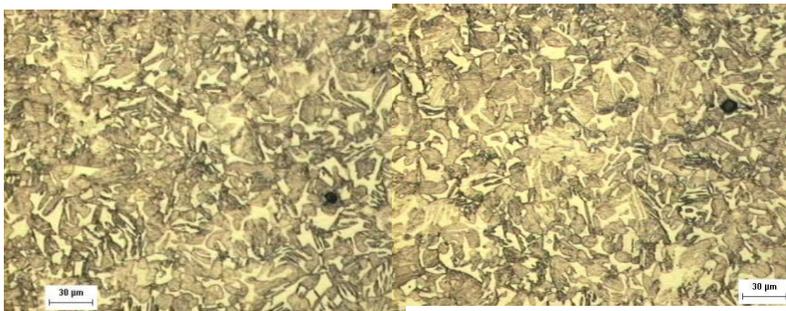
Se cortaron las mordazas de manera transversal y se prepararon para su observación metalografica, tomando fotografías desde la orilla de la superficie externa, la parte media, y la parte interna de la mordaza.

Se observo la microestructura en las diferentes zonas de la sección transversal encontrándose martensita revenida en la zona externa de la mordaza, martensita revenida y bainita en la zona intermedia, y una mezcla de martensita y ferrita en la zona interna. Se encontraron grietas originadas justo en el cambio de espesor de la mordaza, debido que en estas zonas actuaron como concentradores de esfuerzos.

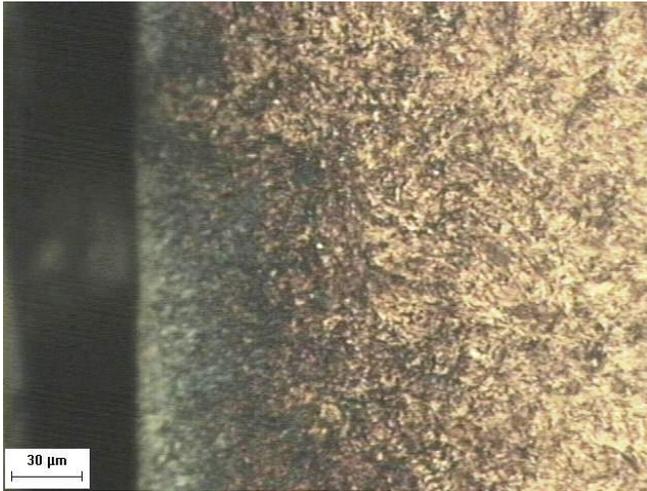
**Fotografía N° 7.- Sección transversal de la mordaza mostrando a).- Capa exterior endurecida de martensita, b).-Grieta originada justo en el cambio de espesor de la mordaza, la grieta corre desde la superficie externa hacia el interior de la pieza.****Fotografía N° 8.- Microestructura de martensita revenida en la superficie externa de la mordaza.**



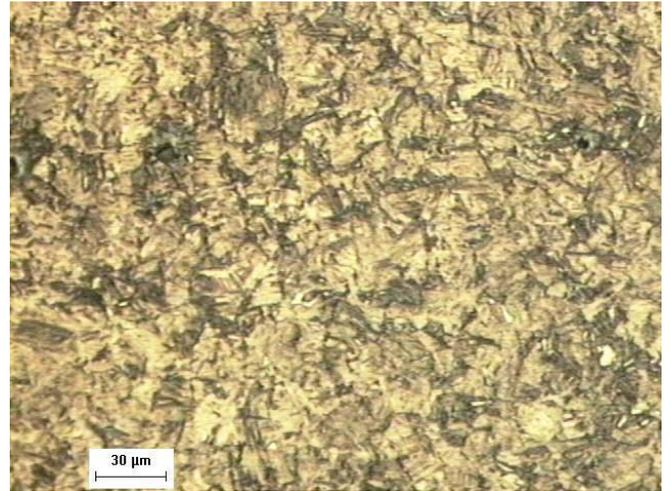
Fotografía N° 9.- Microestructura de martensita revenida y bainita (fase oscura), en la parte media de la mordaza.



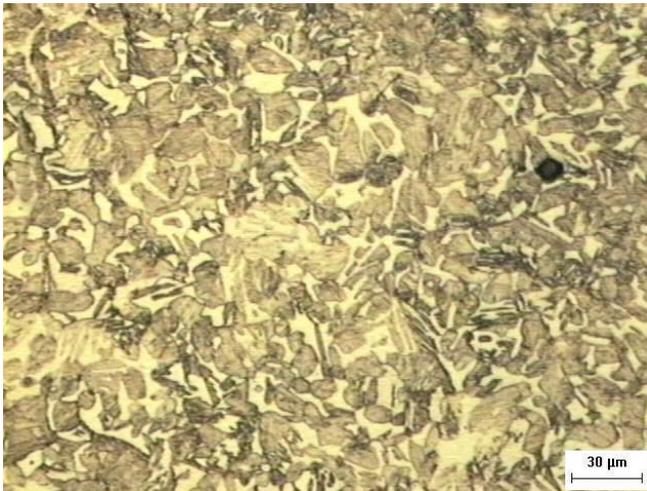
Fotografía N° 10.- Microestructura de martensita revenida y zonas de ferrita (fase clara), en la parte interna de la mordaza.



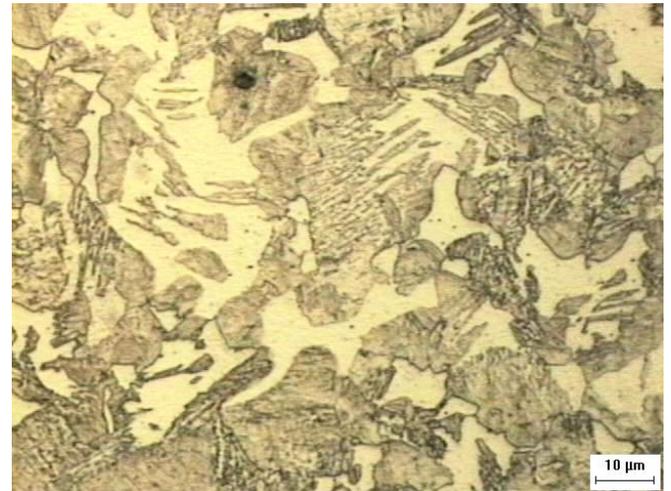
a).-



b).-



c).-

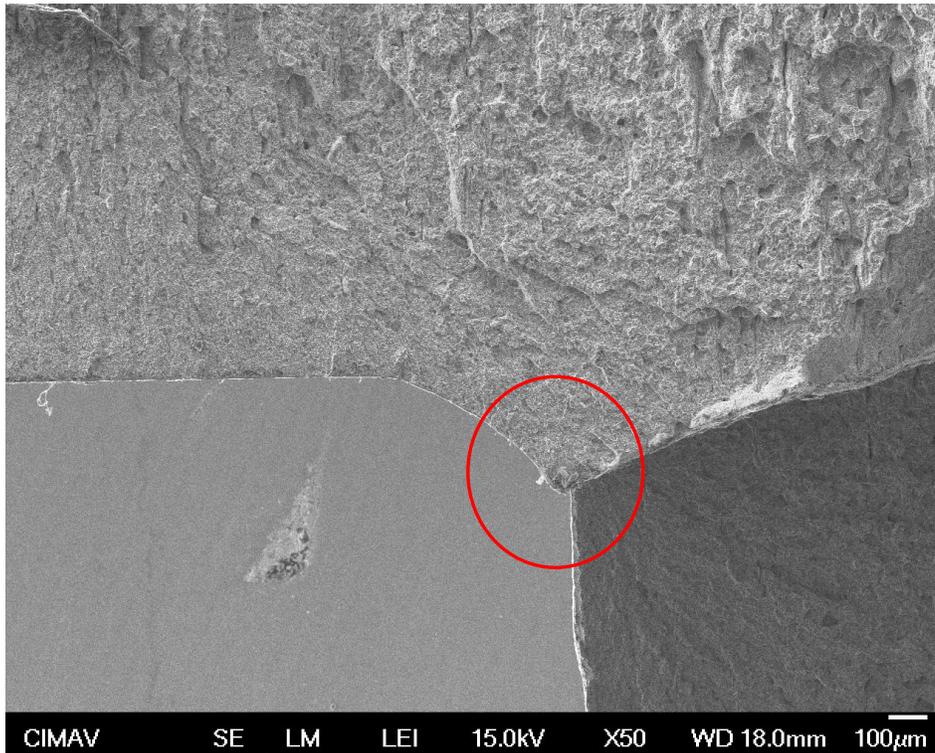


d).-

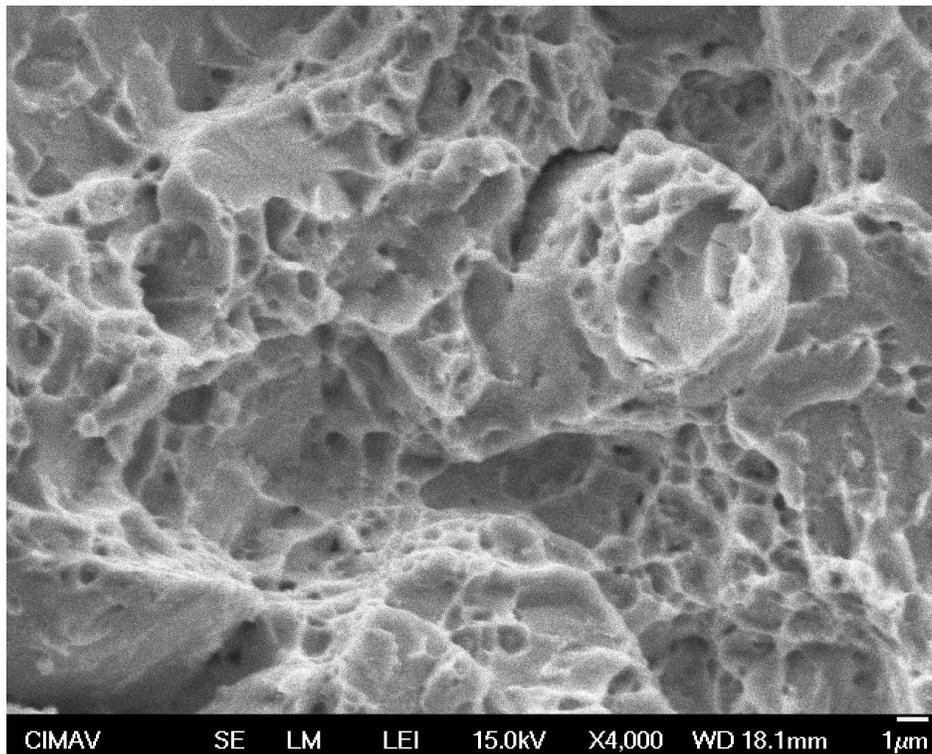
Fotografía N° 11.- Microestructura de mordaza a).- Superficie externa con martensita, b).- Zona media con martensita revenida y bainita (fase oscura), c).- Zona interna con martensita y ferrita (fase clara), d).- Zona interna vista a mayores aumentos con zonas de martensita e islas de ferrita.

Microscopia electrónica de barrido

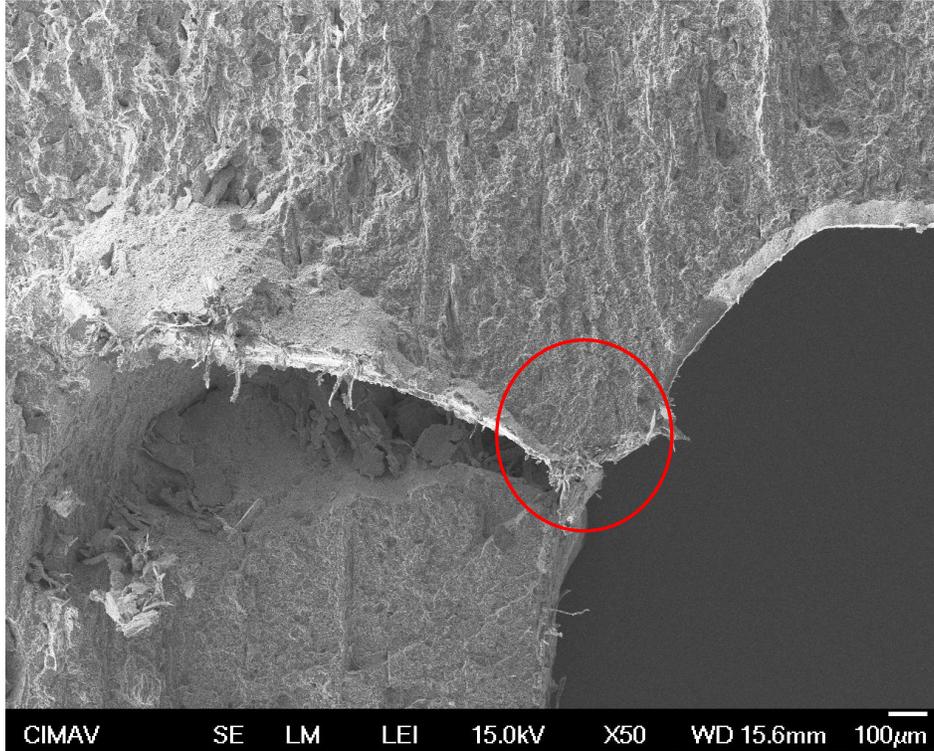
Por medio de microscopia electrónica de barrido se analizaron las superficies de fractura de las mordazas, encontrando que las grietas se originaron justo en el los cambios de espesor de las mismas. Las fracturas fueron dúctiles en las zonas de inicio de fractura (zona externa), y frágiles en las zonas internas de las mordazas.



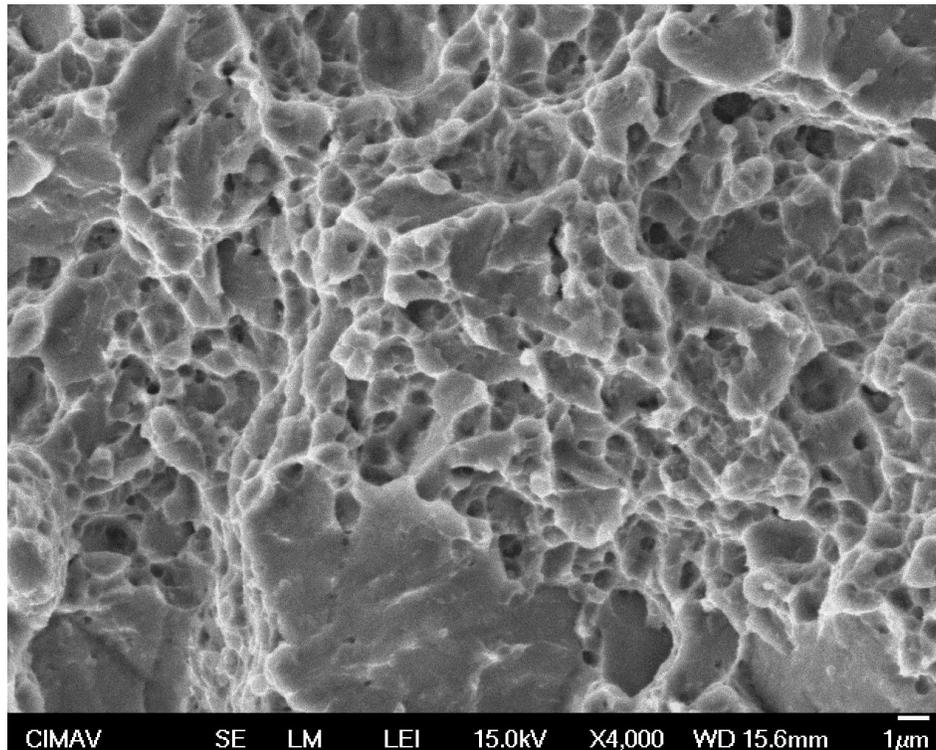
Fotografía N° 11.- Superficie de fractura de la mordaza # 1, esquina superior izquierda, mostrando que la grieta se origino en la zona del círculo rojo, (50X).



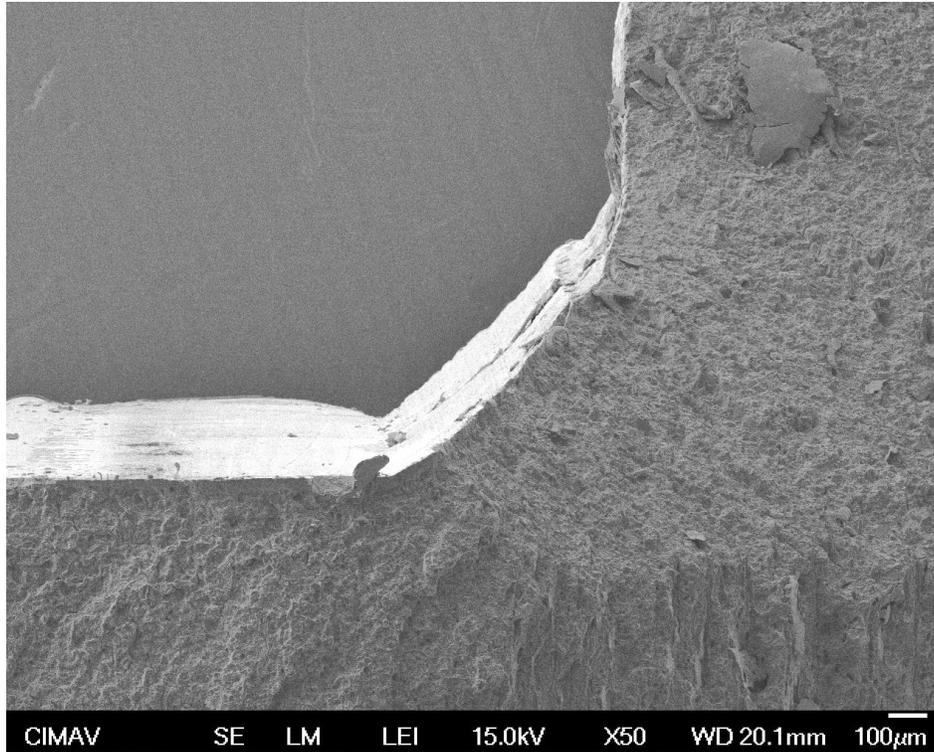
Fotografía N° 12.- Superficie de fractura de la mordaza # 1, esquina superior izquierda, mostrando que fractura es del tipo dúctil, (4,000 X).



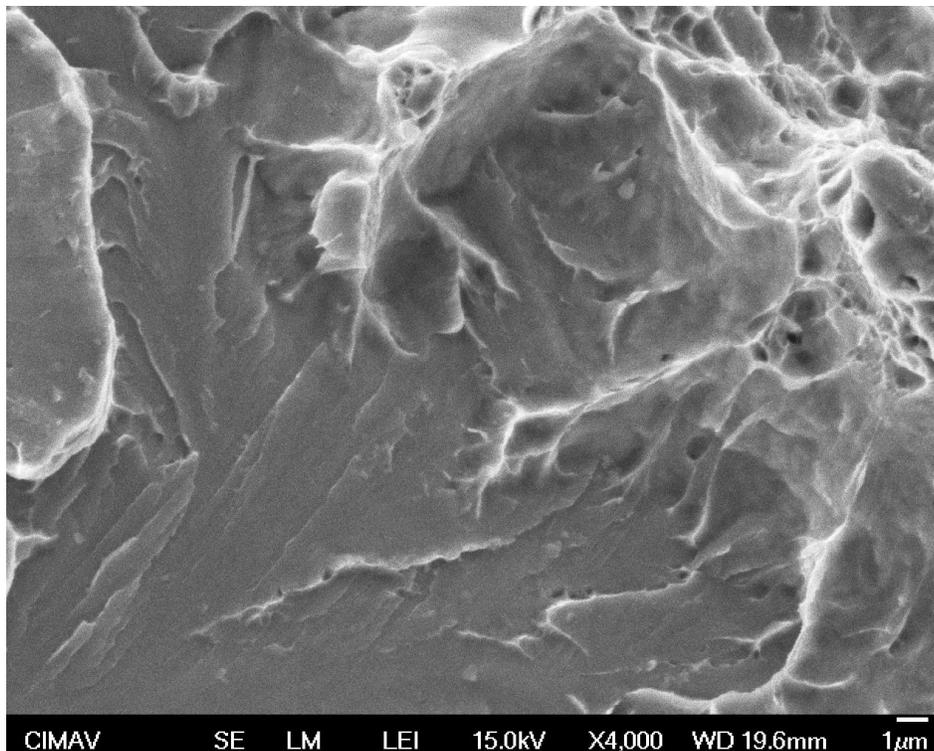
Fotografía N° 13.- Superficie de fractura de la mordaza # 2, esquina superior derecha, mostrando que la grieta se origino en la zona del círculo rojo, (50X).



Fotografía N° 14.- Superficie de fractura de la mordaza # 2, esquina superior izquierda, mostrando que la fractura es del tipo dúctil, (4,000 X).



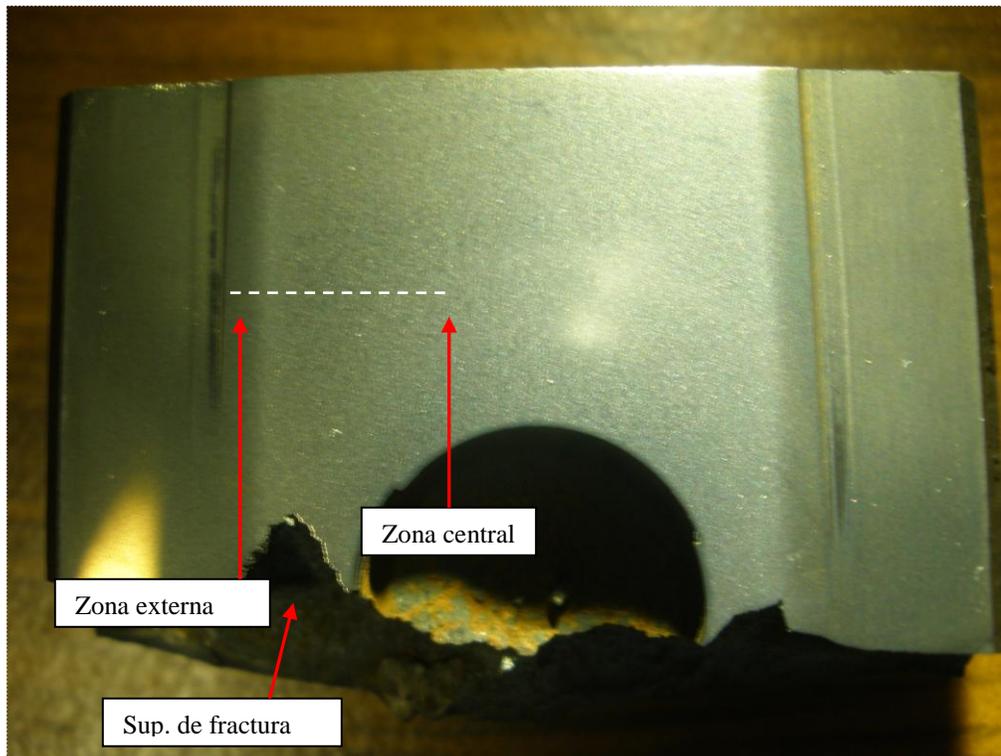
Fotografía N° 15.- Superficie de fractura de la mordaza # 2, esquina inferior derecha, mostrando una mezcla de fractura dúctil y frágil, (50X).



Fotografía N° 16.- Superficie de fractura de la mordaza # 2, esquina inferior derecha, mostrando que la fractura es del tipo frágil, (4,000 X).

Microdureza

La microdureza fue medida en la parte externa y en la zona central de la mordaza templada, como se muestra en la Fotografía N° 17. La zona externa de la mordaza templada presento mayores valores de dureza, comparada con los valores obtenidos en la zona interna, como se muestra en la Tabla N° 2.



Fotografía N° 17.- Mordaza # 1 cortada perpendicularmente a la superficie de fractura, mostrando una capa oscura de martensita en la zona externa, y una superficie mas clara en la zona central.

Mordaza # 1				Mordaza # 2			
	Zona	HV	HRC		Zona	HV	HRC
1	Zona Templada externa	633.5	57	1	Zona Templada externa	587.1	54.5
2	"	666.4	58.6	2	"	492.6	48.6
3	"	587.1	54.5	3	"	471.7	47.0
4	"	552.2	52.5	4	Zona central	330.1	33.3
5	Zona central	306.7	30.5	5	"	345.6	35.0
6	"	259	23.8	6	"	253.6	22.9
7	"	284	27.7	7	"	248.7	22.1

Tabla N° 2.- Microdureza medida en la zona templada externa, y en la zona central, de las mordazas # 1 and 2.

Resultados y discusión

Análisis estereoscópico

Se observó una fractura del tipo dúctil en las zonas cercanas a la superficie externa de las mordazas, y una fractura del tipo frágil en el interior de las mismas como se aprecia en las Fotografías N° 3 y 4.

Las grietas se iniciaron en las zonas del cambio de espesor de las mordazas, como lo muestran las Fotografías N° 5 y 6, y la peza falló en la parte más delgada de la misma, es decir donde estaban los barrenos de las cuerdas mostradas en las fotografías anteriormente mencionadas. Estas zonas actuaron como concentradores de esfuerzos, dando origen a la fractura de las mordazas.

Análisis químico

Los elementos detectados en el análisis químico realizado a las dos mordazas indican que el acero corresponde a uno del tipo AISI 4135, modificado con titanio y vanadio como se muestra en la Tabla N° 1.

Microscopia óptica

Se encontró que las grietas inician justo en la zona del cambio de espesor de las mordazas, en la zona del radio de curvatura, como lo muestra la Fotografía N° 7. La grieta se origina en la superficie externa (grietas más abiertas), y corre hacia el interior de la pieza (grietas más cerradas).

La microestructura observada en la mordaza no es homogénea, ya que en la superficie exterior se encontró solamente martensita revenida, en la parte media se encontró una mezcla de martensita revenida y bainita, y en el centro una mezcla de martensita revenida y ferrita. (Fotografías N° 8 a 11).

Si en la superficie externa de la mordaza se formó martensita, esto indica que la velocidad de enfriamiento en esta zona fue lo suficientemente rápida debido al temple.

En la zona intermedia la presencia de martensita y bainita nos indica que el enfriamiento no fue igual en toda la pieza, ya que la bainita se forma a velocidades de enfriamiento más lentas que en el temple, por lo que esta zona fue enfriada más lentamente.

En la zona interna de la mordaza al haber una mezcla de martensita y ferrita acicular, nos indica que la velocidad de enfriamiento no fue lo suficientemente rápida, como para alcanzar a formarse martensita en toda la pieza, ocasionando que se formara ferrita acicular en vez de martensita.

Esta mezcla de fases presentes en la microestructura es perjudicial para las propiedades mecánicas de las mordazas, lo cual nos indica que el tratamiento térmico de temple no fue realizado adecuadamente.

Microscopia electrónica de barrido y EDX

En las Fotografías N° 11 a 14 se muestra la zona del cambio de espesor de las mordazas, confirmando que las grietas se originan en estas zonas, presentando una fractura del tipo dúctil. En estas zonas de cambio de espesor, el radio de curvatura no fue suficiente para evitar la concentración de esfuerzos, por lo que las grietas se generaron en estas zonas.

En la Fotografías N° 15 a 16 se muestra una zona donde la fractura fue del tipo frágil, mostrando patrones de río en la superficie de fractura.

Microdureza

La zona externa de la mordaza templada presentó mayores valores de dureza, comparada con los valores obtenidos en la zona interna, como se muestra en la Tabla N° 2. Esto se confirma con la microestructura observada en la mordaza, en donde la parte externa presenta solamente martensita, la parte intermedia presenta una mezcla de martensita y bainita, y la parte interna presenta una mezcla de martensita y ferrita, siendo esta zona la más blanda.

Conclusiones

- La fractura inicia en las zonas de cambio de espesor de las mordazas como lo muestran las Fotografías N° 3 y 4, en las zonas indicadas por los círculos rojos.
- Las superficies fracturadas presentan una fractura del tipo dúctil (opacas) en la zona cercana a la superficie externa, y del tipo frágil (brillante) en la zona interna de las mordazas.
- Las zonas donde presenta el cambio de espesor en las mordazas, muestran ángulos agudos los cuales actúan como concentradores de esfuerzos que nuclean las grietas. Las Fotografías N° 5 y 6 indican los sitios de nucleación de las grietas.

- Las grietas corren desde la superficie externa hacia el interior de las mordazas, como se observa en la Fotografía N° 7.
- Los elementos detectados en el análisis químico indican que el acero de las mordazas corresponde a la composición química de un acero AISI 4135 modificado con Ti y V, como lo muestra la Tabla N° 1.
- Las mordazas presentaron una microestructura de martensita en la superficie externa, una mezcla de martensita y bainita en la zona intermedia, y una mezcla de martensita y ferrita en el centro, como lo muestran las Fotografías N° 8 a 11.
- Las mediciones de microdureza indican que la superficie externa tenía un tratamiento térmico de temple, con una microestructura de martensita, la zona intermedia tenía una menor dureza presentando una microestructura de martensita y bainita mezcladas, y en la zona interna se reportó la menor dureza con una mezcla de martensita y ferrita.
- La presencia de fases mezcladas indica que hubo un mal tratamiento térmico de temple y revenido.
- Las fases mezcladas tienen un efecto perjudicial en las propiedades mecánicas de las mordazas, principalmente en la dureza y en la resistencia a la tensión.
- Las zonas donde existen los cambios de espesor, actúan como concentradores de esfuerzos en las zonas agudas, iniciándose la falla de las mordazas, propagándose la grieta se hacia el interior de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud al TTC Jair M. Lugo Cuevas por el apoyo técnico otorgado para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] E. A. Ossa, y M. A. Paniagua, Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 44. pp. 30-35. Junio, 2008.
- [2] C. R. Mischke, J. E. Shigley, *Standard Handbook of Machine Design*. Mc Graw-Hill. New York. 1986. pp. 37.4.
- [3] R.J. Shipley and W.T. Becker, *ASM Handbook Volume 11: Failure Analysis and Prevention*, ASM International, 2002.