



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE LA DUREZA SUPERFICIAL DEL ACERO AISI 01 (K460)
SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLADO Y REVENIDO
UTILIZANDO COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO ACEITES
AUTOMOTRICES DE DIFERENTES VISCOSIDADES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de: **INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: ANGEL PATRICIO CUMBAJIN ARGUERO
JUAN CARLOS ANDRANGO ARIAS**

TUTOR: MILTON SALOMÓN JAMI LEMA

Quito – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Angel Patricio Cumbajin Arguero con documento de identificación N° 1721828703 y Juan Carlos Andrango Arias, con documento de identificación N° 1714201199; manifestamos que:

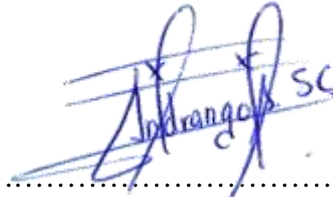
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de julio del 2022.

Atentamente,



.....
Angel Patricio Cumbajin Arguero
1721828703



.....
Juan Carlos Andrango Arias
1714201199

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Angel Patricio Cumbajin Arguero con documento de identificación N° 1721828703 y Juan Carlos Andrango Arias, con documento de identificación N° 1714201199, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento, cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis de la dureza superficial del acero AISI 01 (K460) sometido a tratamientos térmicos de templado y revenido utilizando como medio de enfriamiento aceites automotrices de diferentes viscosidades”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

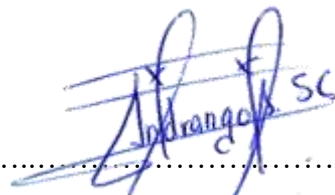
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de julio del 2022



Angel Patricio Cumbajin Arguero

1721828703



Juan Carlos Andrango Arias

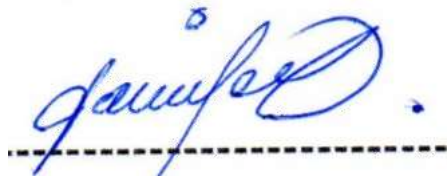
1714201199

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Salomón Jami Lema con documento de identificación N° 1707254171, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA DUREZA SUPERFICIAL DEL ACERO AISI 01 (K460) SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLADO Y REVENIDO UTILIZANDO COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO ACEITES AUTOMOTRICES DE DIFERENTES VISCOSIDADES, realizado por Angel Patricio Cumbajin Arguero con documento de identificación N° 1721828703 y por Juan Carlos Andrango Arias con documento de identificación N° 1714201199, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Milton Salomón Jami Lema, MSc.

1707254171

DEDICATORIA

Este gran logro dedico a la Virgen de Cisne que es madre y patrona, a Dios por nunca abandonarme cuando ya no tenía fuerzas para alcanzar este objetivo y sobre todo por regalarme a la mejor familia, a mi padre Angel por siempre demostrarme que con humildad uno puede llegar a cumplir sus sueños, a mi madre Georgina por ser el pilar fundamental en todos mis logros con su aliento, su entusiasmo y sobre todo por enseñarme que nunca hay que rendirse ante los problemas por más difíciles que estos sean, a mis hermanos Bayron y Christian por apoyarme en todo momento siendo más que hermanos mis mejores amigos. A mis dos angelitos muy especiales que desde el cielo siempre me cuidarán y protegerán, a ti Ñaño Jorge (+) y Papá Lucho (+) gracias por ser los mejores tíos. En general este trabajo y este logro lo dedico a todos los que creyeron en mí y me acompañaron hasta el final de cumplir mi gran sueño de llegar a ser Ingeniero.

Angel Patricio Cumbajin Arguero

Dedico este logro, principalmente a Dios por jamás abandonarme en los momentos más duros de mi vida, a mis padres por enseñarme que con humildad y esfuerzo se puede cumplir todas las metas propuestas, a mi madre Blanquita, por ser la persona que siempre está para apoyarme incondicionalmente en todo lo que me proponga, a mi padre Segundo por ser un ejemplo de lucha y perseverancia que todo se puede alcanzar en esta vida , a mi hermano Diego y a su esposa Maritza que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo, a mis sobrinos Sebastian y Kamila que con sus sonrisas me dan fuerzas para continuar cada día, a mi familia y amigos en general por estar presente en todos los momentos que con una palabra de aliento a confiando en mi sabiendo que jamás les iba a fallar llegando a ser una gran persona y un gran profesional, este logro dedico a todos por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida y llegar a ser Ingeniero.

Juan Carlos Andrango Arias

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por brindándome los conocimientos que por muchos años han inculcado en mi para ser un profesional y poderme defender en cualquier ámbito de la industria, en especial al Ingeniero Milton Jami por compartirnos sus conocimientos e ideas para concluir con satisfacción el proyecto de Titulación

Angel Patricio Cumbajin Arguero

A los docentes y compañeros de la Universidad Politécnica Salesiana por compartir sus conocimientos durante toda la vida de estudiante hasta concluir una meta más y llegar a ser Ingeniero.

A todas las personas que estuvieron involucradas durante este proyecto de Titulación.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Milton Jami por su apoyo de principio a fin en el proyecto de Titulación.

Juan Carlos Andrango Arias

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Antecedentes	3
Problema de Estudio	4
Justificación.....	4
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
Metodología	6
CAPÍTULO I.....	7
1.1 Materiales en la ingeniería	7
1.2 Clasificación de los materiales.....	8
1.1.1 Metales.....	9
1.1.2 Cerámicos	10
1.1.3 Polímeros	10
1.1.4 Compuestos.....	11
1.1.5 Semiconductores	12
1.3 Designación de los metales	12
1.4 Aplicación de los aceros en la industria.....	15
1.5 Acero AISI 01 (K460).....	16
1.6 Diagrama de fases hierro – carburo de hierro	18
1.7 Tratamientos térmicos de los aceros	20
1.7.1 Temple	21
1.7.2 Medios de enfriamiento	22
1.7.3 Revenido	23
1.8 Tratamiento térmico del acero AISI 01 (K460).....	23
1.9 Lubricación	25
1.10 Aceites.....	27
CAPÍTULO II.....	31
2.1 Enfoque	32

2.2	Modalidades de la investigación	32
2.2.1	Investigación documental	32
2.2.2	Investigación de campo.....	32
2.3	Población.....	33
2.4	Muestra.....	33
2.4.1	Selección de parámetros experimentales	33
2.4.2	Diseño experimental	34
2.5	Material de experimentación.....	37
2.5.1	Especímenes de experimentación	38
2.6	Equipos y suministros para el desarrollo experimental.....	39
2.6.1	Etapa de preparación de probetas.....	39
2.6.2	Etapa de análisis del material base.....	42
2.6.3	Etapa de experimentación	48
2.6.4	Etapa de obtención de resultados	51
CAPÍTULO III		53
3.1	Etapa de preparación de probetas.....	53
3.2	Etapa de análisis del material base.....	56
3.2.1	Composición química del acero.....	56
3.2.2	Análisis de dureza del material base	58
3.2.3	Análisis metalográfico	61
3.3	Etapa de experimentación	65
3.4.1	Tratamiento térmico de templado	65
3.4.2	Tratamiento térmico de revenido	68
3.4	Etapa de obtención de resultados	69
3.4.1	Obtención de datos de dureza superficial	69
CAPÍTULO IV		71
4.1	Resultados obtenidos.....	71
4.2	Prueba de normalidad.....	72
4.3	Estadísticas del experimento.....	73
4.4	Análisis de Varianza ANOVA	74
4.4.1	Influencia de las variables.....	76
4.5	Análisis económico	79

CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES	82
LISTA DE REFERENCIAS.....	83
ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de los materiales durante la historia.....	8
Figura 2. Clasificación de los materiales para la ingeniería	9
Figura 3. Acero DIN 01	9
Figura 4. Crisol 25 kg.....	10
Figura 5. Ejes y placas de teflón.....	11
Figura 6. Láminas de fibra de carbono	12
Figura 7. Circuitos integrados	12
Figura 8. Circuitos integrados	14
Figura 9. Diagrama de fase hierro – carburo de hierro.....	19
Figura 10. Etapas hierro – carburo de hierro	20
Figura 11. Gráficas de tratamientos térmicos	21
Figura 12. Gráfico tratamiento térmico revenido para AISI 01 (K460).....	24
Figura 13. Temperaturas de austenización para el acero AISI 01 (K460)	25
Figura 14. Barra térmica en el tratamiento térmico de temple	27
Figura 15. Procedimiento experimental de la investigación.....	31
Figura 16. Gráfica de tratamiento térmico del experimento.....	34
Figura 17. Procedimiento experimental para templado a 790 °C.....	36
Figura 18. Procedimiento experimental para templado a 850 °C.....	37
Figura 19. Eje de acero AISI 01 (K460).....	38
Figura 20. Dimensiones de la probeta de acero AISI 01 (K460)	39
Figura 21. Etapas de la investigación	39
Figura 22. Sierra de banda Italco ITSB5018	40
Figura 23. Torno EMCO MAT 17D.....	41
Figura 24. Espectrofotómetro Oxford Instruments modelo Foundry – Master Xpert....	42
Figura 25. Durómetro Phase II modelo 900 – 365	44
Figura 26. Pulidoras desbastadora EcoMet 30	45
Figura 27. Kit de ataque metalográfico	46
Figura 28. Microscopio Buehler modelo ViewMet invertido	47
Figura 29. Horno de tratamiento térmico de temple Nabertherm modelo N7 / H.....	48
Figura 30. Aceite automotriz SAE 5W30, SAE 15W40 y SAE 40 monogrado.....	49
Figura 31. Horno de tratamiento térmico de revenido Nabertherm N15 / 65 HA.....	50
Figura 32. Distancia para realizar las mediciones de dureza superficial.....	52

Figura 33. Ubicación de las mediciones de dureza superficial.....	52
Figura 34. Probetas cortadas.....	53
Figura 35. Proceso de mecanizado en el Torno EMCO MAT 17D	54
Figura 36. Porta – herramienta SDJCR 2020 K11	54
Figura 37. Herramienta de corte tipo DCMT 11T3 04 PM.....	55
Figura 38. Parámetros de corte del mecanizado	55
Figura 39. Probetas mecanizadas de experimentación	56
Figura 40. Ensayo de espectrofotometría del material base	57
Figura 41. Ensayo de espectrofotometría quemas en el material base	57
Figura 42. Ensayo de dureza en el material base.....	59
Figura 43. Ensayo de dureza en el material base.....	60
Figura 44. Proceso de encapsulado de la muestra metalográfica	61
Figura 45. Parámetros de encapsulado de la muestra metalográfica.....	62
Figura 46. Montante encapsulado para pulido metalográfico	62
Figura 47. Pulido metalográfico manual – automático.....	63
Figura 48. Ataque químico sobre muestra metalográfica.....	63
Figura 49. Obtención de microestructura de la muestra metalográfica.....	64
Figura 50. Microestructura acero AISI 01 (K460)	64
Figura 51. Medios de enfriamiento del tratamiento térmico.	65
Figura 52. Disposición de medios de enfriamiento del tratamiento térmico.....	66
Figura 53. Experimento obtenido mediante el estudio	69
Figura 54. Gráfica de series de tiempo de Dureza [HRC].....	72
Figura 55. Prueba Normalidad de datos obtenidos de Dureza [HRC].....	73
Figura 56. Informe de estadísticos de datos obtenidos de Dureza [HRC].....	74
Figura 57. Efectos principales	77
Figura 58. Interacciones de efectos principales.....	78
Figura 59. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de numeración unificado según la UNS	13
Tabla 2. Elementos de aleación para aleaciones de acero	15
Tabla 3. Características de fabricación para aleaciones	16
Tabla 4. Aleaciones de acero comunes y aplicaciones en la industria	16
Tabla 5. Análisis químico del acero AISI 01 (K460).	17
Tabla 6. Propiedades físicas del acero AISI 01 (K460)	17
Tabla 7. Aplicaciones del acero AISI 01 (K460)	18
Tabla 8. Parámetros del tratamiento térmico de temple para el acero AISI 01 (K460) .	24
Tabla 9. Grado de viscosidad SAE para aceites a motor.....	28
Tabla 10. Grado SAE de viscosidad para lubricantes de engranes automotrices.....	28
Tabla 11. Grados de viscosidad.....	30
Tabla 12. Selección de Factores y niveles	33
Tabla 13. Matriz experimental diseño Factorial desbalanceado.....	35
Tabla 14. Especificaciones técnicas sierra de banda Itarco itsb5018	40
Tabla 15. Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT 17D.....	42
Tabla 16. Especificaciones espectrofotómetro Oxford Foundry-Master Xpert	43
Tabla 17. Especificaciones durómetro Phase II modelo 900 – 365.....	44
Tabla 18. Especificaciones pulidora desbastadora EcoMet 30.....	46
Tabla 19. Especificaciones microscopio marca Buehler modelo ViewMet invertido ...	47
Tabla 20. Especificaciones técnicas horno Nabotherm modelo N7 / H.....	49
Tabla 21. Especificaciones de aceites SAE 5W30, 15W40 y SAE 40 monogrado.....	50
Tabla 22. Especificaciones técnicas horno Nabotherm modelo N15 / 65 HA	51
Tabla 23. Resultado de la composición química del acero AISI 01 (K460).	58
Tabla 24. Resultado de la composición química del acero AISI 01 (K460).	58
Tabla 25. Calibración obtenida durómetro Phase II modelo 900 – 365.....	59
Tabla 26. Ensayo de dureza acero AISI 01 (K460).....	61
Tabla 27. Procedimiento experimental de temple	66
Tabla 28. Procedimiento experimental de revenido	68
Tabla 29. Dureza superficial obtenida para cada experimento.....	70
Tabla 30. Resultados obtenidos en el experimento	71
Tabla 31. Factores y niveles para ANOVA mediante software	75

Tabla 32. Análisis de Varianza.....	75
Tabla 33. Análisis económico.	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acero K460 Böhler.....	87
Anexo 2. Hoja técnica del torno EMCO 14D.....	88
Anexo 3. Hoja técnica del espectofotómetro Foundry Masters.....	89
Anexo 4. Certificado de calibración del durómetro utilizado.	90
Anexo 5. Hoja técnica de la cortadora de probetas.	91
Anexo 6. Hoja técnica del horno de tratamiento térmico de revenido.	92
Anexo 7. Hoja técnica del aceite SAE 5W30.....	93
Anexo 8. Hoja técnica del aceite SAE 15W40.....	95
Anexo 9. Hoja técnica del aceite SAE40.....	97
Anexo 10. Hoja técnica del horno para tratamiento térmico de templado.	99
Anexo 11. Norma E18 – 15 para ensayo de dureza.....	100
Anexo 12. Resultados del análisis de espectofotometría.....	102
Anexo 13. Resultados promedio de los ensayos de espectofotometría.	103
Anexo 14. Evidencia de las mediciones de dureza superficial.....	104

RESUMEN

Esta investigación ha analizado la significancia de aceites automotrices de diferentes viscosidades utilizados para el enfriamiento por temple del acero AISI 01 (K460). Para lo cual, en el capítulo I se presenta una síntesis teórica acerca de definiciones y parámetros que fueron obtenidos de diferentes fuentes de información científica. Esta información sirve como fundamentación para comprender los tratamientos térmicos, así como para conocer el procedimiento a seguir.

El capítulo II describe la metodología utilizada previo al estudio experimental, donde se detallan diferentes parámetros, como los equipos utilizados con su modelo, los parámetros a considerar para preparación y experimentación, además de las normas que se han considerado. De este apartado, se destaca la definición de factores y niveles por analizar, así como la cantidad de probetas requeridas para realizar el análisis de varianza. También es importante mencionar que se ha realizado la validación del material base a experimentar, mediante espectrofotometría, dureza superficial y análisis metalográfico.

En el capítulo III, se presentan todas las evidencias del procedimiento experimental, desde la configuración de temperaturas y tiempo en los hornos, así como la preparación del aceite en su recipiente respectivo para el temple. Luego de realizar el templado considerando los diferentes factores y niveles, se procedió a realizar un revenido para aliviar las tensiones internas del material. Finalmente, se procedió a realizar las mediciones de la dureza superficial acorde a la norma ASTM E 18, obteniendo 5 medidas de cada probeta.

Por último, el capítulo IV presenta el análisis de resultados, en primer lugar, realizando un análisis de varianza mediante el software especializado. Los resultados que se han obtenido fueron interpretados para comprensión del lector, además de presentar un breve análisis económico enfocado principalmente a los insumos utilizados en el desarrollo experimental de la investigación.

PALABRAS CLAVE: Ingeniería Mecánica, Viscosidad, temple, revenido, dureza.

ABSTRACT

This investigation has analyzed the significance of automotive oils with different viscosities utilized for AISI 01 (K460) steel quenching. Chapter I contains a theoretical synthesis about definitions and parameters that were obtained from different sources of scientific information. This information has been utilized as support to understand heat treatments, as well as to know the procedure to follow.

Chapter II describes the utilized methodology previous to the experimental study, where different parameters are detailed, such as, the utilized machines and equipment with its model, the parameters to be considered for preparation and experimentation, also the standards that have been considered. In this section, the definition of factors and levels to be analyzed is highlighted, as well as the number of experiments required to perform the analysis of variance. An important matter was that the base material to be tested has been validated by spectrophotometry, surface hardness and metallographic analysis.

In Chapter III, all the evidences of the experimental process are presented, from the configuration of temperatures and time in the ovens, furthermore the preparation of the oil in its respective container for quenching. After carrying out the quenching, considering the different factors and levels, a tempering was done to relieve the internal steel stresses. Finally, the surface hardness measurements were carried out according to the ASTM E 18 standard, obtaining five measurements for each specimen.

Finally, Chapter IV presents the analysis of results, first, developing an analysis of variance (ANOVA) by using specialized software. The obtained results were interpreted for the reader's understanding, in addition to presenting a brief economic analysis focused mainly on supplies to develop the investigation.

KEY WORDS: Mechanical Engineering, Viscosity, quenching, tempering, hardness.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los aceros al carbono son aquellos donde el hierro está aleado con el carbono, aunque presenta otros elementos, como el manganeso, la proporción de carbono y tratamiento térmico del acero son los que determinan sus propiedades, siendo un acero maleable, flexible y puede tomar cualquier forma [1]. El acero K460 es utilizado para trabajo en frío, capaz de ser templado con enfriamiento en aceite manteniendo sus dimensiones estables y obteniendo durezas altas luego de un templado y revenido. Presenta beneficios debido a sus propiedades mecánicas que facilitan su mecanizado para la producción de herramientas de corte [1].

Un tratamiento térmico es un procedimiento que involucra varias etapas de calentamiento y enfriamiento sobre un metal con el propósito de modificar su estructura interna y de esta manera mejorar sus propiedades mecánicas [2]. El templado es un tratamiento térmico donde el metal es calentado a una temperatura establecida por el porcentaje de carbono que contiene para después ser enfriado rápidamente en un líquido, incrementando su dureza [3]. El aceite térmico es un fluido que presenta una estabilidad térmica resistente a la corrosión con un rango extenso de temperaturas de trabajo y larga vida útil, utilizado para el enfriamiento [5]. Otro tratamiento térmico es el revenido, realizado después del templado para incrementar la tenacidad del metal al calentarse a una temperatura más baja pero con mayor duración, reduciendo las tensiones generadas en el templado [4].

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que define la resistencia al desplazamiento de sus moléculas generando una pérdida de energía ocasionada por la fricción. Esto se produce al generarse una tensión de corte que es la fuerza requerida para deslizar internamente una capa entre otra en el fluido [6]. La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés), ha presentado su clasificación por el grado de viscosidad, dividida en una viscosidad a -18 °C, desde SAE 0 W hasta SAE 25 W, donde W proviene del término invierno, mientras que la segunda viscosidad es a 100 °C, yendo de SAE 20 a SAE 50 [7].

Otra propiedad por analizar es la dureza superficial, definida como la resistencia que presenta un material a la penetración permanente por parte de un indentador, valor establecido en diferentes ensayos y que es proporcionado por el proveedor del material [8]. El equipo utilizado para la medición de la dureza superficial en un material se denomina durómetro. Existen diferentes ensayos de dureza, Brinell, Vickers, Rockwell, siendo este último el utilizado para metales o aleaciones de acero que han sido sometidos a tratamientos térmicos, para realizar mediciones en la escala Rockwell C [9].

PROBLEMA DE ESTUDIO

La demanda de aceros a nivel mundial es alta, ya que se utiliza para la construcción de edificios, así como la manufactura de diferentes elementos, placas, ejes, tornillos, piñones, entre otros [10]. Según Acererías Nacionales del Ecuador (ANDEC), para 2018 el país produjo 583000 toneladas de acero crudo, pero la manufactura de elementos especiales es limitada [11]. El acero AISI 01 es utilizado en la fabricación de moldes, matrices y punzones de corte, aunque estas requieren de una mejora en sus propiedades mecánicas para prolongar su vida útil, como tratamientos térmicos de templado y revenido [12]. El templado es un tratamiento térmico para aumentar la dureza de un metal, al calentarlo a temperaturas superiores a 800 °C para luego enfriarlo rápidamente en aceite [13]. El aceite comúnmente utilizado en el medio local para este enfriamiento es el DURIXOL W 25 [14], de procedencia alemana y difícil adquisición, por lo que en el mercado hay alternativas, como el aceite Black Bear con un costo de USD 160 el contenedor de 5 galones [15]. Considerando esta información, se puede afirmar que, el realizar un tratamiento térmico de templado requiere un enfriamiento rápido en un aceite específico, para así obtener los valores de dureza y resistencia proporcionados por el proveedor. Por tal motivo, los ensayos con aceite automotriz, de fácil costo y adquisición en el mercado local, van a brindar resultados que necesitan ser comparados con los de suministro para afirmar si es viable su utilización.

JUSTIFICACIÓN

El acero AISI 01, conocido comercialmente como DF2 o K460, es un acero utilizado ampliamente en aplicaciones de matricería, así como de conformado metálico. También es utilizado para la fabricación de herramientas para cizallado y tronzado. Entonces, es

un acero con varias aplicaciones, sin embargo, algunas de ellas, requieren de tratamientos térmicos previo a su fabricación. El estudio del efecto que tienen los tratamientos térmicos en este acero no ha sido investigado a profundidad, tan solo se dispone de la información que brinda el proveedor. Por este motivo, esta investigación pretende presentar un análisis de los resultados al temprar y revenir este acero a diferentes temperaturas, para el temple entre 800 a 850 °C y en el revenido hasta 650 °C [7], pero, principalmente, se busca definir cómo influye la viscosidad del aceite utilizado para el enfriamiento, considerando aceites automotrices disponibles en el mercado local y de bajo costo, a diferencia del aceite térmico que normalmente se utiliza.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la dureza superficial del acero AISI 01 (K460) sometido a tratamientos térmicos de templado y revenido utilizando como medio de enfriamiento aceites automotrices de diferentes viscosidades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los diferentes tratamientos térmicos en aceros de alto contenido de carbono y sus aplicaciones en la industria.
- Determinar un diseño experimental mediante la combinación de factores y niveles de las variables seleccionadas, para la fabricación de probetas y la medición de dureza superficial según la norma ASTM E-18.
- Templar las probetas a temperaturas de austenización de 790 y 850°C utilizando diferentes aceites automotrices, SAE 5W30, SAE 15W40 Y SAE 40 monogrado, como medida de enfriamiento para el posterior revenido a 250 y 300°C durante 4 y 6 horas.
- Analizar las mediciones de dureza obtenidas con la técnica estadística de análisis de varianza (ANOVA) obteniendo la influencia de los factores y niveles sobre la dureza superficial del acero.

METODOLOGÍA

Esta investigación va a emplear el método científico exploratorio, ya que el tema no ha sido estudiado, dificultando plantear hipótesis acertadas. Los resultados obtenidos en esta investigación van a servir como fundamento científico para utilizar un determinado aceite automotriz para enfriar una probeta que ha sido calentada hasta la austenización.

El método sintético ha sido propuesto para recopilar la información necesaria acerca del acero AISI 01, tratamientos térmicos y grados de viscosidad. Con este método, es posible analizar investigaciones y trabajos previos en fuentes de información acerca de las temáticas requeridas.

Para desarrollar el diseño experimental de los factores y niveles seleccionados, es necesario utilizar el método analítico, con el que se puede determinar la influencia de las variables para establecer la matriz que determina la cantidad de probetas requeridas para cada ensayo.

Mediante el método experimental, se van a realizar los procedimientos requeridos para cada tratamiento térmico, así como la medición de la dureza superficial de las probetas de acero AISI 01 para la obtención de resultados.

Finalmente, se va a aplicar el método comparativo para desarrollar un análisis de varianza ANOVA y así determinar el grado de influencia de cada una de las variables que fueron seleccionadas para establecer la matriz de factores y niveles.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

1.1 Materiales en la ingeniería

El mundo tiene una gran cantidad de materiales que define la calidad de vida del ser humano, inicialmente la humanidad comenzó su uso con la fabricación de armas y herramientas, remontando a la historia se conoce que hace aproximadamente 2,5 millones de años conocida históricamente como la Edad de Piedra, los primeros homínidos fabricaban armas para la caza con piedras; luego entre los años 1000 a.C y 2000 a.C se conoce como la Edad de Bronce, edad en la cual se inicia la metalurgia debido a que se descubrió aleaciones de cobre y estaño, con lo cual fue posible mejorar la calidad de las armas y herramientas de la época [1]. Entre los años 1000 a.C y 1 a.C se define la Edad del Hierro, se conoce que aproximadamente en el año 500 a.C el bronce fue reemplazado por las aleaciones de hierro.

Estudios realizados por arqueólogos [1] indican que en Europa existió una etapa predecesora a la Edad de Hierro, esta fue Edad de Cobre entre los años 4000 a.C. y 3000 a.C., aquí el uso del cobre (relativamente puro) fue antes del estaño. Además, en estudios no se hace referencia a una etapa conocida como la Edad de Barro (alfarería) en la que se fabricaba diferentes artículos a partir de arcilla que era cocida para mejorar las características del material, y ha persistido por miles de años hasta la actualidad; así mismo en Mesopotamia se ha descubierto artículos de vidrio que hacen referencia a los años 4000 a.C.

Desde 9150 en adelante, se la denomina la cultura moderna (plástico), se empieza con el uso de materiales poliméricos con características especiales como su reducido peso con un bajo costo [2]. A ésta época se ha sugerido también llamarla como la Edad de Silicio, ya que su uso es de gran impacto en toda la industria mundial. En la figura 1, se muestra un extracto visual de la importancia que tienen los materiales durante la historia humana.

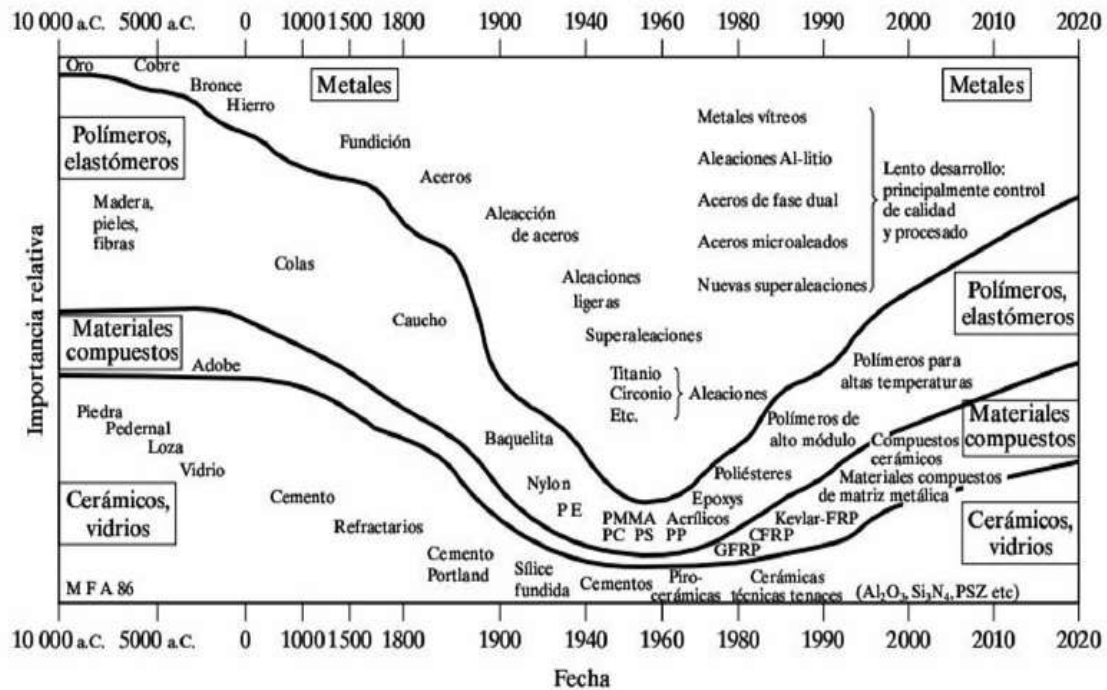


Figura 1. Evolución de los materiales durante la historia [1].

Se aprecia que la evolución no ha seguido lineamientos, ya que la tecnología tiene una rápida evolución, como ejemplo, las aleaciones metálicas usadas en el conflicto de la Segunda Guerra Mundial, generando variedad de compuestos que son usados actualmente en el mundo [2].

1.2 Clasificación de los materiales

Los materiales sólidos, según su composición química y estructura atómica, son de tres grupos, metales, cerámicos y polímeros. Además, se tienen otros materiales que se han clasificado como materiales compuestos y los semiconductores [3] [4], información que se desglosa en la figura 2.

Materiales para la Ingeniería					
<p>Metales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ferrosos - No ferrosos 	<p>Polimeros</p> <ul style="list-style-type: none"> - Termoplásticos - Termofijos - Elastómeros 	<p>Cerámicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Óxidos - Carburos 	<p>Compuestos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Endurecidos por dispersión - Reforzados con partículas - Reforzados con fibras - Reforzados con láminas 	<p>Biomateriales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interactúan con el sistema biológico - Aplicaciones médicas para seres vivos - Fabricación de prótesis u órganos 	<p>Nanomateriales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escala 10^{-6} mm - Fabricación de nuevos compuestos al manipular el orden de átomos y moléculas. - Grafeno

Figura 2. Clasificación de los materiales para la ingeniería [3].

1.1.1 Metales

La figura 3 muestra los materiales metálicos que tienen considerables electrones deslocalizados, que no corresponden a ningún átomo específicamente, por tal motivo sus propiedades se atribuyen a éstos átomos, entre sus principales propiedades se tienen:

- Buena conductividad del calor y la electricidad.
- Impenetrabilidad a la luz visible.
- Reflectividad de los rayos de luz.
- Alta resistencia, pero deformables.
- Buena ductilidad.
- Alta resistencia a choques térmicos.



Figura 3. Acero DIN 01 [5].

1.1.2 Cerámicos

Existen materiales constituidos por metales y no metales, teniendo a los óxidos, nitruros y carburos, los mismos que se encuentran en el grupo de los materiales cerámicos, en éstos materiales se incluyen al cemento, vidrio y a los minerales de arcilla como el ejemplo presentado en la figura 4. Estos materiales poseen moléculas que tienen enlaces iónicos, covalentes, o una mezcla de ambos. Los átomos metálicos confieren electrones externos a los átomos no metálicos, con lo que se origina una gran fuerza de atracción en el interior de las moléculas, de éstos enlaces se obtienen las siguientes propiedades:

- Sirven de aislantes térmicos y eléctricos.
- Resisten a elevada temperatura a comparación de los metales y los polímeros.
- Elevada dureza y rigidez.
- Alta fragilidad, no tienen ductilidad
- Son químicamente inertes.



Figura 4. Crisol 25 kg [6].

1.1.3 Polímeros

Los polímeros o materiales poliméricos tienen una gran familia que va desde los plásticos hasta el caucho, son compuestos orgánicos, que tienen su base en el hidrógeno, carbono y diferentes elementos no metálicos, por esta razón su estructura molecular tiene una gran longitud. La figura 5 indica polímeros de geometría requerida para utilizarlos en procesos de mecanizado. La producción de los polímeros es mediante un proceso de polimerización, estructuralmente la mayor parte de estos materiales no son cristalinos, no

obstante, algunos tienen mezclas de regiones cristalinas y no cristalinas, por todas éstas características se tiene distintas propiedades como:

- Materiales de bajas densidades.
- Excelente flexibilidad.
- Buena resistividad eléctrica.
- Buenos aislantes térmicos.
- Buena relación entre su resistencia y su peso.



Figura 5. Ejes y placas de teflón [7].

1.1.4 Compuestos

Son la unión de varios materiales, para combinar sus propiedades, de las que se tuviese con los mismos de forma individual. Estos materiales son diseñados para llegar a obtener mejores características, un material destacable es la fibra de vidrio, filamentos de vidrio impregnados con aleación polimérica. Este material es resistente por la presencia del vidrio, pero a la vez es flexible por el polímero utilizado, como en la figura 6. Por las características que tienen estos materiales se puede tener las siguientes propiedades:

- Alta resistencia en función a su peso.
- Baja densidad.
- Buena flexibilidad.
- Buena resistividad eléctrica.
- Buena resistencia a la corrosión.



Figura 6. Láminas de fibra de carbono [8].

1.1.5 Semiconductores

Este tipo de materiales tienen propiedades para la conductividad de electricidad, pudiendo ser aislantes eléctricos y conductores [9], por sus características son enormemente sensibles a la presencia de pequeñas concentraciones de átomos con impurezas, se debe controlar éstas concentraciones en pequeñas regiones espaciales. La figura 7 presenta semiconductores, que han possibilitado la fabricación de circuitos integrados muy usados durante las últimas décadas, revolucionando toda la industria electrónica.

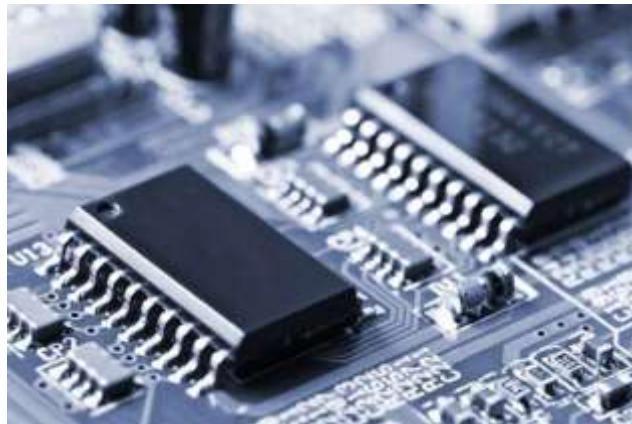


Figura 7. Circuitos integrados [9].

1.3 Designación de los metales

Las nomenclaturas utilizadas varían entre fabricantes, así como de asociaciones de ensayos, que son las encargadas de definir clases para los metales. Tienen clasificaciones

diferentes en función a su estándar, por lo cual se puede crear confusiones cuando existe una mezcla de dos o más estándares. Por tal razón se hace uso de la clasificación según el Sistema Unificado de Numeración (UNS, por sus siglas en inglés), y American Society for Testing and Materials (ASTM, por sus siglas en inglés) [10], por tales razones se da las siguientes designaciones:

- American Iron and Steel Institute (AISI, por sus siglas en inglés).
- Society of Automotive Engineers (SAE, por sus siglas en inglés).
- The Aluminum Association (AA, por sus siglas en inglés).
- Copper Development Association (CDA, por sus siglas en inglés).

La tabla 1 presenta la serie de número según UNS, además la organización que fue la responsable de la designación de dichos números en cada serie.

Tabla 1. Sistema según la UNS [10].

Número de serie	Tipo de metales y aleaciones	Organización responsable
Metales no ferrosos y aleaciones		
A00001-A99999	Aluminio y aleaciones de aluminio	AA
C00001-C99999	Cobre y aleaciones de cobre	CDA
E00001-E99999	Metales de tierras raras y aleaciones	ASTM
L00001-L99999	Metales de baja fusión y aleaciones	ASTM
M00001-M99999	Metales no ferrosos y aleaciones	ASTM
N00001-N99999	Níquel y aleaciones de níquel	SAE
P00001-P99999	Metales preciosos y aleaciones	ASTM
R00001-R99999	Metales reactivos y refractarios	SAE
Z00001-Z99999	Zinc y aleaciones de zinc	ASTM
Materiales ferrosos y aleaciones		
D00001-D99999	Aceros, propiedades mecánicas especificadas	SAE
F00001-F99999	Hierros y aceros fundidos	ASTM
G00001-G99999	Aceros al carbono y de aleación	AISI
H00001-H99999	Aceros H: templabilidad especificada	AISI
J00001-J99999	Aceros fundidos (excepto aceros para herramientas)	ASTM
K00001-K99999	Aceros varios y aleaciones no ferrosas	ASTM
S00001-S99999	Aceros (inoxidables), resistentes al calor y corrosión	ASTM
T00001-T99999	Aceros para herramientas	AISI

Una de las clasificaciones más conocidas dentro de la UNS, es el sistema AISI (para aceros al carbón y aleados), y corresponden a las designaciones G41400 y G10200.

La palabra acero hace referencia a una aleación entre el hierro y el carbón, cabe indicar que en un sinnúmero de casos también entran otros elementos a esta aleación. Por la composición del acero, comercialmente se presenta varios tipos, se los ha clasificado en aceros al carbono, estructurales, aleados e inoxidables [10]. Para la designación de aceros al carbono y aleados, AISI utiliza la codificación de cuatro números con lo cual es posible definir la aleación, a continuación, la figura 8 indica el significado de los dígitos para una designación AISI.

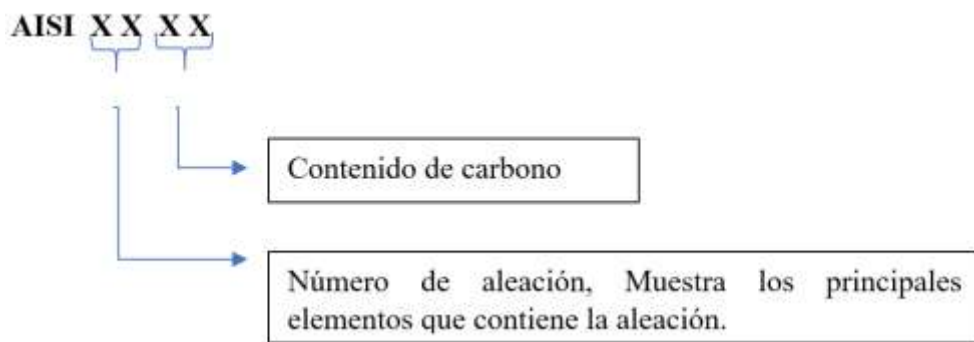


Figura 8. Nomenclatura AISI para aceros al carbono [10].

En la tabla 2, se indica el significado de los dos primeros números de la aleación, éstos son los principales aleantes que están además del carbón para la obtención de los diferentes aceros. Los dos últimos números de la aleación indican el contenido que el acero analizado tiene de carbono, cabe indicar que el carbón tiene gran importancia ya que su presencia está directamente relacionada con la resistencia y dureza del material, su contenido suele estar entre el 0.1 % y 1.0 %.

Tabla 2. Elementos de aleación para aceros [10].

Acero AISI núm.	Elementos de aleación	Acero AISI núm.	Elementos de aleación
10XX	Carbón simple	46XX	Molibdeno – níquel
11XX	Azufre (Cobre libre)	47XX	Molibdeno – níquel – cromo
13XX	Manganeso	48XX	Molibdeno – níquel
14XX	Boro	5XX	Cromo
2XXX	Níquel	6XX	Cromo –vanadio
3XXX	Níquel – cromo	8XX	Níquel – cromo - molibdeno
4XXX	Molibdeno	9XX	Níquel – cromo – molibdeno (Excepto 92XX)
41XX	Molibdeno – cromo	92XX	Silicio - manganeso
43XX	Molibdeno – cromo – níquel		

1.4 Aplicación de los aceros en la industria

Cada aplicación industrial requiere de un material específico, entonces es necesario conocer sus propiedades. Entre las más importantes se tiene a las mecánicas como la resistencia, ductilidad, tenacidad, dureza, fatiga, termofluencia y otras. Además, otros factores que influyen pueden ser el tamaño del producto, la temperatura, su composición y más [10]. Ya que dependen de diversos factores dependiendo del uso que se vaya a dar a la aplicación.

Una vez consideradas las propiedades mecánicas, se debe tener presente las propiedades físicas del material, entre las cuales están a la densidad, conductividad térmica, dilatación, calor específico, temperaturas de fusión, calor específico, propiedades eléctricas y magnéticas. La selección del material correspondiente es aquel que tenga buenas propiedades mecánicas y físicas los que dará como respuesta a materiales con buena resistencia en función a su peso y rigidez [11].

La tabla 3, además de lo mencionado, presenta las propiedades químicas como la oxidación, corrosión, inflamabilidad, toxicidad, así como las propiedades de manufactura que son fundamentales a la producción.

Tabla 3. Características de fabricación para aleaciones [11].

Aleación	Fundibilidad	Soldabilidad	Maquinabilidad
Aluminio	E	R	E-B
Cobre	B-R	R	B-R
Hierro fundido gris	E	D	B
Hierro fundido blanco	B	MD	MD
Níquel	R	R	R
Aceros	R	E	R
Zinc	E	D	E

Nota: E, excelente; B, buena; R, regular; D, difícil; MD, muy difícil

El material seleccionado debe ser acorde para las condiciones de trabajo a las que va a estar expuesto, y de esto dependerá en gran medida su aplicación, en la tabla 4, se muestra las aleaciones de acero que son más comunes, así como sus aplicaciones en la industria.

Tabla 4. Aleaciones de acero comunes y aplicaciones en la industria [10]

Acero AISI núm.	Usos típicos
1020	Acero estructural, placa, barras
1040	Partes de maquinaria, flechas
1050	Partes de maquinaria
1095	Herramientas, resortes
1137	Flechas, partes de maquinaria para fabricar tornillos (Aleación de corte libre)
1141	Flechas, partes maquinadas
4130	Aceros de alta resistencia de uso general; flechas, engranes, pasadores
4140	Igual que 4130
4150	Igual que 4140
5160	Engranes de alta resistencia, pernos
8760	Herramientas, resortes, cinceles

1.5 Acero AISI 01 (K460)

El acero AISI 01 o también conocido como DF2 o K460, es un acero con una composición de manganeso, cromo, tungsteno, es un acero muy versátil para cualquier uso en general, una característica que presenta es que es templable en aceite [12]. La tabla 5 indica los elementos que componen el mismo.

Tabla 5. Análisis químico del acero AISI 01 (DF2 o K460) [12].

Elemento	C	Mn	Cr	W	V
Porcentaje [%]	0.95	1.1	0.45	0.45	0.1

El acero es suministrado a la industria con varios acabados, entre los cuales se incluye el laminado, mecanizado, pre-mecanizado y con rectificado, además se lo obtiene en forma de anillos y barras huecas. En estado de suministro se provee recocido con una dureza aproximada de 190 HB, mientras que al efectuarse tratamientos térmicos para templado y después revenir, se alcanza una dureza de 62 HRC. La tabla 6 presenta las principales características físicas del material a temperatura ambiente, así como a temperaturas elevadas.

Tabla 6. Propiedades físicas del acero AISI 01 (K460) [12].

Parámetro	Valores		
Temperatura °C	20	200	400
Densidad kg/m^3	7800	7750	7750
Módulo de elasticidad			
N/mm^2	190000	185000	170000
kp/mm^2	19500	19000	17500
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	---	11.7×10^{-6}	11.4×10^{-6}
Conductibilidad térmica $W/m \cdot ^\circ C$	32	33	34
Calor específico $J/kg \cdot ^\circ C$	460	---	---

Este acero presenta buenas características como la maquinabilidad, estabilidad estructural en templado, así como buena tenacidad y dureza después de tratamientos térmicos de templado y revenido. Todas las características que tiene el acero lo hacen idóneo para su

aplicación en la fabricación de herramientas con solicitaciones mecánicas muy exigentes y de gran duración, como se presentan en la tabla 7 por lo que, se obtienen productos con una alta tasa de rentabilidad.

Tabla 7. Aplicaciones del acero AISI 01 (DF2 o K460) [12].

Herramientas para	Espesor del material	HRC
Corte		
Cizallado, punzonado	Hasta 3mm	60-62
Troquelado, desbarbado,	3 – 6 mm	56-60
Tronzado	6 – 10 mm	54-56
Cizallas cortas para trabajo en frío		54-60
Herramientas de tronzado y	Caliente	58-60
Desbardado para piezas de forja	Frío	56-58
Conformado		
Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y estirado		56-62
Troqueles de acuñar en frío pequeños		
Puntos de torno		56-60
Manguitos guía, expulsores, brocas y machos de roscar de tamaño pequeño y mediano.		
Levas, boquillas, pistones y ruedas dentadas pequeñas		58-62

1.6 Diagrama de fases hierro – carburo de hierro

Más conocido como diagrama de fase o equilibrio Hierro – Carbono (Fe-C), tiene una gran importancia ya que por medio de éste se puede conocer las características de los materiales primarios como son los aceros y las fundiciones, especialmente las aleaciones hierro – carbono. Muestra las aleaciones formadas, así como las temperaturas adecuadas para la ejecución de tratamientos térmicos, con lo que se llega a entender las variaciones en las propiedades de los materiales al ser sometidos a tratamientos térmicos [13]. La figura 9 muestra las transformaciones que tienen los aceros al carbono en función al calentamiento o enfriamiento que sufre el material.

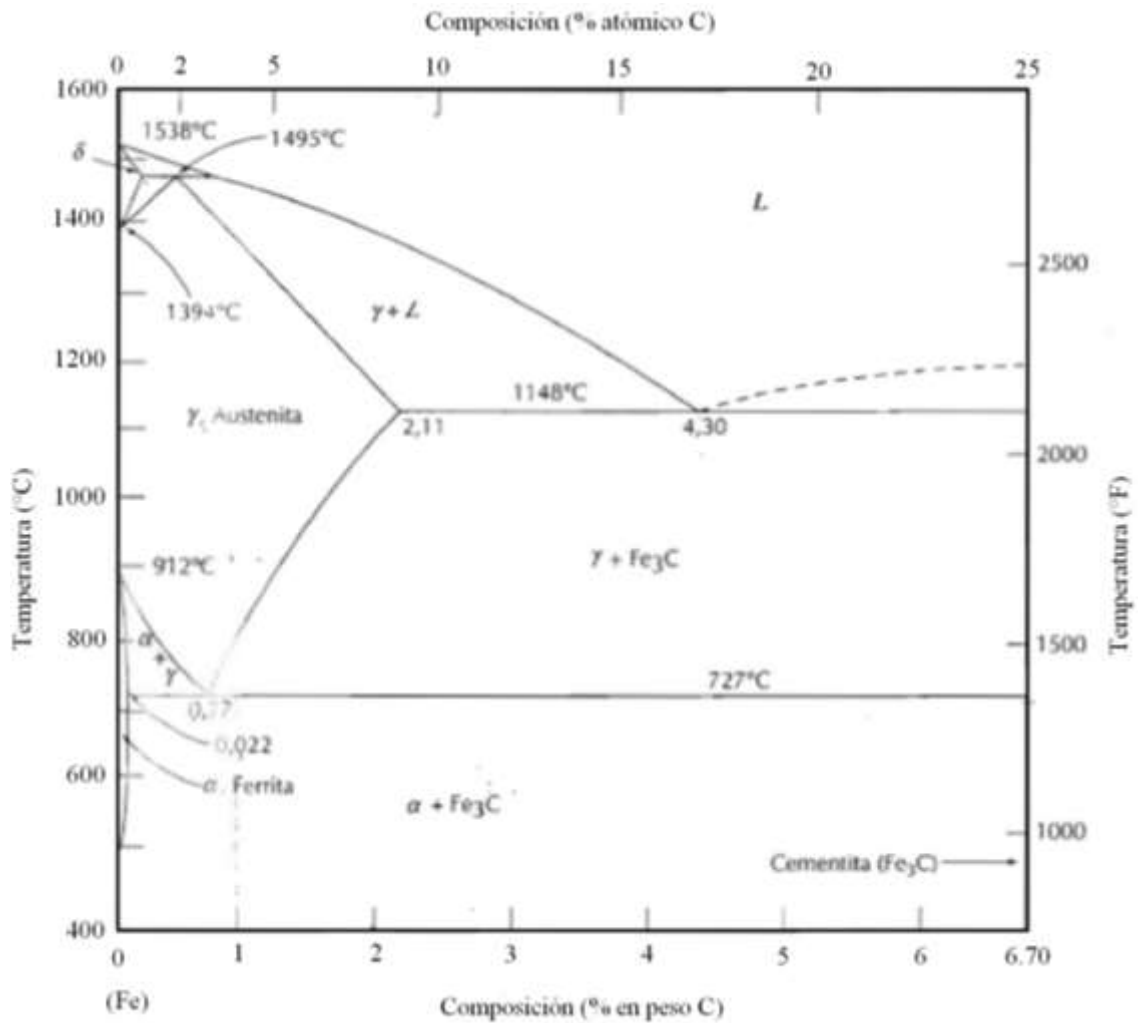


Figura 9. Diagrama de fase hierro – carburo de hierro [2].

Al llegar hasta los 911 °C o también conocido como la temperatura crítica AC3, el hierro común toma forma cristalina cúbica centrada en cuerpo, denominado ferrita o hierro α (alfa). El material se presenta muy maleable y dúctil, especialmente en las aleaciones de bajo carbono, el material presenta la propiedad de ser ferromagnético hasta las 770 °C, al descender de dicha temperatura pierde esta propiedad y se llega a un punto del diagrama conocida como AC2, en la cual la ferrita presente tiene la capacidad de disolver pequeñas cantidades de carbono.

Al llegar a temperaturas entre los 911 °C y 1400 °C se obtiene una estructura cristalina cúbica de caras centradas al cual se ha denominado como austenita o hierro γ (gamma), por la compactibilidad de los átomos la austenita presente se deforma con facilidad por lo tiene la propiedad paramagnética.

Al llegar a temperaturas entre los 1400 °C y 1538 °C se obtiene una estructura cristalina cúbica de cuerpo centrado al cual se ha denominado como hierro δ (delta), en principio el similar al hierro alfa, pero con un parámetro de red que es mayor por la temperatura más elevada. Pasado estas temperaturas el hierro cambia de estado sólido a un estado líquido. La figura 10 detalla todas las etapas indicadas anteriormente en este inciso.

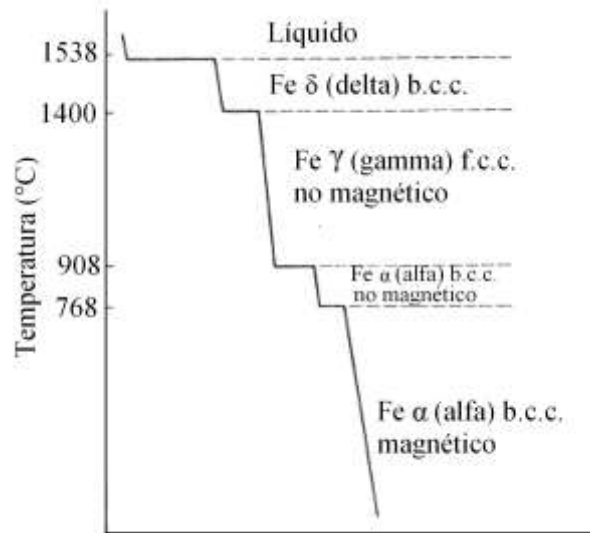


Figura 10. Etapas hierro – carburo de hierro [13].

1.7 Tratamientos térmicos de los aceros

De acuerdo al Metals Handbook [14] un tratamiento térmico consiste en realizar varios procesos de calentamiento y enfriamiento, en intervalos de tiempo definidos. Se aplica un tratamiento térmico a metales en fase sólida, siguiendo la información del fabricante para conseguir las propiedades requeridas [15]. Las operaciones efectuadas en los tratamientos térmicos incluyen una transformación a austenita, que determina las propiedades mecánicas y físicas del acero tratado. La figura 11 esquematiza las etapas de los tratamientos térmicos entre el tiempo de calentamiento con respecto a la temperatura.

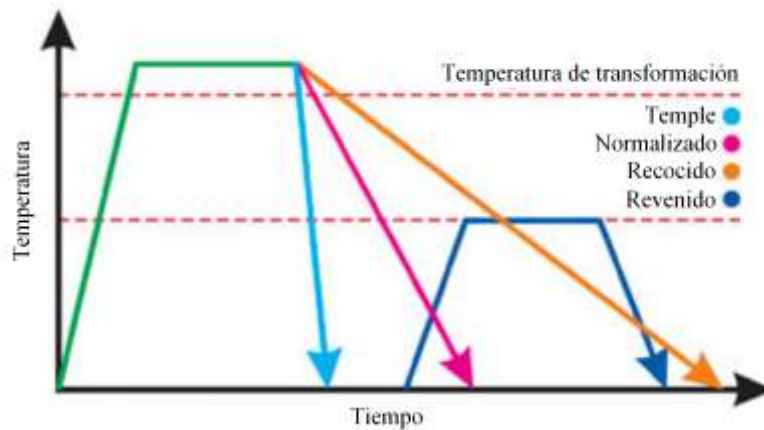


Figura 11. Gráficas de tratamientos térmicos. [16]

1.7.1 Temple

Los aceros tienen propiedades especiales como es la capacidad de éstos para endurecerse, es de gran importancia ya que se puede obtener una alta dureza o resistencia, además de una alta tenacidad, obteniendo una microestructura deseada que por lo general es la martensita o bainita. Se define al temple como un enfriamiento del acero desde una temperatura superior a la temperatura de transformación (AC_3), con una velocidad suficientemente rápida con el fin de obtener una dureza elevada [15].

Este tratamiento térmico implica un calentamiento hasta obtener estabilidad en la austenita, a continuación, se mantiene el material a dicha temperatura y se procede a realizar su enfriamiento continuo hasta disminuir la temperatura por debajo de la que se obtiene la martensita, cabe resaltar que, al tener velocidades de enfriamiento grandes, superiores a la crítica, el cambio a perlita o bainita se impide y lo que se obtiene es martensita.

Un parámetro a controlar es la temperatura real de austenización, ya que si se tiene una temperatura muy elevada se puede producir un crecimiento del grano pronunciado. En cambio, al tener elevadas velocidades de enfriamiento se tiene la posibilidad de crear esfuerzos elevados, especialmente cuando se tiene piezas con geometrías variables. Como norma general será más rápida la velocidad de calentamiento cuando se tenga una mayor temperatura en el tratamiento.

1.7.2 Medios de enfriamiento

Obtener una alta dureza en un tratamiento térmico de temple depende de gran manera del medio para templar empleado, consecuentemente la rapidez de enfriamiento [15], ésta en función de factores, como los siguientes:

- Poder de conducción del calor.
- Calor específico.
- Forma, volumen y superficie.
- Temperatura del medio para templar.
- Entorno en el cual se ejecuta el enfriamiento.

De todos los factores expuestos se deduce que el medio en el cual se desarrolla el enfriamiento es el parámetro principal, ya que los demás factores más bien dependen del tipo de material, y de las características del diseño del elemento. Éste medio considera [15]:

- Calor específico.
- Viscosidad.
- Conductividad calorífica.
- Calor de distorsión.
- Formación de capas de gas.

A nivel industrial, los medios de temple más utilizados son el agua y soluciones acuosas [15], las cuales enfrían rápidamente al inicio y persisten al tener temperaturas bajas, por tal motivo pueden ocurrir agrietamientos y distorsiones. Los aceites de temple son una alternativa ya que se tiene una etapa inicial de velocidad de enfriamiento mayor al agua o soluciones acuosas, pero en temperaturas bajas tiene velocidades de enfriamiento menores, minimizando los posibles defectos. En función de disminución de la severidad del temple se presentan los siguientes medios de enfriamiento [17]:

- Salmuera (Solución acuosa de cloruro de sodio al 10 %).
- Agua.
- Sales Fundidas.
- Aceites.

1.7.3 Revenido

Una vez realizado el tratamiento térmico de temple los aceros aumentan su dureza, pero a la vez son materiales muy frágiles ya que la presencia de martensita incorpora esfuerzos internos. El tratamiento térmico de revenido consiste en eliminar en lo posible estos esfuerzos, con lo que se obtiene un material mejorado más dúctil y tenaz [15], considerando que el propósito principal es tener una pieza templada con una dureza superior.

El tratamiento térmico de revenido requiere el calentamiento del material que se templó, previamente a temperatura inferior a la crítica AC1, para posteriormente enfriarla. Con éste tratamiento disminuye la dureza y se da un aumento de la tenacidad según incrementa la temperatura de revenido. Las temperaturas para el tratamiento se encuentran entre los 250 y 300 °C, para elementos en los cuales se requiera mayor dureza y tenacidad, caso contrario para aplicaciones en las que se requiera dureza y resistencia al desgaste, es conveniente utilizar temperaturas menores a los 200 °C ya que los esfuerzos residuales producidos disminuyen al llegar a los 200 °C. Para alcanzar elementos que sean muy tenaces el tratamiento térmico de revenido se deberá ejecutar sobre los 300 °C, logrando desaparecer los esfuerzos residuales o internos casi en su totalidad.

1.8 Tratamiento térmico del acero AISI 01 (K460)

Los tratamientos térmicos que se pueden efectuar para acero AISI 01 pueden ser [12]:

- Recocido blando. Este tratamiento térmico se lo ejecuta protegiendo al material y calentándolo a 780°C, posterior al procedimiento se enfría al material en el interior del horno a una tasa de 15°C/hora hasta llegar hasta los 650 °C, para finalizar el tratamiento se deja su enfriamiento completo al aire en el ambiente.
- Estabilidad – Eliminación de tensiones. Este tratamiento térmico se le realiza posterior al mecanizado, el mismo que consiste en calentar al acero a 652 °C, con un tiempo de permanencia de 2 horas, para dejar enfriar paulatinamente hasta que llegue a 500°C, y posteriormente al aire libre.

- Temple. Este tratamiento térmico consiste en realizar un precalentamiento al acero a una temperatura entre 600 y 700 °C, para su posterior austenización a una temperatura entre 790 y 850 °C. En la tabla 8 se presentan los diferentes parámetros del tratamiento térmico según su dureza alcanzada antes del revenido.

Tabla 8. Parámetros del tratamiento térmico de temple para el acero AISI 01 [12].

Temperatura [°C]	Tiempo de mantenimiento [min]	Dureza antes del revenido [HRC]
800	30	Apróx. 65
825	20	Apróx. 65
850	15	Apróx. 63

El tiempo de permanencia o mantenimiento es en el que se tiene a la temperatura para templar cuando toda la masa del acero se ha calentado. Se recomienda usar un tipo de protección contra la decarburación y oxidación cuando se realiza el templado [12].

- Revenido. Este tratamiento térmico se lo realiza de acuerdo con la dureza superficial requerida, para la selección se elige la temperatura según la figura 12, se recomienda revenir por dos ocasiones, permitiendo enfriar entre éstos, en temperatura ambiente. Definir 180 °C como temperatura mínima, y un tiempo de temperatura de mantenimiento mínimo de 2 horas.

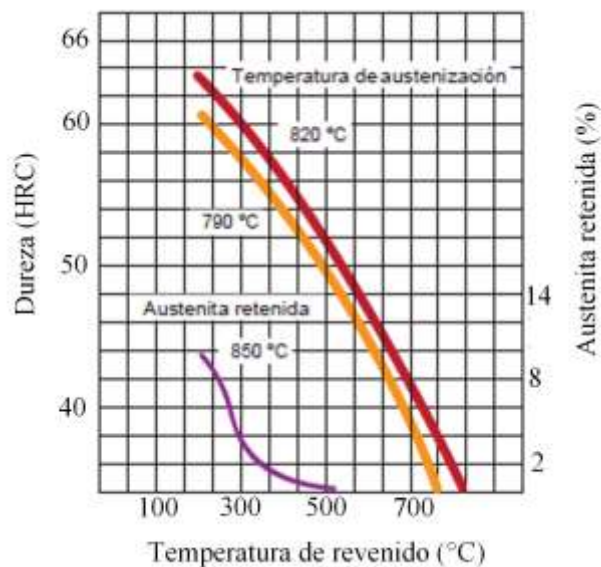


Figura 12. Gráfico del tratamiento térmico de revenido para el acero AISI 01 (DF2 o K460) [12].

- Medios de enfriamiento. Se tiene como medios de enfriamiento al aceite, con un temple escalonado martensítico a temperatura entre 180 y 225 °C, con posterior enfriamiento al aire. Se debe revenir inmediatamente cuando el acero alcanza una temperatura entre 50 y 70 °C. La dureza, la austenita retenida y el tamaño del grano están en función de la temperatura de austenización utilizada, proceso presentado en la figura 13.

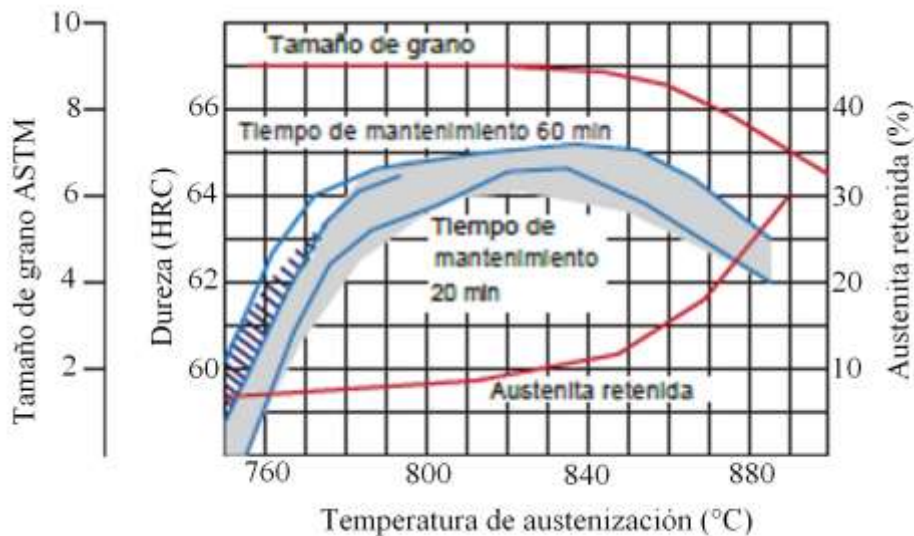


Figura 13. Temperaturas de austenización del acero AISI 01 (DF2 o K460) [12].

- Envejecimiento. Este tratamiento térmico denominado sub-cero es utilizado para piezas en las que sea requerido una máxima estabilidad dimensional, en dicho tratamiento con el paso del tiempo no se experimenta cambios en el volumen. En el tratamiento sub-cero se realiza un enfriamiento inmediatamente después del temple, la temperatura debe estar entre los -70 y -80 °C, durante un intervalo de tiempo entre 3 y 4 horas, seguido del revenido o envejecimiento, permitiendo aumentar la dureza entre 1 y 3 HRC, es recomendable evitar geometrías complicadas ya que se puede presentar fisuras en el proceso. El revenido que se ejecuta luego del temple será reemplazado por un tratamiento térmico de envejecimiento a una temperatura entre 110 y 140 °C durante un tiempo de 25 a 100 horas.

1.9 Lubricación

Una de las formas más efectivas de reducción de la fricción y desgaste está constituido por la lubricación, aquí son usados ampliamente los lubricantes para el trabajo con

metales, así como en otros procesos de manufactura [17]. Por las características que tienen los lubricantes se realiza una lista en la que se indica los diferentes tipos de lubricantes para trabajar con los metales como se indica a continuación.

- Aceites minerales. Son derivados de los hidrocarburos y proporcionan una lubricación límite, su utilidad es reducida a menos de que en el proceso se incluyan más ingredientes para transformarse en un lubricante compuesto [18].
- Aceites naturales. Proceden de fuentes vegetales o animales, pueden ser grasas o derivados, siendo materiales utilizados por primera vez en la historia para la lubricación, los aceites se encuentran en estado líquido, y las grasas en estado semisólido; entre sus derivados se encuentran jabones, ácidos grasos y ceras usados en diferentes procesos de manufactura [18].
- Fluidos sintéticos. Se tiene fluidos sintéticos para diferentes aplicaciones industriales y procesos de manufactura, existen aceites similares a los aceites naturales y otros que no lo son como los aceites que tienen estabilidad en altas temperaturas, así como aceites hidrodinámicos que tienen en su composición silicio [19].
- Lubricantes compuestos. Son aceites mejorados con aditivos, entre los que se tiene; aditivos para capa límite, aditivos PE que ayudan a una lubricación de extrema precisión, Como aditivos sólidos, grafito y disulfuro de molibdeno, protectores de corrosión, agentes antiespumantes, y agentes germicidas para desinfección evitando la propagación de gérmenes y bacterias [20].
- Lubricantes acuosos. Dado que el agua es un lubricante muy pobre, es usada para añadir sustancias para que ésta funcione como lubricante, sin dejar aparte la excelente propiedad térmica para poder actuar como refrigerante en procesos de corte. Entre los principales lubricantes acuosos se tiene a emulsiones o suspensiones de agua mezclada con aceite, sustancias químicas o fluidos mezclados con agua para su función como lubricante, y semiquímicos (combinación de emulsiones y fluidos químicos) [21].

1.10 Aceites

Los aceites son sustancias que mantienen películas de lubricación de alta resistencia en superficies, son adecuados para disminuir el desgaste y consecuentemente la fricción [22]. Tienen una baja conductividad térmica y un bajo calor específico, siendo deficientes disipadores de calor generado en la fricción y en la deformación plástica existente.

Los aceites provienen de diferentes fuentes como son de naturaleza mineral (Hidrocarburos o petróleo), vegetal o animal, además, tienen composiciones que pueden estar acompañadas de aditivos o a su vez de mezclas de otros aceites [23]. Éstos son usados para cambiar las propiedades originales de los aceites, entre estas propiedades se puede cambiar la viscosidad y capa límite [24]. Existen diferentes funciones para los fluidos de trabajo o en éste caso de los aceites entre las cuales se encuentran:

- Reducción de la fricción.
- Reducción del desgaste.
- Aumento del flujo del material.
- Agente de desprendimiento.
- Barrera térmica.

La figura 14 muestra el aceite utilizado como barrera térmica para el caso de estudio, cambiando las velocidades de enfriamiento para los tratamientos térmicos [24].



Figura 14. Barra térmica en el tratamiento térmico de temple [24].

1.11 Grado de viscosidad SAE

Propiedad de los líquidos que mide la resistencia que tienen para fluir, por ejemplo, un lubricante que tenga una temperatura elevada tiene una viscosidad menor que uno que se

encuentre a una temperatura menor [25]. La tabla 9 presenta, según la SAE Internacional (Sociedad de los Ingenieros del Automóvil), una clasificación de aceites para motor.

Tabla 9. Grado de viscosidad SAE para aceites a motor [25].

Grado de viscosidad SAE	Temperatura baja viscosidad dinámica		Temperatura alta Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)		Temperatura alta, Viscosidad dinámica a 150°C (cP) Mín.
	Condición de cigüeñal (cP) Máx a [°C]	Condición de bombeo (cP) Máx a [°C]	Min	Máx	
0W	6200 a -35	60000 a -40	3.8	-	-
5W	6600 a -30	60000 a -35	3.8	-	-
10W	7000 a -25	60000 a -30	4.1	-	-
15W	7000 a -20	60000 a -25	5.6	-	-
20W	9500 a -15	60000 a -20	5.6	-	-
25W	13000 a -10	60000 a -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	< 9.3	2.6
30	-	-	9.3	< 12.5	2.9
40	-	-	12.5	< 16.3	2.9
40	-	-	12.5	< 16.3	3.7
50	-	-	16.3	< 21.9	3.7
60	-	-	21.9	< 26.1	3.7

Los lubricantes usados en engranes como se muestra en la tabla 10. Se muestra para los diferentes aceites la viscosidad a diferentes temperaturas.

Tabla 10. Viscosidad SAE de lubricantes de engranes automotrices [25].

Grado de viscosidad SAE70W	Temperatura máxima para Viscosidad dinámica de 150000 cP [°C]	Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)	
		Min.	Máx.
70W	-55	4.1	-
75W	-40	4.1	-

Tabla 11. Viscosidad SAE de lubricantes de engranes automotrices. (Continuación)

Grado de viscosidad SAE70W	Temperatura máxima para Viscosidad dinámica de 150000 cP [°C]	Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)	
		Min.	Máx.
80W	-26	7.0	-
85W	-12	11.0	-
80	-	7.0	< 11.0
85	-	11.0	< 13.5
90	-	13.5	< 24.0
140	-	24.0	< 41.0
250	-	41.0	-

Existen aceites que tienen sufijos como el W, el cual se basa en la máxima viscosidad dinámica con temperaturas frías, se debe presentar una viscosidad cinemática mayor a un especificado de 100 °C. Cuando no se tiene presencia del sufijo W son clasificados con temperaturas más elevadas.

Los valores que se obtienen de viscosidad máxima a una temperatura baja, tienen relación con su capacidad de fluir en dirección a las superficies en las que se vea necesaria lubricación. Caso contrario, para temperaturas altas se definen las películas formadas, para brindar protección por el lubricante, sin tener una excesiva viscosidad en la cual se vea incrementado la fricción con pérdidas de energía.

En aplicaciones industriales son usados diversos lubricantes, por lo que es necesario tener un amplio rango de viscosidades para la satisfacción de los regímenes de lubricación, motivo por el cual se debe asegurar que el lubricante utilizado soporte las temperaturas a las cuales estará expuesto, así como la resistencia al régimen de trabajo.

Los lubricantes requieren seguir y satisfacer las pautas indicadas en la norma ASTM D6200 [26], donde se muestra un grupo de 20 grados de viscosidad ISO. La tabla 11 presenta los valores de viscosidad cinemática indicado a temperatura de 40 °C.

Tabla 12. Grados de viscosidad [25].

Grado ISO VG	Viscosidad cinemática a 40°C (cSt) (mm²/s)		
	Nominal	Mínimo	Máximo
2	2.2	1.98	2.40
3	3.2	2.88	3.52
5	4.6	4.14	5.06
7	6.8	6.12	7.48
10	10	9.00	11.0
15	15	13.5	16.5
22	22	19.8	24.2
32	32	28.8	35.2
46	46	41.4	50.6
68	68	61.2	74.8
100	100	90.0	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650
2200	2200	1980	2420
3200	3200	2880	3520

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA Y MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se muestra toda la información sobre la metodología y los materiales a ser usados para el análisis de la dureza superficial del acero AISI 01 (K460) sometido a tratamientos térmicos de templeado y revenido utilizando como medio de enfriamiento aceites automotrices de diferentes viscosidades. Se tiene información sobre el mecanizado de probetas para el cumplimiento de la norma ASTM E-18 de dureza superficial. Existe información relevante sobre los equipos e insumos a ser utilizados, y la figura 15 indica el procedimiento experimental para ejecutar el ensayo.

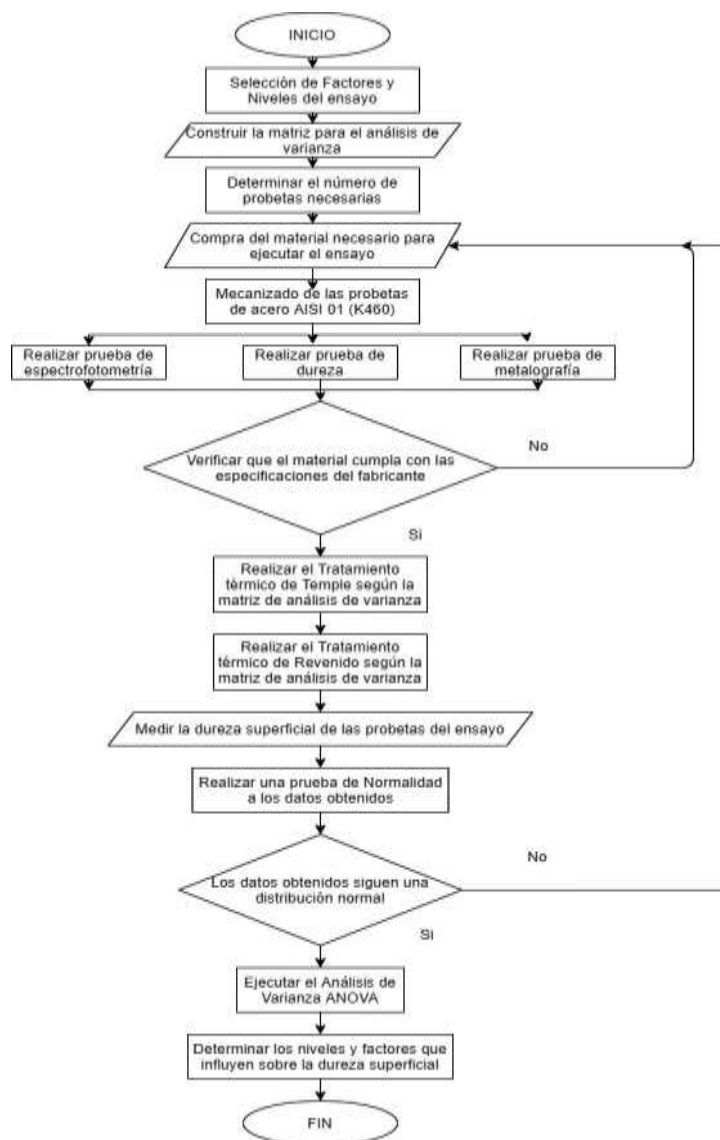


Figura 15. Procedimiento experimental de la investigación.

Fuente: Autor.

2.1 Enfoque

Se ha planteado un método cuantitativo, al existir análisis cuantitativo respecto al manejo de datos experimentales de dureza superficial, que son obtenidos después de ejecutar el tratamiento térmico de templado y revenido teniendo medios de enfriamiento a aceites automotrices de diferentes viscosidades a las probetas seleccionadas según un muestreo experimental. Se pretende dar respuesta a los objetivos planteados, con el uso adecuado de herramientas y técnicas estadísticas que permitan la recolección de datos estandarizados para su posterior análisis.

2.2 Modalidades de la investigación

El presente proyecto tiene como base las siguientes metodologías.

2.2.1 Investigación documental

Esta investigación es de carácter documental, ya que se hace uso de varias bibliografías, con lo cual se desarrolla la capacidad de realizar un análisis crítico para lograr resolver el objetivo planteado. Se realiza la recolección de información acorde a la necesidad de la investigación, lo que permite realizar enfoques y comparaciones para un buen sustento de la investigación. Para cumplir con este propósito se usa fuentes bibliográficas como libros, normas, catálogos, manuales, revistas y artículos científicos de gran impacto en la ciencia.

2.2.2 Investigación de campo

Esta investigación es de campo, ya que se ejecutarán ensayos experimentales que permitan obtener los valores de dureza superficial luego de un tratamiento térmico de templado y revenido teniendo medios de enfriamiento a aceites automotrices de diferentes viscosidades, con el uso de los mismos se procederá a realizar un análisis estadístico de varianza llamado ANOVA.

2.3 Población

La población de esta investigación hace referencia a probetas mecanizadas del acero AISI 01 (K 460) según la norma ASTM E-18 [27], a las cuales se les va a someter a un tratamiento térmico de templado y revenido teniendo medios de enfriamiento a aceites automotrices de diferentes viscosidades, con la finalidad de conocer como varía la dureza según el tratamiento térmico específico.

2.4 Muestra

2.4.1 Selección de parámetros experimentales

La selección de los parámetros experimentales se realiza determinando los factores y niveles que se encuentran inmersos en la investigación, con la observación de manuales, investigaciones previas sobre el tema de estudio se muestra en la tabla 12 los factores y niveles seleccionados para la investigación.

Tabla 13. Selección de Factores y niveles

Factores	Niveles		
Temperatura de Templado	790 °C	850 °C	
Tipo de Aceite	5W30	15W40	SAE 40
Temperatura de Revenido	300 °C	450 °C	
Tiempo de Revenido	4 h	6h	

Como se puede observar en la tabla 12 se tiene cuatro factores con sus respectivos niveles, los cuales serán la base para desarrollar el diseño experimental. Se ejecutarán los ensayos con diferentes temperaturas de templado y revenido, así como con el tiempo de revenido, además se variará la velocidad de enfriamiento en el tratamiento de templado. La figura 16 contiene el diseño del tratamiento térmico, relacionando los factores y niveles seleccionados.

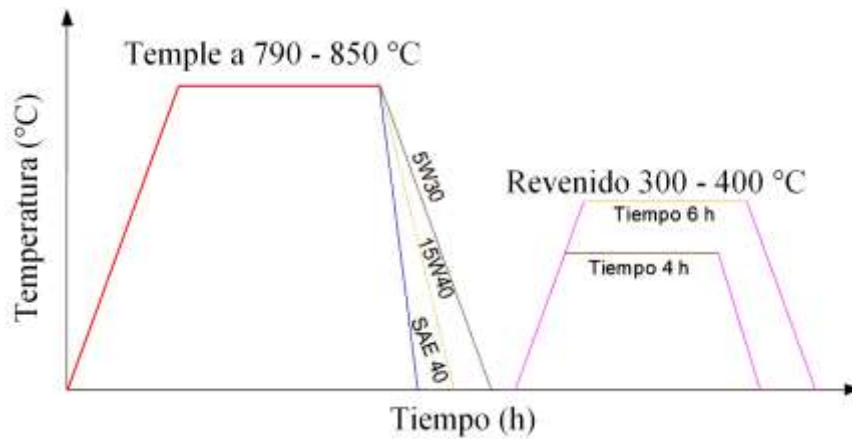


Figura 16. Gráfica de tratamiento térmico del experimento.

Fuente: Autor.

2.4.2 Diseño experimental

Técnica estadística por la cual se puede identificar y cuantificar las diferentes causas que tienen un efecto en una investigación, en estos diseños se manipulan las variables de estudio para conocer el efecto que tienen sobre la respuesta que se obtiene [27].

Analizados los factores y niveles presentados, además acorde a los diseños experimentales, se identifica que en la investigación se usará un diseño factorial desbalanceado [28] [29] ya que para cada uno de los factores no se tiene el mismo número de niveles como se observa para el factor tipo de aceite que tiene tres niveles, en cambio los demás factores solamente tienen dos factores.

Determinado el uso de un diseño factorial desbalanceado, se procede a determinar la forma de ejecutar los ensayos experimentales, con lo cual además se obtiene el número de ensayos necesarios, para ejecutar lo expuesto se utilizó un software estadístico especializado llamado Minitab, estableciendo la matriz experimental como se muestra en la tabla 13, en la cual se encuentran todas las interacciones de las variables de estudio.

Tabla 14. Matriz experimental diseño Factorial desbalanceado.

Experimento	Temp. de Temple [°C]	de Tipo de Aceite	Temp. Revenido [°C]	de Tiempo de Revenido [h]
1	790	SAE 40	300	6
2	790	15W40	300	6
3	850	15W40	450	6
4	850	5W30	300	6
5	850	5W30	450	4
6	850	15W40	300	4
7	850	5W30	450	6
8	790	5W30	450	4
9	850	15W40	300	6
10	850	SAE 40	300	6
11	790	15W40	450	4
12	790	5W30	450	6
13	790	15W40	450	6
14	850	SAE 40	450	6
15	790	SAE 40	450	4
16	850	5W30	300	4
17	850	SAE 40	450	4
18	790	SAE 40	300	4
19	790	5W30	300	6
20	850	15W40	450	4
21	790	SAE 40	450	6
22	790	5W30	300	4
23	850	SAE 40	300	4
24	790	15W40	300	4

Obtenida la matriz de la investigación, se determina que el número de probetas necesarias es de 24, cada uno de los experimentos se ejecutará acorde a la tabla 13, en la cual se indica la temperatura de temple, el tipo de aceite usado para su enfriamiento, la temperatura de revenido y el tiempo de revenido. En la figura 17 y 18 se establece el procedimiento necesario para poderlo ejecutar, con lo que queda determinado el procedimiento experimental del estudio.

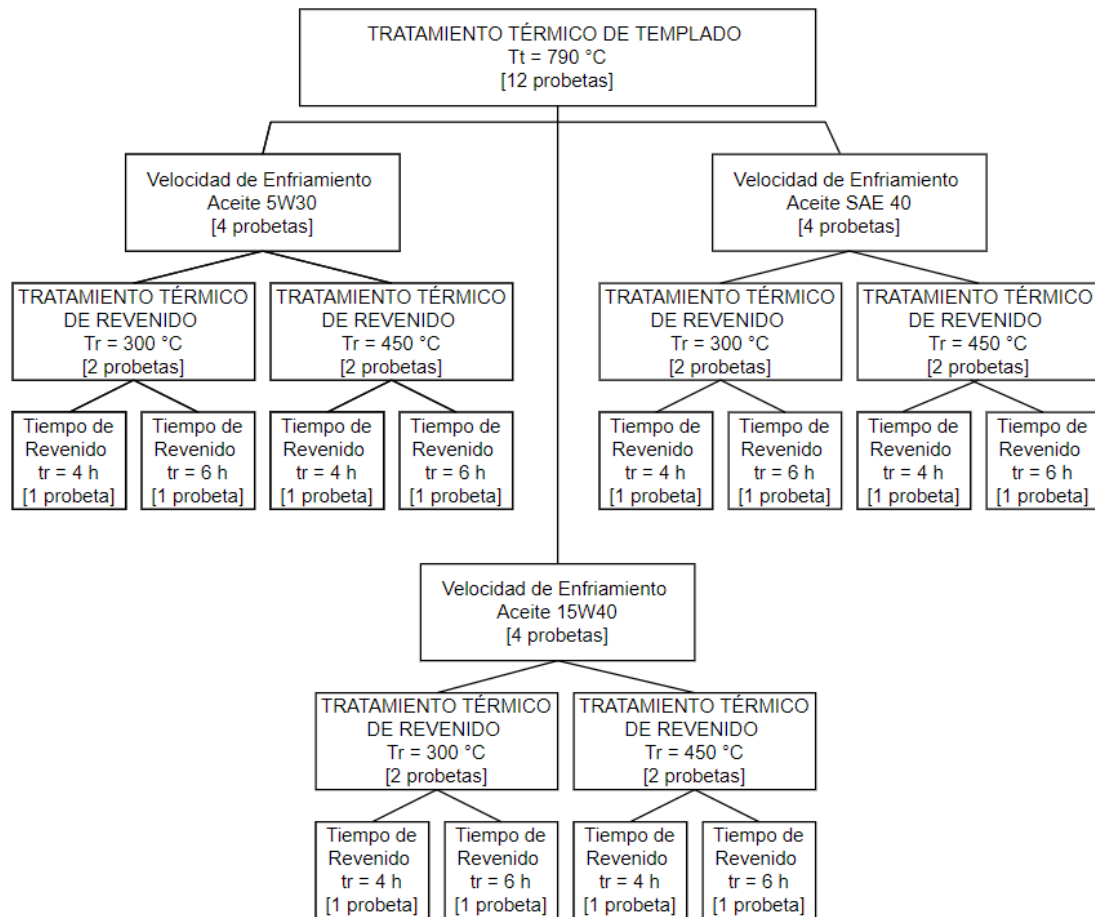


Figura 17. Procedimiento experimental para el tratamiento térmico de templeado a 790 °C.

Fuente: Autor.

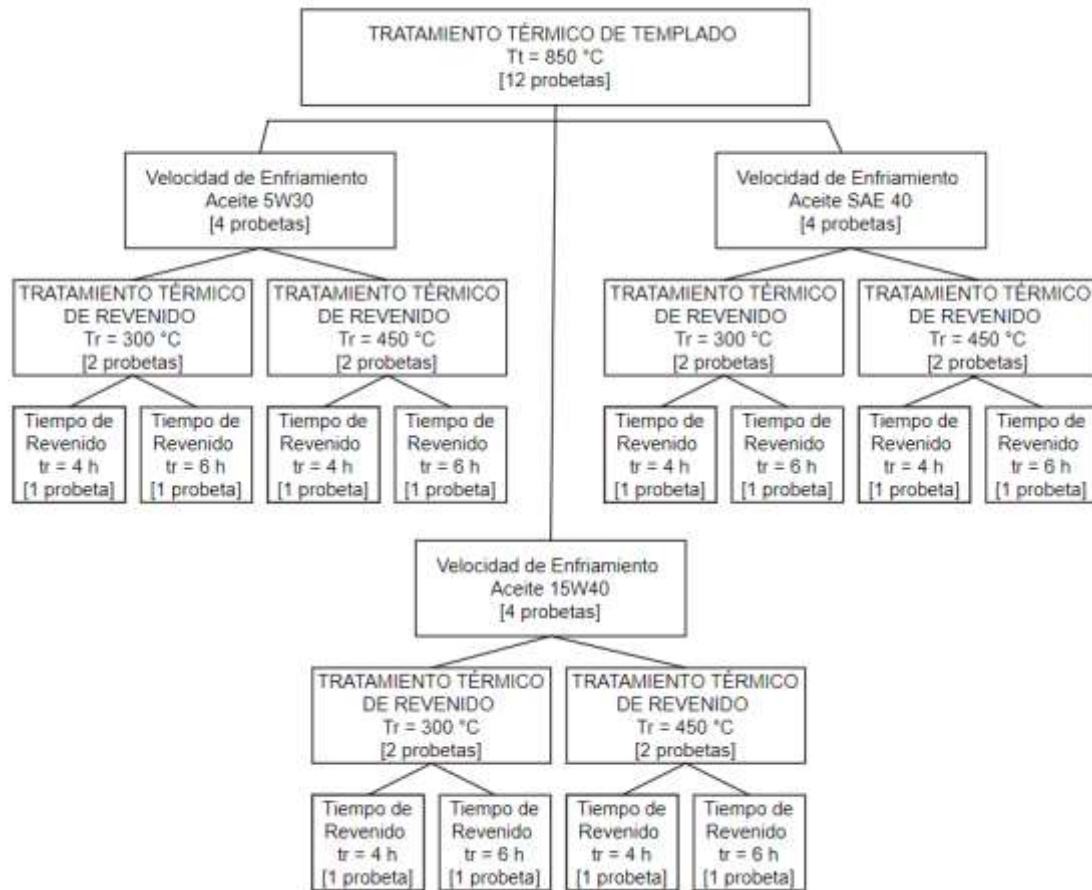


Figura 18. Procedimiento experimental para el tratamiento térmico de templado a 850 °C.

Fuente: Autor.

2.5 Material de experimentación

El material de experimentación para la ejecución de los ensayos es el acero AISI 01 (K460), el análisis químico del acero se puede observar en la tabla 12, y la tabla 13 presenta las propiedades físicas. El catálogo del proveedor sobre este acero se encuentra en el anexo 1. Este acero con utilidad para la fabricación de herramientas para trabajo en frío tiene muy poca variabilidad dimensional, además de tener múltiples aplicaciones en la industria, en la figura 19 se observa un eje de acero AISI 01 (K460) para su posterior manufactura de los especímenes experimentales.



Figura 19. Eje de acero AISI 01 (K460).

Fuente: Autor.

2.5.1 Especímenes de experimentación

Una vez establecido el material de experimentación, se requiere conocer las características de las probetas que van a ser usadas en el experimento. En base a la norma ASTM E18 [30] y a la norma NTE INEN 125 [31], se establece que las probetas deben tener las siguientes características:

- Las superficies a ser ensayadas deben ser pulidas, además deberán estar libres de cualquier material extraño u óxido.
- En la manufactura de las probetas no se debe cambiar las propiedades del material base, ya sea por trabajos en frío o por calentamientos excesivos.
- El espesor de la probeta está dado por al menos ocho veces el valor de la profundidad de indentación sobre el material ensayado.
- Posterior a ejecutarse el ensayo, no debe existir ningún tipo de deformación o marca visible sobre la superficie opuesta a la indentación.

La figura 20 indica las dimensiones de las probetas para la ejecución del experimento, con diámetro de 32 mm (1.1/4 plg) y 16 mm de espesor, considerando las características planteadas y el material disponible en el mercado.

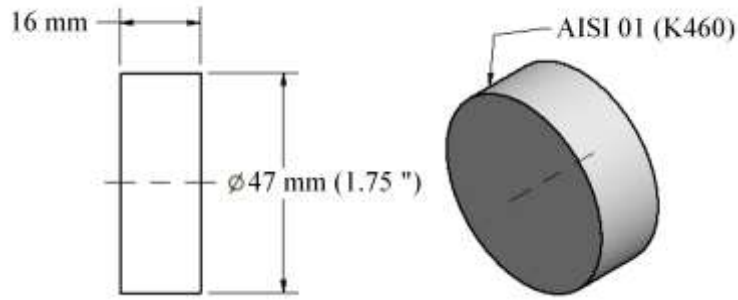


Figura 20. Dimensiones de la probeta de acero AISI 01 (K460).

Fuente: Autor.

2.6 Equipos y suministros para el desarrollo experimental

Para el desarrollo experimental se hace uso de varios equipos y suministros, los cuales son clasificados según cada una de las etapas que se tiene en la investigación como indica la figura 21.

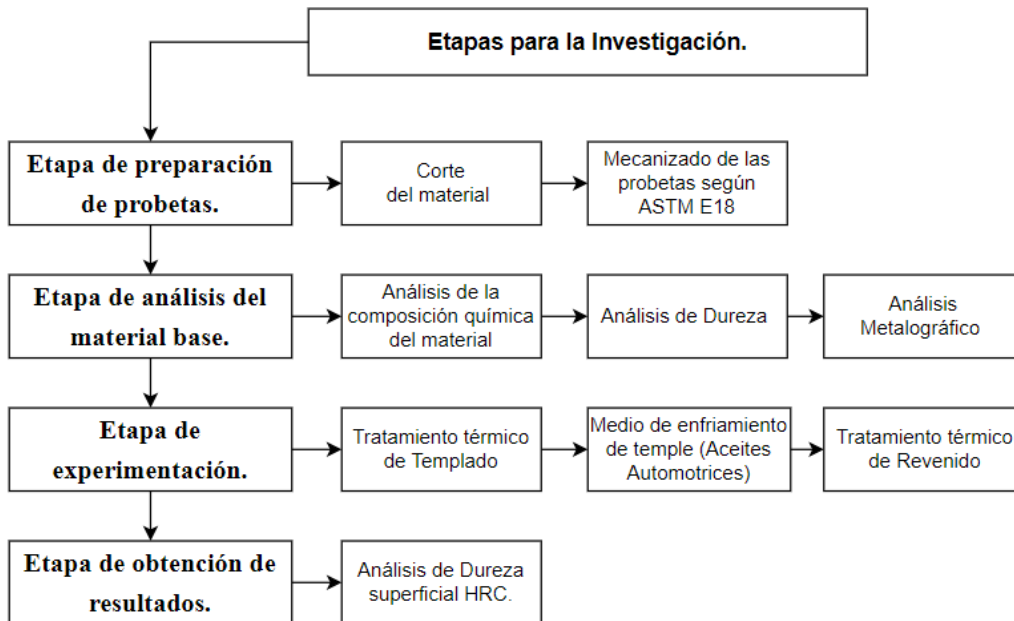


Figura 21. Etapas de la investigación.

Fuente: Autor.

2.6.1 Etapa de preparación de probetas

En la etapa de preparación de probetas en principio es necesario el corte del material base para su posterior mecanizado. Las probetas se cortan con un sobre espesor de 2 mm, es

decir 18 mm, medida necesaria para tener material y ejecutar el proceso de refrentado. Se obtiene la medida final con un espesor de 16mm. Con ésta operación se asegura el cumplimiento de las características de los especímenes de experimentación, cumpliendo con las normas ASTM E18 y NTE INEN 125. La figura 22 ilustra el uso de la sierra de banda marca Italco modelo itsb5018.



Figura 22. Sierra de banda Italco itsb5018 [32].

Con el uso de esta sierra se certifica un corte adecuado de la probeta, además de asegurar que la estructura del material no será modificada por cuestiones de calentamiento en el proceso del corte. Para este efecto se hace uso de un líquido refrigerante que es aceite soluble en agua. La tabla 14 muestra las principales características de esta sierra.

Tabla 15. Especificaciones técnicas sierra de banda Italco itsb5018 [32].

Especificaciones técnicas Sierra de banda Italco itsb5018	
Potencia del motor	1.5 hp
Capacidad de corte a 90° redondo	180 mm
Capacidad de corte a 90° rectangular	180 x 305 mm
Control de bajada	Hidráulico
Tipo de entenalla	Giratoria
Número de velocidades de corte	3
Voltaje	220 V
Número de fases	3

Una vez cortadas las probetas con un espesor de 18mm, se realiza el proceso de refrentado hasta obtener un espesor de 16 mm. La figura 23 muestra el torno marca EMCO MAT 17D utilizado en esta operación.



Figura 23. Torno EMCO MAT 17D.

Fuente: Autor.

El proceso de mecanizado es de gran importancia para el ensayo, ya que por medio de éste se cumple con los parámetros para poder ejecutar el ensayo de dureza acorde a lo que nos indica la norma. Se obtiene las probetas con las medidas establecidas, y con una superficie totalmente pulida gracias a sus características. La tabla 15 muestra las especificaciones técnicas del torno EMCO MAT 17D (Ver anexo 2)

Tabla 16. Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT 17D [33].

Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT 17D	
Potencia del motor	5.3 kW
Distancia entre centros	700 mm
Altura de centros	170 mm
Volteo sobre la bancada	340 mm
Volteo sobre el carro transversal	190 mm
Carro longitudinal	600 mm
Velocidad del husillo	30-3000 rpm
Gamas de velocidad	4
Alimentación	400-440 V/ 50(60) Hz
Peso total	755 kg

2.6.2 Etapa de análisis del material base

Una vez adquirido el acero AISI 01 (K460), es importante ejecutar pruebas al mismo para corroborar sus propiedades. Para éste efecto se ejecutará un ensayo de espectrofotometría en el cual se conoce la composición química que tiene el material, dicha composición debe ser comparada con la que se indica en su ficha técnica. Para realizar el ensayo se hace uso de un espectrofotómetro Oxford Instruments modelo Foundry-Master Xpert como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Espectrofotómetro Oxford Instruments modelo Foundry-Master Xpert.

Fuente: Autor.

Con este equipo se ejecutan análisis cuantitativos y cualitativos, con lo cual se conoce el elemento químico y el porcentaje que constituye cada elemento aleante del acero. La muestra a ser analizada se coloca sobre un soporte y se forma un arco eléctrico entre la pieza y la superficie. Se realiza una descarga en la cual se genera una quema (chispa) sobre un área específica del material, al realizar la descarga la parte de la quema se derrite y se evapora por la chispa generada. Resultado de la operación se genera un plasma que emite una luz, ésta es analizada espectralmente mediante dispositivos de carga y microprocesadores semiconductores con sensibilidad a la luz. Para éste efecto el espectrofotómetro Oxford Instruments modelo Foundry-Master Xpert tiene las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 16 y en el anexo 3.

Tabla 17. Especificaciones espectrofotómetro técnicas Oxford Instruments modelo Foundry-Master Xpert [34].

Parámetro	Descripción
Dimensiones	(385 x 740 x 810) mm
Peso aproximado	85 kg
Voltaje	110-230 V, 50-60 Hz
Consumo de energía	600 VA
Sistema óptico	Óptica multi-CCD con montaje
Distancia focal	350 mm y 125 mm
Número de líneas por cuadrícula	3000/mm y 1500/mm
Rango de onda	130–780 nm

Otro ensayo que se ejecuta para el análisis del material base es el de dureza superficial, en el cual este indentador penetra la superficie del acero debido a la carga determinada. Posterior a ésta operación se retira el indentador y se cuantifica la huella que se hizo sobre el material ensayado. La figura 25 muestra el durómetro marca Phase II modelo 900 – 365 utilizado.



Figura 25. Durómetro Phase II modelo 900 – 365.

Fuente: Autor.

La prueba a ejecutarse es ensayo Rockwell C, ya que se obtiene la medida de forma directa y además es adecuado para ejecutar a cualquier tipo de material, se ejecuta con una carga de 150 kgf con indentador punta de diamante de 120°, para éste efecto el durómetro marca Phase II modelo 900 – 365 tiene las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 17, en el anexo 4 se presenta el certificado de calibración del equipo utilizado.

Tabla 18. Especificaciones durómetro Phase II modelo 900 – 365 [35].

Especificaciones durómetro Phase II modelo 900 – 365	
Marca	Phase II PLUS
Modelo	900 – 365
Apreciación	0.1 HR
Carga	10 – 150 kgf
Duración de carga	2 – 50 s
Escala	HRA, HRB, HRC, HRV

Para finalizar con la etapa de análisis, se procede a ejecutar una metalografía del material. En el proceso de obtener la metalografía primero es necesario pulir la superficie de una muestra del material base, hasta obtener una superficie tipo espejo. La figura 26 indica la máquina pulidora desbastadora EcoMet 30 utilizada en esta acción.



Figura 26. Pulidora desbastadora EcoMet 30.

Fuente: Autor.

Al realizar el proceso de pulido de la muestra metalográfica, se la pasa por varias lijas de diferentes rugosidades, comenzando desde las más bastas hasta las más finas, para terminar, puliendo con paño metalográfico. En la pulidora desbastadora se modifica el giro del plato, el giro de la muestra y la presión ejercida sobre la muestra, para éste efecto la pulidora desbastadora EcoMet 30 tiene las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 18 y en el anexo 5.

Tabla 19. Especificaciones pulidora desbastadora EcoMet 30 [36].

Especificaciones pulidora desbastadora EcoMet 30	
Tamaño de la máquina	(500 mm L x 650 mm P x 650 mm A)
Tamaño de la platina	8 pulgadas (203 mm) /10 pulgadas (254 mm) /12 pulgadas (305 mm)
Potencia del motor de la platina	440 W
Velocidad de la platina	50 – 500 rpm en incrementos de 50 rpm
Potencia de la máquina	100 – 240 VCA 50/60 Hz, monofásico
Uso de la alimentación de la base y el cabezal	1000 W, 8.8/4.3 A a 115/230 VCA

Una vez pulida la muestra metalográfica se procede a dar un ataque químico a la superficie preparada, con ésta operación se facilita la observación de la microestructura del material en el microscopio. La figura 27 contiene el kit para ataque metalográfico.



Figura 27. Kit para ataque metalográfico.

Fuente: Autor.

Posterior al ataque químico, se coloca la muestra en un microscopio, se busca el mejor objetivo, se enfoca la imagen y se regula la intensidad de luz del lente. Con esto se logra observar la metalografía del material analizado. La figura 28 indica un microscopio marca Buehler modelo ViewMet invertido, utilizado para ejecutar esta operación.



Figura 28. Microscopio Buehler modelo ViewMet invertido.

Fuente: Autor.

Con la metalografía obtenida se realiza el estudio de la estructura y constitución del acero AISI 01 (K460). Además, se podrá conocer el comportamiento que tendrá el material, asegurando que éste cumple con ficha técnica correspondiente entregada por el proveedor. La tabla 19 contiene las características del microscopio marca Buehler modelo ViewMet invertido.

Tabla 20. Especificaciones microscopio marca Buehler modelo ViewMet invertido [37].

Especificaciones microscopio marca Buehler modelo ViewMet invertido	
Tipo de mesa	Mecánica
Recorrido de mesa XY	15 x 15 mm
Iluminación	6V / 30W
Par de oculares	10X
Objetivos	Plan Achromat 5x, 10x, 20x y 50x
Filtros	Amarillo, verde y azul

2.6.3 Etapa de experimentación

La etapa de experimentación consiste en ejecutar los tratamientos térmicos motivo de estudio. Primero se ejecuta el tratamiento térmico de templado, para incrementar la dureza superficial y la resistencia mecánica del material. Para lograr estas propiedades se debe calentar a las probetas a temperatura de austenización, mantenerla a dicho valor por un tiempo y ejecutar un enfriamiento brusco. Para el caso de estudio los medios de enfriamiento serán aceites automotrices de diferentes viscosidades. La figura 29 muestra el horno de tratamiento térmico de temple de la marca Nabertherm modelo N7 / H utilizado para llevar a cabo el calentamiento de las probetas.



Figura 29. Horno de tratamiento térmico de temple Nabertherm modelo N7 / H.

Fuente: Autor.

En horno para el tratamiento térmico de temple debe tener la capacidad de soportar el aumento de la temperatura por un tiempo suficiente hasta que la probeta experimental se encuentre a la misma temperatura en toda su masa, además del tiempo de mantenimiento para obtener la estructura cristalina adecuada, para éste efecto el horno Nabertherm modelo N7 / H tiene las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 20 y en el anexo 6.

Tabla 21. Especificaciones técnicas horno Nabertherm modelo N7 / H [38].

Especificaciones técnicas horno Nabertherm modelo N7 / H	
Temperatura máxima	1.280 °C (2.336 °F)
Temperatura mínima	0 °C (32 °F)
Calentamiento	Tres lados, dos laterales y la solera
Aislamiento	Multicapa con ladrillos refractarios
Potencia	3,0 kW
Voltaje	220 V / 60 Hz

Una vez que las probetas han permanecido por el tiempo y la temperatura determinada se procede a ejecutar el enfriamiento, con una velocidad de enfriamiento alta para que la operación sea brusca y se dé la transformación de la microestructura del material. En la investigación se hace uso de aceites automotrices de diferentes viscosidades (SAE 5W30, SAE 15W40 y SAE 40 monogrado) como medio de enfriamiento, se hace uso de los aceites marca MOBIL ya que es una marca reconocida a nivel mundial desde 1974, además como se indica en la revista Líderes es una de las marcas que más tiempo lleva en el mercado ecuatoriano y está entre las empresas que más lubricantes comercializa en nuestro medio. La figura 30 presenta los lubricantes utilizados en esta investigación.



Figura 30. Aceite automotriz SAE 5W30, SAE 15W40 y SAE 40 monogrado [39].

Uno de los motivos de desarrollar la investigación es analizar la significancia de la viscosidad de cada tipo de aceite, sobre la dureza del acero luego de templar y revenir. La

tabla 22 presenta las especificaciones técnicas de cada uno de los aceites a ser utilizados (ver anexo 7).

Tabla 22. Especificaciones de aceites SAE 5W30, 15W40 y SAE 40 monogrado [39].

Grado SAE	5W30	15W40	40 monogrado
Viscosidad @ 100 °C, cSt (ASTM D445)	11	14.4	15.5
Viscosidad @ 40 °C, cSt, (ASTM D445)	61.7	106	160
Indice de viscosidad	172	140	98
Viscosidad HTHS, mPa·s @ 150 °C (ASTM D4683)	3.1	-	4.25
Punto de fluidez, °C, ASTM D97)	-42	-30	-24
Punto de inflamación, °C (ASTM D92)	230	228	240
Densidad @ 15.6 °C, kg/l, ASTM D4052)	0.855	0.88	0.89

Para culminar con la etapa de experimentación se procede a realizar el tratamiento térmico de revenido luego de templar. Mediante éste, se elimina las tensiones internas generadas circundantes a los átomos de carbono que quedan contenidos en esta malla cristalina del hierro. La figura 31 indica el un horno de tratamiento térmico de revenido de la marca Nabertherm modelo N15 / 65 HA, utilizado para este tratamiento.



Figura 31. Horno de tratamiento térmico de revenido Nabertherm modelo N15 / 65 HA.

Fuente: Autor.

Para ejecutar el tratamiento térmico de revenido se selecciona una temperatura más baja a la crítica, para mantener a dicho valor por un tiempo determinado y se ejecuta el enfriamiento, este enfriamiento no tendrá influencia sobre el material siempre y cuando las temperaturas no alcancen las zonas de fragilidad del material, para este efecto el horno Nabertherm modelo N15 / 65 HA tiene las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 22, en el anexo 8.

Tabla 23. Especificaciones técnicas horno Nabertherm modelo N15 / 65 HA [38].

Especificaciones técnicas horno Nabertherm modelo N15 / 65 HA	
Temperatura máxima	650 °C (1202 °F)
Temperatura mínima	0 °C (32 °F)
Calentamiento	Tres lados, dos laterales y la solera
Aislamiento	Multicapa con ladrillos refractarios
Potencia	3,0 kW
Voltaje	220 V / 60 Hz

2.6.4 Etapa de obtención de resultados

En la etapa de obtención de resultado se mide la variable de respuesta del estudio. Para la investigación es la dureza superficial obtenida luego de templar y revenir las probetas experimentales. Para obtener la medida de la dureza superficial se hace uso de lo expuesto en la etapa del material base, en la cual se usa un durómetro Phase II modelo 900 – 365. El ensayo de dureza superficial se desarrolla en función a lo que nos indica la norma ASTM E18 (ver anexo 9). La figura 32 define las ubicaciones en las cuales se realizará las distintas mediciones. Es necesario considerar el diámetro del indentador para conocer el lugar exacto y realizar las mediciones de la dureza.

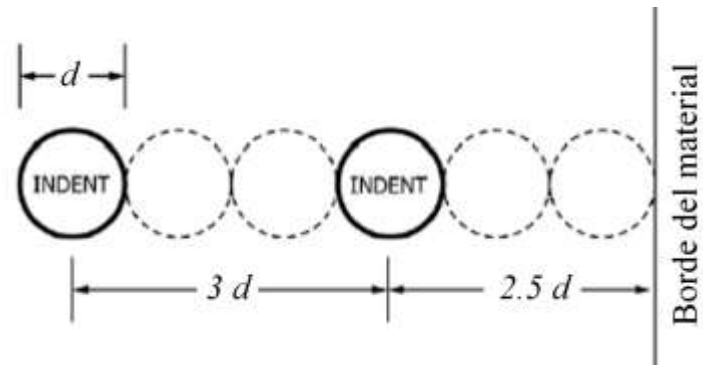


Figura 32. Distancia para realizar las mediciones de dureza superficial [30].

La figura 33 define los cuatro puntos de medida de dureza que se encuentran circundantes a la medida central con el diámetro del indentador (d).

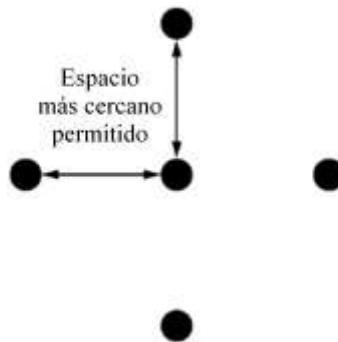


Figura 33. Ubicación de las mediciones de dureza superficial [30].

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Etapa de preparación de probetas

En la etapa de preparación de probetas se inicia con su corte en una sierra de banda Italco ITSB5018, en la figura 34 se muestra las probetas cortadas para proceder con el mecanizado. Se debe considerar que el corte es ejecutado con el espesor de 18 mm, para tener material suficiente para ejecutar el refrentado de las dos superficies.

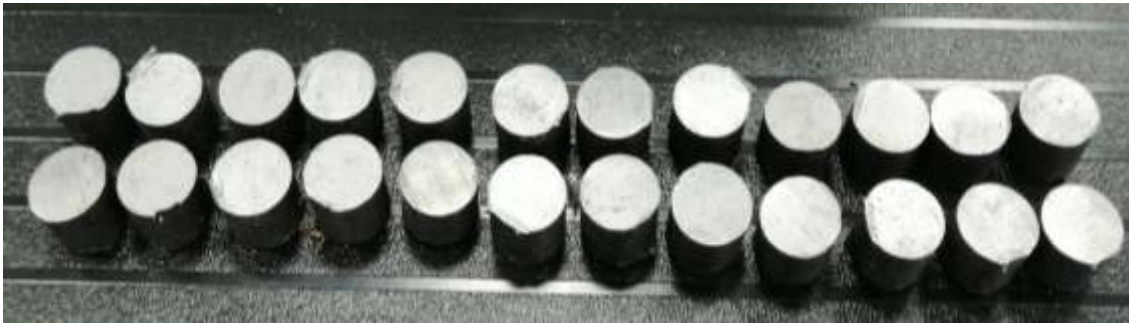


Figura 34. Probetas cortadas.

Fuente: Autor.

Con el fin de obtener una superficie con un acabado superficial acorde a lo que indica la norma ASTM E18 [30] y a la norma NTE INEN 125 [31], se ejecuta el refrentado de las caras que fueron afectadas por el corte, La figura 35 evidencia este procedimiento utilizando el torno EMCO MAT 17D.



Figura 35. Proceso de mecanizado en el Torno EMCO MAT 17D.

Fuente: Autor.

La figura 36 muestra el porta-herramienta tipo SDJCR 2020 K11 para el proceso de mecanizado. Se puede destacar un ángulo de filo de la herramienta 93° , un ángulo de inclinación de -3° , un ancho del mango de 20 mm, una altura de 20 mm, y una longitud funcional de 125 mm.



Figura 36. Porta – herramienta SDJCR 2020 K11.

Fuente: Autor.

La figura 37 indica una herramienta de corte tipo DCMT 11T3 04 PM seleccionada acorde a las características del porta – herramienta. Es importante destacar, un radio de punta de 0.4 mm, con dos filos cortantes, un espesor de 4 mm, y un ángulo de incidencia principal de 7° .

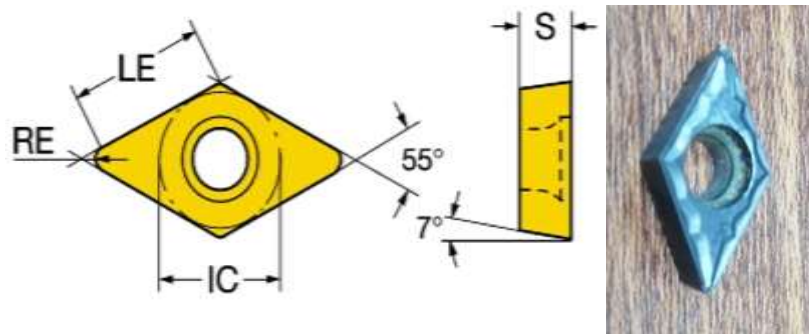


Figura 37. Herramienta de corte tipo DCMT 11T3 04 PM [40].

Una vez seleccionada la herramienta de corte, se hace uso de los parámetros indicados en la ficha técnica como se muestra en la figura 38, se mecaniza con profundidad de corte inferior a 1.5mm, 0.15 mm/rev y 365 m/min para avance y velocidad, respectivamente.

P	ap 1.5 mm (0.3 - 3.2)
	fn 0.15 mm/r (0.08 - 0.23)
	vc 365 m/min (390 - 335)

Figura 38. Parámetros de corte del mecanizado [41].

Una vez seleccionado el porta herramienta, la herramienta de corte y combinación de factores y niveles, se procede a mecanizar las probetas de experimentación. La figura 39 evidencia las probetas para realizar los experimentos, una vez obtenidas, es posible ejecutar los ensayos experimentales acorde a la matriz experimental del diseño factorial desbalanceado planteado en el capítulo II.



Figura 39. Probetas mecanizadas de experimentación.

Fuente: Autor.

3.2 Etapa de análisis del material base

Para ejecutar el experimento es necesario como primer paso constatar que el material adquirido corresponda a las especificaciones del material AISI 01 (K460), para esto se ejecuta una prueba en la cual se verifica la composición química del material, la dureza del material de suministro y un análisis metalográfico.

3.2.1 Composición química del acero

Para ejecutar el análisis de composición química del material se hace uso de un espectrofotómetro Oxford Instruments modelo Foundry – Master Xpert como se indica en la figura 40. Al realizar éste procedimiento el equipo hace uso de una emisión óptica espectroscopia, el mismo que es controlado por el software del equipo.



Figura 40. Ensayo de espectrofotometría del material base.

Fuente: Autor.

La figura 41 indica las quemaduras en la superficie del material al llevar a cabo este procedimiento, previo a esto, se debe asegurar que la probeta esté plana para garantizar el contacto con el equipo, asegurando que no exista ningún tipo de fuga de luz entre su interfaz. Si existe fuga de luz en la interfaz se estará incurriendo en errores en la lectura de la emisión óptica, que se verá reflejada con valores erróneos en la composición química del material.



Figura 41. Ensayo de espectrofotometría quemaduras en el material base.

Fuente: Autor.

Una vez ejecutado el ensayo se obtiene el porcentaje de composición química del acero AISI 01 (K460) por cada quema realizada como se muestra en el anexo 10. Se obtiene el promedio de las quemaduras realizadas, valor que será tomado como el resultado del ensayo. La tabla 23 indica el contenido de cada elemento del análisis del material AISI 01 (K460).

Tabla 24. Resultado de la composición química del acero AISI 01 (K460).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	V
Porcentaje [%]	1.03	0.229	1.32	0.594	0.0879

Para la validación del resultado obtenido, se observa la desviación estándar de cada uno de los elementos estudiados de la aleación, como se muestra en el anexo 11. En la tabla 24 se indica la desviación obtenida para los elementos principales del acero AISI 01 (K460), ésta debe ser menor al 5 % ya que si pasa dicho valor el ensayo efectuado no será válido. En éste caso se tendrá que proceder con más quemas e ir seleccionando las medidas que estén afectando a la desviación estándar para retirarlas y obtener una desviación estándar menor al 5 %.

Tabla 25. Resultado de la composición química del acero AISI 01 (K460).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	V
Desviación estándar [%]	1.9	1.3	0.7	0.7	2.4

Como se observa en los resultados obtenidos, para cada elemento estudiado se tiene una desviación menor al 5 %, por lo cual se concluye que el ensayo realizado se encuentra ejecutado de una manera correcta. Estos resultados han sido comprobados con los indicados en la hoja técnica del fabricante y se observa una diferencia insignificante por lo cual se corrobora que el material estudiado corresponde al AISI 01 (K460).

3.2.2 Análisis de dureza del material base

La figura 42 muestra un durómetro marca Phase II modelo 900 – 365, utilizado como parte del experimento, donde se ejecuta el análisis de la dureza del material base o suministro.



Figura 42. Ensayo de dureza en el material base.




Fuente: Autor.

Para ejecutar el análisis de dureza es importante validar la calibración del equipo. Se ejecutan pruebas para la comprobación de dureza obtenida con los patrones de calibración del equipo. La tabla 25 contiene la evidencia de calibración obtenida en el durómetro Phase II modelo 900 – 365, con lo cual se afirma el correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 26. Calibración obtenida durómetro Phase II modelo 900 – 365.

Patron de Calibración	Datos de Calibración	Dureza Calibrada						
<p>63.5 HRC</p> 	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="592 1469 767 1509">Serial number</td> <td data-bbox="783 1469 951 1509">120264</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 1576 767 1617">Hardness value</td> <td data-bbox="783 1576 951 1617">63.5 HRC</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 1684 767 1724">Uniformity of hardness</td> <td data-bbox="783 1684 951 1724">0.02</td> </tr> </table>	Serial number	120264	Hardness value	63.5 HRC	Uniformity of hardness	0.02	
Serial number	120264							
Hardness value	63.5 HRC							
Uniformity of hardness	0.02							

Tabla 27. Calibración obtenida durómetro Phase II modelo 900 – 365. (Continuación)

Patron de Calibración	Datos de Calibración	Dureza Calibrada						
<p>44.8 HRC</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Serial number</td> <td>120204</td> </tr> <tr> <td>Hardness value</td> <td>44.8 HRC</td> </tr> <tr> <td>Uniformity of hardness</td> <td>0.4</td> </tr> </table>	Serial number	120204	Hardness value	44.8 HRC	Uniformity of hardness	0.4	
Serial number	120204							
Hardness value	44.8 HRC							
Uniformity of hardness	0.4							
<p>25.7 HRC</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Serial number</td> <td>120215</td> </tr> <tr> <td>Hardness value</td> <td>25.7 HRC</td> </tr> <tr> <td>Uniformity of hardness</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	Serial number	120215	Hardness value	25.7 HRC	Uniformity of hardness	0.5	
Serial number	120215							
Hardness value	25.7 HRC							
Uniformity of hardness	0.5							

Una vez validado el durómetro a ser utilizado, se ejecuta la prueba de dureza conforme lo indica la norma ASTM E18. La figura 43 indica los ensayos ejecutados en un ensayo Rockwell C, a 150 kgf de carga configurada utilizando el indentador punta de diamante de 120°.



Figura 43. Ensayo de dureza en el material base.

Fuente: Autor.

En la tabla 26, se muestra el ensayo de dureza ejecutado en el material base con un promedio de 14.12 HRC, dureza correspondiente al acero AISI 01 (K460) según las especificaciones del fabricante, por tal motivo se corrobora que el material adquirido tiene las especificaciones del material motivo de estudio.

Tabla 28. Ensayo de dureza acero AISI 01 (K460).

PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
				
14 HRC	14 HRC	13.9 HRC	14.2 HRC	14.5 HRC
DUREZA PROMEDIO = 14.12 HRC				

3.2.3 Análisis metalográfico

Otra de las etapas de experimento es realizar un análisis metalográfico, para conocer la microestructura del material a ser analizado. La figura 44 indica una prensa metalográfica Buehler SimpliMet 4000, utilizada para poder ejecutar el proceso de pulido de la muestra con el encapsulado de la probeta.



Figura 44. Proceso de encapsulado de la muestra metalográfica.

Fuente: Autor.

La figura 45 especifica los parámetros de tiempos, temperaturas y presiones en el encapsulado del montante donde se hace uso del consumible Buehler PhenoCure. Este proceso hace uso de un tiempo de calentamiento de 1.5 min, una presión de 290 bar, a una temperatura de 180 °C, con enfriamiento de agua del suministro.



Figura 45. Parámetros de encapsulado de la muestra metalográfica.

Fuente: Autor.

La figura 46 indica la ejecución del proceso del montante una vez establecidos los parámetros y se obtiene la muestra encapsulada. Con esta muestra se puede hacer uso de las pulidoras automáticas disponibles en el laboratorio.

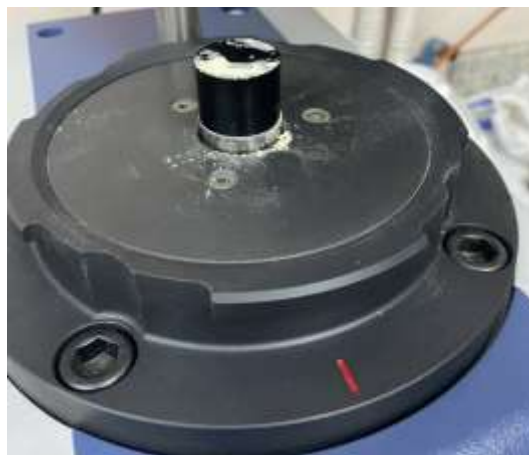


Figura 46. Montante encapsulado para pulido metalográfico.

Fuente: Autor.

Con la muestra obtenida se procede a ejecutar el proceso de pulido grueso de forma manual con lijas número 500, 1000, 1200 y 1500. La figura 47 presenta las pulidoras desbastadora automática EcoMet 30, con lijas 2000, 2500, 3000 y paño metalográfico para ejecutar el pulido fino.



Figura 47. Pulido metalográfico manual - automático.

Fuente: Autor.

La figura 48 indica el procedimiento del ataque químico a la probeta metalográfica una vez ejecutado todo el proceso de pulido. Con esta operación es posible observar de una manera más fácil en el microscopio la microestructura del material. Para el ataque químico se hace uso de ácido Nital 2, por un tiempo de exposición de 25 segundos, para su posterior lavado con agua conforme lo indica el ASM handbook volumen 9 (metallography and microstructures).



Figura 48. Ataque químico sobre muestra metalográfica.

Fuente: Autor.

Para observar la microestructura del material se hace uso de un microscopio Buehler ViewMet como se muestra en la figura 49. En el cual se busca obtener la mejor posición de la muestra para poder obtener la imagen.



Figura 49. Obtención de microestructura de la muestra metalográfica.

Fuente: Autor.

La microestructura obtenida del acero AISI 01 (K460) se muestra en la figura 50, fue obtenida con un aumento de 40X, en la cual se observa la estructura de cementita sobre el 50% de la superficie de la probeta. Mientras que, la zona con alteraciones representa perlita, con un porcentaje alrededor de 40 %.

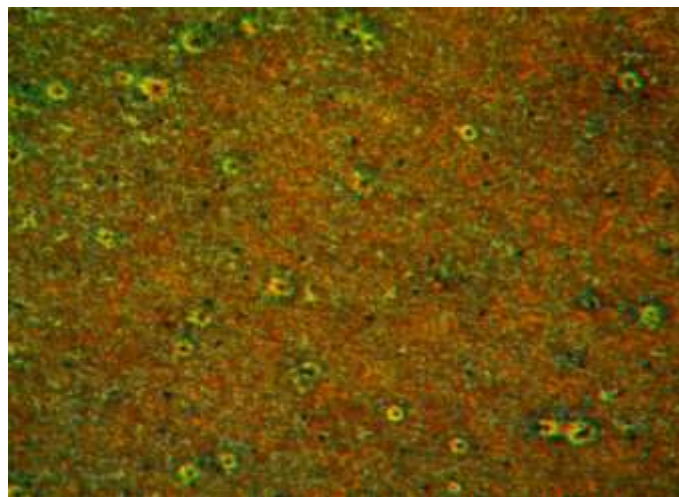


Figura 50. Microestructura acero AISI 01 (K460).

Fuente: Autor.

3.3 Etapa de experimentación

En la etapa de experimentación se hace uso de los niveles y factores seleccionados para el estudio. Se inicia a templar desde temperaturas de 790 °C y 850 °C por el lapso de 1 h, los medios de enfriamiento utilizados son aceites con diferentes viscosidades 5W30, 15W40 y SAE 40. Para aliviar tensiones internas que se generen en el interior del material se ejecuta el revenido a temperaturas de 250 °C y 300 °C por el lapso de tiempo de 4 h y 6 h. Cabe indicar que cada uno de los experimentos se ejecuta acorde al diseño de la matriz factorial presentada en el capítulo II en la tabla 13.

3.4.1 Tratamiento térmico de templado

La figura 51 indica los aceites automotrices con diferentes viscosidades (5W30, 15W40 y SAE 40) para ejecutar el tratamiento térmico de templado, siendo primordial conocer el medio de enfriamiento en el cual se realizan.



Figura 51. Medios de enfriamiento del tratamiento térmico.

Fuente: Autor.

Como parte del proceso se verifica que el aceite a ser utilizado como medio de enfriamiento sea original, además se coloca en un recipiente que permita agitar las

probetas al momento de realizar el procedimiento. La figura 52 pone en manifiesto la ejecución de esta acción.



Figura 52. Disposición de medios de enfriamiento del tratamiento térmico.

Fuente: Autor.

Para templar, se calienta las probetas en un horno Nabertherm N7 / H, en el cual se coloca los diferentes parámetros de tiempos y temperaturas consideradas en el estudio. Una vez consideradas todas las variantes en el tratamiento térmico se lo ejecuta conforme se explica en la tabla 27 en su procedimiento experimental.

Tabla 29. Procedimiento experimental de temple.

Descripción	Procedimiento
<p>Ingresar el recipiente con las probetas a ser templadas en el interior del horno.</p>	


Tabla 27. Procedimiento experimental de temple. (Continuación)

Descripción	Procedimiento	
Colocar los parámetros del tratamiento térmico, esperar el tiempo de calentamiento y mantenimiento en el horno.		
Retirar las probetas del horno.		
Colocar las probetas en los medios de enfriamiento.		
Agitar el recipiente con las probetas hasta su enfriamiento.		

3.4.2 Tratamiento térmico de revenido

Posterior al templado de los experimentos, se ejecuta el revenido con la finalidad de aliviar esfuerzos internos generados en el material, para éste efecto se hace uso de un horno Nabertherm N15 / 65 HA, en el cual se coloca los diferentes parámetros de tiempos y temperaturas consideradas en el estudio. Una vez consideradas todas las variantes en el tratamiento térmico se lo ejecuta conforme se explica en la tabla 28 en su procedimiento experimental.

Tabla 30. Procedimiento experimental de revenido.

Descripción	Procedimiento
<p>Ingresar el recipiente con las probetas a ser revenidas en el interior del horno.</p>	
<p>Colocar los parámetros del tratamiento térmico, esperar el tiempo de calentamiento y mantenimiento en el horno.</p>	
<p>Retirar las probetas del horno.</p>	

3.4 Etapa de obtención de resultados

Una vez que se templaron y revinieron las probetas, conforme el diseño experimental planteado, se procede a medir la dureza obtenida en las probetas para cada uno de los ensayos ejecutados. La figura 53 contiene las probetas realizadas la medición de dureza experimental. Cabe resaltar que el durómetro a ser utilizado ya se encuentra calibrado conforme se indicó en el apartado anterior.



Figura 53. Experimento obtenido mediante el estudio.

Fuente: Autor.

3.4.1 Obtención de datos de dureza superficial

Uno de los objetivos motivo de estudio es conocer como varía la dureza superficial del acero AISI 01 (K460) después de templar y revenir, en la tabla 29 se presenta las medidas de dureza obtenidas para cada uno de los ensayos. Los ensayos se ejecutaron acorde a la norma ASTM E18, cada una de las medidas presentadas se encuentran en el anexo 12.

Tabla 31. Dureza superficial obtenida para cada experimento.

Experimento	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Promedio
1	58.1	58.2	58.2	58.4	58.1	58.2
2	62.3	62.2	62	62	61	61.9
3	60.8	60.9	60.6	60.9	60.3	60.7
4	57.1	54.5	55.8	57.4	57.3	56.42
5	55.2	55	55.3	55.2	55.2	55.18
6	63	63.2	62	63.2	62.8	62.84
7	54.8	54.8	55.2	55.2	55.2	55.04
8	58.3	57.9	58	59.1	58.8	58.42
9	62.1	61.6	62.3	61.7	62.1	61.96
10	60.1	60.3	59.6	60.1	60.4	60.1
11	55.1	55.5	55.7	55.3	54.3	55.18
12	56.3	56.3	56.6	56.8	56.2	56.44
13	54	54.8	54.5	54.8	55.8	54.78
14	56.8	56.8	56.7	56.6	56.9	56.76
15	56.2	56.5	56.8	56	57	56.5
16	57.1	56.7	56.8	57.5	57.2	57.06
17	57.1	57	57.2	57.8	58	57.42
18	59.1	59.3	58.8	59.3	59.4	59.18
19	59	59.7	59.5	59.7	58.9	59.36
20	60.7	60.6	61.6	61.2	61.6	61.14
21	56.1	56.2	57.4	56.5	57.7	56.78
22	57.2	56.8	57	57.4	57.1	57.1
23	57.2	56.1	58.5	58.4	58.3	57.7
24	57	56.9	58.2	57.1	54.7	56.78

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo analiza e interpreta los resultados obtenidos mediante ANOVA, utilizando Minitab como herramienta de análisis numérico computacional.

4.1 Resultados obtenidos

Una vez concluida la etapa de experimentación, en la tabla 30 se presenta el experimento ejecutado con cada uno de sus factores y niveles, así como la respuesta objeto de estudio que es la dureza obtenida para cada ensayo. Entre los resultados obtenidos, se observa durezas con un rango de 54 HRC y 62 HRC.

Tabla 32. Resultados obtenidos en el experimento.

Experimento	Temp. de Temple [°C]	Tipo de Aceite	Temp.de Revenido [°C]	Tiempo.de Revenido [h]	Dureza media [HRC]
1	790 °C	SAE 40	250 °C	6h	58.20
2	790 °C	15W40	250 °C	6h	61.90
3	850 °C	15W40	300 °C	6h	60.70
4	850 °C	5W30	250 °C	6h	56.42
5	850 °C	5W30	300 °C	4h	55.18
6	850 °C	15W40	250 °C	4h	62.84
7	850 °C	5W30	300 °C	6h	55.04
8	790 °C	5W30	300 °C	4h	58.42
9	850 °C	15W40	250 °C	6h	61.96
10	850 °C	SAE 40	250 °C	6h	60.10
11	790 °C	15W40	300 °C	4h	55.18
12	790 °C	5W30	300 °C	6h	56.44
13	790 °C	15W40	300 °C	6h	54.78
14	850 °C	SAE 40	300 °C	6h	56.76
15	790 °C	SAE 40	300 °C	4h	56.50
16	850 °C	5W30	250 °C	4h	57.06
17	850 °C	SAE 40	300 °C	4h	57.42
18	790 °C	SAE 40	250 °C	4h	59.18
19	790 °C	5W30	250 °C	6h	59.36
20	850 °C	15W40	300 °C	4h	61.14
21	790 °C	SAE 40	300 °C	6h	56.78
22	790 °C	5W30	250 °C	4h	57.10
23	850 °C	SAE 40	250 °C	4h	57.70
24	790 °C	15W40	250 °C	4h	56.78

La figura 54 indica la serie de tiempo de la dureza experimental alcanzada para cada uno de los ensayos ejecutados. Se observa las diferencias existentes para cada uno de los ensayos. Si de primera instancia se observa los datos obtenidos, se obtiene la mayor dureza en los ensayos en donde el factor que influye corresponde a la viscosidad del aceite utilizado y a la temperatura de revenido. Caso contrario se puede observar que en los ensayos que se tiene menor dureza el factor que influye corresponde a la temperatura de temple y al tiempo de revenido.

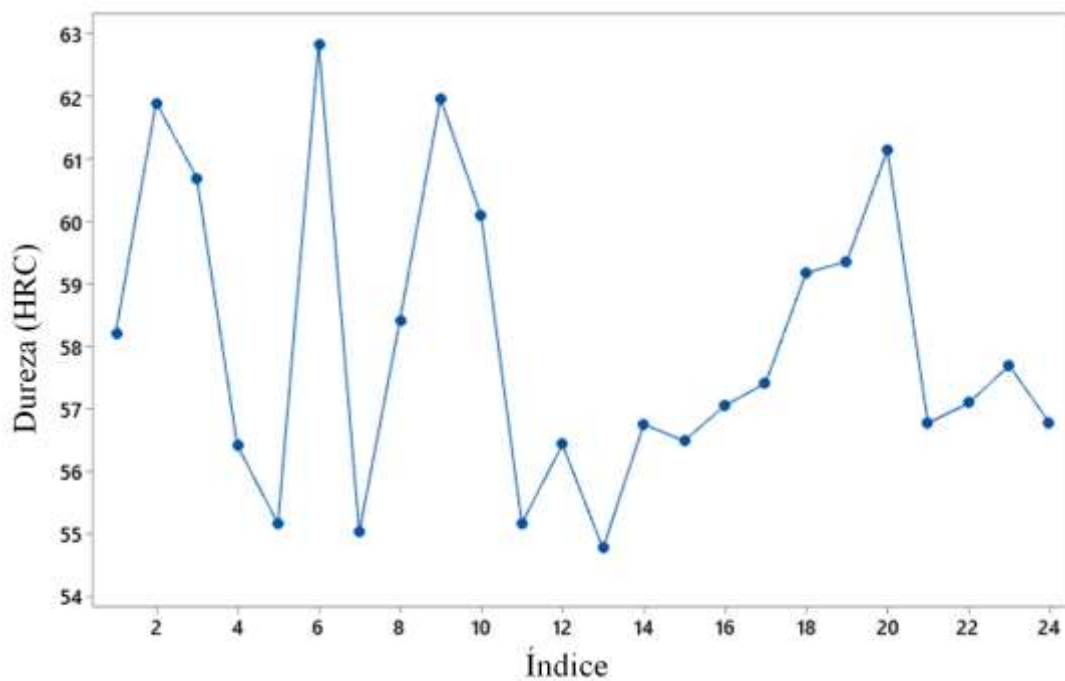


Figura 54. Gráfica de series de tiempo de Dureza [HRC].

Fuente: Autor.

4.2 Prueba de normalidad

Una vez obtenidos los datos es importante ejecutar una prueba de normalidad como se muestra en la figura 55, con lo cual se puede corroborar que las mediciones alcanzan una distribución normal. Esta prueba busca analizar la diferencia de la distribución de los datos tomados experimentalmente, con respecto a lo que se esperaría, considerando que provienen de una distribución normal al tener la misma desviación estándar y media.

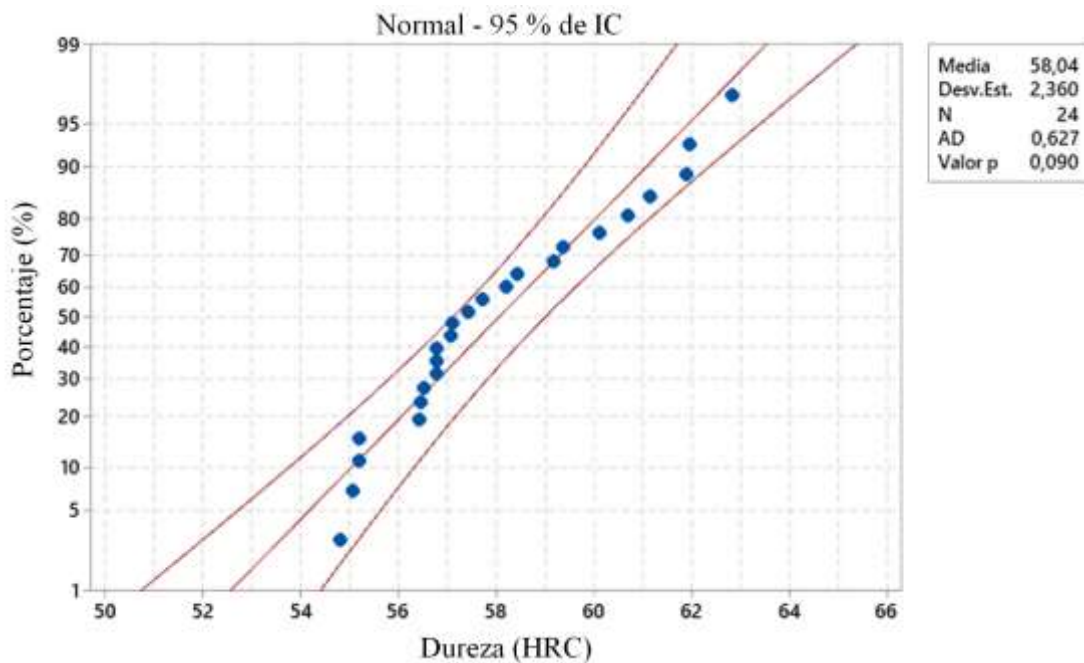


Figura 55. Prueba Normalidad de datos obtenidos de Dureza [HRC].

Fuente: Autor.

Una vez ejecutada la gráfica de normalidad con un software especializado, se evalúa la normalidad de los datos con respecto al valor de probabilidad (Valor p), y al coeficiente de Anderson Darling (AD). La prueba es ejecutada con un nivel de confianza (IC) del 95% (0.05), con lo que se obtiene un Valor p de 0.090 y un coeficiente de AD de 0.627. Los valores obtenidos demuestran que los datos correspondientes a la dureza para cada uno de los experimentos, alcanzaron distribución normal, porque la significancia es mayor al seleccionado de 0.05. El coeficiente de Anderson Darling será menor según el ajuste de los datos se acerque a la mejor distribución.

4.3 Estadísticas del experimento

Una vez avalados los datos obtenidos se puede hacer uso de éstos. La figura 56 presenta un informe generado utilizando software de análisis estadístico para la dureza obtenida en el experimento.

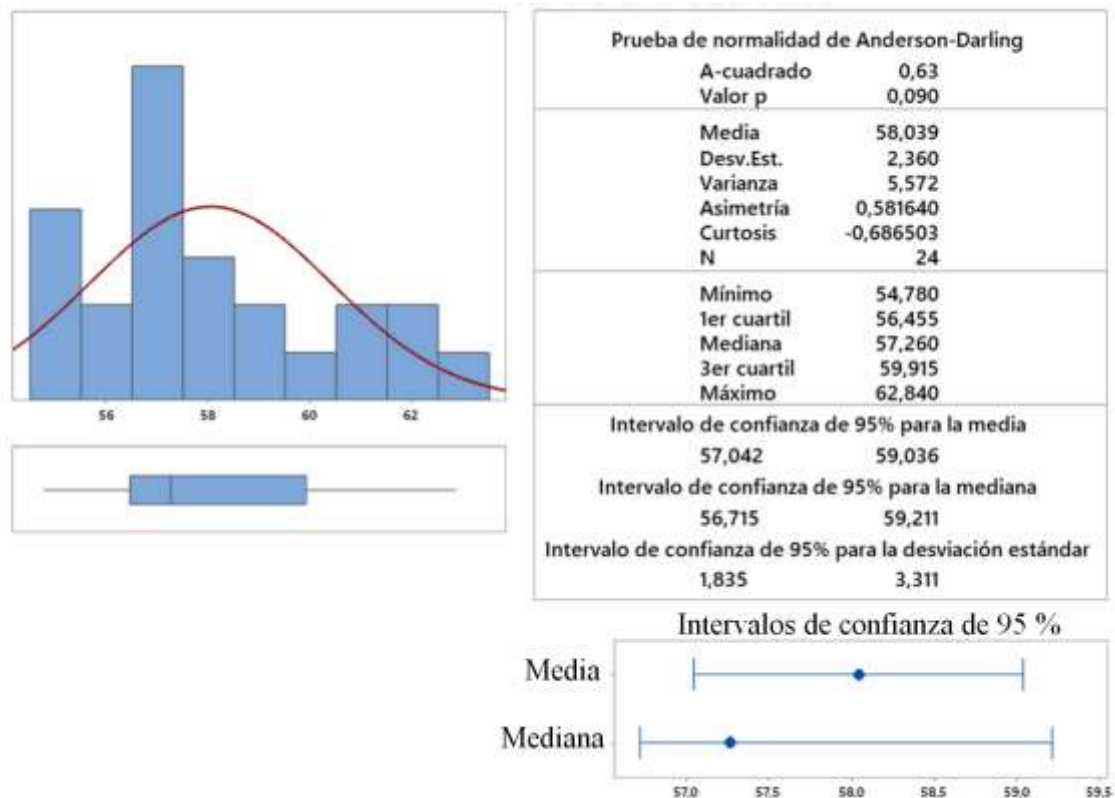


Figura 56. Informe de estadísticos de datos obtenidos de Dureza [HRC].

Fuente: Autor.

Con los estadísticos obtenidos se tuvo un promedio de 58.039 HRC, desviación estándar de 2.360 y una varianza de 5.572. La dureza mínima alcanzada es de 54.78 HRC en el experimento número 13, en el cual se tiene una temperatura de temple de 790 °C con el uso de un aceite 15W40, para ejecutar el temple y posterior revenido a una temperatura de 300 °C por un tiempo de 6 h. La dureza máxima alcanzada es de 62.84 HRC en el experimento número 6, en el cual se tiene una temperatura de temple de 850 °C con el uso de un aceite 15W40, para ejecutar el temple y posterior revenido a una temperatura de 250 °C por un tiempo de 4 h. Con intervalo de confianza del 95 %, para el promedio se tiene una dureza mínima de 57.042 HRC y una dureza máxima de 59.036 HRC; en la mediana se tiene una dureza mínima de 56.715 HRC y una dureza máxima de 59.211 HRC.

4.4 Análisis de Varianza ANOVA

Los resultados han sido analizados utilizando una técnica estadística llamada ANOVA, en la cual se analiza la varianza de los datos obtenidos. Se analiza la variabilidad existente

en los datos con un nivel de confianza del 95%, ésta es medida mediante la varianza existe en los datos obtenidos de dureza. Al ejecutar el análisis de varianza se podrá determinar de una manera exacta los factores que influyen sobre la variable de respuesta. En la tabla 31, se muestra los factores y niveles para cada uno de los parámetros de estudio, éste análisis es ejecutado con un software estadístico especializado.

Tabla 33. Factores y niveles para ANOVA mediante software.

Factor	Niveles	Valores
Temp. Temple	2	790 °C; 850 °C
Viscosidad Aceite	3	5W30; 15W40; SAE 40
Temp. Revenido	2	250 °C; 300 °C
Tiempo de Revenido	2	4h; 6h

Se tiene determinados los parámetros del estudio, así como, la respuesta de dureza superficial para cada uno de los experimentos planteados. La tabla 32 presenta el resumen del análisis de varianza.

Tabla 34. Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	57.053	11.4105	2.89	0.044
Lineal	5	57.053	11.4105	2.89	0.044
Tem. Temple	1	5.704	5.7038	1.44	0.245
Viscosidad Aceite	2	24.523	13.0896	3.31	0.060
Tem. Revenido	1	26.179	24.5228	6.21	0.023
Tiempo de Revenido	1	0.647	0.6468	0.16	0.690
Error	18	71.095	3.9497		
Total	23	128.148			

En el análisis se observa los grados de libertad (*GL*), dependen de la cantidad de factores con los que se esté trabajando, representan la cantidad de información que tienen los datos obtenidos, para el estudio existe un total de 23 grados de libertad. La suma de cuadrados (*SC Ajust*), es un grupo de mediciones de variación en distintos parámetros que tiene el

modelo estadístico, con un total del 128.148. Los cuadrados medios ajustados (*MC Ajust*), miden la cantidad de variación de un término o a su vez de un modelo, el cuadrado medio del error es conocido como la varianza que es de 3.9497.

Al calcular los parámetros, es posible determinar el estadístico de prueba de Fisher, la cual es utilizada para establecer si existe un término relacionado con la variable de respuesta. Para el estudio se hace uso del estadístico para las variables de temperatura de temple con 1.44, viscosidad del aceite con 3.31, temperatura de revenido con 6.21 y tiempo de revenido con 0.16. Al analizar el estadístico de Fisher es posible determinar el Valor *p*, que es una probabilidad en la cual se verifica un nivel de significancia de los factores contra la variable de respuesta. Al observar el Valor *p*, se observa que para la viscosidad del aceite y la temperatura de revenido tienen valores de 0.060 y 0.023 (los más bajos), lo que significa que éstas variables están influyendo sobre la respuesta de la dureza obtenida en el experimento.

4.4.1 Influencia de las variables

Una vez ejecutado el análisis de varianza ANOVA, se calcula el porcentaje de influencia de cada uno de los factores de estudio como se muestra a continuación.

$$%I = SC_{Ajust} \frac{1}{SC_{Total} - SC_{Error}} * 100$$

Temperatura de temple

$$%I = 5.704 \frac{1}{128.148 - 71095} * 100$$

$$%I = \mathbf{9.99 \%}$$

Viscosidad de aceite

$$%I = 24.523 \frac{26.179}{128.148 - 71095} * 100$$

$$%I = \mathbf{42.98 \%}$$

Temperatura de revenido

$$\%I = 26.179 \frac{1}{128.148 - 71095} * 100$$

$$\%I = 45.88 \%$$

Tiempo de revenido

$$\%I = 0.647 \frac{1}{128.148 - 71095} * 100$$

$$\%I = 1.13 \%$$

La figura 57 indica la relación de los factores y niveles en sus efectos principales. Una vez efectuados los cálculos se ratifica que el factor más influyente sobre la dureza es la viscosidad del aceite con una influencia del 45.88%, seguido de la temperatura de revenido con un 42.98%. Caso contrario para los factores temperatura de temple y tiempo de revenido se tiene una influencia del 9.99% y 1.13% respectivamente, por lo cual se puede indicar que éstos factores no tendrán mayor impacto sobre la variable de respuesta que es la dureza obtenida después de ejecutar los experimentos.

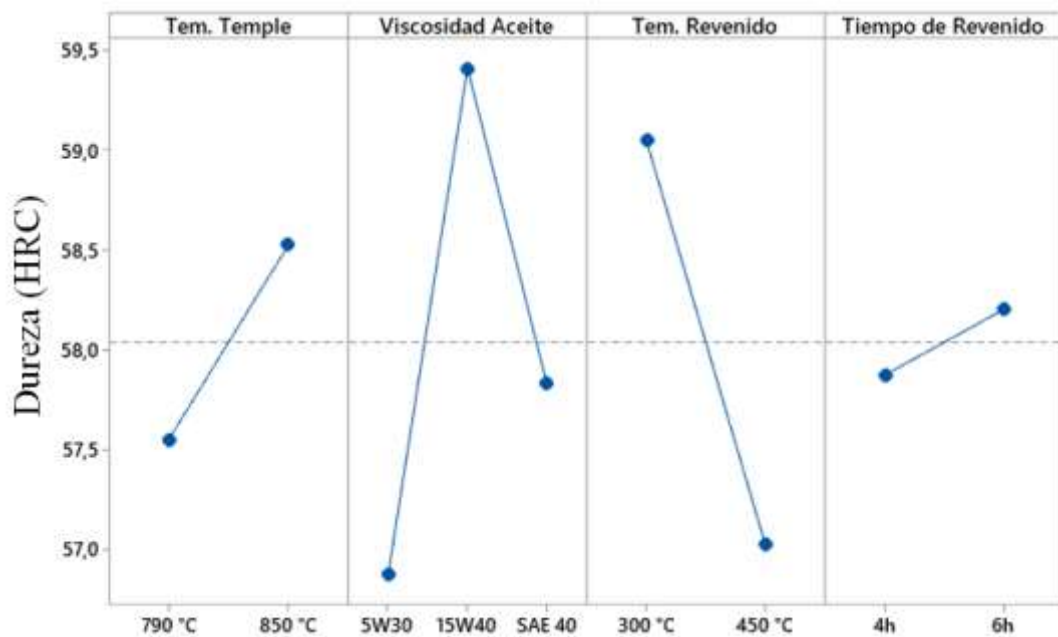


Figura 57. Efectos principales.

Fuente: Autor.

Los efectos principales indican cada uno de los factores de estudio con respecto a la dureza medida. Los factores viscosidad del aceite y temperatura de temple son los que influyen significativamente sobre la variable de respuesta. Además, se puede concluir que se obtiene la mayor dureza al tener una temperatura de temple de 850 °C, una viscosidad del aceite 15W40, una temperatura de revenido de 250 °C y un tiempo de revenido de 6 horas. Caso contrario se obtendría la menor dureza al tener una temperatura de temple de 790 °C, una viscosidad del aceite 5W30, una temperatura de revenido de 300 °C y un tiempo de revenido de 4 horas.

La figura 58 presenta las interacciones de efectos principales para cada uno de los parámetros del estudio. Permite observar las diferencias existentes entre las medidas de cada uno de los niveles para los factores. Se observa que para la viscosidad del aceite y la temperatura de temple se tiene diferentes pendientes de las líneas que lo representan, por tanto, se concluye que diferentes niveles existentes en un factor, afectan a la dureza obtenida, considerándose un efecto principal sobre la variable de respuesta.

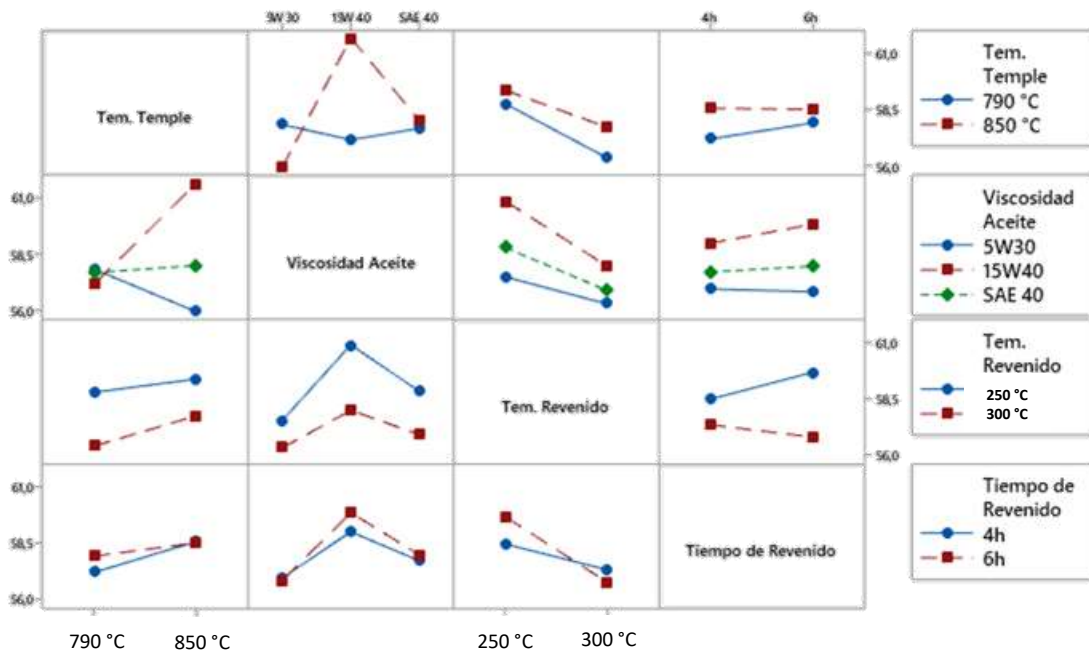


Figura 58. Interacciones de efectos principales.

Fuente: Autor.

La figura 59 contiene un diagrama de Pareto, obtenido con el software que permite analizar los efectos estandarizados. Se observan el valor absoluto de los efectos obtenidos de dureza, con referencia a 2.101. Se tiene como efectos principales a la temperatura de

temple y a la viscosidad del aceite utilizado como medio de enfriamiento, corroborando a lo expuesto anteriormente.

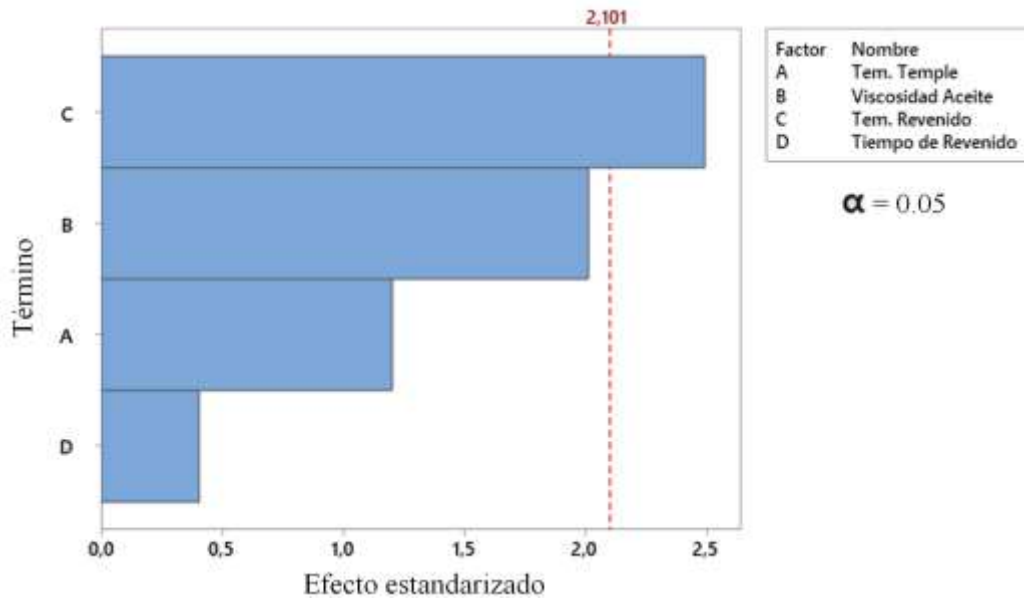


Figura 59. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Fuente: Autor.

4.5 Análisis económico

La tabla 33 explica los costos de insumos y recursos que fueron utilizados para desarrollar la investigación. Si por una parte se utilizó ciertos equipos y las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, fue necesario adquirir los recursos consumibles, principalmente el acero y los aceites. Los precios que se han estipulado, corresponde a una media del mercado local, aunque no es una tarifa fija, debido principalmente al bajo volumen de análisis que se requirió. Tras definir los costos principales, se ha llegado a establecer un monto de USD 2794.

Tabla 35. Análisis económico.

PRESUPUESTO				
	Cantidad	Presentación	Costo unitario [USD]	Costo Total [USD]
Equipos y Programas				
Computadora	1	Lenovo I7, 32gb RAM, Tarjeta de video 4gb	1000	1000
Material base	1	Eje acero K460 35mm x 0.5m	40	40
Fabricación de probetas	24	Probeta 35 x 12 mm	5	120
Aceite 5W30	3	Galón de aceite	30	90
Aceite 15W40	3	Galón de aceite	25	75
Aceite SAE40	3	Galón de aceite	33	99
Tratamientos térmicos	6	4 Temples y 2 revenidos	50	300
Talento humano				
Estudiante	2	1 Semestre	400	800
Servicios básicos				
Electricidad	6	Costo por mes	20	120
Internet	6	Costo por mes	25	150
			TOTAL	2794

CONCLUSIONES

Después de realizar esta investigación, se concluye que, el temple en aceites automotrices tuvo una variación en la temperatura de austenización entre 790 a 850 °C. Mientras que, las temperaturas y tiempos de revenido estuvieron entre 250 a 300 °C, y de 4 a 6 horas, respectivamente. Se planteó como hipótesis que, la dureza superficial disminuye cuando se eleva la temperatura de revenido. Además, es importante indicar que, este acero es utilizado en diferentes trabajos en frío, requiriendo durezas desde 52 hasta 64 HRC.

Para el análisis experimental de la investigación, se desarrolló un diseño factorial completo, con lo que se generó 24 probetas para ser analizadas. Los factores considerados fueron la viscosidad del aceite, temperatura de temple, temperatura de revenido, tiempo de revenido. Además, cada factor tuvo dos niveles, exceptuando el tipo de aceite, donde se tuvo tres niveles. El material adquirido tuvo una dureza de suministro de 14.7 HRC, y los contenidos de Carbono, Silicio y Manganeso fueron de 1.03, 0.23 y 1.32, respectivamente, valores similares a los proporcionados por el fabricante. Las mediciones de dureza superficial fueron realizadas según la norma ASTM E-18.

Para el templado, se realizó la división de probetas en seis grupos, teniendo la temperatura de temple de 790 y 850 °C para, posteriormente, ser enfriadas en los aceites 5W15, 15W40 y SAE40, respectivamente. Luego a esto, también se realizó revenidos, a 250 y 300 °C durante 4 y 6 horas. La dureza superficial más alta fue de 63.2 HRC y se obtuvo con la probeta 6 enfriada desde 850 °C en 15W40 para luego ser revenida a 250 °C por 4 horas. Por otra parte, la probeta 13 registró la dureza más baja, la obtención de 24 probetas para ser analizadas siendo enfriada en el mismo aceite desde 790 °C, 54 HRC, con un revenido de 300 °C por 6 horas. Para el SAE 5W30 y SAE 40, las durezas máximas fueron 59.36 y 60.1 HRC en las probetas 19 y 10, respectivamente.

Para realizar el análisis de varianza ANOVA, se consideró el promedio de las cinco mediciones de dureza tomadas para cada experimento. Con esto, determinó que, después de realizar tratamientos térmicos, el factor de más influencia en la dureza del acero AISI 01 fue la temperatura de revenido. Este factor tiene una influencia de 45.88 % en la respuesta, seguido por el aceite y su viscosidad con un 42.98 %. La temperatura de temple y el tiempo de revenido apenas llegan a tener una influencia de 9.99 y 1.13 %.

RECOMENDACIONES

Las dimensiones del material deben ser consideradas en el extremo superior, de acuerdo a las normas ASTM que se consideraron. Esto, debido principalmente, a la dificultad de cortar y mecanizar, ya que son elementos relativamente pequeños y los equipos disponibles eran para trabajar con volúmenes más grandes.

El análisis de espectrofotometría requiere una superficie completamente paralela a la base, por lo que es muy importante que el refrentado se realice de la mejor manera. Esto se considera también para la medición de la dureza superficial, porque el indentador penetra la superficie de manera vertical, en un solo punto de área pequeña. Si hay irregularidades, la medición empieza desde la arista más alta, lo que puede provocar una medida equivocada.

El contenedor con aceite para temple debe ser agitado constantemente para que todas las probetas se enfríen de manera pareja. Es recomendable utilizar un equipo diseñado para este proceso, ya que, por la falta de ergonomía y el peso del contenedor con aceite, se dificulta realizar este procedimiento.

Es indispensable utilizar equipos de protección personal para la realización de estos procedimientos. Como se trabaja a temperaturas altas, los accidentes y lesiones que pueden darse son muy propensos, ya sea por choques térmicos o quemaduras. Para el manejo de los ácidos también es necesario utilizar protección de manos y rostro, así evitar cualquier tipo de contacto.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] J. F. Shackelford, *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, Madrid: Pearson, 2007.
- [2] W. D. Callister, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Barcelona: Reverté S.A..
- [3] W. F. Smith y H. Javad, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*, México: McGraw-Hill, 2006.
- [4] M. E. Sánchez Vergara y I. E. Campos Silva, *Tecnología de Materiales*, México: Trillas, 2010.
- [5] L. Huangshi Chengquan Metal Material Co., “Huangshi Chengquan Metal Material Co., Ltd.,» [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_chengquansteel/image_DIN1-2510-O1-Sks3-K460-Alloy-Steel_eeguehuug_wOZTAqrsPuom.html. [Último acceso: 17 12 2020].
- [6] Cotecno, “Cotecno,» [En línea]. Available: <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/crisoles/>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [7] M. M. d. a. precisión., “Mecanizadossinc,» [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/teflon-material-plastico-trabajos-mecanizado/>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [8] Carbosystem, “Carbosystem,» [En línea]. Available: <https://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [9] I. T. H. Velasquez, “Medium,» [En línea]. Available: <https://medium.com/@2420151014>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [10] R. L. Mott, *Resistencia de Materiales*, México: Pearson Educación, 2009.
- [11] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2002.
- [12] Ivan Bohman C.A., “Acero de bajo contenido de carbono- AISI 1018,» [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2018/10/Catalogo-general-IBCA-2018-.pdf>. [Último acceso: 25 Marzo 2020].
- [13] S. Avner, *Introducción a la metalurgia física*, Segunda ed., México, D.F.: McGRAW-HILL, 1995.

- [14] H. D. Patiño Duque y B. D. Rosero Coral , “Tratamiento térmico de temple, influencia del medio de enfriamiento,” *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 8, nº 1, pp. 52-58, 2016.
- [15] F. Castillo Rodríguez Y A. Reyes Solís, *Aceros, Estructuras Y Aceros, Estructuras Y*, Cuautitlán Izcalli: Cuautitlán Izcalli, 2012.
- [16] J. Orozco, “Láminas y Aceros,” [En línea]. Available: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tratamientos-del-acero-parte-2>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [17] M. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna - Materiales, procesos y sistemas*, Naucalpan: Pearson Prentice Hall, 1997.
- [18] R. Dubois, *Introducción a la Refinación del Petróleo - su historia, la tecnología y su desarrollo, los productos y sus mercados, combustibles*, Buenos Aires: Eudeba, 2006.
- [19] R. Monsalvo, M. Romero, M. Miranda y G. Muñoz, *Balance de Materia y Energía: Procesos Industriales*, México D.F.: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [20] O. Chamarravi y G. Saavedra, “Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá D.C.,” 2013. [En línea]. Available: <http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/691>. [Último acceso: 25 Abril 2021].
- [21] A. Casado, “Estudio quimiométrico de aceites lubricantes marinos,” 2015. [En línea]. Available: https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16220/2_Memoria.pdf?sequence=2&isAllowed=y. [Último acceso: 25 Abril 2021].
- [22] J. Newell, *Ciencia de Materiales*, Ciudad de México: AlfaOmega, 2016.
- [23] G. Montoya, *ACEITES ESENCIALES: una alternativa de diversificación para el eje cafetero*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [24] Discount, “Temple en Aceite,” [En línea]. Available: <https://www.discount2021.ru/content?c=aceite%20para%20templar%20acero&id=1>. [Último acceso: 21 03 2021].
- [25] R. Mott, *Mecánica de fluidos aplicada*, Naucalpan: Prentice Hall, 1996.

- [26] ASTM International, “ASTM D6200 - Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analysis,” 2001. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D6200-01.htm>. [Último acceso: 25 Abril 2021].
- [27] H. Gutiérrez Pulido, *Análisis y diseño de experimentos*, México: McGraw-Hill, 2004.
- [28] Minitab, “Soporte técnico de Minitab 18,” [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/anova-models/balanced-and-unbalanced-designs/>. [Último acceso: 12 Abril 2021].
- [29] T. Monleón-Getino, “ANOVA caso no balanceado: Suma de cuadrados tipo I, II, III y IV,” *Researchgate*, p. 8, 2011.
- [30] ASTM International, “ASTM E18 - 19. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials,” [En línea]. Available: <https://www.astm.org/Standards/E18.htm>. [Último acceso: 24 Febrero 2020].
- [31] I. E. d. N. INEN, “Determinación de la Dureza Rockwell NTE INEN 125,” Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, Quito, 1998.
- [32] Italco, “Sierra De Banda Italco,” [En línea]. Available: <https://www.ocompra.com/ecuador/item/sierra-de-banda-italco-430440566/>. [Último acceso: 20 Abril 2021].
- [33] Emco-world, “Emco-world EMCOMAT_14_17_20,” [En línea]. Available: https://www.emco-world.com/uploads/tx_commerce/EMCOMAT_14_17_20_ES.pdf. [Último acceso: 21 Abril 2021].
- [34] O. I. Analytical, *FOUNDRY-MASTER Xpert*, Germany: Oxford Instruments, 2015.
- [35] Calright Instruments, “Phase II 900- 365 Digital Rockwell Hardness Tester,” [En línea]. Available: <https://calright.com/wp-content/uploads/2018/03/3030.pdf>. [Último acceso: 22 Abril 2021].
- [36] BUEHLER, *Desbastadora-pulidora automática /manual EcoMet 30*, Shanghái: BUEHLER, 2018.

- [37] Buehler, “Microscopio invertido ViewMet™,” [En línea]. Available: <https://www.buehler.com.es/viewmet-inverted-microscope.php#downloads>. [Último acceso: 23 Abril 2021].
- [38] N. m. N. /. H, “Horno de precalentamiento N 7/H,” [En línea]. Available: <https://www2.nabertherm.de/es/productos/laboratorio/hornos-de-camara/hornos-de-camara-para-temple-recocado-y-soldadura-hasta-1280>. [Último acceso: 24 Abril 2021].
- [39] ExxonMobil, “Mobil,” [En línea]. Available: <https://www.mobil.com/es-co/passenger-vehicle-lube/pds/gl-xx-mobil-1-5w30>. [Último acceso: 24 Abril 2021].
- [40] SANDVIK, “DCMT 11 T3 04-PM 4325,” 2021. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/productdetails.aspx?c=dcmt%2011%20t3%2004-pm%204325>. [Último acceso: 04 Mayo 2021].
- [41] I. Choudhury, S. Gan y N. Yusoff, “Experimental Determination of Cutting Temperature and Force when Turning Assab Steel with Coated Carbide Inserts,” *Advanced Materials Research*, vol. 83, pp. 993-1001, 2009.

W. Nr. 1.2510 / 1.2842

Propiedades y Aplicaciones:

Acero para trabajo en frío, de temple al aceite. Para herramientas cortantes (matrices y punzones), útiles de roscar, herramientas para trabajar madera, cuchillas industriales para el uso en la industria maderera, papelería y del metal.

Otros: 100MnCrW4 / 90MnCrV8

Composición Química [%]

	C	Si	Mn	Cr	V	W
K460	0,95	0,25	1,10	0,55	0,10	0,55
K720	0,90	0,25	2,00	0,35	0,10	

Propiedades Físicas

Temperatura [°C]	20				
Conductividad térmica [W/m.K]	30				
Temperatura [°C]	20				
Módulo E [10 ⁹ N/mm ²]	210				
Temperatura [°C]	100	300	400	500	
Dilatación térmica [10 ⁻⁶ /mm.K]	11,5	12,0	12,2	12,5	12,8

Tratamiento Térmico

Recocido blanco

Temperatura [°C]	710	750	Tiempo de permanencia [h]	3
Dureza después del recocido	Máx. 220 HB			

Nota: Enfriamiento lento y controlado en el horno

Recocido de eliminación de tensiones

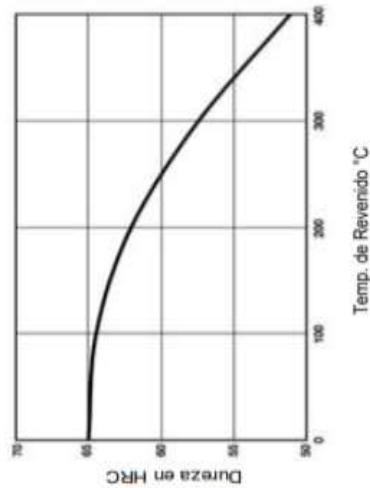
Temperatura [°C]	650	Tiempo de permanencia [h]	2
------------------	-----	---------------------------	---

Nota: Enfriamiento lento en el horno, para disminuir la tensión después de mecanizado extenso (o en herramientas complicadas).

Temple

Temperatura [°C]	780	820	
Médios de Temple	Acéite	Baño de sal hasta 20 mm de espesor	Aire

Revenido: Al menos 2 horas/enfriamiento al aire, 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza. Valores aproximados de dureza alcanzable 63-65 HRC, figuran en el diagrama de revenido.



Anexo 2. Hoja técnica del torno EMCO 14D.

[Datos técnicos]

emco group

Designed for your profit

	EMCOMAT 14D	EMCOMAT 17D	EMCOMAT 20D
Área de trabajo			
Distancia entre centros	650 mm	700 mm	1000 mm
Altura de centros	140 mm	170 mm	200 mm
Voleo sobre bancada	280 mm	340 mm	400 mm
Voleo sobre carro transversal	170 mm	190 mm	250 mm
Carro longitudinal	580 mm	600 mm	800 mm
Carro longitudinal sobre carro transversal	135 mm	220 mm	220 mm
Carro longitudinal de carro superior	100 mm	110 mm	110 mm
Sección de herramienta de cono	12 x 12 mm	20 x 20 mm	20 x 20 mm
Husillo principal			
Tipo de husillo	CAMLOCK DIN 55029 S4	CAMLOCK DIN 55029 S6	CAMLOCK DIN 55029 S6
Diám. interior de husillo	Ø 40 mm	Ø 50 mm	Ø 50 mm
Diámetro máx. de plato lto	152 mm	200 mm	260 mm
Diámetro máx. de plato	140 mm	200 mm	200 mm
Velocidad de husillo	60–4000 rpm	40–3000 rpm	40–3000 rpm
Velocidades torcionales	continua	mecánica	continua
Gamas de velocidad	2	4	4
Gamas de velocidad	60–2000 2000–4000 rpm	40–130, 110–360 310–1070, 870–3000 rpm	40–130, 110–360 310–1070, 870–3000 rpm
Motor de accionamiento			
Potencia	7,5 kW	5,3 kW	5,3 kW
Gama de avances			
Avances longitudinales*	0,03–0,3 mm/vt	0,045–0,787 mm/vt	0,045–0,787 mm/vt
Avances transversales*	0,015–0,15 mm/vt	0,023–0,406 mm/vt	0,023–0,406 mm/vt
Velocidades de corte			
Roscas métricas (básicas)	15 (0,25–2,5 mm)	20 (0,4–7,0 mm)	20 (0,4–7,0 mm)
Roscas métricas*	13 (0,125–5 mm)	26 (0,4–7 mm)	28 (0,4–7 mm)
Roscas en pulgadas*	29 (96–4 calibre/pulg.)	32 (1–56 calibre/pulg.)	32 (1–56 calibre/pulg.)
Roscas modulares*	12 (0,25–2,5)	28 (0,2–3,5)	28 (0,2–3,5)
Roscas diametrales**	25 (96–11)	32 (8–112)	32 (8–112)
Contrapunto			
Diámetro de la caña	30 mm	50 mm	50 mm
Cono morse	MK 2	MK 3	MK 3
Carreta de la caña	80 mm	120 mm	120 mm
Desplazamiento lateral	+10/-8 mm	+/-13 mm	+/-13 mm
Niveles de ruido			
Máx. nivel de ruido DIN 45635	77 dB(A)	79 dB(A)	79 dB(A)
Peso de herramienta permitido			
A otro	45 kg	50 kg	50 kg
Con contrapunto	80 kg	150 kg	150 kg
Conexión eléctrica			
Alimentación	400 V/3 PE/50(60) Hz	400–440 V/3 PE/50(60) Hz	400–440 V/3 PE/50(60) Hz
Datos generales			
L x A x An de la máquina	1330 x 835 x 1570 mm	1850 x 1000 x 1635 mm	1950 x 1060 x 1635 mm
Altura del husillo sobre el suelo	1100 mm	1103 mm	1103 mm
Peso total	420 kg	755 kg	865 kg

*La gama de avances y el número de pasos de rosca pueden ampliarse usando engranajes adicionales (opcional).



SP3301 - 03/14 - 50 per a consulta de dades o avanços de rosca. Disponibilitat i condicions


Anexo 3. Hoja técnica del espectrofotómetro Foundry Masters.

4.3 Technical data

Table 4-1 Technical data of FOUNDRY-MASTER Xpert

Parameter		Value
designation		FOUNDRY-MASTER Xpert
dimensions	height x width x depth	385 mm x 740 mm x 810 mm
weights	Instrument without PC and vacuum pump	approx. 85 kg
	max. sample weight	10 kg
electrical system	voltage	110–230 VAC, 50–60 Hz
	fuse	2 x 8 A slow, 5 x 20 mm
	max. power consumption (without PC and vacuum pump)	600 VA
	power consumption in idle state (without PC and vacuum pump)	110 VA; source switched on 80 VA; source switched off
	protection class	IP21
optical system	multi-CCD optics with Paschen-Runge mounting	
	focal length	350 mm and 125 mm
	number of grid lines	3000/mm and 1500/mm
	wavelength range	130–780 nm
excitation source sparking parameters	high-energy pre-spark (HEPS)	
	frequency	80–500 Hz
	voltage	250–500 V
ambient conditions	temperature	40 °C max.
	air humidity	80 % max., non-condensing
Noise emission		
System requirements for external PC		Microsoft® Windows™ XP, with latest service packs (32-bit editions) Intel® Pentium® 4, AMD Athlon™ 64 or better 1 GB RAM or more 100 MB available space mouse screen resolution: 1024 x 768 1 x free PCI slot (FMP with RS422 MOXA card) 1 x free USB port (FM/FMC with USB AD card)
options		wire adapter set sample preparation devices accessories set consumables set

Anexo 4. Certificado de calibración del durómetro utilizado.



phase II
The Source of Quality

21 Industrial Avenue • Upper Saddle River NJ 07458
Telephone (201) 962-7373 • Fax (201) 962-8353
E-Mail: info@phase2plus.com

Certificate of Calibration for Rockwell Hardness Tester

Model: 900-365
Temperature: 21°C
QC Technician: SJT

Serial No. 20JA142015
Humidity: 30%


Date: February 19, 2015
Method: ASTM E18
Diamond Indentor: n/a

Verification of Test Force				
	Standard Value	Reading Force	Error	Maximum Error ASTM E18
Pre-load (kgf)	10	10.03	+0.03%	±2%
Full load (ldg)	60	60.04	+0.07%	±0.75%
	100	100.15	+0.15%	±0.65%
	150	150.13	+0.09%	±0.60%




Verification of Depth Measuring Device			
Given Depth Movement in Microns	Depth Reading by Hardness Tester	Error	Maximum Error ASTM E18
60µm	60.1µm	+0.1µm	±1µm
110µm	110.3µm	+0.3µm	±1µm
160µm	159.8µm	-0.2µm	±1µm

Indirect Verification										
Standard Blocks	Test Results					Avg.	Error	Maximum Error	Repeatability	Maximum Repeatability
	H1	H2	H3	H4	H5					
83.7HRA	83.5	83.7	83.9	83.8	83.7	83.7	0	±0.5	0.4	1.0
92.9HRB	92.2	93.0	92.9	93.0	93.2	92.9	0	±1.0	1.0	1.5
63.5HRC	63.1	63.1	63.4	63.2	63.4	63.2	-0.3	±0.5	0.2	1.0
46.7HRC	46.6	46.7	46.5	46.7	46.8	46.7	0	±1.0	0.3	1.0
29.1HRC	29.0	29.3	29.5	29.4	29.2	29.3	+0.2	±1.0	0.5	2.0

The above testing machine has been verified to the requirements of ASTM E18. All test blocks used for calibration are NIST traceable and conform to ASTM E18-14.

Approved by: 

• Material Testing Instruments • Machine Tool Accessories • Precision Measuring Tools •
www.phase2plus.com

Anexo 5. Hoja técnica de la cortadora de probetas.

Especificaciones

Semiautomática	EcoMet 30 Single Auto	EcoMet 30 Twin Auto
Tamaño de la máquina	19,7" L x 25,6" P x 25,6" A (500 mm L x 650 mm P x 650 mm A)	37,4" L x 26" P x 25,6" A (950 mm L x 660 mm P x 650 mm A)
Tamaño de la platina	8 pulgadas (203 mm) /10 pulgadas (254 mm) /12 pulgadas (305 mm)	8 pulgadas (203 mm) /10 pulgadas (254 mm) /12 pulgadas (305 mm)
Potencia del motor de la platina	BLDC 440 W	BLDC 440 W
Velocidad de la platina	50 – 500 rpm en incrementos de 50 rpm	50 – 500 rpm en incrementos de 50 rpm
Potencia de la máquina	100 – 240 VCA 50/60 Hz, monofásico	100 – 240 VCA 50/60 Hz, monofásico
Uso de la alimentación de la base y el cabezal	1000 W, 8,8/4,3 A a 115/230 VCA	1000 W, 8,8/4,3 A a 115/230 VCA
LCD	7 pulgadas/800x480 PPP	7 pulgadas/800x480 PPP
Presión de suministro de agua	Menor de 116 psi (8 bar)	Menor de 116 psi (8 bar)
Potencia del cabezal de accionamiento	BLDC 300 W	BLDC 300 W
Velocidad del cabezal de pulido	30 – 200 rpm en incrementos de 10 rpm	30 – 200 rpm en incrementos de 10 rpm
Fuerza central	5-40 lbs (25-200 N), en incrementos de 5 lbs (25 N)	5-40 lbs (25-200 N), en incrementos de 5 lbs (25 N)
Fuerza única	1-10 lbs (5-40 N), en incrementos de 1 lbs (5 N)	1-10 lbs (5-40 N), en incrementos de 1 lbs (5 N)
Tamaño de la muestra	1", 1,25", 1,5", 25 mm, 30 mm, 40 mm	1", 1,25", 1,5", 25 mm, 30 mm, 40 mm
Dirección del giro	A la derecha/a la izquierda	A la derecha/a la izquierda
Presión de suministro de aire	>0,4 MPa	>0,4 MPa
Manguera de entrada de aire	Ø6	Ø6

Anexo 6. Hoja técnica del horno de tratamiento térmico de revenido.

Nabertherm
MORE THAN HEAT 30-2000 °C

Hornos de cámara calentamiento eléctrico



Horno de cámara N 41/H



Horno de cámara N 321 con estibador de carga

Estos hornos universales de cámara con calentamiento por radiación están diseñados para el uso en condiciones difíciles en el taller. Son muy aptos para los procesos en la fabricación de herramientas y para templar, como p. ej. recocido, temple o forja. Estos hornos se pueden adaptar de forma precisa a la aplicación deseada, empleando diferentes accesorios

- ▣ Diseño compacto y robusto
- ▣ Horno con cámara de gran profundidad con calentamiento por tres lados: ambos laterales y la solera
- ▣ Los elementos calefactores de los tubos de apoyo proporcionan una radiación libre del calor y una larga vida útil
- ▣ Placa SiC termoconductiva para la protección de la calefacción de solera
- ▣ Lado superior de la puerta protegida con chapas de acero fino contra quemaduras al abrir el horno bajo altas temperaturas
- ▣ Soporte incluido en el suministro, el modelo N 7/H - N 17/HR está disponible como modelo de sobremesa
- ▣ Apertura de aire de escape en el lado del horno, a partir de horno de cámara N 31/H en la parte trasera del horno
- ▣ Homogeneidad de la temperatura en base a la norma DIN 17052-1 de hasta +/- 10 °C véase página 84
- ▣ Bajo consumo energético debido a la estructura aislante de varias capas
- ▣ Movimiento de la puerta mediante amortiguador de presión de gas
- ▣ Pintura zinc resistente al calor para protección de puerta y marco (a partir de modelo N 81)
- ▣ Uso conforme al destino en el marco de las instrucciones de servicio
- ▣ NTLog básico para controladores Nabertherm: registro de datos de proceso sobre memoria USB
- ▣ Descripción de la regulación véase página 80



Horno de recocido N 7/H como modelo de sobremesa

Para el equipamiento opcional véase el catálogo de „Tecnología para Procesos Térmicos I“

Modelo	Tmáx °C	Dimensiones interiores en mm			Volumen en l	Dimensiones exteriores en mm			Potencia calorífica en kW*	Conexión eléctrica*	Peso en kg
		anch.	prof.	alt.		Anch.	Prof.	Alt.			
N 7/H'	1280	250	250	140	9	800	650	600	3,0	monofásica	60
N 11/H'	1280	250	250	140	11	800	750	600	3,5	monofásica	70
N 11/HR'	1280	250	250	140	11	800	750	600	5,5	trifásica	70
N 17/HR'	1280	250	500	140	17	800	900	600	6,4	trifásica	90
N 21/H	1280	350	350	250	30	1040	1100	1340	15,0	trifásica	210
N 41/H	1280	350	500	250	40	1040	1250	1340	15,0	trifásica	260
N 61/H	1280	350	750	250	60	1040	1500	1340	20,0	trifásica	400
N 87/H	1280	350	1000	250	87	1040	1750	1340	25,0	trifásica	480
N 81	1200	500	750	250	80	1140	1960	1790	20,0	trifásica	820
N 181	1200	550	750	400	160	1180	1930	1980	30,0	trifásica	910
N 321	1200	750	1100	400	320	1400	2270	2040	47,0	trifásica	1300
N 641	1200	1000	1300	500	640	1690	2670	2240	70,0	trifásica	2100
N 81/13	1300	500	750	250	80	1220	1960	1840	22,0	trifásica	900
N 161/13	1300	550	750	400	160	1260	1990	2030	35,0	trifásica	1000
N 321/13	1300	750	1090	400	320	1480	2330	2090	60,0	trifásica	1500
N 641/13	1300	1090	1300	500	640	1770	2730	2290	80,0	trifásica	2500

Anexo 7. Hoja técnica del aceite SAE 5W30



Mobil 1™ 5W-30

Mobil Passenger Vehicle Lube, Mexico

Avanzado aceite de motor totalmente sintético

Descripción del producto

Mobil 1™ 5W-30 es un avanzado aceite de motor totalmente sintético diseñado para mantener a su motor funcionando como nuevo al proporcionar una excepcional protección contra el desgaste, poder de limpieza y un buen rendimiento en general. El aceite Mobil 1 5W-30 cumple o excede los requisitos de las normas más estrictas de la industria y se desempeñan mejor que nuestros aceites convencionales. La tecnología Mobil 1 viene como equipo estándar en muchos tipos diferentes de vehículos, incluso algunos vehículos selectos de alto rendimiento.

Propiedades y beneficios potenciales

El aceite Mobil 1 5W-30 está fabricado a partir de una mezcla de dominio privado de aceites básicos sintéticos de ultra alto desempeño fortificada con un sistema de componentes precisamente balanceado. El grado de viscosidad 5W-30 es uno de los grados de viscosidad más recomendados para automóviles nuevos. El aceite Mobil 1 5W-30 está específicamente diseñado para ayudar a proporcionar niveles sin igual de rendimiento, de poder de limpieza y de protección al motor, a la vez que cumple con las exigentes normas ILSAC GF-5.

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Formulación avanzada completamente sintética	Ayuda a prevenir la acumulación de depósitos y lodos para brindar una mayor vida útil del motor. Excelente desempeño de lubricación y de protección contra el desgaste en general para muchos estilos de conducción del vehículo.
Excepcional estabilidad térmica y contra la oxidación	Excepcional desempeño durante el máximo intervalo entre cambios de aceite recomendado por el manual del propietario del vehículo.
Propiedades friccionales mejoradas	Ayuda a ahorrar en el consumo de combustible.
Excelente desempeño a bajas temperaturas	Arranque rápido en condiciones climáticas frías para brindar una protección ultra rápida. Ayuda a prolongar la vida útil del motor.

Aplicaciones

El aceite Mobil 1 5W-30 está recomendado para todos los tipos de vehículos modernos, incluso los de motores diesel y a gasolina con inyección de combustible multivalvula de alto rendimiento, turbocargados y supercargados en vehículos de pasajeros, SUVs, furgonetas ligeras y camiones ligeros.

- Mobil 1 5W-30 es un aceite de motor de uso general para varios tipos de automóvil.
- El aceite Mobil 1 5W-30 no está recomendado para utilizarse en motores de 2 tiempos o de aviación, a menos que sea específicamente aprobado por el fabricante.

Especificaciones y Aprobaciones

El aceite Mobil 1 5W-30 cuenta con las siguientes aprobaciones de fabricantes:
HONDA/ACURA HTO-06
GM Dexos1 Gen2

El aceite Mobil 1 5W-30 es recomendado por ExxonMobil para ser utilizado en aplicaciones que requieren:
GM 4718M
GM 6094M
Ford WSS-M2C929-A

El aceite Mobil 1 5W-30 cumple o excede los requisitos de:
ACEA A1/B1
API SN
API SM
API SL
API SJ
Ford WSS-M2C946-A
ACEA A5/B5-16
ILSAC GF-5
API SN PLUS
API SN PLUS RESOURCE CONSERVING
Ford WSS-M2C946-B1

Características típicas

Mobil 1 5W-30	
Grado SAE	5W-30
Viscosidad @ 100 °C, cSt (ASTM D445)	11,0
Viscosidad @ 40 °C, cSt, (ASTM D445)	61,7
Índice de viscosidad	172
Cenizas sulfatadas, peso % (ASTM D874)	0,8
Phosphorous, wt% (ASTM D4981)	0,08
Viscosidad HTHS, mPa·s @ 150 °C (ASTM D4683)	3,1
Punto de fluidez, °C, ASTM D97)	-42
Punto de inflamación, °C (ASTM D92)	230
Densidad @ 15,6 °C, kg/l, ASTM D4052)	0,855

Anexo 8. Hoja técnica del aceite SAE 15W40.



Mobil Delvac MX™ 15W-40

Mobil Commercial Vehicle Lube, Peru

Aceite para motores diesel de extra alto desempeño

Descripción del producto

Mobil Delvac MX 15W-40 es un aceite para motores diesel de extra alto rendimiento que proporciona una excelente lubricación de los motores diesel de hoy día, en los cuales posibilita una prolongada vida útil del motor. Como resultado, este producto cumple o supera las especificaciones de prácticamente todos los principales fabricantes de motores europeos y estadounidenses. Este extra alto rendimiento ha sido probado en el campo en una amplia variedad de industrias, aplicaciones y flotas mixtas.

La química avanzada de este producto proporciona un rendimiento excepcional tanto en los modernos y exigentes motores diesel de bajas emisiones como en los antiguos motores diesel que funcionan con combustible de bajo o alto contenido de azufre. Mobil Delvac MX 15W-40 combina una mezcla de aceites base de alto rendimiento con un sistema progresivo de aditivos para proporcionar un control superior del espesamiento del aceite debido a la acumulación de hollín y a las altas temperaturas, así como una extraordinaria resistencia a la oxidación, a la corrosión y a los depósitos causados por las altas temperaturas.

Propiedades y beneficios

Los motores diesel de alta potencia y bajas emisiones aumentan significativamente las exigencias sobre los lubricantes de motores. Los motores de diseños más ajustados reducen el consumo de aceite, lo que resulta en una menor cantidad de aceite fresco para reponer los aditivos agotados. Los anillos superiores de ignición del pistón están ubicados más arriba en el pistón, lo cual lleva la película de aceite más cerca de la cámara de combustión donde las mayores temperaturas incrementan el esfuerzo térmico sobre el lubricante. Una mayor presión en el inyector del combustible y una sincronización retardada mejoran la eficiencia de la combustión del combustible, pero también aumentan las temperaturas del motor e incrementan las cargas de hollín en el aceite. Mobil Delvac MX 15W-40 está formulado a partir de aceites base de alto rendimiento y un superior sistema equilibrado de aditivos para proporcionar un rendimiento óptimo del motor en los modernos motores diesel y de gasolina, así como en modelos más antiguos. Los beneficios clave incluyen:

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Alta estabilidad térmica y a la oxidación	Reducción de la acumulación de lodos y depósitos y del aumento de la viscosidad
Reservas de TBN	Control de depósitos y neutralización de ácidos
Estabilidad ante el cizallamiento	Protección contra el desgaste y control de la viscosidad
Detergencia/dispersancia avanzada	Motores más limpios y mayor vida útil de los componentes
Mejor manejo del hollín	Mejor control de la viscosidad y de la capacidad de bombeo del aceite usado
Excelentes propiedades a baja temperatura	Protección contra el desgaste durante el arranque
Compatibilidad con los componentes Cumple con las exigentes especificaciones de los fabricantes originales de equipos (OEM) más importantes	Una vida útil más larga de las empaquetaduras y sellos Un solo aceite de motor para operaciones de flotas mixtas

Aplicaciones

Recomendado por ExxonMobil para su uso en:

- Equipos de importantes fabricantes europeos, japoneses y estadounidenses propulsados por motores diesel de aspiración natural o turboalimentados
- Transporte de servicio ligero y pesado por carretera

Este producto cumple o excede los requisitos de las siguientes especificaciones industriales y de fabricantes:
API SL
API SJ
CATERPILLAR ECF-2
Cummins CES 20078
CUMMINS CES 20077
CUMMINS CES 20076
JASO DH-1
ACEA E7
ISUZU DEO (w/o DPD Equipped Vehicles)
ISUZU Small Manual Transmission Oil (except MUA and MUX) and Transfer Case Oil

Propiedades y especificaciones

Propiedad	
Grado	SAE 15W-40
Cenizas, sulfatadas, % masa, ASTM D874	1,3
Densidad a 15,6 °C g/ml, (ASTM D4052)	0,88
Punto de inflamacion, °C, ASTM D92	228
Viscosidad cinematica @ 100 C, mm2/s, ASTM D445	14,4
Viscosidad cinematica @ 40 C, mm2/s, ASTM D445	106
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-30
Numero de base total, mgKOH/g, ASTM D2896	11,9
Índice de viscosidad, ASTM D2270	140

Seguridad e Higiene

Las recomendaciones de salud y seguridad para este producto se pueden encontrar en la Ficha de Seguridad del Material (FDS) @ <http://www.msds.exxonmobil.com/psims/psims.aspx>

Todas las marcas comerciales utilizadas en este documento son marcas comerciales o marcas registradas de Exxon Mobil Corporation o de una de sus subsidiarias a menos que se indique lo contrario.



Mobil HD 30, 40 y 50

Aceite monogrado para motores de vehículos de pasajeros

Descripción del producto

Mobil HD 30, 40, y 50 son aceites monogrados convencionales, que cumplen con las últimas normas industriales requeridas para los motores de automóviles de hoy en día.

Características y Beneficios

Mobil HD 30, 40 y 50 permiten el buen funcionamiento del motor, protegido mediante una combinación de aceites minerales convencionales y un sistema de aditivos de óptimo rendimiento. Mobil HD 30, 40 y 50 mantiene limpio el motor, previniendo la aparición de depósitos, sedimentos y barnices, e impide el desgaste y la corrosión bajo diversas condiciones de manejo. Características claves y beneficios:

Features	Advantages and Potential Benefits
Estabilidad térmica y ante la oxidación	Menos depósitos en el motor, acumulación de sedimentos y depósitos producidos en las zonas calientes del motor.
Sistema de fricción anti-desgaste	Menor desgaste, y en consecuencia, menores costos de mantenimiento.
Agentes de limpieza	Motor más limpio, lo que prolonga la vida útil y da mayor confiabilidad.
Alto índice de viscosidad y estabilidad al corte	Lubricación mejorada a temperaturas normales y elevadas. Excelente protección en alta y baja temperatura en condiciones severas de manejo.

Aplicaciones

Mobil HD 30, 40, y 50 son adecuados para su uso en varios tipos de vehículos. Mobil HD 30, 40, y 50 son alternativas altamente recomendables para autos usados, al igual que para camionetas.

Especificaciones y aprobaciones

Mobil HD cumple con las siguientes especificaciones industriales	40	50
API	SF/CC	SF/CC

Propiedades típicas

Mobil HD	40	50
Grado SAE	40	50
Viscosidad, ASTM D 445		
cSt @ 40° C	160	224





Mobil HD		
cSt @ 100° C	15.5	19.5
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	98	99
Ceniza sulfatada, % en peso, ASTM D 874	0.6	0.6
HTHS Viscosidad., mPa·s @ 150° C, ASTM D4683	4.25	5.25
Punto de escurrimiento, C° ASTM D 97	-24	-30
Punto de inflamación, C° ASTM D 92	240	270
Densidad @15°C kg/ ASTM D 4052	0.89	0.91
Contenido	RN 4704 D	RN 4704E

Salud y seguridad

Basado en información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones a las que está destinado y se sigan las recomendaciones de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS). Las Fichas de Datos de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado para así proteger el medio ambiente.

El logotipo de Mobil y el diseño del Pegasus son marcas registradas por Exxon Mobil Corporation, o una de sus afiliadas

ExxonMobil Lubricante & Specialties
Es posible que no todos los productos estén disponibles en su localidad. Para mayor información, póngase en contacto con la oficina de venta local o diríjase a www.exxonmobil.com.
ExxonMobil se compone de numerosas filiales y empresas asociadas, muchas de las cuales tienen nombres que incluyen el de Esso, Mobil y ExxonMobil. Nada de lo que figura en este documento está destinado a anular o reemplazar la separación corporativa que existe entre las entidades locales. La responsabilidad de las acciones a nivel local, y la obligación de responder de ellas, seguirán recayendo en las entidades afiliadas a ExxonMobil. Debido a la continua investigación y desarrollo de los productos, la información aquí contenida podría verse modificada sin previo aviso. Las características típicas podrían variar ligeramente.
© 2001 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.

Anexo 10. Hoja técnica del horno para tratamiento térmico de templado.



Taller para sistema de templado MHS 17

El sistema de templado MHS 17 se ha diseñado de forma modular y consta de una mesa para los hornos de tratamiento térmico, un baño de aceite para el enfriamiento y un baño de agua para llevar a cabo la limpieza de las piezas. Opcionalmente, los baños se pueden suministrar con calentamiento. Los baños se montan a la derecha e izquierda de la mesa y disponen de cestas de carga para poder mover las piezas en el baño y conseguir un enfriamiento uniforme. Todas las piezas pueden pedirse por separado, de forma que el sistema de templado pueda combinarse o incluso reequiparse de forma personalizada según los aceros que deban procesarse.

Para aceros para temple al aire el MHS 17 puede ampliarse con un sistema de templado al aire. Esta mesa está equipada con un ventilador de refrigeración de elevada potencia para entrar en aire las piezas que deben templarse, p. ej. también la bolsa de recocido para la inyección de gas con soporte. Para colocar las cajas y piezas calientes se usa una base de ladrillo ligero refractario. Los baños de enfriamiento también pueden fijarse en el sistema de templado al aire.

Para depositar los accesorios y/o para realizar la carga puede integrarse una mesa de recepción adicional en el sistema.

Equipamiento opcional véase página 70.



MHS 17

Modelo	Tmix °C	Dimensiones internas en mm			Volumen en l	Dimensiones externas en mm			Potencia calorífica en kW ¹	Conexión eléctrica ²	Peso en kg
		anch.	prof.	alt.		Anch.	Prof.	Alt.			
para MHS 17											
N 7/H	1200	250	250	120	7	720	640	510	3,0	monofásica	
N 11/H	1200	250	350	140	11	720	740	510	3,6	monofásica	70
N 11/HR	1200	250	350	140	11	720	740	510	5,5	trifásica ³	70
N 17/HR	1200	250	500	140	17	720	890	510	6,4	trifásica ³	90
N 15/BSHA	650	295	340	170	15	470	845	460	2,4	monofásica	55

¹Calificación solo entre dos fases

²Potencia dependiendo del diseño del horno. Según la carga, puede aumentar

³Para la conexión eléctrica véase página 59

Nom. art.	Artículo	Dimensiones externas en mm			Volumen en l	Medidas de la rejilla de carga		Potencia kW	Tensión de conexión
		Anch.	Prof.	Alt.		Anchura en mm	Longitud en mm		
631006421	Mesa	1000	850	760	-	-	-	-	-
631006407	Baño de aceite	200	510	510	50	400	200	-	-
631006408	Baño de agua	200	510	510	50	400	200	-	-
631001011	Elemento calefactor (baño de aceite)	-	-	-	-	-	-	3,0	230 V
631001012	Elemento calefactor (baño de agua)	-	-	-	-	-	-	3,0	230 V
631000429	Sistema de templado al aire (mesa de enfriamiento)	560	610	760	-	400	200	0,2	230 V
631000442	Mesa de depósito	560	610	760	-	-	-	-	-

Anexo 11. Norma E18-15 para ensayo de dureza.



Designation: E18 – 15

An American National Standard

Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials^{1,2}

This standard is issued under the fixed designation E18; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials by the Rockwell indentation hardness principle. This standard provides the requirements for Rockwell hardness machines and the procedures for performing Rockwell hardness tests.

1.2 This standard includes additional requirements in annexes:

Verification of Rockwell Hardness Testing Machines	Annex A1
Rockwell Hardness Standardizing Machines	Annex A2
Standardization of Rockwell Indenters	Annex A3
Standardization of Rockwell Hardness Test Blocks	Annex A4
Guidelines for Determining the Minimum Thickness of a Test Piece	Annex A5
Hardness Value Corrections When Testing on Convex Cylindrical Surfaces	Annex A6

1.3 This standard includes nonmandatory information in appendixes which relates to the Rockwell hardness test.

List of ASTM Standards Giving Hardness Values Corresponding to Tensile Strength	Appendix X1
Examples of Procedures for Determining Rockwell Hardness Uncertainty	Appendix X2

1.4 *Units*—At the time the Rockwell hardness test was developed, the force levels were specified in units of kilograms-force (kgf) and the indenter ball diameters were specified in units of inches (in.). This standard specifies the units of force and length in the International System of Units (SI); that is, force in Newtons (N) and length in millimeters (mm). However, because of the historical precedent and continued common usage, force values in kgf units and ball diameters in inch units are provided for information and much of the discussion in this standard refers to these units.

1.5 The test principles, testing procedures, and verification procedures are essentially identical for both the Rockwell and

Rockwell superficial hardness tests. The significant differences between the two tests are that the test forces are smaller for the Rockwell superficial test than for the Rockwell test. The same type and size indenters may be used for either test, depending on the scale being employed. Accordingly, throughout this standard, the term Rockwell will imply both Rockwell and Rockwell superficial unless stated otherwise.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- A623 Specification for Tin Mill Products, General Requirements
- A623M Specification for Tin Mill Products, General Requirements [Metric]
- B19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks
- B36/B36M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B96/B96M Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels
- B103/B103M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B121/B121M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B122/B122M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets
- B134/B134M Specification for Brass Wire

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved Feb. 1, 2015. Published March 2015. Originally approved in 1932. Last previous edition approved in 2014 as E18 – 14a. DOI: 10.1520/E0018-15.

² In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

- B152/B152M Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar
- B370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction
- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E92 Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials (Withdrawn 2010)⁴
- E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness
- E384 Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- 2.2 *American Bearings Manufacturer Association Standard:*
ABMA 10-1989 Metal Balls⁵
- 2.3 *ISO Standards:*
ISO 6508-1 Metallic Materials—Rockwell Hardness Test—Part 1: Test Method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)⁶
- ISO/IEC 17011 Conformity Assessment—General Requirements for Accreditation Bodies Accrediting Conformity Assessment Bodies⁶
- ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories⁶
- 2.4 *Society of Automotive Engineers (SAE) Standard:*
SAE J417 Hardness Tests and Hardness Number Conversions⁷

3. Terminology and Equations

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

3.1.3 *standardization*—to bring in conformance to a known standard through verification or calibration.

3.1.4 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroconical indenter or tungsten carbide (or steel) ball indenter, under specified conditions, into the surface of the material under test, and to measure the difference in depth of the indentation as the force on the indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.5 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used with a shorter depth scale.

3.1.6 *Rockwell hardness number*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.7 *Rockwell hardness machine*—a machine capable of performing a Rockwell hardness test and/or a Rockwell superficial hardness test and displaying the resulting Rockwell hardness number.

3.1.7.1 *Rockwell hardness testing machine*—a Rockwell hardness machine used for general testing purposes.

3.1.7.2 *Rockwell hardness standardizing machine*—a Rockwell hardness machine used for the standardization of Rockwell hardness indenters, and for the standardization of Rockwell hardness test blocks. The standardizing machine differs from a regular Rockwell hardness testing machine by having tighter tolerances on certain parameters.

3.2 Equations:

3.2.1 The *average* \bar{H} of a set of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (1)$$

3.2.2 The *error* E in the performance of a Rockwell hardness machine at each hardness level, relative to a standardized scale, is determined as:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (2)$$

where:

\bar{H} = average of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n made on a standardized test block as part of a performance verification, and

H_{STD} = certified average hardness value of the standardized test block.

3.2.3 The *repeatability* R in the performance of a Rockwell hardness machine at each hardness level, under the particular verification conditions, is estimated by the range of n hardness measurements made on a standardized test block as part of a performance verification, defined as:

$$R = H_{max} - H_{min} \quad (3)$$

where:

H_{max} = highest hardness value, and

H_{min} = lowest hardness value.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test that can provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

⁴ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

⁵ Available from American Bearing Manufacturers Association (ABMA), 2025 M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036.

⁶ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

⁷ Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001, <http://www.sae.org>.






Anexo 12. Resultados del análisis de espectrofotometría.






	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
8	95.7	1.05	0.233	1.33	0.0133	0.0141	0.596
10	95.8	1.03	0.229	1.32	0.0137	0.0177	0.589
11	95.8	1.02	0.226	1.31	0.0126	0.0158	0.598
12	95.8	1.01	0.227	1.31	0.0127	0.0176	0.594
Average	95.8	1.03	0.229	1.32	0.0131	0.0163	0.594
	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
8	0.0764	0.101	0.0210	0.0085	0.0705	< 0.0005	0.0019
10	0.0726	0.0995	0.0203	0.0083	0.0670	< 0.0005	0.0019
11	0.0736	0.102	0.0207	0.0084	0.0679	< 0.0005	0.0026
12	0.0709	0.0996	0.0207	0.0086	0.0694	< 0.0005	0.0016
Average	0.0734	0.100	0.0207	0.0085	0.0687	< 0.0005	0.0020
	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
8	0.0909	0.599	0.0060	0.0079	0.0010	< 0.0001	0.0048
10	0.0861	0.567	0.0069	0.0079	0.0011	< 0.0001	0.0047
11	0.0866	0.568	0.0100	0.0071	0.0009	< 0.0001	0.0047
12	0.0881	0.574	0.0087	0.0077	0.0010	< 0.0001	0.0048
Average	0.0879	0.577	0.0079	0.0077	0.0010	< 0.0001	0.0047
	Zn	Bi	As	Se	Sb		
8	0.0041	0.0146	0.0121	0.0130	0.0126		
10	0.0041	0.0113	0.0117	0.0127	0.0109		
11	0.0041	0.0114	0.0121	0.0131	0.0108		
12	0.0041	0.0115	0.0118	0.0127	0.0089		
Average	0.0041	0.0122	0.0119	0.0129	0.0108		






Anexo 13. Resultados promedio de los ensayos de espectrofotometría.






Number of burns : 4					
Element	Average	S.D.	R.S.D.	Minimum	Maximum
Fe %	95.8	0.0525	0.1	95.7	95.8
C %	1.03	0.0194	1.9	1.01	1.05
Si %	0.229	0.0030	1.3	0.226	0.233
Mn %	1.32	0.0095	0.7	1.31	1.33
P %	0.0131	0.0005	4.0	0.0126	0.0137
S %	0.0163	0.0017	10.6	0.0141	0.0177
Cr %	0.594	0.0041	0.7	0.589	0.598
Mo %	0.0734	0.0023	3.2	0.0709	0.0764
Ni %	0.100	0.0011	1.1	0.0995	0.102
Al %	0.0207	0.0003	1.5	0.0203	0.0210
Co %	0.0085	0.0001	1.5	0.0083	0.0086
Cu %	0.0687	0.0015	2.3	0.0670	0.0705
Nb %	< 0.0005	0.0000	0.0	< 0.0005	< 0.0005
Ti %	0.0020	0.0004	20.2	0.0016	0.0026
V %	0.0879	0.0021	2.4	0.0861	0.0909
W %	0.577	0.0152	2.6	0.567	0.599
Pb %	0.0079	0.0017	22.6	0.0060	0.0100
Sn %	0.0077	0.0003	4.9	0.0071	0.0079
B %	0.0010	0.0000	7.8	0.0009	0.0011
Ca %	< 0.0001	0.0000	0.0	< 0.0001	< 0.0001
Zr %	0.0047	0.0000	1.0	0.0047	0.0048
Zn %	0.0041	0.0000	1.0	0.0041	0.0041
Bi %	0.0122	0.0015	13.0	0.0113	0.0146
As %	0.0119	0.0002	1.8	0.0117	0.0121
Se %	0.0129	0.0002	1.8	0.0127	0.0131
Sb %	0.0108	0.0014	13.8	0.0089	0.0126






Anexo 14. Evidencia de las mediciones de dureza superficial.






Experimento 1				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				





Experimento 2				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 3				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				


Experimento 4				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 5				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 6				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 7				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 8				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 9				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 10				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				



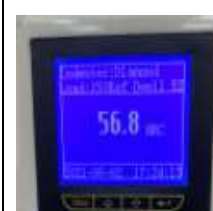


Experimento 11				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				


Experimento 12				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 13				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 14				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 15				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 16				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 17				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				






Experimento 18				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 19				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 20				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 21				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 22				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 23				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
				

Experimento 24				
Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
