

Efecto de la deformación por torsión a 2450° en la recritalización del acero ASTM A-36

Effect of torsion deformation at 2450° on the recritalization of ASTM A-36 steel

Carmen Osorio, Victoria Armas, Carlos Alfonzo, Neyda Severian

Palabras clave: acero ASTM A-36, recristalización, recocido, tracción, torsión, dureza

Key words: ASTM A-36 steel, recrystallization, annealing, traction, torsion, hardness

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la deformación angular del acero ASTM-36 al grado de torsión de 2450° en su proceso de recristalización, aplicando un tratamiento térmico de recocido. La observación de los cambios en la estructura del material se llevó a cabo mediante ensayos de microscopía óptica, tracción, torsión y dureza, aplicado al material frío o mecanizado y a las probetas tratadas térmicamente. Las temperaturas del tratamiento térmico de recocido fueron: 440°C, 5540°C, 640°C y 740°C, a fin de establecer la temperatura a la cual el material logra recristalizarse y mostrar durante el proceso la recuperación y el crecimiento del grano del acero. Se comprobó la variación en las propiedades mecánicas por liberación de los esfuerzos internos acumulados debido a la deformación en frío, presentando en su microestructura granos de ferrita y perlita deformados. Se concluyó que el rango de temperaturas usadas fue suficiente para lograr un recocido total consiguiendo culminar la etapa de recuperación y alcanzando la recristalización por completo, entre el rango de 540°C y 640°C. Los valores obtenidos en la investigación permiten ratificar que el acero ASTM A-36 cumple con las normas de fabricación y uso.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the effect of angular deformation of ASTM-36 steel at a torsion degree of 2450° on its recrystallization process, applying an annealing heat treatment. Observation of changes in the material structure was carried out through optical microscopy, tensile, torsion and hardness tests, applied to cold or machined material and to heat-treated specimens. The annealing heat treatment temperatures were 440°C, 5540°C, 640°C and 740°C, in order to establish the temperature at which the material achieves recrystallization and show during the process the recovery and grain growth of the steel. The variation in mechanical properties was verified by the release of internal stresses accumulated due to cold deformation, presenting deformed ferrite and pearlite grains in its microstructure. It was concluded that the temperature range used was sufficient to achieve full annealing, completing the recovery stage and achieving complete recrystallization, between the range of 540°C and 640°C. The values obtained in the research confirm that ASTM A-36 steel complies with manufacturing and use standards.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los procesos de manufactura y el diseño de elementos de máquinas es imprescindible conocer las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar, tales como, esfuerzo cortante máximo, módulo de rigidez por corte y deformación por corte. Dichas propiedades se han estandarizado debido al avance tecnológico dando paso a una gran cantidad de aceros que hoy en día están presentes en los catálogos y documentación nacional e internacional. Sin embargo, la mayoría de estos catálogos proporcionan la información basados solamente en datos teóricos.

En Venezuela son pocos los trabajos de investigación de ensayo de torsión y uno de los casos que posee pocas referencias bibliográficas e información en cuanto a este tema es el acero ASTM A-36, el cual será la base de este estudio. Este acero es conocido como hierro negro, es un acero al carbono estructural, mayormente usado en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, con cualidades como ductilidad, homogeneidad, soldabilidad, buena resistencia a la tracción, compresión y bajo costo (Chaupi y Yucra, 2019). Su limitada documentación sobre torsión justifica la presente investigación.

Debido a que el acero se presenta en formas diferentes: barras, cables, laminas; para su

uso específico, siendo inherente los procesos de deformación en frío como el trefilado y laminación, lo cual produce modificación en la microestructura, las propiedades mecánicas y en su proceso de recristalización. Por ello la importancia de los factores que intervienen en el conformado del acero, como la temperatura, las propiedades mecánicas, la composición. En resumen, el conformado del acero permite crear piezas con diferentes formas y propiedades, adaptadas a las necesidades de la industria. En este sentido, los tratamientos térmicos son una herramienta utilizada para la obtención de propiedades mecánicas necesarias en determinados procesos de producción y uno de los más utilizados es el tratamiento térmico de recocido con el fin ablandar el metal, regenerar la estructura o eliminar las tensiones internas presentes después de un proceso de deformación (Díaz & Reyes, 2012). Al recocer un acero se busca obtener la plasticidad máxima, liberando tensiones y disminuyendo su límite elástico lo máximo posible, mediante un calentamiento de una determinada duración y una temperatura definida (Rojas, 2010). Todo esto para contribuir a una mayor vida útil de la pieza elaborada con el acero, según los requerimientos de su aplicación.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada para analizar el efecto de deformación por torsión a 2450° en el proceso de recristalización del acero ASTM-36, se fundamenta en realizar ensayos de tratamiento térmico de recocido completo, que incluya el recocido de recristalización. Estos ensayos permiten observar en el laboratorio la formación de nuevos granos equiaxiales lo cual mejora la ductilidad del material. Para ello se utilizó un conformado del material de barras cilíndricas macizas, sometidas a variaciones de temperaturas incrementadas en 10°C, entre 440°C y 740°C, cotejando sus características de diseño al frío según normas industriales ASTM y COVENIN para establecer a partir de los gráficos experimentales generado en el ensayo, las variaciones en sus propiedades mecánicas y en la microestructura. El análisis microestructural consistió en la observación de la muestra patrón del acero ASTM 36-A, mediante un programa analizador de imágenes evaluando las variaciones en tamaño de grano, fases y afecciones ocurridas en el proceso de deformación, construyendo curvas de esfuerzo cortante y deformación angular desde 0° a 2450° de deformación. En este sentido se realizaron cinco (05) etapas del ensayo que permitió analizar el efecto de deformación del acero en estudio.

Material

Se seleccionaron barras cilíndricas macizas de acero al carbono grado ASTM A-36 de 25mm de diámetro por laminación en

caliente según la norma COVENIN 2745(1999), cuyo máximo porcentaje de carbono es de 0.29%.

Procedimiento

Fueron mecanizadas las barras cilíndricas de acero, parte de estas fueron caracterizadas en condiciones iniciales mediante ensayos de torsión, tracción, dureza Rockwell B y microscopía óptica. Posteriormente, se definieron las temperaturas del tratamiento térmico de recocido (440°C, 540°C, 640°C y 740°C) y el grado de deformación angular (2450°) para el ensayo de torsión, para cada una de ellas se aplicaron ensayos de torsión, dureza y microscopía óptica, para ser comparados entre si análisis y analizar temperatura en el cual el material obtuvo la recristalización y su proceso de recuperación y crecimiento del grano.

Etapas I Caracterización de las condiciones iniciales

Se mecanizaron las barras cilíndricas macizas de 25 mm a 10 mm de diámetro para el ensayo de tracción según norma ASTM A370 (2024). Se realizó la preparación de las probetas y posteriormente el ensayo de microscopía óptica (Según normas ASTM E 407-99 (2018) y ASTM E-112 (2024). Mientras que el ensayo de dureza y el mecanizado de las probetas se realizó (Según norma ASTM E 18-05(2024, luego se realizó el ensayo de torsión (Según norma COVENIN 907-1997), estas pruebas bajo la norma indicada, arroja información de las propiedades mecánicas del material, lo cual

es la base para la caracterización del acero ASTM A-36.

Etapas II. Deformación angular

En esta fase se aplica una fuerza de torsión un grado fijado en 2450° a las probetas mecanizadas de la etapa I, siguiendo la norma COVENIN 907-1997.

Etapas III. Caracterización de barras torsionadas

Para caracterizar los datos torsionales, se prepararon las probetas sometidas a torsión para los ensayos de microscopía óptica, dureza y se realizaron los ensayos metalográficos (según norma ASTM E 407-99(2018); ASTM E-112(2024) y ASTM E 18-05 (2024).

Etapas IV. Tratamiento térmico de recocido

Este tratamiento se realizó a las probetas en los valores de temperaturas seleccionadas (440°C, 540°C, 640°C y 740°C) y el grado de torsión definido en la etapa II. Posteriormente se realizó el ensayo de microscopía óptica (ASTM E 407-99 (2018) y ASTM E-112 (2024) y el ensayo de dureza

Rockwell B HRC (Según norma ASTM E 18-05 (2024), caracterizando las propiedades del material con la información obtenida de los ensayos aplicados.

Etapas V. Análisis del proceso de recristalización

En esta fase de análisis se toma en cuenta las gráficas y fotografías obtenidas de los ensayos, a fin de corroborar mediante la observación y comparación si se presenta aglomeración de granos y formación de granos equiaxiales de forma similar y en todas las direcciones, lo cual se refiere al crecimiento del grano de recristalización, esta microestructura es más homogénea y menos propensa a la fractura, conformando así los aspectos para el análisis en el proceso de recristalización del material ASTM A-36. La temperatura de recristalización varía según la composición del acero, pero generalmente se encuentra entre 400 y 700 °C, según MecánicadelaMoto.com (14 feb 2023).

RESULTADOS

Ensayo de tracción

Este ensayo se realiza para obtener curvas de esfuerzo respecto a la deformación del material, para registrar la fuerza aplicada y

la deformación resultante como condición inicial para registrar sus condiciones mecánicas, estos valores se muestran en la tabla N°1.

Tabla 1. Valores iniciales del ensayo de tracción de la probeta

Probeta ASTM A-36	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (%)
Promedio	319.7965	309.212	420.666	45.72

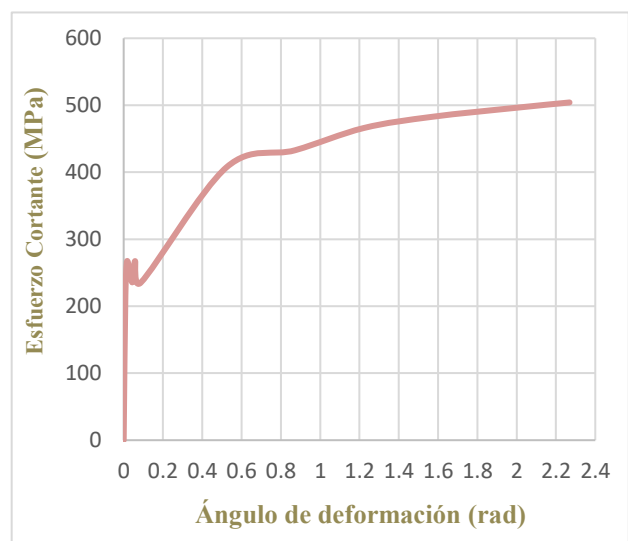
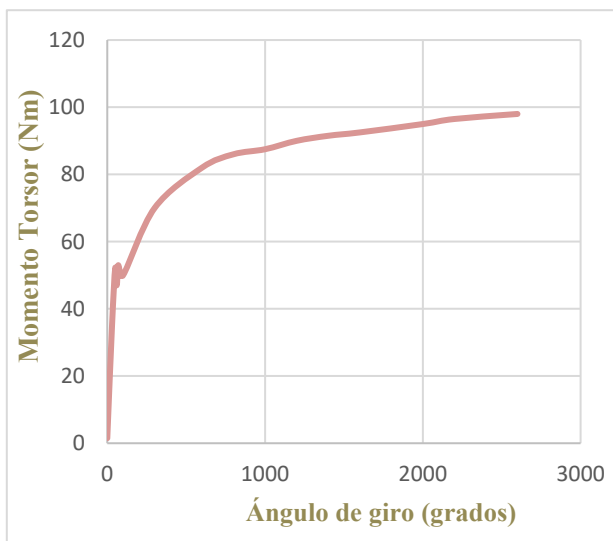
Con base en los resultados obtenidos, respecto a los teóricos, se observa que la resistencia a la tracción está comprendida en el rango de (400 – 550) MPa y el valor promedio en este ensayo fue de 420.66 MPa, encontrándose dentro de lo establecido según las normas. El esfuerzo de fluencia establecido es > 250 MPa, el valor promedio arrojado en este ensayo fue de 319.7965 MPa por lo tanto supera el valor establecido un 27.91%. El porcentaje de elongación establecido es $\geq 20\%$, el valor promedio arrojado en este ensayo fue de 45.72% por lo tanto supera el valor establecido un 128.6%.

Ensayo de torsión

En este ensayo se elaboran gráficos del momento torsor respecto al ángulo de giro

en grados, para determinar las propiedades mecánicas como el esfuerzo cortante torsional, la deformación angular y el límite de fluencia torsional. Esto se percibe en la figura N° 1 (a) y (b). En la figura (a) se muestra la gráfica del momento torsor que suministró el programa después del ensayo hasta la ruptura del material en condición inicial. Mientras que en la figura (b) se muestra la gráfica experimental elaborada entre el esfuerzo cortante vs. ángulo de deformación. En el ensayo, el material falló a 2600° , por lo tanto, se comprueba que es acero ASTM A-36, ya que su resistencia fue de 504.20 MPa estando dentro del rango (400 - 550) MPa.

Figura 1. (a) Momento torsor vs. ángulo de giro. (b) Esfuerzo cortante vs ángulo de deformación



Al realizar el ensayo, aplicando la fuerza de torsión al acero ASTM A_36 hasta que alcanzara el grado de deformación deseado

de 2450° , trabajando de esta manera en un rango de 0° hasta 2450° en estas pruebas.

Ensayo de dureza Rockwell

Para este ensayo se seleccionaron dos (02) probetas para medir la profundidad de penetración, deformación bajo carga de 100kg, a 2450° y con tratamiento térmico de recocido a las temperaturas de 440°C,

540°C, 640°C y 740°C respectivamente, tomándose las mediciones de dureza Rockwell B (HRB) en cada una de ellas, en la tabla N° 2 se presentan los datos obtenidos de este ensayo.

Tabla 2. Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell B (HRB) para las distintas condiciones del estudio realizado

Dureza Rockwell B (HRB)			
Condición	N° probetas	N° indentaciones	Promedio
Condición inicial	2	6	65.25
Deformado a 2450°	2	6	93.83
Deformado con TT de 440°C	2	6	91.05
Deformado con TT de 540°C	2	6	89.71
Deformado con TT de 640°C	2	6	65.07
Deformado con TT de 740°C	2	6	59.83

Contrastando con la norma, la dureza para un acero ASTM A-36 está comprendida entre 68-69 HRB, obteniéndose en el ensayo un promedio de 65.25 HRB, observándose variación en la propiedad del acero, disminuyendo. Esto puede ser producto del proceso de mecanizado que sufrió el material. En el renglón de deformación angular a 2450°, se observa un incremento considerable en la dureza del material por encima de 90, esto puede ser debido a la aglomeración de granos deformados en su estructura cristalina, lo cual se puede confirmar la fotografía para la microestructura óptica.

Al aplicar el tratamiento térmico de recocido a las distintas temperaturas se observó una disminución gradual de la dureza a medida que iba incrementando la

temperatura del ensayo. A la temperatura de 640°C se observó que la dureza obtenida promedio fue de 65.07 HRB y se encontraba levemente inferior a la dureza inicial del material que fue de 65.25 HRB, por lo tanto, se concluye que, para obtener la dureza deseada, el tratamiento de recocido debe realizarse entre las temperaturas de 540°C y 640°C.

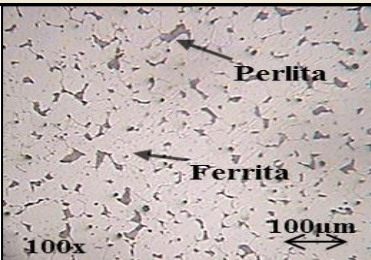
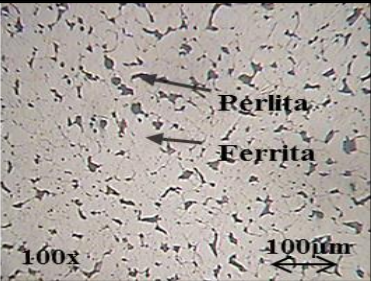
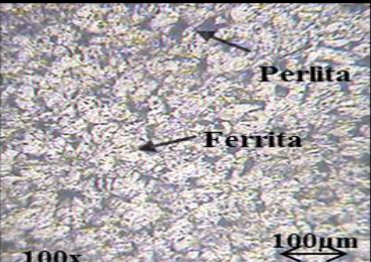
Microestructura

El ensayo para observar la microestructuras del acero, sometido a tratamiento térmico de recocido, se fundamenta en la presencia de cementita con matriz ferrítica, esta coalescencia de microestructura es más adecuada para los aceros al carbono. Al visualizarse estas fases se puede establecer aspectos de la cristalización. A continuación, se muestran

los resultados obtenidos de la metalografía y la caracterización microestructural realizadas al material en estudio, en la tabla

Nº 3 se observa las diferentes etapas por las cuales pasó el acero ASTM A-36 durante el proceso de recrystalización.

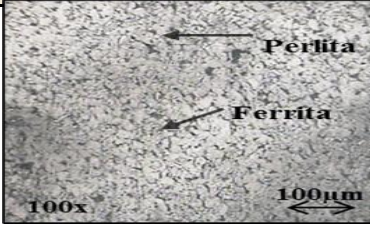
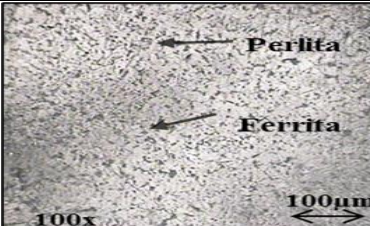
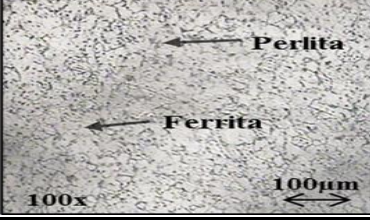
Tabla 3. *Diferentes etapas del acero ASTM A-36 durante la etapa de recrystalización*

Condición	100X	Observaciones
Condición inicial		Se observa la perlita y ferrita perfectamente, así como también los bordes de granos.
Deformada sin tratamiento térmico		Se observa un gran número de dislocaciones por lo que no se distinguen los límites de grano.
Tratamiento de recocido 440 °C		Se observa una disminución muy leve de las aglomeraciones perlita deformada.

En cuanto al ensayo de microscopía óptica realizado al material en condición inicial presentó granos equiaxiales, observándose zonas claras correspondientes a ferrita y zonas grises oscuras correspondientes a perlita, estos microconstituyentes corresponden con lo esperado al acero ASTM A-36, según especificaciones del

material acero al carbono. Adicionalmente se observa que la estructura sigue manteniendo las mismas fases ferrita y perlita. En la tabla Nº 3, se muestra la microscopia para las temperaturas 540°C, 640°C y 740°C.

Tabla 3. *Continuación. Diferentes etapas del acero ASTM A-36 durante la etapa de recrystalización*

Condición	100X	Observaciones
Tratamiento de recocido 540 °C		Se observa una mejor nucleación de granos libres de deformación.
Tratamiento de recocido 640 °C		Se observa que los granos nuevos aumentaron su tamaño alcanzando a ser equiaxiales, culminando la etapa de recrystalización.
Tratamiento de recocido 740 °C		Se observa un sobre aumento en el tamaño de los granos y cambios no deseados en su estructura cristalina

Del ensayo de microscopía óptica luego de la deformación en frío de 2450° se observó una microestructura donde se percibe claramente la aglomeración de los granos, mostrando zonas claras correspondientes a ferrita deformada y zonas grises oscuras correspondientes a perlita deformada. La ferrita y la perlita continúan siendo la fase la fase presente en la estructura cristalina. El aumento del tamaño de los granos en todas las direcciones y aproximadamente iguales, indica que se formaron granos equiaxiales. El sobreaumento del tamaño de grano hace menos resistente al material. Análisis del proceso de recrystalización del acero ASTM A-36

Con el tratamiento de recocido se pudo evidenciar que iba disminuyendo la aglomeración de los granos conforme

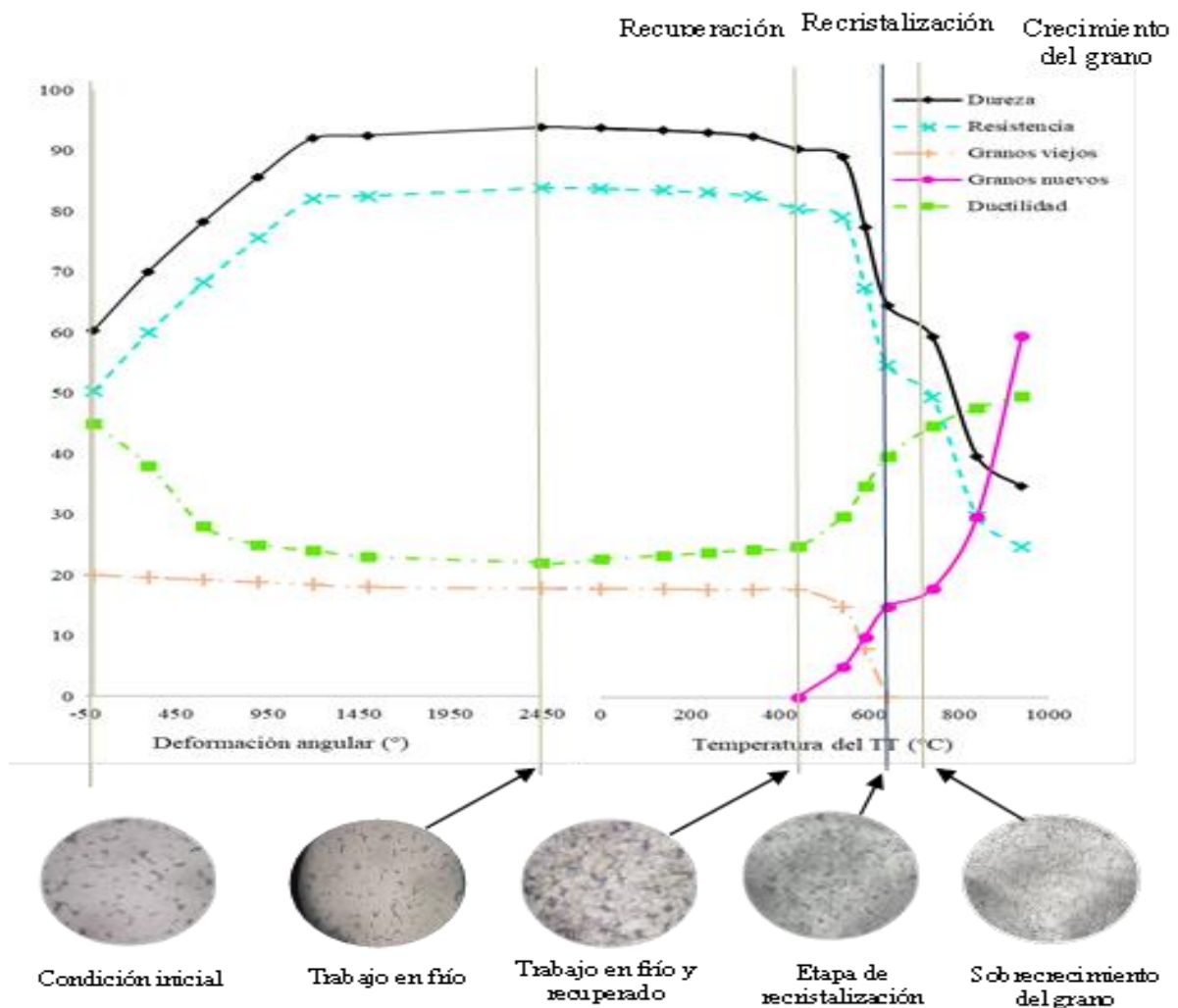
aumentaba la temperatura del tratamiento, presentando mejor definición del límite de grano y en mejor medida, develando granos equiaxiales, esta estructura se relaciona a la recrystalización. Sin embargo, el proceso de torsión tiene efectos significativos en cualquier material, debido a las deformaciones que se acumulan en el material, generando fallos en este, ya que aumenta la velocidad de nucleación de granos y disminuye para que ocurra la recrystalización. Por esto es importante verificar mediante el ensayo estas propiedades, para mejorar la calidad y ductilidad del material a utilizar. Para este estudio el material fallo a 2600°, por consiguiente el ensayo a 2450° relevante para la caracterización del material y tener soporte científico relacionado con su resistencia del material en comparación a

su condición inicial, establecida por la norma de fabricación del mismo. Adicionalmente, considerando que las secciones transversales circulares son más resistentes a la torsión que las rectangulares, y son las más utilizadas en los movimientos de giros, es necesario verificar no solo el esfuerzo de corte en el ensayo, también se requiere observar la dirección de los granos del material. En la microestructura óptica, se observó en las condiciones iniciales direcciones lineales, y tras aplicar el revenido a 2450° se observó disminución en las direcciones o alineaciones de los granos, mayormente observable en las zonas externas del material. Otro efecto generado por torsión es la manifestación de aglomerado y alargamiento del grano ubicándose visualmente en la estructura como zonas claras. Por ello, es importante que después del tratamiento térmico la estructura sea regular, es decir uniforme en su tamaño de grano para mejorar sus propiedades mecánicas. Los efectos por torsión son relevantes identificarlos para evitar fallos por fractura.

En este sentido, la recrystalización está fuertemente influenciada por la cantidad de deformación. Los materiales fuertemente deformados recrystalizarán más, y las deformaciones en frío crean

zonas de nucleación. Estos efectos por deformación deben confirmarse con ensayos del material, para su control de calidad, como contexto, el Molibdeno es un metal de transición difícil de deformar, sin embargo la década de 1970 bajo ensayos, encontraron deformación de 0.3 y recrystalizó más rápidamente para trefilado, laminado y compresión (Barto y Ebert 1971). Este inciso resalta la necesidad de las pruebas y ensayos a los materiales a pesar de las normas y condiciones de trabajo para las que se ofrece el acero, y el desarrollo de esta investigación así como la comentada anteriormente, determina que la temperatura de recrystalización No es una temperatura fija y depende de factores como los siguientes: Aumentar el tiempo de recocido disminuye la temperatura de recrystalización, Las aleaciones tienen temperaturas de recrystalización más altas que los metales puros, Aumentar la cantidad de trabajo en frío disminuye la temperatura de recrystalización. Los tamaños de grano más pequeños trabajados en frío disminuyen la temperatura de recrystalización. Estos efectos se pueden observar en el gráfico obtenido de esta investigación, figura N° 3. Análisis del proceso de la deformación en frío y el tratamiento térmico del material.

Figura 3. Análisis del proceso de la deformación en frío y el tratamiento térmico del acero ASTM A-36



En esta gráfica se relaciona el efecto que ocurre sobre las propiedades mecánicas durante su proceso de recristalización, apoyado en los resultados de la microestructura, ya que el tamaño y la

forma del grano influye directamente en estas propiedades. Mientras que las fases constantes de ferrita y perlita le confiere una característica equilibrada de dureza y tenacidad al acero.

CONCLUSIONES

Al aplicar tratamiento térmico de recocido a las diferentes temperaturas luego de la deformación en frío, se obtuvo una

disminución del 36.24% en la dureza del material, debido a que las tensiones internas que habían sido generadas por la

deformación angular, las cuales disminuyeron entre las temperaturas de 540°C y 640°C.

Los efectos por torsión manifestada en el ensayo se pueden, resaltar la importancia de realizar pruebas a los materiales para verificar sus condiciones de fabricación. En este entender al caracterizar el material mediante los ensayos tracción, torsión, dureza y microscopía óptica en probetas, se concluye que el material cumple con los parámetros de la norma ASTM A-36.

Los gráficos y la relación de estos con la microscopía óptica, nos lleva a concluir que el material ASTM A-36 alcanza durante los ensayos culminar el proceso de recrystalización, ya que se visualizó la fase de recuperación, recrystalización y crecimiento de grano, logrado entre las temperaturas de 540°C y 640°C. Es decir, a temperaturas superiores a este rango se evidencia en los ensayos que se generan condiciones estructurales no deseadas para el material, lo cual disminuye sus propiedades mecánicas y por ende la calidad del material.

Se concluye que las deformaciones acumuladas por procesos en frío de

laminación, estirado, trefilado afecta las propiedades del material, por tanto se debe realizar ensayos a probetas para garantizar la calidad del producto final y si estarán sometidos a esfuerzos de torsión es relevante verificar no solo los valores de esfuerzo sino relacionar estos con la estructura del material en su proceso de recrystalización. Es por ello, que todo trabajo de investigación fundamentado en pruebas, genera una base de datos bajo ciertas condiciones dentro de las normas establecidas, convirtiéndose en referente técnico.

Finalmente, se recomienda, profundizar o detallar esta investigación en el rango de temperatura de 540°C y 640°C, así como un análisis a grados posteriores a 245° para complementar la investigación y determinar lo más exacto posible la temperatura de recrystalización del material ASTM A-36. Así mismo, se recomienda tener presente la importancia de realizar ensayos para verificar las condiciones de diseño, indispensable en los procesos de calidad y mejora de propiedades del producto final.

REFERENCIAS

Chaupi, Y. & Yucra, A. (2019). *Soldabilidad del acero ASTM A607 grado 50 con el acero ASTM A-36 por el proceso SMAW en el alargue del chasis para el ensamble de carrocerías de buses*. [Trabajo de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4755>

Díaz, F. & Reyes, A. (2012). *Aceros estructurales y tratamientos térmicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/ingenieria/fesc/mecanica/mat/mat_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20termicos.pdf

Rojas, R. (2010). *Recuperación y recrystalización de aleaciones de cobre con titanio y carbono* [Trabajo

de Grado, Universidad de Chile]. Universidad de Chile. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103743>

COVENIN 2745 (1999). *Barras de acero al carbono laminadas en caliente de sección transversal cuadrada y superficie lisa, para uso en herrería industrial.* [https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a)

[file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=c980861ca064ddb4c1b4f96d718aee5a)

ASTM A370. *Pruebas mecánicas de productos de acero.*

ASTM E 407-99. *Standard practice for microetching metals and alloys.*

ASTM E-112. *Métodos de prueba estándar para la determinación de tamaño de grano.*

ASTM E18-05. *Standard test methods for rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials.*

COVENIN 907 (1997). *Alambres de acero. Método de ensayo de torsión simple.*

[https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba)

[file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba](https://sigbs.sencamer.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=59f3550348475291ce7ede676995ccba)

Autores

Carmen Osorio. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-5348-5611>

Email: carmen.construccion25@gmail.com

Victoria Armas. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7283-8025>

Email: victoriaarmas89@gmail.com

Carlos Ramón Alfonso Álvarez. Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería de Procesos, Doctorante del Programa de Ingeniería Mecánica. Profesor Titular del departamento de Materiales y procesos de fabricación. Investigador del Centro de Investigación de Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9906-8990>

Email: calfonzo10@gmail.com

Neyda Margarita Severian González. Ingeniero Mecánico, Especialista en Tecnología de Computación para la Educación, Doctora en Ciencias de la Educación; Profesora abscrita a la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8446-5871>

Email: neydaseve@gmail.com

Recibido: 26-01-2025

Aceptado: 09-06-2025