



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Efecto del tratamiento térmico de recocido en las propiedades
mecánicas del acero AISI 1045**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTORES:

Agurto Leyton, Gabriel Fernando (orcid.org/0000-0002-5376-4157)

Chavez Ruiz, Daniel Ivan (orcid.org/0000-0002-3512-413X)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación con todo el amor a mi esposa e hijo, por su constante apoyo.

Agradecimiento

A Dios por guiarme a ser mejor persona ,
mis queridos padres por su constante apoyo
y a mi Universidad por toda la experiencia
estudiantil.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Variables y operacionalización.....	9
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
Población:.....	11
Muestra:.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.5. Procedimientos.....	11
3.6. Método de análisis de datos.....	12
3.7. Aspectos éticos.....	12
IV. RESULTADOS.....	13
V. DISCUSIÓN.....	21
VI. CONCLUSIONES.....	24
VII. RECOMENDACIONES.....	25
VIII. REFERENCIAS.....	26
IX. ANEXOS:.....	31

Índice de Tablas

Tabla 1: Resultados del esfuerzo a la tracción (MPa) obtenidos de probetas de acero AISI 1045 con temperatura de recocido de 850°C y 900°C a los tiempos de permanencia de 30, 60 y 120 minutos con enfriamiento en el horno.	13
Tabla 2: Resultados de la dureza (HB) obtenidos de probetas de acero AISI 1045 con temperatura de recocido de 850°C y 900°C a los tiempos de permanencia de 30, 60 y 120 minutos con enfriamiento en el horno.....	15
Tabla 3: Resultados de las propiedades mecánicas obtenidos de probetas de acero AISI 1045 cuando se le realiza el tratamiento térmico de recocido con enfriamiento en el horno.....	17

Índice de Figuras

Índice de Figuras	vi
Figura 1. Diagrama de Pareto de efectos a un 95% de confianza para el esfuerzo (MPa)	14
Figura 2. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la dureza	15
Figura 3. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la Resistencia a la tracción.	18
Figura 4. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la dureza	19

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, para ello se realizó un estudio cuantitativo de tipo aplicada, su diseño es experimental y de alcance es de nivel explicativo. Se obtuvo como resultado un significativo efecto de las dimensiones: temperatura de recocido y tiempo sobre la variable dependiente mediante la prueba del p valor. Disminuyendo la resistencia a la tracción de 615.9 MPa a 597.3MPa con respecto a la temperatura de recocido y de 613MPa a 600.6MPa con respecto al tiempo de permanencia. El tratamiento térmico de recocido disminuye la dureza del acero con valores de 193.6HB a 178.3HB con respecto a la temperatura de recocido y de 192.6HB a 180.6HB con respecto al tiempo de permanencia en el horno.

Palabras clave: Tratamiento térmico, propiedades mecánicas, resistencia a la tracción , dureza.

Abstract

The main objective of this investigation was to evaluate the effect of the annealing heat treatment on the mechanics of AISI 1045 steel, for which a quantitative study of the type of applied properties was carried out, its design is experimental and its scope is explanatory. A significant effect of the dimensions was obtained as a result: annealing temperature and time on the dependent variable by means of the p value test. Decreasing the tensile strength from 615.9 MPa to 597.3MPa with respect to the annealing temperature and from 613MPa to 600.6MPa with respect to the dwell time. The annealing heat treatment decreases the hardness of the steel with values from 193.6HB to 178.3HB with respect to the annealing temperature and from 192.6HB to 180.6HB with respect to the time spent in the furnace.

Keywords: Heat treatment, mechanical properties, tensile strength, hardness.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los aceros son cruciales para el desarrollo económico y en la infraestructura y, por lo tanto, se puede considerar un indicador del progreso económico. En las siderúrgicas se considera al proceso de tratamiento térmico un factor muy importante para alterar las propiedades mecánicas y microestructurales.

Las propiedades mecánicas deseadas pueden resultar por causas de la alteración el tamaño, la forma y la distribución de varios constituyentes y esto es gracias al proceso de tratamiento térmico.(Murmu, Chaudhary, Rajak 2022). En los últimos años, la demanda de aceros de elevada resistencia fue incrementando de manera exponencial para aplicaciones ingenieriles y tecnológicas como fabricación de automóviles. El acero debe tener una elevada dureza y ductilidad, con el fin de salvaguardar vidas humanas.(Poddar et al. 2022).

La modernización y la transformación en la industria automotriz ha mejorado los requisitos para materiales, llevandolo hacia una nueva generación de aceros con excelente rendimiento realizando correctos tratamientos térmicos para obtener propiedades mecánicas que se adapten al uso (Xie et al. 2023). Los aceros inoxidables también son usados en campos aeroespaciales, biomédico y otros beneficios(Huang et al. 2023).

Los aceros, juegan un papel importante en el diseño de máquinas, carcasas, conductos, miembros estructurales e innumerables componentes. Siendo el agrietamiento el defecto más serio cuando no se realiza un tratamiento térmico con parámetros adecuados.(Selvamani et al. 2019). Mientras que otras investigaciones afirman que la debilidad de los aceros inoxidables es su bajo límite elástico, que impide su aplicación posterior cuando no se aplica una temperatura adecuada de recocido.(Amininejad, Jamaati, Hosseinipour 2022)

En la India, se ha evidenciado mediante investigaciones que la aleación y el tratamiento térmico son dos técnicas para regular las propiedades de los materiales que se utilizan ampliamente, y ya se ha establecido que el tratamiento térmico puede sufrir cambios morfológicos para lograr la resistencia mecánica deseada.(Singh et al. 2021a). Por otra parte, en la China se logró descubrir que, al aplicar tratamiento térmico, se produjo un aumento en la tracción y la dimensión de subgrano que contribuyen a la mejora del límite elástico.(Yao et al. 2022). Además

en Irán se logró estudiar el recocido por esferoidización sobre las propiedades mecánicas de un acero donde la resistencia a la tracción disminuye y la ductilidad aumenta, esto puede estar relacionado al templado que se aplicó.(Soleimani, Mirzadeh, Dehghanian 2021)

Durante el recocido, los procesos de recuperación, recristalización y crecimiento de grano pueden tener diferentes dimensiones de grano, esto se debe a la temperatura y el tiempo que dura el recocido. Un tamaño de grano fino, puede mejorar la resistencia, reducir la ductilidad e incrementar la dureza del acero o viceversa.(Anwar et al. 2022). Sin embargo, se menciona que la microestructura puede afectar fuertemente las propiedades de cualquier material, también se concluyó que el tamaño de grano influye significativamente en el límite elástico.(Srivastava, Sinha, Sahani 2020)

De mantenerse este problema y no tomarse medidas de solución, en condiciones de trabajo muy complicadas, los aceros pueden sufrir fracturas ya que siempre deben soportar grandes cargas axiales y radiales al mismo tiempo. Por lo tanto, la tenacidad y resistencia al impacto podría determinar en gran medida el funcionamiento inestable de los aceros.(Wang et al. 2022)

La mayoría de tratamientos térmicos de recocido que se realizan tienen deficiencias ya que se llevan a cabo de manera empírica sin ningún control técnico, con resultados muy por debajo de los requeridos en el servicio. Syaiful Anwar et al. (2022). El acero AISI 1045 es un acero usado en manivelas, bielas, piezas de armas, acoples, ejes para motores, pernos, etc. Al desconocer los parámetros se puede obtener una pieza dura y frágil o lo que es peor un agrietamiento durante el servicio generando pérdidas económicas al usuario de dicha pieza.

Para la presente investigación se planteó el siguiente problema general: ¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045? y los siguientes problemas específicos: ¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045 ?¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045?

Por lo tanto, se plantea como objetivo general: Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, igualmente los siguientes objetivos específicos. Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045 y Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045.

II. MARCO TEÓRICO

En investigaciones realizadas se encontró a Mohapatra (2022), su investigación desarrollada en el instituto de tecnología de Kharagpur de India, buscó determinar la influencia del tiempo de recocido en las propiedades mecánicas del acero al manganeso para esto se estudió un lingote de composición química Fe-3,92Al-6,78Mn-1,34Si-0,18C. Para el estudio se utilizó un horno a 750°C con diferentes temperaturas de 30, 60 y 180 minutos. En esta investigación se encontró que el acero recocido intercrítico a 750°C por 60 min muestra mejores propiedades de tracción en comparación con los aceros recocidos por 30 y 180 min debido al efecto combinado de menor tamaño de grano, mayor fracción de fase austenítica, fracción recristalizada óptima y menor estabilidad mecánica.

La investigación realizada en Indonesia por Syaiful Anwar et al. (2020) , tiene como propósito de estudio observar los efectos del proceso de tratamiento térmico sobre la dureza del acero inoxidable. Para ello utiliza aceros austeníticos para aplicaciones en altas temperaturas como 253MA, 310SS y 353MA. Donde lograron identificar que, con el laminado en caliente, temple en agua y el proceso de envejecimiento. La temperatura optima es a 975°C dando como resultado una dureza de 300 HV, además se logra concluir en que la temperatura más alta del tratamiento de solución conduce a un grano de austenita más áspero y a una disminución del valor de dureza del acero.

En otra investigación realizada por Poddar(2022), donde la investigación fue desarrollada en el Instituto de Ingeniería de India, tuvo como objetivo el efecto del tratamiento de recocido a baja temperatura de dos aceros de ultra alta resistencia severamente laminados en frío. Para el estudio se utilizó material fundido en horno de inducción de aire, para luego realizar un recocido de esferoidización a 1250°C durante 3h seguido de un forjado en caliente y enfriamiento por aire. Los resultados muestran que el carbono presente en los sitios de dislocación tiene un efecto significativo en el aumento de limite elástico y la resistencia a la tracción durante el recocido a temperaturas bajas en ambos aceros.

Así mismo la investigación realizada por Materna et al (2019), en su investigación realizada en Republica Checa, tuvo como estudio la dependencia de la dureza con el tiempo de permanencia en el horno y poder así comprender el comportamiento del acero 08Ch18N10T. Donde el resultado obtenido es que la dureza aumenta con el valor del espesor y con el tiempo de recocido isotérmico hasta 2 horas luego tiende a tener una ligera disminución cuando tiene reducciones de espesor de 10% . Por lo que podemos concluir que la dureza del acero aumenta sin deformar.

Por otro lado, en cuanto al tratamiento térmico se refiere, Srivastava, Sinha, Sahani (2020) en su investigación desarrollada en , Instituto de Tecnología de Buda-India, tuvo como objetivo evaluar los cambios en la dureza del acero EN98 según el parámetro de tratamiento térmico cambiante. Utilizando como material de estudio acero EN98, las dimensiones de 11 mm de longitud y 25 mm de diámetro. Las muestras se recocieron a 480 °C manteniéndolas durante 45 min y luego se realiza un recocido de normalizaron a 850 °C manteniéndolas durante 2h y templando a 300 °C. El enfriamiento se llevó a cabo en baño de aceite hasta temperatura ambiente Donde los resultados que se obtuvieron fue una disminución gradual del valor de dureza a 850°C y un aumento a 950°C.

La investigación realizada en Alemania por Becker et al. 2023 , tuvo como estudio la influencia del tiempo de recocido en la microestructura y propiedades mecánicas del acero inoxidable donde concluye que detecta una disminución en la resistencia a la tracción esto es atribuido a que existe una disminución en la densidad de dislocaciones y aumento de contenido austenita lo que provoca una mayor ductilidad.

Se tiene una investigación realizada en Marruecos, donde los autores Essoussi et al. (2019) realizaron un estudio que se centra en los cambios de las propiedades mecánicas del acero austenítico 304 después de diferentes temple, utilizando como muestra de estudio una lámina de acero inoxidable austenítico (AISI 304) comercializada, cuatro muestras con una longitud de referencia de 100 mm, un espesor de 1 mm y un ancho de 20 mm se cortaron según la norma ISO 6892-1

y se pulieron, donde el tratamiento aplicado es un normalizado (950°C) y el medio de enfriamiento fue en agua y aceite, el resultado fue que el límite elástico tiende a disminuir y la resistencia máxima a la tracción templada en agua muestra una mejora de 50MPa. En conclusión, para el alargamiento vale la pena notar una mejora para todas las muestras templadas en agua.

Se logró encontrar un artículo científico realizado en la India hecho por Singh et al. (2021) donde el objetivo principal es analizar su resistencia, dureza y tenacidad después del tratamiento térmico al acero AISI 1045. Se tiene 3 muestras sin tratar, recocido de normalizado y enfriamiento en el horno todas a 850°C. Los resultados muestran que la resistencia a la tracción se reduce en 12%, 6% y 2% para los procesos de recocido de normalización y enfriamiento respectivamente. Además, se concluye que la dureza de la muestra templada aumenta mucho más en comparación con la muestra recocida y normalizada.

Entre aportes de Xu et al. (2022), la variable temperatura de recocido tiene como dimensión a la temperatura que consideran como el causante principal de los cambios morfológicos trayendo consigo efectos significativos aumentando y/o disminuyendo la elongación, dureza, resistencia a la tracción. Sin embargo, también juega un rol importante dentro de la microestructura interna del acero transformando los componentes, siendo estas las razones por las cuales se originan los cambios en las propiedades mecánicas.

En cuanto a la variable de temperatura de recocido, se encontraron los aportes de Xu et al. (2022) quienes mencionan que: la temperatura de recocido es definida como uno de los causantes en la morfología del grano, que tiene por finalidad el ablandamiento de tensiones internas de un acero. Para Singh et al. (2021) la temperatura de recocido manteniéndose a 850°C por un periodo de tiempo puede disminuir la resistencia a la tracción del acero. Sin embargo, otros investigadores como Srivastava, Sinha, Sahani (2020) menciona que la temperatura de recocido ajusta el tamaño del grano, alterando la estructura del material y alivia las tensiones en el material.

Li et al. (2022) en su artículo menciona que, la resistencia máxima a la tracción y límite elástico, para el caso de las variables UTS(resistencia máxima a la tracción) es definida como la cantidad de esfuerzo el cual opone un material hasta que se produzca la ruptura cuando se aplica una carga.

Entre aportes de (Yuan et al. 2023), donde el objetivo era el estudio de la microestructura durante el calentamiento rápido de un acero. Los resultados muestran que la velocidad de calentamiento hace que el rango de transición de la austenita se eleve, además refino los granos de austenita debido a los precipitados y dislocaciones que contiene el acero.

Así mismo, la dureza, esta variable se define como una propiedad superficial del acero para poder resistir toda la deformación elástica o de penetración. Srivastava, Sinha, Sahani (2020). Según el artículo científico encontrado nos menciona que la dureza tiende a disminuir cuando las temperaturas de tratamiento al cual se somete el acero aumentan. Syaiful Anwar et al. (2020). Según Anwar et al. (2022) menciona que los valores de dureza caen insignificadamente con la subida de la temperatura de tratamiento de la solución debido al grano de austenítico.

Habiendo revisado la teoría, se puede afirmar que el recocido tiene diferentes tipos ya sea por recocido isotérmico es decir manteniéndose a una misma temperatura por largo tiempo, de regeneración con el objetivo de aliviar tensiones residuales dentro de la microestructura de la matriz del acero, recocido de normalización al calentar el acero por encima de la temperatura crítica superior y recocido globular elevándolas a temperaturas entre la crítica inferior y superior. (Avner, 1988, p. 257). Así mismo la teoría de la deformación Plástica en Metales tiene como objetivo analizar la deformación en los metales desde el punto de vista macroscópico. (Zavaleta, 2013, p.157).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

Según su finalidad, la investigación fue de tipo aplicada, ya que se caracterizó porque buscó la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquirieron (Ortega, 2017). Esta investigación fue del tipo aplicada porque se requirió conocer el comportamiento de dureza y resistencia a la tracción de un acero AISI 1045 con temperaturas y tiempo de permanencia de recocido utilizando conocimientos obtenidos en tratamientos térmicos.

La investigación es de tipo cuantitativo porque refleja la necesidad realizar mediciones y estimar magnitudes de fenómenos, se derivaron las preguntas de investigación y objetivos así mismo se fijaron variables, analizándolas y utilizando métodos estadísticos para tener conclusiones. (Hernández y Mendoza, 2018). Esta investigación fue de enfoque cuantitativo porque se pretende evaluar cómo influye el tiempo recocido de normalizado a 30min, 60min y 120min de permanencia, además de las diferentes temperaturas según el diagrama hierro carbono de 850°C y 900°C sobre la dureza y su efecto en la resistencia del acero.

Diseño de investigación:

Diseño de esta investigación es experimental cuando la persona que realiza la investigación pretende predecir el efecto de una causa que se manipula. Dentro del diseño se identifica como preexperimental ya que sus estudios son del tipo exploratorios, pero sus resultados que se pueden obtener deben revisarse con mucha precaución. (Hernández y Mendoza, 2018).

El diseño del presente estudio de investigación es experimental ya que las variables temperatura y tiempo de recocido se manipularán con la finalidad de obtener una respuesta significativa en las variables en estudio.

Por su alcance es de nivel explicativo ya que se busca evaluar como influye el tiempo y la temperatura en la dureza y resistencia del acero.



Donde:

M: Muestras de probetas acero AISI 1045

X : Estímulo (temperatura y tiempo de permanencia de recocido)

O1 : Observación de la variable dependiente pre estímulo (dureza y resistencia a la tracción)

O2 : Observación de la variable dependiente post estímulo (dureza y resistencia a la tracción)

3.2. Variables y operacionalización

Tratamiento térmico

El recocido es un tratamiento térmico que tiene como finalidad ablandar los materiales después de un proceso de elaboración generalmente en frío. El sistema es calentar la pieza y enfriarla lentamente, con el fin de que el grano que forma su estructura se ablande y elimine sus tensiones internas. (Millán,2006)

Propiedades Mecánicas

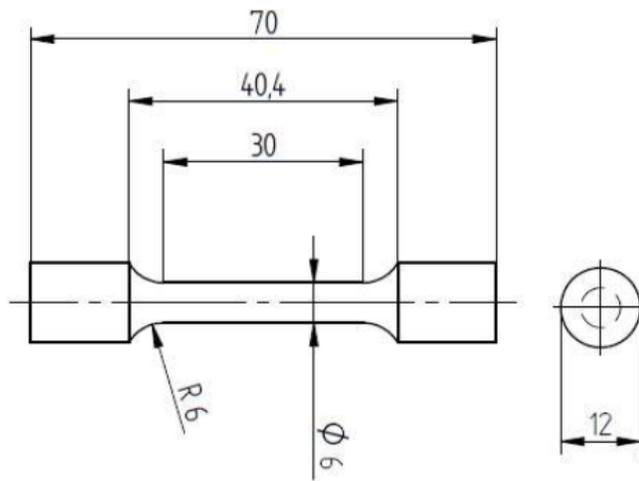
Las propiedades mecánicas de un acero son la dureza y la resistencia a la tracción entre otros, que dependen de la aleación propia del acero e impurezas.(Wei et al., 2022)

El aumento de dureza es la cualidad deseable para cualquier componente de ingeniería, Un componente falla cuando la superficie no puede resistir las fuerzas externas del entorno(Srinath et al. 2023)

Muestra: La muestra está conformada de acero AISI 1045, trabajadas a dos temperaturas de 850°C y 900°C a tres tiempos de 30, 60 y 120 minutos, con una réplica de 3 haciendo un total de 18 probetas necesarias para este estudio. Adicionalmente la muestra base también será contabilizada haciendo un total de 19 probetas.

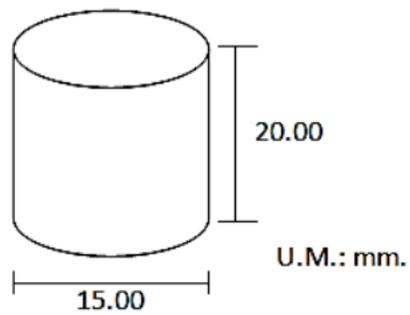
Para la realización de las pruebas experimentales se llevó a cabo la Norma ASTM

E8, las dimensiones se muestran en la siguiente figura. Por último, este ensayo es destructivo.



Medidas en mm

Fuente: Norma ASTM E8



Probeta para el ensayo de dureza según norma ASTM E -10

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Población:

19 probetas de acero AISI1045

Muestra:

19 probetas de acero AISI1045

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

En la investigación se aplicó análisis documental, con reportes del Laboratorio Metalúrgico de la Universidad Nacional de Trujillo dirigida a la temperatura de recocido y el tiempo de permanencia en el horno, para lograr conocer el comportamiento sobre la dureza y la resistencia a la tracción del acero.

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó una ficha de registro, mediante el uso de Microsoft Excel y el programa Minitab 19, para conocer el efecto que tiene la temperatura y tiempo de permanencia en la dureza y de la resistencia a la tracción mediante el estudio estadístico.

3.5. Procedimientos

La investigación se inició solicitando un permiso a la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de Trujillo para llevar a cabo las pruebas experimentales de su laboratorio.

En la segunda fase, que corresponde al desarrollo del proyecto, se utilizó instrumentos acordes a los evaluados por los expertos en el área, así mismo terminado las pruebas experimentales se procedió a analizar los datos obtenidos para redactar conclusiones.

Finalmente, con los datos recolectados del laboratorio se procedieron a evaluarlos en el programa estadístico Minitab 19, con la finalidad de conocer el efecto y/o comportamiento de las variables en estudio mediante gráficas y su posterior interpretación.

Temperaturas de recocido de normalización(°C)		
Tiempo de permanencia (minutos)	850	900
30	X_{11}	X_{21}
	X_{12}	X_{22}
	X_{13}	X_{23}
60	X_{14}	X_{24}
	X_{15}	X_{25}
	X_{16}	X_{26}
120	X_{17}	X_{27}
	X_{18}	X_{28}
	X_{19}	X_{29}

3.6. Método de análisis de datos.

La data que se registró fue recopilada de manera ordenada con el apoyo de celdas en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel para poder elaborar la estadística descriptiva, con la finalidad de poder organizar de la mejor forma y presentar una información para un análisis mucho más detallado. Con el análisis estadístico descriptivo se pretendió mostrar el efecto en las variables que pudo aceptar la hipótesis planteada.

3.7. Aspectos éticos

Para elaborar la investigación, se respetó las normas de la guía para la elaboración de trabajos de investigación de la UCV. Así mismo se respetó la información suministrada por parte del laboratorio para la investigación, garantizándoles que la misma carece de mala intención, garantizando además que la información suministrada no será utilizada con fines de lucro, al igual que el manejo imparcial de la misma, actuando con justicia y equidad.

IV. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas experimentales en estudio, realizado a probetas de acero AISI 1045 sometidos al tratamiento térmico de recocido a 850°C y 900°C a los tiempos de: 30min , 60min y 120min , con enfriamiento lento dentro del horno, se detallan en las tablas como se muestran:

Objetivo específico 1: Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045.

Tabla 1: Resultados del esfuerzo a la tracción (MPa) obtenidos de probetas de acero AISI 1045 con temperatura de recocido de 850°C y 900°C a los tiempos de permanencia de 30, 60 y 120 minutos con enfriamiento en el horno.

Temperatura(°C)		850			900		
Tiempo (min)		30	60	120	30	60	120
Resistencia a la tracción (MPa)		623.0	613.0	608.0	602.0	600.0	592.0
		621.0	615.0	610.0	604.0	594.0	590.0
		628.0	614.0	610.0	603.0	597.0	594.0

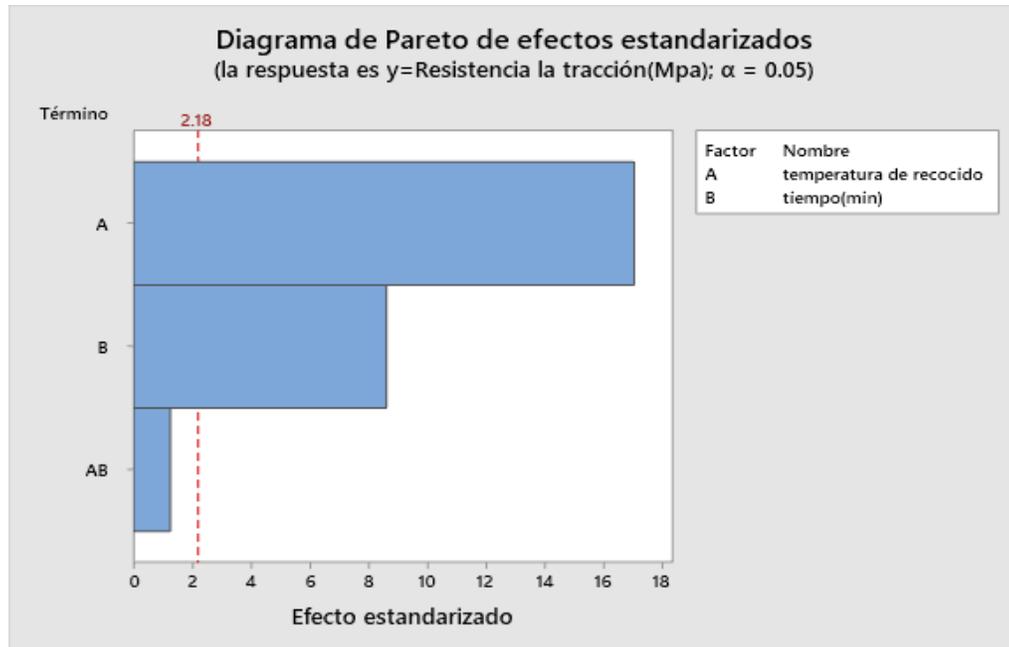


Figura 1. Diagrama de Pareto de efectos a un 95% de confianza para el esfuerzo (MPa)

Interpretación:

Con respecto a los diagramas de Pareto fig1 con un 95% de confiabilidad podemos decir que en la figura 1 se tiene el punto de referencia crítico de 2.18 donde el efecto temperatura de recocido(A) y tiempo de permanencia(B) lo sobrepasan, afirmándose así que tienen un efecto significativo en la prueba realizada a las probetas de acero AISI 1045. Esto se puede confirmar en la tabla ANOVA (anexo1), donde el valor significativo es menor a 0.05 teniendo como coeficiente de correlación de 0.000 y 0.000 respectivamente. Sin embargo, la interacción de ambas no tiene efecto significativo ya que no supera el valor crítico, en la tabla ANOVA tiene un valor de correlación de 0.232 siendo esta mayor que 0.05.

Objetivo específico 2: Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045.

Tabla 2: Resultados de la dureza (HB) obtenidos de probetas de acero AISI 1045 con temperatura de recocido de 850°C y 900°C a los tiempos de permanencia de 30, 60 y 120 minutos con enfriamiento en el horno

Temperatura(°C)		850			900		
Tiempo (min)		30	60	120	30	60	120
Dureza(HB)		200	190	192	189	175	170
		196	196	192	191	172	169
		192	195	190	188	180	171
Suministro			206	199	201		

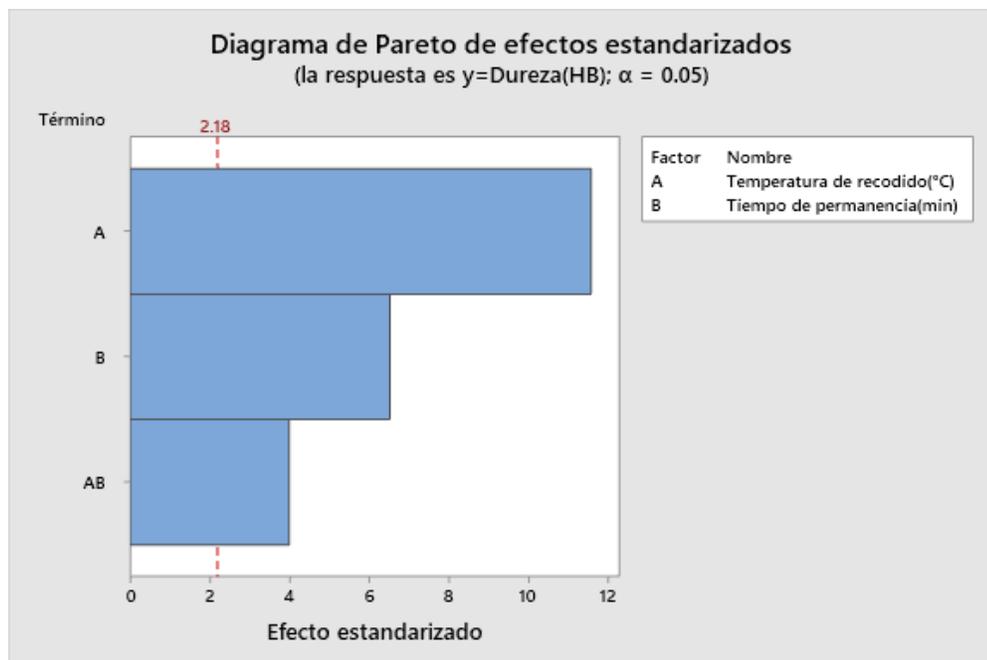


Figura 2. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la dureza

Interpretación:

Con respecto al diagrama de Pareto fig2 con un 95% de confiabilidad podemos decir que en la figura se tiene el punto de referencia crítico de 2.18 donde el efecto temperatura de recocido(A) , tiempo de permanencia(B) y la interacción de ambas lo sobrepasan, afirmándose así que tienen un efecto significativo en la prueba realizada a las probetas de acero AISI 1045. Esto se puede confirmar en la tabla ANOVA (anexo4), donde los valores son significativos ya que son menores a 0.05 teniendo como coeficiente de correlación de 0.000, 0.000 y 0.02 respectivamente.

Objetivo General: Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045.

Tabla 3: Resultados de las propiedades mecánicas obtenidos de probetas de acero AISI 1045 cuando se le realiza el tratamiento térmico de recocido con enfriamiento en el horno.

		Variable: Tratamiento térmico de recocido					
		Temperatura(°C)					
		850			900		
		Tiempo (min)					
		30	60	120	30	60	120
Variable: Propiedades Mecánicas	Resistencia la tracción (MPa)	623.4	613.2	608.0	602.0	600.0	592.0
		621.0	615.0	610.0	604.0	594.0	590.0
	628.8	614.0	610.0	603.0	597.0	594.0	
	Dureza(HB)	200.0	190.0	192.0	189.0	175.0	170.0
196.0		196.0	192.0	191.0	172.0	169.0	
		192.0	195.0	190.0	188.0	180.0	171.0

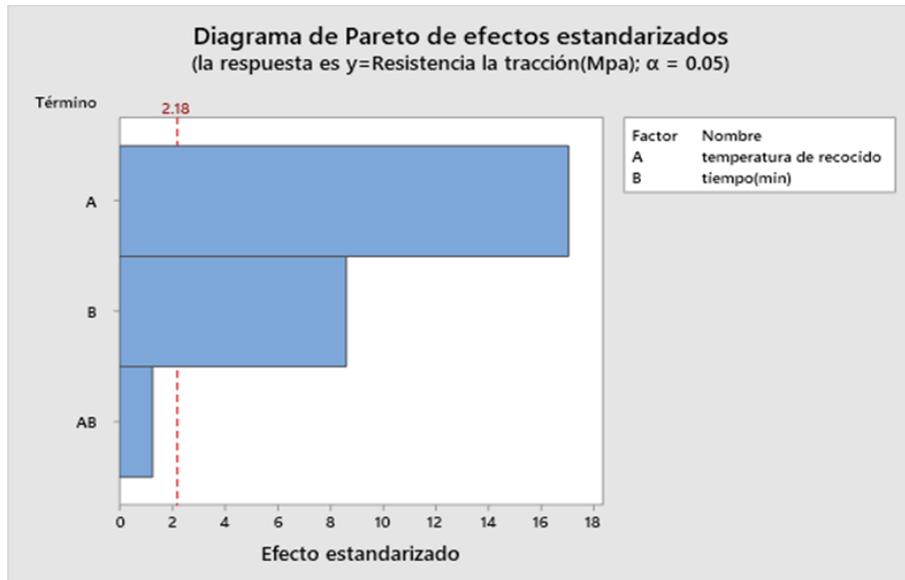


Figura 3. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la Resistencia a la tracción.

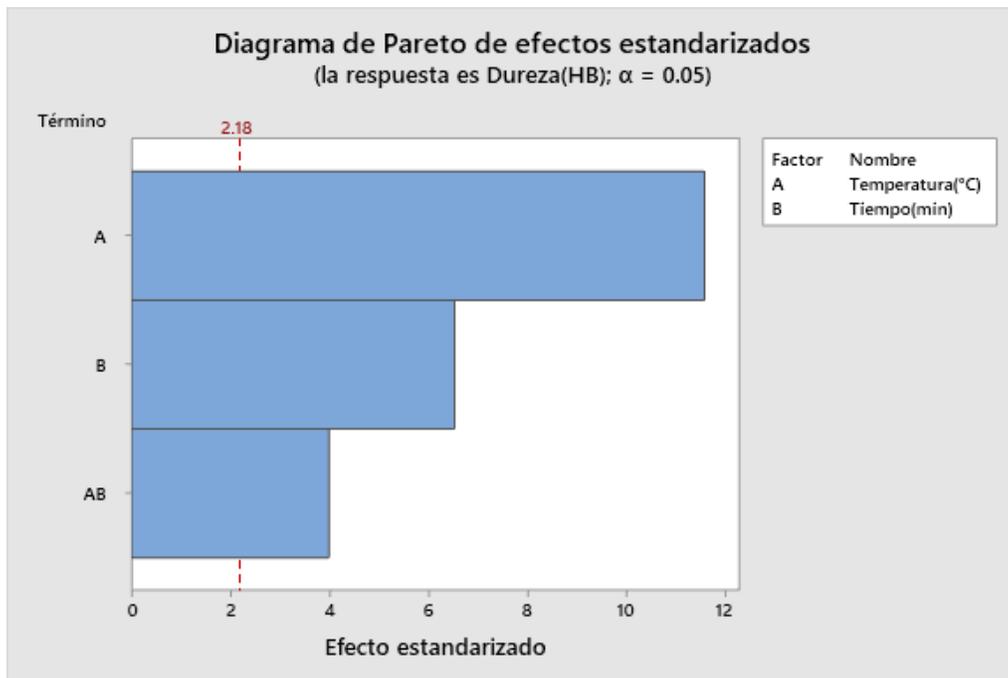


Figura 4. Diagrama de Pareto de estandarizados a un 95% de confianza para la dureza

Interpretación:

Con respecto a los diagramas de Pareto fig3 con un 95% de confiabilidad podemos decir que en la figura se tiene el punto de referencia crítico de 2.18 donde el efecto temperatura de recocido(A) y tiempo de permanencia(B) lo sobrepasan, afirmándose así que tienen un efecto significativo en la prueba realizada a las probetas de acero AISI 1045. Esto se puede confirmar en la tabla ANOVA (anexo1), donde el valor significativo es menor a 0.05 teniendo como coeficiente de correlación de 0.000 y 0.000 respectivamente. Sin embargo, la interacción de ambas no tiene efecto significativo ya que no supera el valor crítico.

Con respecto al diagrama de Pareto fig4 con un 95% de confiabilidad podemos decir que en la figura se tiene el punto de referencia crítico de 2.18 donde el efecto temperatura de recocido(A) , tiempo de permanencia(B) y la interacción de ambas lo sobrepasan, afirmándose así que tienen un efecto significativo en la prueba realizada a las probetas de acero AISI 1045. Esto se puede confirmar en la tabla ANOVA (anexo4), donde los valores son significativos ya que son menores a 0.05 teniendo como coeficiente de correlación de 0.000, 0.000 y 0.01 respectivamente.

V. DISCUSIÓN

En la investigación se planteó como primer objetivo específico evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045. En base a ello se estudió la teoría de Deformación plástica en Cristales Metálicos. En la presente investigación los resultados muestran que valores de resistencia a la tracción disminuyen a medida que aumenta el tiempo de permanencia dentro del horno en el rango de 30min, 60min y 120 min desde 613MPa para 30 minutos hasta 600MPa para 120minutos, esto se observa en el anexo (2). Los resultados obtenidos coinciden con Mohapatra (2022) quien encontró que el acero recocido por 60 min muestra mejores propiedades de tracción en comparación con los aceros recocidos por 30 y 180 min. Los antecedentes y las coincidencias con la presente investigación se deben a que el tiempo de enfriamiento (12 horas) y temperatura del horno conlleva a la formación de ferrita proeutectoide y perlita gruesa esto implica que el número de límites de grano disminuya, recordemos que los límites de grano del acero actúan como barreras hacia el movimiento de las dislocaciones. Teniendo como efecto una mayor facilidad para las dislocaciones, durante el ensayo de tracción existe una infinidad de estos movimientos y por ello el acero es más fácil de llegar a su punto de ruptura. En el estudio realizado por Poddar (2022), se encontró que el carbono presente en los sitios de dislocación tiene un efecto significativo en el incremento de la resistencia a la tracción, aquí no coincide con nuestros datos experimentales ya que la resistencia a la tracción disminuye, los factores que conllevan a esta diferencia son el tipo de acero e impurezas que esta contiene, además de la temperatura y método de enfriamiento. Por lo tanto, podemos decir que existe coincidencia con la disminución de la resistencia con el tiempo de permanencia debido al tamaño de grano, pero no ocurre en el caso del aumento de la resistencia a la tracción debido al contenido de carbono dentro de su matriz.

En el segundo objetivo específico fue evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045. En base a ello se estudió la teoría de Imperfecciones Cristalinas. En la presente investigación los resultados muestran que la dureza disminuye con el aumento de la temperatura y tiempo de permanencia en el horno donde la dureza a temperatura de 30min su dureza es aproximadamente 200HB y a 120min su dureza disminuye gradualmente a 180HB (anexo 5). Los resultados obtenidos coinciden con Syaiful Anwar et al. (2020) quien encontró que el acero austenítico, trabajado en caliente, templado en agua tienen una disminución en su dureza. Los antecedentes y las coincidencias con la presente investigación se deben al acero AISI 1045 cuando fue llevado a la temperatura austenítica donde su estructura es del tipo FCC (cara centrada en el cuerpo) con una estructura muy compacta. Además el diagrama TTT(anexo 7) para el acero muestra que durante su enfriamiento forma Ferrita donde su estructura cristalina es del tipo BCC (centrada en el cuerpo) ya que es menos compacto que la anterior y la perlita gruesa (menos dura y más dúctil) en este existen pocos límites de fases entre (ferrita proeutectoide y cementita) se sabe que la cementita actúa como barrera para su movimiento de dislocaciones y al no existir muchos límites entre estas fases el movimiento de las dislocaciones es mucho más fácil, trasladándose una a otra sin ninguna restricción y esto provoca que al momento de medir la dureza se aplica cierta carga al material donde los átomos ceden a este movimiento. Por lo tanto, podemos decir que si existe coincidencia con la disminución de la dureza debido al desplazamiento de dislocaciones. En el estudio realizado por Srivastava, Sinha, Sahani (2020), se encontró que la dureza de un acero EN98 disminuye de forma gradual cuando se realizó un recocido a 480°C durante 45 minutos con enfriamiento en aceite, aquí podemos decir que la investigación coincide con nuestros datos experimentales. Por lo tanto, podemos concluir que la dureza disminuye si se aumenta los parámetros del tratamiento térmico.

Por último, el objetivo general fue evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045. Según Xu et al. (2022) quien encontró que a temperatura de recocido trae efectos significativos dentro de la microestructura interna del acero transformando los componentes y aumentando o disminuyendo las propiedades mecánicas del material. Esto coincide con nuestra investigación ya que como se observa el tratamiento térmico de temperatura y el tiempo de enfriamiento del acero en el diagrama TTT, su microestructura cambia según los parámetros. La austenita se convierte a ferrita proeutectoide y perlita (ferrita eutectoide + cementita), esto trae consigo cambios en la estructura atómica del acero cambiando así las propiedades mecánicas iniciales del material, para esta investigación sucede que está disminuyendo las propiedades mecánicas de dureza y resistencia a la tracción. Por otro lado Singh et al. (2021) quien encontró que la resistencia a la tracción se reduce para el mismo acero AISI 1045, además concluye que la dureza aumenta cuando esta es templada. Esto coincide con nuestros datos experimentales ya que las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción también disminuyen, pero en la dureza sucede lo contrario, esto se debe que el temple enfría el acero en un menor tiempo formándose en su microestructura martensita que a su vez se caracteriza por ser dura y frágil, confirmándose así la relación que tienen ambas investigaciones. Por lo tanto, podemos concluir que existe coincidencia con los datos experimentales ya que el tratamiento térmico de recocido tiene efectos significativos en las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y dureza.

VI. CONCLUSIONES

1. El efecto del tratamiento de recocido tuvo un efecto significativo en relación a las propiedades mecánicas del acero con disminución en sus valores tanto para la resistencia a la tracción de 615MPa a 600MPa aproximadamente (anexo 2), así como para la dureza que disminuye de 195HB a 180HB aproximadamente (anexo 5), además el efecto que tuvo el tratamiento térmico de recocido para esta investigación tuvo coeficientes de correlación menores a 0.05.
2. El tratamiento térmico de recocido tiene un efecto de disminución en la resistencia a la tracción del acero con valores de 615.9Mpa a 597.3MPa con respecto a la temperatura de recocido y 613.7MPa hasta 600.6MPa con respecto al tiempo de permanencia en el horno.
3. El tratamiento térmico de recocido disminuye la dureza del acero con valores de 193.6HB a 178.3HB con respecto a la temperatura de recocido y de 192.6HB a 180.6HB con respecto al tiempo de permanencia en el horno.
4. La temperatura de recocido para el tratamiento realizado es de 850°C y 900°C y los tiempos de permanencia son de 30min, 60min y 120min.
5. La temperatura de enfriamiento se obtuvo dentro del horno hasta llegar a 25°C este proceso tuvo como tiempo de enfriamiento durante 10 horas, con la finalidad de permitir una transformación de la austenita.
6. El esfuerzo aplicado al acero AISI1045 después del tratamiento térmico de recocido son inferiores a el esfuerzo aplicado antes del tratamiento térmico, esto se ve reflejado en los gráficos. Mientras que la deformación en el acero tiene un 4% de alargamiento respecto a su tamaño inicial.

VII. RECOMENDACIONES

Habiendo analizado los resultados de esta investigación se plantea las siguientes recomendaciones:

Elaborar una investigación para la microestructura del acero AISI 1045, con la finalidad de estudiar las fases que se forman de esta manera se tendrá un panorama mas amplio sobre el efecto que tiene el tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas.

Estudiar el efecto del tratamiento térmico para otras temperaturas.

Elaborar un estudio del tratamiento térmico de recocido sobre otras propiedades mecánicas del acero.

VIII. REFERENCIAS

1. AMININEJAD, Ali, JAMAATI, Roohollah and HOSSEINIPOUR, Seyed Jamal, 2022. Microstructure-mechanical properties evaluation of AISI 304 steel during back-annealing. *Canadian Metallurgical Quarterly*. DOI 10.1080/00084433.2022.2044690.
2. ANWAR, Mochammad Syaiful et al., 2022. Effect of Grain Size on Mechanical and Creep Rupture Properties of 253 MA Austenitic Stainless Steel. *Metals*. Vol. 12, no. 5. DOI 10.3390/met12050820.
3. AVNER, Sydney. Introducción a la metalurgia física. 2da. edi. Calypso: 1988. 257pp. ISBN: 0070024995.
4. BECKER, L. et al., 2023. Influence of annealing time on the microstructure and properties of additively manufactured X2CrNiMoN25–7–4 duplex stainless steel: Experiment and simulation. *Materialia*. Vol. 28. DOI 10.1016/j.mtla.2023.101720.
5. ESSOUSSI, Hamza et al., 2019. Heat treatment effect on mechanical properties of AISI 304 austenitic stainless steel. In : *Procedia Manufacturing*, pp. 883–888. Elsevier B.V. 2019. DOI 10.1016/j.promfg.2019.02.298.
6. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto et al., no date. *Con la colaboración de* .
7. HUANG, Chien-Te et al., 2023. Microstructure and mechanical properties of 631 Stainless Steel: Study of Yield Slip and Strain Rate Mechanism with Austempering and Martempering. *Journal of Alloys and Metallurgical Systems*. Vol. 2, p. 100015. DOI 10.1016/j.jalms.2023.100015.
8. Li, T., Yan, S., & Liu, X. (2021). Microstructure and tensile behaviors for a medium Mn steel with δ -ferrite phase under different annealing temperatures. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 708–718. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.067>
9. LI, Rui et al., 2022. Effect of annealing treatment on microstructure, mechanical property and anti-corrosion behavior of X2CrNi12 ferritic

- stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 18, pp. 448–460. DOI 10.1016/j.jmrt.2022.02.117.
10. Liu, Y., Wu, Z., Gao, W., Zhao, L., Song, Y., Chen, Y., Luo, H., Wang, Q., Yang, L., Zeng, L., Zhang, X., & Ding, X. (2023). Effect of annealing temperatures on microstructural stability and mechanical properties of Ti–Zr–Nb alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 23, 3570–3578. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.001>
 11. MATERNA, Aleš et al., 2019. Effects of cold-working and annealing at 700 °C on hardness of 08Ch18N10T steel. In : *Procedia Structural Integrity*, pp. 425–430. Elsevier B.V. 2019. DOI 10.1016/j.prostr.2020.01.124.
 12. MILLAN, Simon. Procedimientos de mecanizado. 2da. edi. Paraninfo. España. ISBN: 9788497324281
 13. MONTESINOS, O., LUNA, I., HERNANDEZ, C. Muestreo estadístico tamaño de muestra y estimación de parámetros. México: Universidad de Colima, 2009, 87pp. ISBN: 9786077565628
 14. MOHAPATRA, Sudipta, DAS, Karabi and DAS, Siddhartha, 2022. Effect of annealing time on the microstructure and mechanical properties of aluminum added low-density medium manganese steel. *Materials Letters*. Vol. 318. DOI 10.1016/j.matlet.2022.132211.
 15. MURMU, S., CHAUDHARY, S. K. and RAJAK, A. K., 2022. Effect of heat treatment on mechanical properties of medium carbon steel welds. *Materials Today: Proceedings*. DOI 10.1016/j.matpr.2022.02.646.
 16. PODDAR, Debasis et al., 2022. Effect of low-temperature annealing on two-different severely cold-rolled steels. *Materials Today Communications*. Vol. 32. DOI 10.1016/j.mtcomm.2022.103907.
 17. Pütz, R. D., Allam, T., Wang, J., Nowak, J., Haase, C., Sandlöbes-Haut, S., Krupp, U., & Zander, D. (2022). Influence of intercritical annealing temperature on the micro-galvanic interactions between austenite and ferrite in medium-Mn steel. *Corrosion Science*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110633>
 18. Resistencia de Materiales - Luis Ortiz Berrocal, no date.

19. SELVAMANI, S T et al., 2019. *ScienceDirect Enhancing the Fatigue Properties of Friction Welded AISI 1020 Grade Steel Joints using Post Weld Heat Treatment Process in Optimized Condition* . Online. Retrieved from :www.sciencedirect.com
20. Saberipour, S., Zarei-Hanzaki, A., Abedi, H. R., & Moallemi, M. (2022). Interplay of austenite and ferrite deformation mechanisms to enhance the strength and ductility of a duplex low-density steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 755–768.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.111>
21. SINGH, Sushma et al., 2021a. Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 5097–5101. Elsevier Ltd. 2021. DOI 10.1016/j.matpr.2021.01.590.
22. SINGH, Sushma et al., 2021b. Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 5097–5101. Elsevier Ltd. 2021. DOI 10.1016/j.matpr.2021.01.590.
23. SINGH, Sushma et al., 2021c. Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 5097–5101. Elsevier Ltd. 2021. DOI 10.1016/j.matpr.2021.01.590.
24. SOLEIMANI, Maryam, MIRZADEH, Hamed and DEHGHANIAN, Changiz, 2021. Effects of spheroidization heat treatment and intercritical annealing on mechanical properties and corrosion resistance of medium carbon dual phase steel. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 257.
DOI 10.1016/j.matchemphys.2020.123721.
25. SRINATH, M.K. et al., 2023. Microstructure and surface hardness of ceramic composite coated aluminium alloy. *Materials Today: Proceedings*. DOI 10.1016/j.matpr.2023.06.275.
26. SRIVASTAVA, Kriti, SINHA, Abhinav Anand and SAHANI, Rishikant, 2020. Effect of heat treatment on hardness and toughness of EN8 steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 1297–1303. Elsevier Ltd. 2020.
DOI 10.1016/j.matpr.2020.12.1015.
27. SYAIFUL ANWAR, Moch et al., 2020a. Effect of heat treatment process on

- hardness and hot corrosion resistance of Fe-25Ni-18Cr-1Mo-2 W-1Nb-Cast austenitic stainless steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 3434–3438. Elsevier Ltd. 2020. DOI 10.1016/j.matpr.2021.03.471.
28. SYAIFUL ANWAR, Moch et al., 2020b. Effect of heat treatment process on hardness and hot corrosion resistance of Fe-25Ni-18Cr-1Mo-2 W-1Nb-Cast austenitic stainless steel. In : *Materials Today: Proceedings*, pp. 3434–3438. Elsevier Ltd. 2020. DOI 10.1016/j.matpr.2021.03.471.
29. Tang, X., Kuang, C., Zhou, W., Chen, K., Huang, J., Yv, X., Wang, C., & La, P. (2023). Effect of annealing process on microstructure and electrical conductivity of cold-rolled Ti microalloyed conductive steel. *Materials Characterization*, 201, 112930.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2023.112930>
30. Ura-Bińczyk, E., Dobkowska, A., Bazarnik, P., Ciftci, J., Krawczyńska, A., Chromiński, W., Wejrzanowski, T., Molak, R., Sitek, R., Płociński, T., Jaroszewicz, J., & Mizera, J. (2022). Effect of annealing on the mechanical and corrosion properties of 316L stainless steel manufactured by laser powder bed fusion. *Materials Science and Engineering A*, 860.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144263>
31. WANG, Yanhui et al., 2022. Effect of Austempering on Mechanical Properties of Nb/V Microalloyed Bainitic Bearing Steel. *Crystals*. Vol. 12, no. 7, p. 1001. DOI 10.3390/cryst12071001.
32. WEI, Siyuan et al., 2022. Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 2.4 GPa grade maraging steel fabricated by laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*. Vol. 59.
DOI 10.1016/j.addma.2022.103190.
33. XIE, Zhiqi et al., 2023. Effects of annealing temperature and V addition on microstructure and mechanical properties of Fe-Mn-Al-C austenitic low-density steel. *Materials Today Communications*. Vol. 35.
DOI 10.1016/j.mtcomm.2023.106328.
34. Xiong, C., Xue, P., Sun, B., & Li, Y. (2017). Effect of annealing temperature on the microstructure and superelasticity of Ti-19Zr-10Nb-1Fe alloy.

Materials Science and Engineering A, 688, 464–469.

<https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.02.031>

35. XU, Deming et al., 2022a. The Influence of Annealing Temperature on the Morphology of Structures and the Mechanical Properties of Prequenching—Quenching and Partitioning Steel. *Materials*. Vol. 15, no. 12. DOI 10.3390/ma15124156.
36. XU, Deming et al., 2022b. The Influence of Annealing Temperature on the Morphology of Structures and the Mechanical Properties of Prequenching—Quenching and Partitioning Steel. *Materials*. Vol. 15, no. 12. DOI 10.3390/ma15124156.
37. YAO, Zhenghong et al., 2022. Effects of quenching medium and tempering temperature on microstructures, mechanical properties, and fatigue behavior of EA4T steel. *International Journal of Fatigue*. Vol. 165. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2022.107179.
38. YUAN, Qing et al., 2023. Effects of rapid heating on the phase transformation and grain refinement of a low-carbon microalloyed steel. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 23, pp. 3756–3771. DOI 10.1016/j.jmrt.2023.02.018.
39. ZAVALETA, Nilthon. Estructura y propiedades de los materiales. 2da. ed. Concytec. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2013, 157pp. ISBN: 9789972501616.
40. Zhang, S., Wei, C., Shi, Z., Zhang, H., & Ma, M. (2023). Effect of isothermal annealing on microstructure evolution and mechanical properties of Zr50Cu34Al8Ag8 amorphous alloy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 604. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2023.122153>
41. Zhao, Y., Yang, D., Mo, Z., Yin, X., Li, F., Yang, Y., Wang, S., & Zhao, Z. (2022). Influence of ϵ -martensite and austenite on mechanical properties by intercritical annealing in 0.1C-11Mn medium manganese steel. *Materials Letters*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.131345>

IX. ANEXOS:

anexo1

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	2095.01	419.00	78.30	0.000
Lineal	3	2077.31	692.44	129.40	0.000
temperatura de recocido	1	1556.82	1556.82	290.93	0.000
tiempo(min)	2	520.49	260.25	48.63	0.000
Interacciones de 2 términos	2	17.69	8.85	1.65	0.232
temperatura de recocido*tiempo(min)	2	17.69	8.85	1.65	0.232
Error	12	64.21	5.35		
Total	17	2159.22			

Figura1. Análisis de varianza para la resistencia a la tracción con respecto a la temperatura de recocido y tiempo de permanencia obtenida con el programa

Minitab17

anexo2

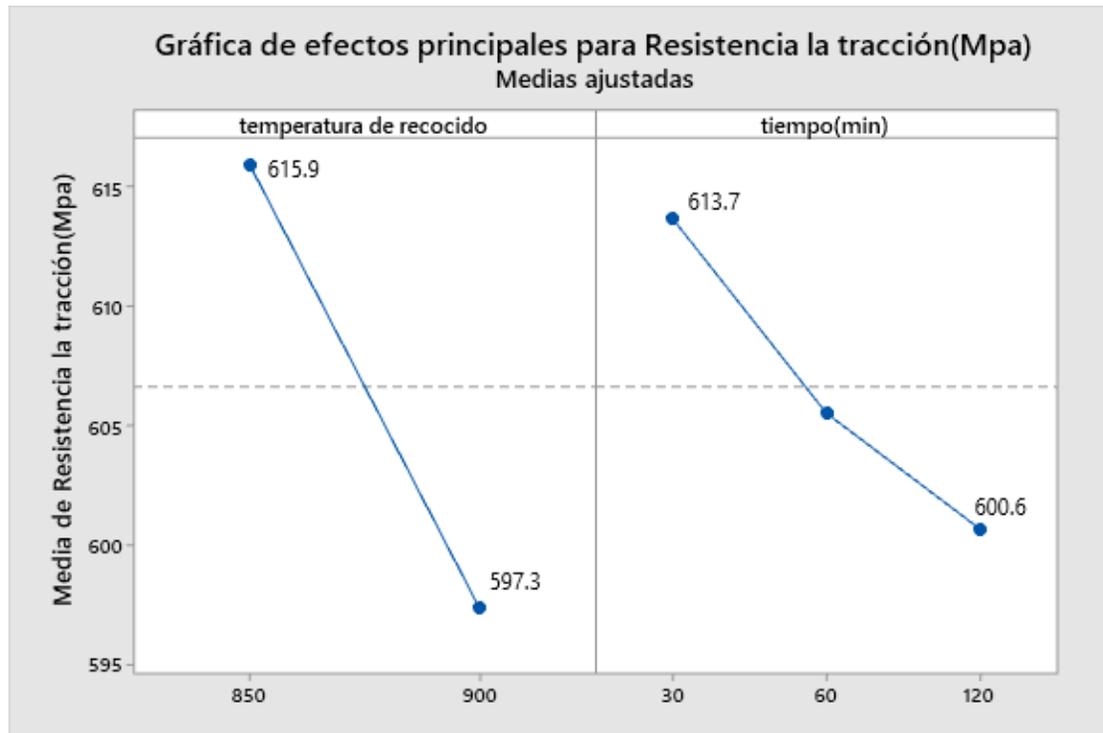


Figura2. Gráfico de efectos principales de temperatura de recocido y tiempo de permanencia sobre la Resistencia a la tracción

Anexo 3

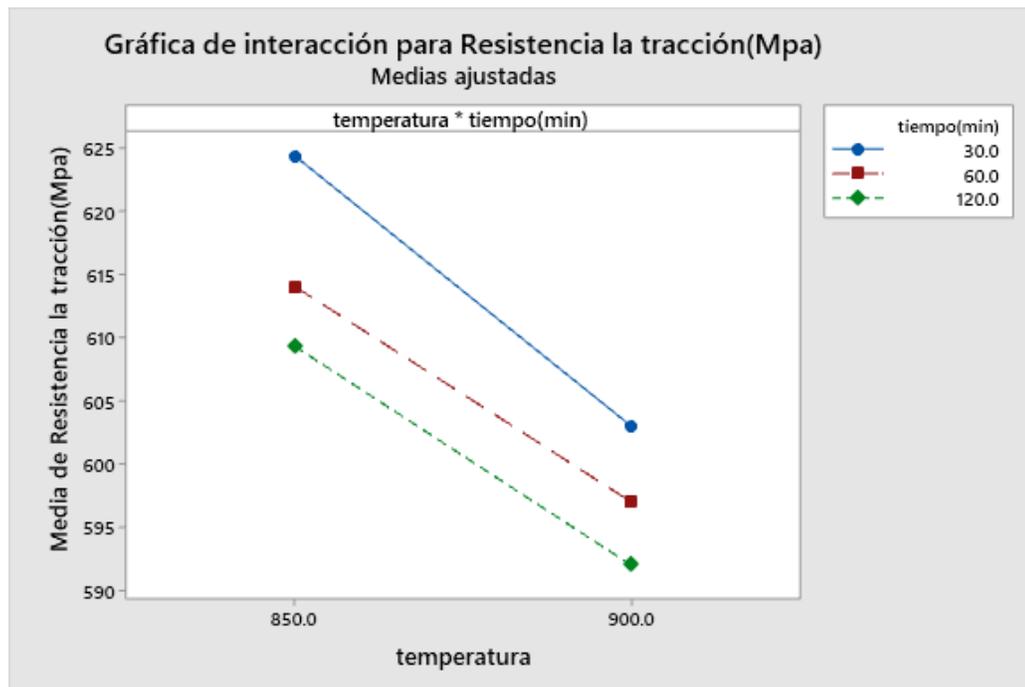


Figura3. Gráfico de interacción para la resistencia a la tracción del tiempo de

permanencia y temperatura de recocido

Anexo 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	5	1683.33	336.67	42.68
Lineal	3	1506.00	502.00	63.63
Temperatura de recodido(°C)	1	1058.00	1058.00	134.11
Tiempo de permanencia(min)	2	448.00	224.00	28.39
Interacciones de 2 términos	2	177.33	88.67	11.24
Temperatura de recodido(°C)*Tiempo de permanencia(min)	2	177.33	88.67	11.24
Error	12	94.67	7.89	
Total	17	1778.00		

Fuente	Valor p
Modelo	0.000
Lineal	0.000
Temperatura de recodido(°C)	0.000
Tiempo de permanencia(min)	0.000
Interacciones de 2 términos	0.002
Temperatura de recodido(°C)*Tiempo de permanencia(min)	0.002
Error	
Total	

Figura4. Análisis de varianza para la dureza con respecto a la temperatura de recocido y tiempo de permanencia obtenida con el programa Minitab17

Anexo 5

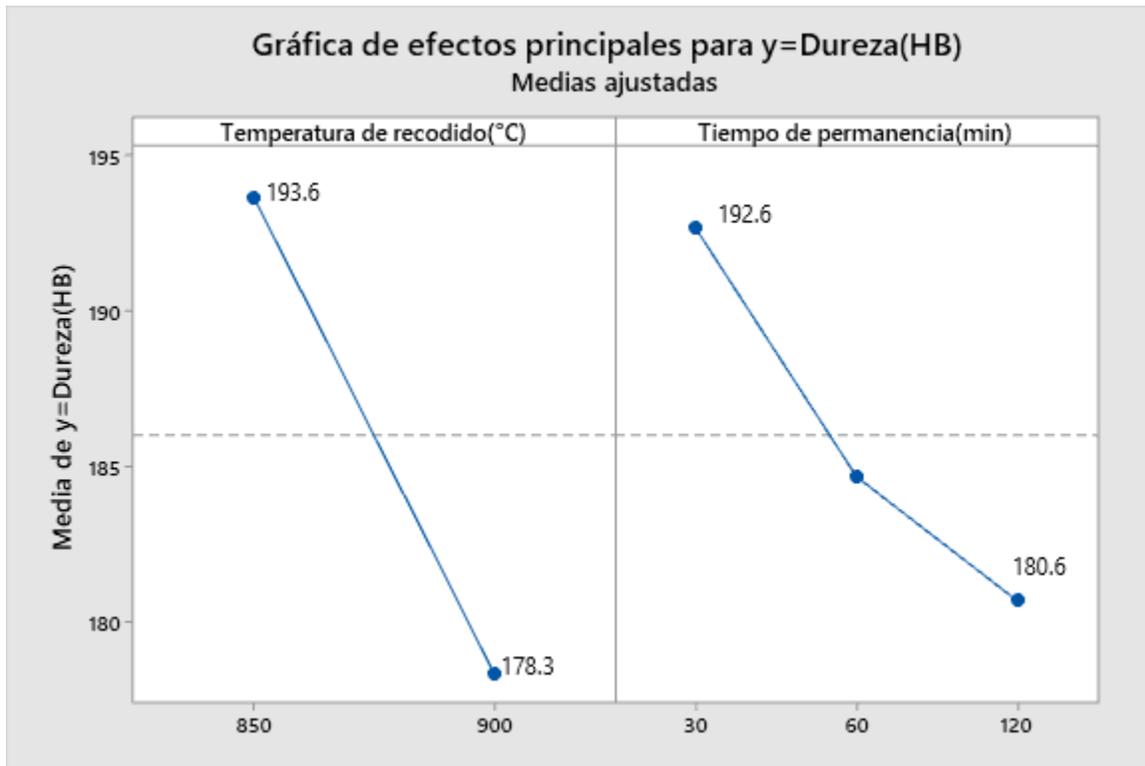


Figura5. Gráfico de efectos principales temperatura de recocido y tiempo de permanencia respecto a la dureza del acero AISI 1045

Anexo 6

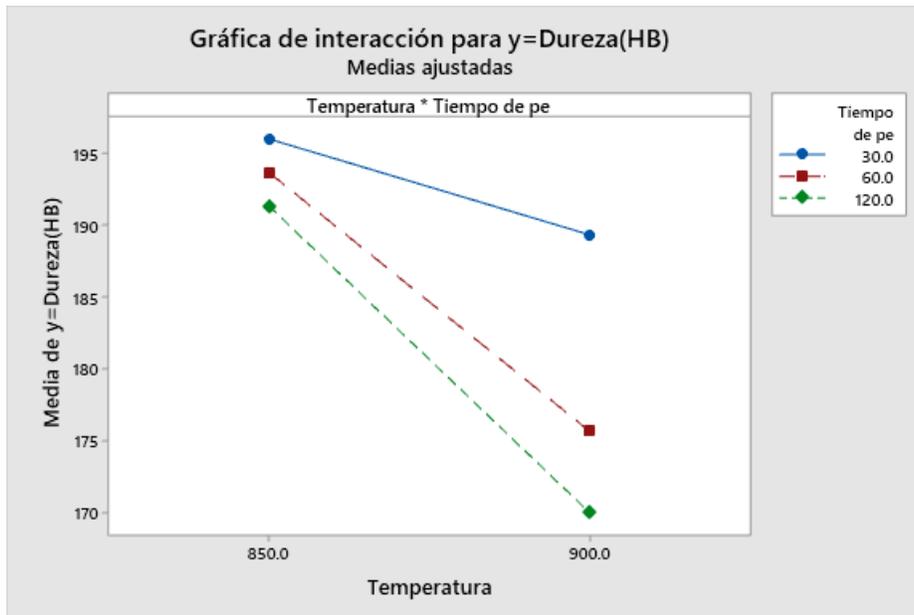


Figura6. Gráfico de interacción de efectos principales de temperatura de recocido y tiempo de permanencia con respecto a la dureza del acero AISI 1045
 anexo 7

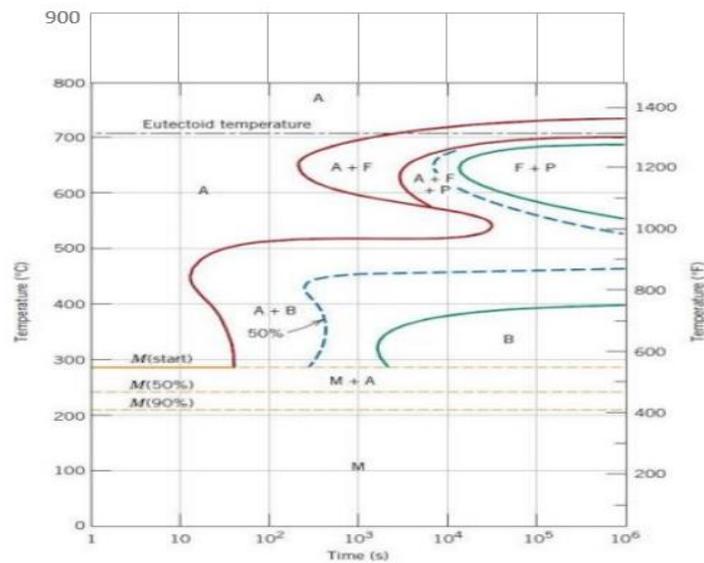


Figura7. Diagrama de temperatura de enfriamiento ,tiempo de transformación del acero 1045.

Cálculo del tamaño de muestra

Temperatura(°C)	850			900		
Tiempo (min)	30	60	120	30	60	120
Resistencia a la tracción (MPa)	623.0	613.0	608.0	602.0	600.0	592.0

Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\bar{x} = \frac{623+613+608+602+600+592}{6} = 606.33$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{(623-606.33)^2 + \dots + (592-606.33)^2}{6-1}} = 10.85$$

$$e = \frac{\sigma \cdot t}{\sqrt{n}}$$

donde:

e : error

σ : desviación estándar: 10.85

t: estadístico t = 2.571

n: número de replicas = 6

$$e = \frac{10.85 \times (2.57058)}{\sqrt{6}} = 11.38 \text{HB(dureza)}$$

Definir tamaño de muestra:

$$n = \left(\frac{\sigma \cdot t}{e}\right)^2$$

n: ?

σ : desviación estándar: 10.85

t: estadístico t = 2.571

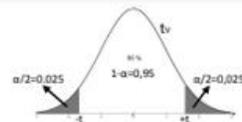
e: error= 6.5 HB

$$n = \frac{10.85(2.57058)}{6.5} = 18.0005$$

El tamaño de muestra es de 18 probetas para esta investigación

Distribución t de Student

Contiene los valores de t tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde v son los Grados de Libertad



v	α?													
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475	
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079	
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071	
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068	
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067	
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066	
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065	
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065	
8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065	
9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064	
10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064	
11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064	
12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064	
13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064	
14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064	
15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064	
16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064	
17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064	
18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064	
19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064	
20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063	
21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063	
22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063	
23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063	
24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063	
25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063	
26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063	
27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063	
28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063	
29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063	
30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063	
31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,695	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063	
32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063	
33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063	
34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063	
35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063	
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95	

La probabilidad de $\alpha=0.05$, por lo tanto $\alpha/2=0.025$, grados de libertad= $n-1=6-1=5$

- **Resultados:**

- **Del ensayo de dureza**

Se evaluó en el durómetro digital universal TIME GROUP 187.5 en la escala Brinell (HB) según la norma ASTM E-10. Se tomaron 03 mediciones para cada caso.

Tabla 1. Resultados del ensayo de dureza (HB) obtenidos en probetas de acero AISI 1045 recocidos a 850 y 900°C a los diferentes tiempos de 30, 60 y 120 minutos, con enfriamiento lento dentro del horno.

Temperatura de recocido (°C)	Tiempo (min)	Dureza (HB)			Promedio
		D ₁	D ₂	D ₃	
850	30	200	196	192	196.00
	60	190	196	195	193.70
	120	192	192	190	192.00
900	30	189	191	188	189.30
	60	175	172	180	175.70
	120	170	169	171	170.00
Suministro	---	206	199	201	202.00

- **Del ensayo de tracción**

Estos resultados se obtuvieron utilizando la máquina de tracción universal JINAN TESTING EQUIPMENT IE CORPORATION de 10 Toneladas de capacidad. Se realizó dos ensayos para cada nivel de estudio.

Fuente: Reporte de las probetas del acero AISI1045 para la dureza en el Laboratorio Metalúrgico de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 2. Resultados de la resistencia a la tracción (MPa) obtenidos de probetas de acero AISI 1045 recocidos a 850 y 900°C a los diferentes tiempos de 30, 60 y 120 minutos, con enfriamiento lento dentro del horno.

Temperatura de recocido (°C)	Tiempo (min)	Resistencia a la tracción (MPa)			
		D ₁	D ₂	D ₃	Promedio
850	30	623.0	621.0	628.0	624.0
	60	613.0	615.0	614.0	614.0
	120	608.0	610.0	610.0	609.3
900	30	602.0	604.0	603.0	603.0
	60	600.0	594.0	597.0	597.0
	120	592.0	590.0	594.0	592.0
Suministro	—				684.0



Dr. Ing. Ismael Purizaga Fernández
Docente y jefe del Laboratorio de Metalurgia Física y materiales
de Ingeniería Metalúrgica
CIP. 36332

Fuente: Reporte de las probetas del acero AISI1045 para la resistencia a la tracción en el Laboratorio Metalúrgico de la Universidad Nacional de Trujillo

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Dependiente Propiedades Mecánicas	Las propiedades mecánicas de un acero son la dureza y la resistencia a la tracción entre otros, que dependen de la aleación propia del acero e impurezas.(Wei et al., 2022)	Las propiedades mecánicas determinan las características del acero mediante la aplicación de fuerzas como la dureza y la resistencia a la tracción.(Wei et al., 2022)	Resistencia a la tracción	esfuerzo deformación	RAZON
			Dureza	Carga de prueba profundidad	RAZON
Independiente Tratamiento térmico de recocido	El recocido es un tratamiento térmico que tiene como finalidad ablandar los materiales después de un proceso de elaboración generalmente en frío. El sistema es calentar la pieza y enfriarla lentamente, con el fin de que el grano que forma su estructura se ablande y elimine sus tensiones internas. (Millán,2006)	Las propiedades mecánicas son alteradas por el tratamiento térmico de recocido. El papel de la temperatura y el tiempo en todo el proceso, hacen que todas las propiedades mecánicas tengan cambios significativos; el tiempo de enfriamiento depende del medio utilizado(Xion et al.,2023)	Temperatura	Temperatura de recocido Temperatura de enfriamiento	INTERVALO
			Tiempo	Tiempo de calentamiento Tiempo de permanencia Tiempo de enfriamiento	RAZON

Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General
¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045?	Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045	El tratamiento térmico de recocido disminuye la resistencia a la tracción y disminuye la dureza del acero AISI 1045.

Problemas específicos	Objetivos específicos
¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045 ?	Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la resistencia a la tracción del acero AISI 1045
¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045?	Evaluar el efecto del tratamiento térmico de recocido sobre la dureza del acero AISI 1045.

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Efecto del tratamiento térmico de recocido en las propiedades mecánicas del acero AISI 1045", cuyos autores son AGURTO LEYTON GABRIEL FERNANDO, CHAVEZ RUIZ DANIEL IVAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 12 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 22-07- 2023 08:29:15

Código documento Trilce: TRI - 0587698