



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CARACTERIZACIÓN DEL ACERO K100 UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE  
HERRAMIENTAS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA MADERA**

**TRABAJO DE TITILACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE: INGENIEROS MECÁNICOS**

**AUTORES: ANGELO MARCELO REASCO PIÑEIRO**

**JEFFERSON DAVID LIGÑA CACHAGO**

**TUTOR: MILTON SALOMON JAMI LEMA**

Quito-Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Jefferson David Ligña Cachago con documento de identificación N° 1717742736 y Angelo Marcelo Reasco Piñeiro con documento de identificación N° 0850273327; 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, 21 de septiembre del 2022

Atentamente,



Jefferson David Ligña Cachago

1717742736



Angelo Marcelo Reasco Piñeiro

0850273327

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

Nosotros, Jefferson David Ligña Cachago con documento de identificación No. 1717742736 y Angelo Marcelo Reasco Piñeiro con documento de identificación No. 0850273327, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: CARACTERIZACIÓN DEL ACERO K100 UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA MADERA, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, 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 final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de septiembre del 2022

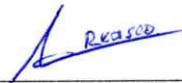
Atentamente,



---

Jefferson David Ligña Cachago

1717742736



---

Angelo Marcelo Reasco Piñeiro

0850273327

## **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: CARACTERIZACIÓN DEL ACERO K100 UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA MADERA, realizado por Jefferson David Ligña Cachago con documento de identificación N°1717742736 y Angelo Marcelo Reasco Piñeiro por con documento de identificación N° 0850273327, 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, 21 de septiembre del 2022

Atentamente,



Ing. Milton Salomón Jami Lema, MSc

1707254171

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso y poder cumplir uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, Estuardo Ligña y Maria Dolores Cachago, por su amor incondicional, paciencia y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes eh logrado llegar hasta aquí y cumplir esta meta, solo puedo decirles un Dios le pague. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejore padres

A mi hermano Edison, por estar siempre presente y ser la persona que me impulso a seguir esta gran carrera.

A mi compañera de vida, Andrea quien cada día me daba ánimos para seguir adelante y nunca decaer.

*Jefferson Ligña*

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por darme las fuerzas necesarias para alcanzar este objetivo, al cual dedique muchos años de mi vida, en segundo lugar, mis motores Adira Reasco y Anny Reasco mujeres con la capacidad de inspirarme y buscar siempre la superación personal.

Dedico a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional, gracias a las enseñanzas impartidas por mis mentores de vida, ya que esto me permitió tener suficiente carácter para afrontar momentos súper complicados a lo largo de esta trayectoria de mi vida, en donde muchas veces sentía desplomarme.

Dedico a cada una de las personas que me ayudaron en este proceso, los tengo bien identificados y espero la vida me permita contribuir lo ayudado.

*Angelo Reasco*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una meta más, a mis padres, mi hermano y mi amigo Luis Díaz, por todo su apoyo.

Agradezco al Ingeniero Milton Jami por sus grandes enseñanzas, por guiar este trabajo con todas sus cualidades.

*Jefferson Ligña*

Agradezco a Dios por las oportunidades que me brinda todos los días, a mi familia, amigos, en especial todos los que fueron parte de este proceso.

Agradezco al Ingeniero Milton Jami por estar siempre presente en la realización de este proyecto.

Agradezco a la residencia intercultural Salesiana y a todas las personas que la conforman por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios, ya que sin ellos este sueño no sería realidad.

*Angelo Reasco*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
GLOSARIO.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	xx
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Aceros aleados.....	1
1.2 Organización de los aceros aleados en función a su utilización .....	1
1.2.1 Por su estructura microscópica .....	2
1.3 Norma AISI.....	3
1.3.1 Aceros para trabajo en frío según la norma AISI.....	3
1.4 Recocido.....	4
1.4.1 Recocidos de aceros tipo 0.....	5
1.5 Temple de aceros tipo 0.....	5
1.5.1 Tipos de aleaciones de acero con tratamiento térmico. ....	5
1.6 Aceros de alta resistencia al desgaste.....	7

1.6.1 Acero K 100 .....	7
1.6.2 Aleación del acero K 100.....	8
1.6.3 Uso del acero K 100.....	8
1.7 Revenido.....	8
1.8 Tratamiento térmico del acero K 100.....	9
1.9 Acero K 110 .....	10
1.10 Acero K 455 .....	11
1.11 Acero K460 .....	12
1.12 Medición de la dureza de los aceros.....	13
1.13 Aceros bonificados.....	15
1.14 Tipos de madera .....	16
1.14.1 Madera Tangare .....	16
1.14.1.2 Láminas de madera tangare.....	16
1.14.1.3 Propiedades mecánicas y físicas de la madera .....	17
1.14.2 Madera Nato.....	18
1.14.3 Eucalipto .....	19
1.14.4 Madera Canelo .....	20
1.14.5 Madera Laurel .....	21
1.14.6 Madera de roble .....	22
1.14.7 Madera caoba .....	24
1.14.8 Madera Madroño.....	25
1.14.9 Madera chanul.....	25
1.14.10 Madera Quebracho colorado.....	26
1.15 Máquinas de carpintería .....	27
1.15.1 Sierra de cinta vertical.....	27
1.15.2 Sierra de cinta horizontal .....	27

1.15.3 Cepilladora .....	28
1.15.4 Rectificadora .....	28
1.15.5 Sierra escuadradora .....	28
1.15.6 Herramientas manuales .....	28
1.16 Procesos principales dentro de la industria de la madera .....	29
1.16.1 Sierra Circular .....	29
1.16.2 Cepillo .....	30
1.16.3 Sierra cinta .....	30
1.17 Tupi Moldeadora .....	31
1.17.1 Tupi .....	31
CAPÍTULO II .....	32
FABRICACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO DE CUCHILLAS K 100. ....	32
2.1 Fabricación de Probetas y elección del material .....	32
2.2 Dureza de las probetas .....	34
2.3 Tratamientos térmicos de las probetas .....	35
2.4 Dureza luego del tratamiento térmico .....	36
2.5 Corte con las cuchillas en la madera .....	37
CAPÍTULO III .....	39
PROCESO EXPERIMENTAL .....	39
3.1 Determinación de la composición química del material .....	39
3.2 Ensayos de espectrofotometría .....	39
3.3 Acero base K100. ....	42
3.4 Acero K100 templado y revenido. ....	43
3.5 Formulación matemática .....	47
3.5.1 Cálculos de grados de libertad. ....	47
3.5.2 Suma de cuadrados totales .....	48

3.5.3 Cálculo de varianza.....	48
3.5.4 Varianza de cada factor.....	49
3.5.5 Error .....	49
3.5.6 Error de la varianza.....	50
3.5.7 Prueba exacta de Fisher.....	50
3.5.8 Porcentaje de influencia (%).....	51
CAPÍTULO IV .....	52
ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	52
4.1 Análisis de estadístico de varianza ANOVA .....	52
4.2 Observación estadístico de los resultados de dureza superficial .....	52
4.3 Validación de datos .....	53
4.4 Análisis de varianza ANOVA .....	54
4.5 Análisis estadístico de resultados de eficiencia.....	56
4.6 Análisis y comparación de las cuchillas antes y después de ser sometidas al trabajo .....	61
4.7 Costos .....	64
4.7.1Costos directos .....	64
CONCLUSIONES .....	66
RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
ANEXOS.....	1

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Elementos con aleación para fabricación de aceros aleados [6].	1
<b>Tabla 2.</b> Aceros de tipo aleado en función a su utilización[6].	2
<b>Tabla 3.</b> Estructura microscópica de los aceros[6].	3
<b>Tabla 4.</b> Composición química nominales[7].	4
<b>Tabla 5.</b> Recocido total[7].	5
<b>Tabla 6.</b> Temple de aceros tipo O[7].	5
<b>Tabla 7.</b> Composición química nominales[7].	5
<b>Tabla 8.</b> Composición química nominales[7].	6
<b>Tabla 9.</b> Comparación de propiedades de los aceros de trabajo en frío[7].	6
<b>Tabla 10.</b> Valor porcentual de la composición química del acero K100[5].	8
<b>Tabla 11.</b> Procesos térmico del acero K100[5].	8
<b>Tabla 12.</b> Composición Química del acero K 110[5].	10
<b>Tabla 13.</b> Composición Química del acero K 455[5].	11
<b>Tabla 14.</b> Composición Química del acero K 460[5].	13
<b>Tabla 15.</b> Resultados de la dureza de las muestras [16].	15
<b>Tabla 16.</b> Propiedades físicas y mecánicas[20].	18
<b>Tabla 17.</b> Propiedades físicas[22].	18
<b>Tabla 18.</b> Propiedades mecánicas[22].	19
<b>Tabla 19.</b> Propiedades mecánicas[22].	19
<b>Tabla 20.</b> Propiedades físico-mecánicas de la madera Eucalipto[23].	20
<b>Tabla 21.</b> Propiedades mecánicas de la madera Canelo[25].	21
<b>Tabla 22.</b> Propiedades físico mecánicas del laurel[26].	22
<b>Tabla 23.</b> Propiedades mecánicas del laurel al 12% de humedad[26].	22
<b>Tabla 24.</b> Propiedad en madera Quercus petraea[28].	23
<b>Tabla 25.</b> Propiedad en madera Quercus Cerroides[28].	23

<b>Tabla 26.</b> Propiedad en madera <i>Quercus Canariensis</i> [28].....	24
<b>Tabla 27.</b> Propiedades físicas de la caoba[30].....	24
<b>Tabla 28.</b> Propiedades mecánicas de la caoba[30]. .....	24
<b>Tabla 29.</b> Propiedades mecánicas de la caoba[30]. .....	25
<b>Tabla 30.</b> Propiedades Mecánicas de la madera Chanul [34].....	26
<b>Tabla 31.</b> Propiedades Físicas y mecánicas del Quebracho colorado chaqueño[36]. .....	27
<b>Tabla 32.</b> Matriz de decisión. ....	33
<b>Tabla 33.</b> Propiedades químicas [5]. ....	39
<b>Tabla 34.</b> Valor porcentual de la Tabla .....	40
<b>Tabla 35.</b> Valor porcentual de la Tabla .....	40
<b>Tabla 36.</b> Valor porcentual de la Tabla .....	41
<b>Tabla 37.</b> Error porcentual.....	41
<b>Tabla 38.</b> Dureza base del acero K100 .....	42
<b>Tabla 39.</b> Dureza base del acero K100 .....	43
<b>Tabla 40.</b> Temple a 970°C.....	44
<b>Tabla 41.</b> Revenido a 280°C y 300°C .....	44
<b>Tabla 42.</b> Temple a 940°C.....	45
<b>Tabla 43.</b> Revenido a 280°C y 300°C .....	45
<b>Tabla 44.</b> Corte de la madera tipo nato.....	46
<b>Tabla 45.</b> Resultados conseguidos en los ensayos de dureza superficial con la técnica de análisis estadístico ANOVA.....	51
<b>Tabla 46.</b> Variables del ensayo.....	52
<b>Tabla 47.</b> Número de probetas a ensayar.....	52
<b>Tabla 48.</b> Resultados del ensayo de dureza a las herramientas de corte tratadas térmicamente. .....	52
<b>Tabla 49.</b> Niveles y factores utilizados en el experimento .....	55

<b>Tabla 50.</b> Resultados de grados de libertad del ensayo mediante el análisis estadístico ANOVA .....	56
<b>Tabla 51.</b> Resultados obtenidos de la tasa de eficiencia mediante el análisis estadístico ANOVA .....	57
<b>Tabla 52.</b> Costos de materiales .....	64
<b>Tabla 53.</b> Costos de mano de obra .....	65
<b>Tabla 54.</b> Costos de transporte .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico de temperatura vs tiempo del recocido [5].	4
<b>Figura 2.</b> Gráfico de temperatura vs tiempo del recocido [5].	4
<b>Figura 3.</b> Esquema del tratamiento térmico K 100 [5].	9
<b>Figura 4.</b> Diagrama de temple y revenido [5]	9
<b>Figura 5.</b> Grafica del temple del acero K110[5].	10
<b>Figura 6.</b> Grafica del revenido del acero K110[5].	10
<b>Figura 7.</b> Grafica del temple y revenido del acero K455[5].	12
<b>Figura 8.</b> Grafica del revenido del acero K455	12
<b>Figura 9.</b> Diagrama de revenido del acero K460[5].	13
<b>Figura 10.</b> Esquema de la máquina para el ensayo Small Punch [18].	16
<b>Figura 11.</b> Corte radial de madera Tangare [20].	17
<b>Figura 12.</b> Corte tangencial madera Tangare [20].	17
<b>Figura 13.</b> La madera chanul [34].	26
<b>Figura 14.</b> Sierra circular.	29
<b>Figura 15.</b> Cepillo de carpintería.	30
<b>Figura 16.</b> Sierra cinta	30
<b>Figura 17.</b> Tupie herramienta para carpintería	31
<b>Figura 18.</b> Cuchillas cortadas	32
<b>Figura 19.</b> Afilado de cuchillas K100	33
<b>Figura 20.</b> Cuchillas K100.	34
<b>Figura 21.</b> Medidor de la dureza	34
<b>Figura 22.</b> Pruebas con la probeta	35
<b>Figura 23.</b> Tratamiento térmico.	35
<b>Figura 24.</b> Medición de la dureza.	36
<b>Figura 25.</b> Corte de madera	37

<b>Figura 26.</b> Corte de las medidas establecidas.....	37
<b>Figura 27.</b> Trabajo con cuchilla K100.....	38
<b>Figura 28.</b> Corte de la madera .....	38
<b>Figura 29.</b> Horno de revenido. ....	46
<b>Figura 30.</b> Horno de revenido .....	47
<b>Figura 31.</b> Longitud de madera Nato-cortada .....	47
<b>Figura 32.</b> Gráfica de tiempo de la dureza superficial en las herramientas de corte tratadas térmicamente .....	53
<b>Figura 33.</b> Gráfica de tiempo de la dureza superficial en las herramientas de corte tratadas térmicamente .....	53
<b>Figura 34.</b> Probabilidad de la dureza obtenida en las herramientas de corte tratadas térmicamente .....	54
<b>Figura 35.</b> Resultados conseguidos de temperatura de temple – dureza en el software Minitab .....	55
<b>Figura 36.</b> Intervalos en temperatura de temple – dureza obtenidos en el software Minitab..	55
<b>Figura 37.</b> Resultados obtenidos de temperatura de revenido – dureza en el software Minitab .....	56
<b>Figura 38.</b> Intervalos de temperatura de revenido – dureza obtenidos en el software Minitab .....	56
<b>Figura 39.</b> Resultados obtenidos de temperatura de temple – tasa de eficiencia en el software Minitab .....	58
<b>Figura 40.</b> Intervalos temperatura de temple – dureza obtenidos en el software Minitab .....	58
<b>Figura 41.</b> Resultados obtenidos de temperatura de temple – tasa de eficiencia en el software Minitab .....	58
<b>Figura 42.</b> Intervalos temperatura de revenido – tasa de eficiencia obtenidos en el software Minitab .....	59
<b>Figura 43.</b> Intervalos temperatura de revenido – tasa de eficiencia obtenidos en el software Minitab .....	59

<b>Figura 44.</b> Dureza a temple 970°C .....	60
<b>Figura 45.</b> Dureza de herramientas sometida a temple 970°C y revenido a 280°C .....	61
<b>Figura 46.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x.....	62
<b>Figura 47.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x.....	62
<b>Figura 48.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x.....	62
<b>Figura 49.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x.....	63
<b>Figura 50.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x.....	63
<b>Figura 51.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x.....	63
<b>Figura 52.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x.....	64
<b>Figura 53.</b> Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x.....	64

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la aplicación de procesos térmicos, tales como temple luego un posterior revenido, al acero K100 (AISI D3) con diferentes condiciones tanto de temperatura en el temple como en las de revenido, basándose en el parámetro que establece el proveedor del material en este caso aceros Böhler (Voestalpine).

Para realizar la investigación, se procede a seleccionar un material adecuado que tenga características de resistencia al desgaste por abrasión, que no exceda en cuanto a su costo y lo más importante que tenga buenas prestaciones mecánicas, como es el caso del acero K100, a continuación se establecieron parámetros de tratamientos térmicos con condiciones diferentes para luego comparar con las características técnicas del acero AISI 1018, este material es implementado en la fabricación de herramientas en el taller carpintería Marcelo, ubicado en San Lorenzo provincia de Esmeraldas.

Una vez fabricadas las herramientas con los parámetros de temple y revenido se procedieron a realizar cortes experimentales en la madera de nato, la cual tiene propiedades mecánicas muy favorables para poder hacer el estudio referente al desgaste por abrasión que puede tener cada herramienta.

Con los datos ya obtenidos fue posible implementar criterios fundamentales para establecer conclusiones, recomendaciones en base a la experimentación, graficas, figuras que se obtuvieron en torno a la investigación planteada.

**Palabras claves:** Tratamientos térmicos, resistencia, desgaste, propiedades mecánicas.

## ABSTRACT

The present work was carried out the application of thermal processes, such as quenching then a subsequent tempering, to K100 steel (AISI D3) with different conditions of both quenching and tempering temperatures, based on the parameter established by the supplier of the steel. material in this case Böhler steels (Voestalpine).

To carry out the investigation, a suitable material is selected that has characteristics of resistance to wear by abrasion, which does not exceed its cost and, most importantly, that has good mechanical performance, as is the case of K100 steel, below. Parameters of thermal treatments with different conditions were established to later compare with the technical characteristics of AISI 1018 steel, this material is implemented in the manufacture of tools in the Marcelo carpentry workshop, located in San Lorenzo, province of Esmeraldas.

Once the tools were manufactured with the hardening and tempering parameters, experimental cuts were made in the nato wood, which has very favorable mechanical properties to be able to carry out the study regarding the abrasive wear that each tool can have.

With the data already obtained, it was possible to implement fundamental criteria to establish conclusions, recommendations based on experimentation, graphs, figures that were obtained around the proposed investigation.

**Keywords:** Heat treatments, resistance, wear, mechanical properties.

## GLOSARIO

**Tratamientos térmicos:** realizar calentamiento en un determinado material con las especificaciones del fabricante, y posterior a esto en enfriamiento en un determinado fluido provoca modificaciones en la microestructura del material[1].

**Abrasión:** resistencia que presenta un determinado material al exponerlo a desgaste generado por una constante fricción entre dos materiales[2].

**Herramientas de Carpintería:** utensilios diseñados y fabricados con el objetivo de laborar la madera existen en sin número de materiales. Los materiales más usados para realizar este tipo de herramientas “son aceros de alta velocidad, acero de aleación endurecida, carburos, diamante holocristalinos, carburos cementados”[3].

**Madera:** material el cual está conformado de celulosa Para clasificar la madera existen dos grandes grupos los cuales llevan la denominación de maderas blandas o gimnospermas y angiospermas cual nombre se les otorga a las maderas duras[1].

**Anova:** método eficaz para determinar variabilidad en un determinado sistema cuantificables. Que permite obtener las variables que más influyen en los resultados obtenidos.

**Dureza:** resistencia que posee un determinado material hacer perforado por un material más duro[2].

**Dureza Rockwell:** este método tiene la peculiaridad que utiliza la escala Rockwell para medir la dureza que presenta un determinado material a ser penetrado.

**Revenido:** este proceso lo que ayuda a tener una mayor firmeza en piezas templadas, pero se disminuye la dureza obtenida en el temple. En este proceso la temperatura del calentamiento en este proceso es menor a la temperatura de temple. Se puede dejar enfriar al aire o en otros casos enfriarlos en aceite o agua[1].

**Propiedades mecánicas en la madera:** son las que ayudan a determinar la aptitud y capacidad para tolerar cargas externas la que puede estar sometida la madera, se descarta todos los esfuerzos debidos a las tensiones internas producidas por los cambios de la humedad[4].

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el taller de “Carpintería Marcelo”, se fabrica herramientas, para este proceso se utiliza como material base el acero AISI 1018, muchas de estas cuchillas no se encuentran en el mercado debido a que son fabricadas de forma artesanal en función a varios parámetros, en el cual destaca la geometría que requiere dicha herramienta para usarla en la fabricación de muebles con diseños diferentes a los que se comercializan en el sector.

Muchas de las herramientas comerciales en el sector, tienen precios no accesibles para las empresas PYMES, y las herramientas que se comercializan en el exterior, son de difícil adquisición para los artesanos.

Las herramientas fabricadas en “Carpintería Marcelo” tienen dos limitantes muy relevantes de resaltar, debido a que se fabrican de una forma artesanal, su geometría no es uniforme y por otro lado las prestaciones que brinda el acero AISI 1018 hace que el material presente desgaste por abrasión en su filo, lo que limita la productividad del taller.

En la fabricación de productos mobiliarios es indispensable el uso de ciertas máquinas herramientas entre ellas una “tupi” para carpintería, las cuales permiten realizar diferentes operaciones en la madera, entre las más usadas están, realizar molduras en el canto o cara de la madera, cortes de forma horizontal, traslapado, machihembrado. Los costos asociados que tiene el comprar herramientas para este tipo de maquina es una limitante para las Pymes, son costosas esto debido a que estas deben presentar buenas propiedades anti desgastes, sumado a eso las limitaciones en cuanto a formas y tamaño de las herramientas que se encuentran en el mercado.

Esta investigación, busca establecer parámetros que permitan mejorar las propiedades del acero K100. El cual según el fabricante “BÖHLER” es un acero con buenas propiedades fisicoquímicas lo cual lo hace apropiado para realizar herramientas de carpintería.

Se realizará a este acero una correcta práctica de temple y revenido, se obtendrá una mejora significativa en el material, esto es de mucha ayuda ya que se reduce el tiempo de afilado de la herramienta y con esto se tendrá mayor productividad, y mejor acabado en la superficie trabajada mayor facilidad para realizar todos los trabajos que realiza la máquina.

La Pymes dedicadas a la ardua tarea de trabajar la madera podrán incursionar en la fabricación de sus propias herramientas que vayan acorde a las molduras que prevén realizar en la madera con las dimensiones y formas geométricas que requiera, las cuales muchas veces no se encuentran en el mercado o la ya existentes no se pueden adaptar a ciertas “tupi”.

Esta investigación como demuestra a continuación posee parámetros claros que ayudara a todas aquellas Pymes, que obtén por utilizar el acero K100 con el objetivo de realizar herramientas utilizadas en la “tupi”. Esto permitirá obtener el máximo rendimiento de este material que de seguro estará reflejado en la productividad de las empresas en cuanto al uso de esta máquina se tratase.

Con la investigación se pretende obtener la mayor productividad con el uso de herramientas fabricadas con acero K100 (AISI D3) en la “Carpintería Marcelo”, con diferentes variables de temperatura en el temple y revenido, en función a los resultados obtenidos en la investigación y seleccionar las condiciones adecuadas de la cuchilla.

El objetivo general consiste en caracterizar el acero K100 utilizado en la fabricación de herramientas aplicadas a la industria de la madera.

Los objetivos específicos son:

- Identificar el material adecuado para la fabricación de herramientas utilizadas en la industria maderera.
- Validar la resistencia al desgaste del acero K100 luego de realizar el tratamiento térmico.
- Verificar el desempeño de la herramienta haciendo uso de una máquina tupi moldeadora.
- Determinar el rendimiento de la herramienta entorno a la productividad en la fabricación de productos mobiliarios

Para realizar la caracterización del acero K100 se realizará las actividades detalladas a continuación.

- Hacer uso del análisis estadístico anova.
- Corte de las cuchillas con máquina de corte laser wáter jet 2030 teeking.
- Afilados de las cuchillas previo a realizar los tratamientos térmicos.
- Tratamientos térmicos de las herramientas donde se utiliza los parámetros establecidos por el proveedor Böhler. El cual indica que se debe templar las probetas en un rango de temperatura entre 940 – 970 °C.
- Revenido de las probetas previamente ya templadas a 280 – 300 °C.

- Someter las cuchillas a corte en madera de nato de esta manera determinar la eficiencia que presenta cada una.

Estas se desarrollarán y se podrán ver de manera más específica a lo largo del documento.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Aceros aleados

Los aceros aleados están compuestos de cinco elementos los cuales son: azufre, manganeso, carbono, fosforo y silicio, estos aceros incluso están compuestos de porcentajes considerables de otros elementos tales como el molibdeno, níquel, carbono, entre otros [6]. Los elementos de aleación que son los más utilizados en la industria para fabricar todo tipo de aceros se ilustra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Elementos con aleación para fabricación de aceros aleados [6].

<b>Elementos de aleación</b>	
1	Níquel
2	Manganeso
3	Wolframio
4	Cromo vanadio
5	Cobalto
6	Molibdeno
7	Cobre
8	Silicio
9	Circonio
10	Titanio
11	Selenio
12	Plomo
13	Niobio

Una gran ventaja de utilizar estos aceros es la posibilidad de fabricar herramientas, piezas mecánicas de considerable espesor, que contienen una gran tasa de resistencia. En la fabricación en componentes de máquinas y motores, se llegan a obtener grandes durezas con una buena firmeza en el acero [6].

### 1.2 Organización de los aceros aleados en función a su utilización

La tabla 2 presenta tres grupos, dos de ellos son aceros de fabricación y de piezas mecánicas, el otro grupo representa la importancia de la templabilidad [6].

**Tabla 2.** Aceros de tipo aleado en función a su utilización[6].

<b>Aceros de tipo aleados</b>	
	Gran resistencia
	Cementación
	Para muelles
	Indeformables
<b>Aceros - templabilidad</b>	
	Gran resistencia
	Cementación
	Para muelles
	Nitruración
	Resistentes al desgaste
	Para uso de imanes
	Para chapa magnética
	Aceros inoxidable
<b>Aceros de construcción</b>	
	Acero de corte
	Aceros rápidos
	Aceros para trabajo de choque
	Resistentes al desgaste
	Aceros indeformables
<b>Aceros de herramientas</b>	Aceros inoxidable

### **1.2.1 Por su estructura microscópica**

Los aceros martensíticos, ferríticos, con carburos, austeníticos, perlíticos, y austeníticos, según sea su estructura después de un calentamiento son enfriados al aire para obtener su estructura. Hay casos especiales como el acero austenítico que en grandes dimensiones para obtener su estructura adecuada es recomendable enfriarlos en agua para conseguir la estructura en su totalidad austenítica. A continuación, en la tabla 3 representa las distintas clases de aceros y su tratamiento [6].

**Tabla 3.** Estructura microscópica de los aceros[6].

<b>Estructura microscópica de los aceros</b>				
<b>Aceros austeníticos</b>	<b>Aceros ferríticos</b>	<b>Aceros con carburos</b>	<b>Aceros martensíticos</b>	<b>Aceros perlíticos</b>
-Aceros cromo-níquel  -Enfriados desde elevada temperatura 900°C a 1100°C una gran parte de la austenita no se transforma  -Transformación de la austenita sucede con enfriamiento al aire o si son perfiles muy grandes con aceite o agua	-Estructura ferrítica  -No alcanzan el estado austenítico por ser calentados a alta temperatura  -Imposible realizar el temple en este tipo de aceros  -Necesitan varios tratamientos especiales	-Porcentaje de carbono superior a 0.60%  -Presentan lo mismo en estado recocido.  -Al ser enfriados con velocidades lentas aparece más carburos, al ser enfriados con velocidades rápidas sucede el proceso llamado temple.	-Cromo-Níquel, cromo-molibdeno, cromo inoxidable  -Aceros de temple al aire  -Enfriamiento desde 1050°C - 800°C  - Transformación de la austenita sucede en la zona de 20°C a 350°C  -Temple sucede con enfriamiento con agua o aceite que depende del espesor	-Aceros al carbón  -Enfriamiento: Al aire desde 750°C -900 °C espesores mayores a 25mm  -Transformación de la austenita sucede en la zona de 600°C a 700°C  -Temple sucede con enfriamiento con agua o aceite que depende del espesor

### 1.3 Norma AISI

Esta norma es reconocida por la clasificación de aleaciones de materiales metálicos no ferrosos y aceros. Su clasificación está establecida por cuatro dígitos, el primer dígito determina la aleación principal del acero, el segundo señala el porcentaje aproximado del elemento principal, los dos últimos dígitos indican porcentaje de carbono presente en la aleación.

#### 1.3.1 Aceros para trabajo en frío según la norma AISI

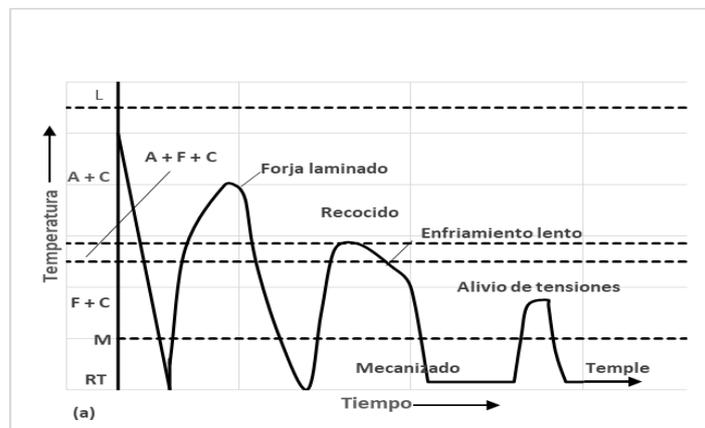
Los aceros para trabajo en frío son denominados con las siglas O, A y D.

Los aceros denominados “O” se los utiliza para trabajo en frio, al aumentar la temperatura disminuye la dureza. Los aceros más comunes templados en aceite, pueden ser aceros al carbono y HSS, poseen baja deformación en el temple y alta templabilidad, cuando existe bajas temperaturas de austenización, como se observa en la tabla 4, 5 y 6 de forma respectiva [7], también se ilustra los distintos esquemas de temple y revenido como en la figura 1 y figura 2.

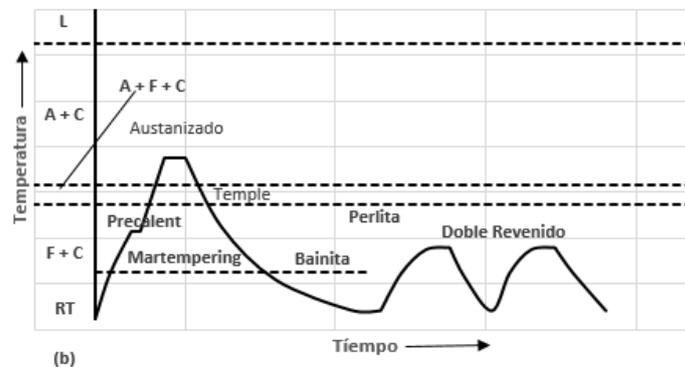
**Tabla 4.** Composición química nominales[7].

Tipo AISI	%Si	%V	%Mn	%Cr	%Mo	%C	%W
O1	0.25	0.20	1.20	0.50	-	0.95	0.50
O2	0.25	0.15	1.60	0.20	0.30	0.95	-
O7	0.25	0.20	0.25	0.60	0.25	1.20	1.60

#### 1.4 Recocido



**Figura 1.** Gráfico de temperatura vs tiempo del recocido [5].



**Figura 2.** Gráfico de temperatura vs tiempo del recocido [5].

### 1.4.1 Recocidos de aceros tipo 0

En la tabla 5 se ilustra los rangos de temperatura para tipo de acero tipo AISI 0 y los respectivos velocidad de enfriamiento.

**Tabla 5.** Recocido total[7].

Tipo AISI	
O1	T: 760°C- 790°C
O2	Velocidad de enfriamiento de 10°C/h
O7	T: 790°C- 845°C
	Velocidad de enfriamiento de 10° a 20°C/h

### 1.5 Temple de aceros tipo 0

En la tabla 6 se ilustra los rangos de dureza en relación del temple que puede tener el material.

**Tabla 6.** Temple de aceros tipo O[7].

Tipo AISI	HRc en servicio	Rango de revenido °C	HRc de temple	Temperatura de temple °C
O1	57-62	120-250	61-64	787-816
O2	57-62	120-250	61-64	760-816
				790-830 en agua
O3	58-64	165-275	61-64	845- 885 en aceite

#### 1.5.1 Tipos de aleaciones de acero con tratamiento térmico.

Los denominados tipo “A”, son los aceros templados al aire, no soportan temple en aceite por que se fisuran. Son usados para matrices ya que contienen un gran porcentaje de cromo lo que ayuda para obtener temple homogéneo, en la tabla 7 se observa sus composiciones.[7]

**Tabla 7.** Composición química nominales[7].

Tipo AISI	%Si	%W	%Mo	%Mn	%V	%Cr	%C
A2	0.25	0.25	1.00	0.60	5.00	0.50	1.00
A3	0.25	-	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00
A6	0.25	-	1.35	2.00	1.00	0.60	0.70

Por otra parte, los conocidos como “D”, son aceros de alta aleación, estos aceros contienen un gran porcentaje de carbono que son útiles para formar carburos de Cr. Son aceros que tienen un alto valor de resistencia al desgaste, en la tabla 8 se visualiza las composiciones de los elementos, de igual manera se aprecia en la tabla 9 la comparación de las características de los aceros para trabajo en frío.

**Tabla 8.** Composición química nominales[7].

Tipo AISI	%Mo	%Co	%V	%Mn	%Ni	%Cr	%Si	%C
D2	0.80		0.60	0.30		12.0	0.25	1.50
D4	0.80		0.50	0.30		12.0	0.25	2.20
D3			0.60	0.30	0.50	12.0	0.25	2.20
D5	1.00	2.00	0.50	0.30	0.35	12.5	0.50	1.50
D1	0.80		0.60	0.30		12.0	0.25	1.00

**Tabla 9.** Comparación de propiedades de los aceros de trabajo en frío[7].

**Comparación de propiedades de los aceros**

Propiedad	Nivel		
	Mejor	Medio	Menor
Templabilidad	D	A	O
Resistencia a la deformación	D	A	O
Tenacidad	A	D	O
Maquinabilidad	O	A	D
Resistencia al desgaste	D	A	O
Costo	D	A	O

## **1.6 Aceros de alta resistencia al desgaste.**

Para tener un mejor discernimiento, de lo que son los aceros de alta resistencia al desgaste, se toma en consideración los siguientes aspectos para ciertos aceros con diferentes trabajos o procesos[5].

La cantidad establecida para los aceros ledeburíticos con 12 % de cromo

- Limitado cambios dimensionales
- Elevada resistencia al desgaste

Acero para herramientas de trabajo en frío

- Resistencia al impacto
- Excelente firmeza
- Resistencia al desgaste

### **1.6.1 Acero K 100**

El K 100 según la normativa AISI D3, es un acero estándar ledeburítico el cual es una mezcla de fases que son de austenita y cementita que contienen un aproximado de 12% de Cromo, este acero es de gran utilidad en el campo ya que tiene buena resistencia al desgaste por abrasión, lo cual lo hace adecuado para la fabricación de herramientas[8].

Este acero posee la capacidad realizar herramientas que tienen como finalidad corregir el tamaño, forma, y dimensiones de diferentes materiales por presión, arranque de viruta o cortadura. Por eso se recomienda encontrar el propósito ideal para sacar el máximo rendimiento en el uso de la industria. Este tipo acero después de recibir temple y revenido quedan con una gran dureza que son capaces de cortar o comprimir materiales de bajo carbono. Sin embargo, antes del temple se debe controlar de forma rigurosa el tiempo y la temperatura de austenización, para tener en cuenta la conformación de elementos químicos del acero y su forma geométrica, que se refleja en las propiedades mecánicas óptimas de la herramienta [9].

Calmet et al.[10]. En su investigación menciona el efecto del tratamiento a baja temperatura, para obtener una estructura con menos austenita conservada en comparación con el proceso térmico convencional. Se encuentra que la cantidad de austenita conservada es menor después del tratamiento criogénico, cuanto menor es el contenido de austenita retenida, mayor es la dureza, lo que ocurre cuando la temperatura del tratamiento criogénico es menor. De manera similar, a medida que aumenta la dureza, también tiende a aumentar la resistencia al desgaste.[10] .

### 1.6.2 Aleación del acero K 100

La composición química fue investigada de la casa comercial “Böhler”[5], el cual da a conocer todos los valores del cual está compuesto este tipo de acero, como se ilustra en la tabla 10.

**Tabla 10.** Valor porcentual de la composición química del acero K100[5].  
**Composición química del acero K100**

Material	%C	%Si	%Mn	%Cr
Acero K100	2,00	0,25	0,35	11,5

El acero de la casa comercial “Böhler” tiene un color de identificación: Blanco – amarillo y un recocido máximo de 248 HB [5].

### 1.6.3 Uso del acero K 100

- Fabricación de herramientas que son utilizadas en trabajo en frío.
- Herramientas para trabajo en madera.
- Herramientas comprimir materiales cerámicos.

Tratamiento térmico del acero K 100 como se puede observar en la tabla 11, donde se presentan los diferentes tratamientos y sus respectivas temperaturas.

**Tabla 11.** Procesos térmico del acero K100[5].  
**Proceso térmico del acero K100**

<b>Forjado</b>	1050 - 850°C
<b>Recocido</b>	800 - 850°C
<b>Distensionado</b>	Aproximado 650°C
<b>Temple</b>	940 - 970°C
<b>Dureza obtenible</b>	63 – 65 HRC

### 1.7 Revenido

Tratamiento térmico a baja temperatura, se hace después del proceso llamado temple se aplica a distintos aceros de cualquier tipo, para obtener resistencia y dureza deseadas mediante

procesos de laboratorio. En la figura 3 se observa el diagrama en el cual existen 2 líneas, una entrecortada, la línea continua es de temple a 950 ° C y la entrecortada es la temperatura de temple a 1000 °C.

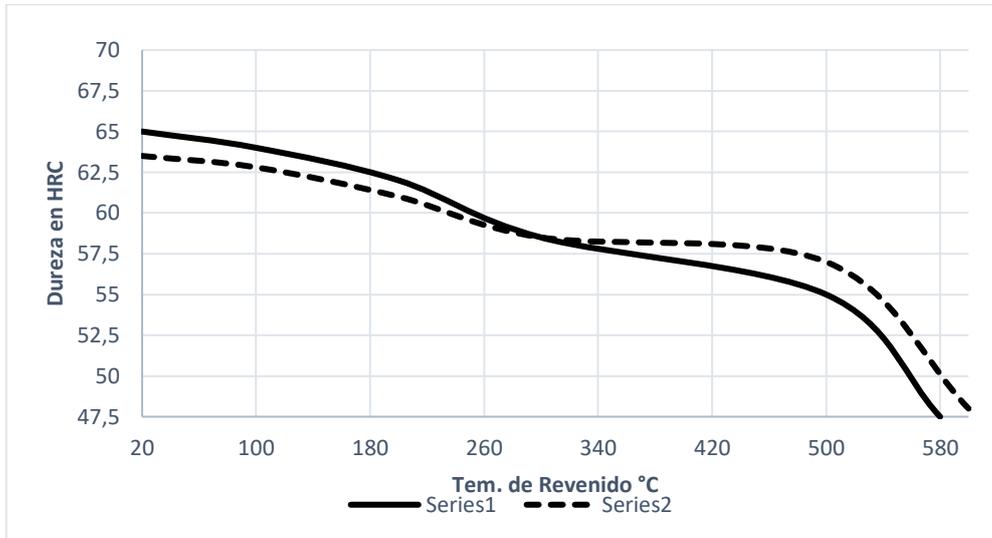


Figura 3. Esquema del tratamiento térmico K 100 [5].

### 1.8 Tratamiento térmico del acero K 100

Proceso por el cual están sometidos los aceros a diferentes cambios de temperatura, para determinar los distintos tipos de microestructuras. En la figura 4 se aprecia el diagrama a varias temperaturas para el tratamiento térmico temple y revenido.

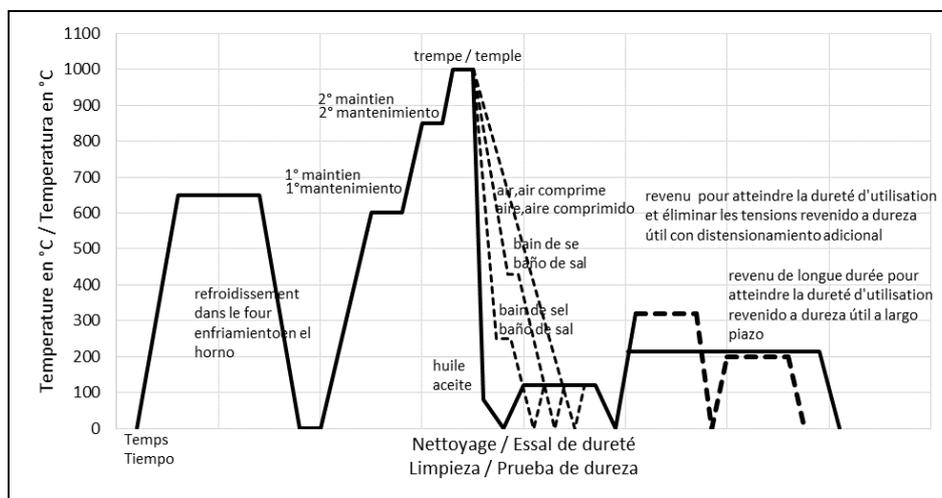


Figura 4. Diagrama de temple y revenido [5]

## 1.9 Acero K 110

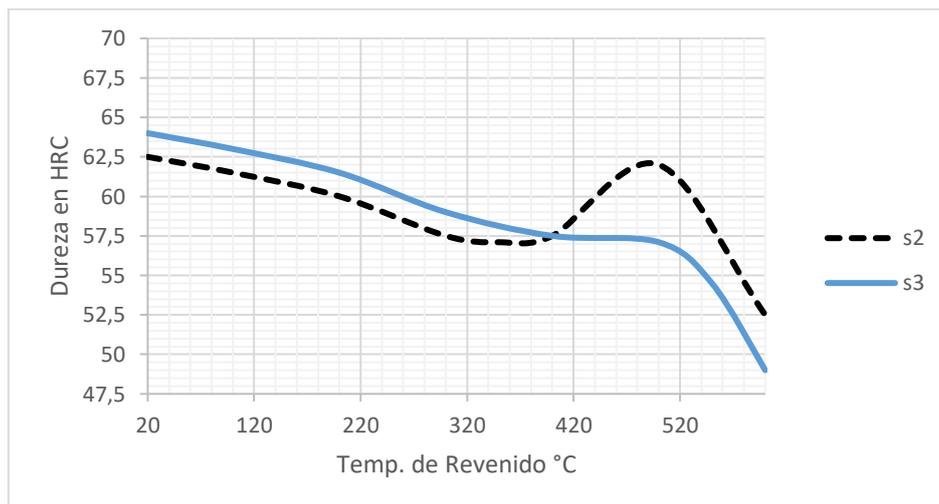
Para proceder a temprar este acero existe un rango de temperatura a considerar que va desde (1020 - 1040), con un tiempo estimado de 15 y 30 minutos posterior al calentamiento para obtener una dureza de 63 y 65 HRC[11].

Este acero presenta un gran factor de resistencia al desgaste por ende es muy utilizado para realizar “herramientas de corte complejas, fresas, extrusión, laminado de roscas”[5], también sin número de elementos donde el factor de desgaste es una limitante, con un correcto tratamiento térmico se puede mejorar de una forma significativa el material.

En la tabla 12 se observa los elementos químicos que componen este elemento según el proveedor “Böhler”[5], después se presentan los gráficos de temple en la figura 5 y de revenido en la figura 6 del acero K110 .

**Tabla 12.** Composición Química del acero K 110[5].  
**Composición Química K110 (%)**

Cr	V	Mo	C	Mn	Si
11,8	0,75	0,75	1,55	0,3	0,3



**Figura 5.** Grafica del temple del acero K110[5].

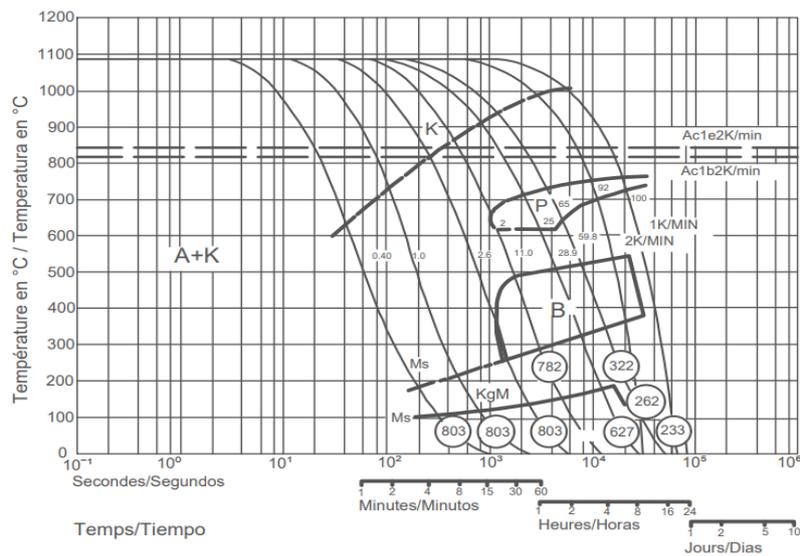


Figura 6. Grafica del revenido del acero K110[5].

### 1.10 Acero K 455

Gracias a las propiedades fisicoquímicas que posee este material como se ilustra en la tabla 13, según el fabricante Böhler. El acero K455 es muy utilizado dentro de la industria para la elaboración de elementos tales como punzones y matrices para la fabricación de chapas, herramientas de corte, punzones elaborados en frío, cuchillas de corte.

Es utilizado en la elaboración de herramientas usadas en la industria de la madera, acuñación, elaboración de herramientas neumáticas, herramientas de trabajo en caliente para usar con calor moderado.

Es importante considerar algunos factores de suma importancia para realizar trabajo de temple y revenido en el material como se ilustra en la imagen que pertenece al temple del acero K455 y la imagen pertenece al revenido del material donde los parámetros según el fabricante para realizar el temple y revenido del material se maneja en un rango de temperatura de 870- 900 °C “según en fabricante Böhler[5].

En la tabla 13 se encuentran el porcentaje químico que contiene el acero K 455 y en la figura 7 y 8 se aprecia su respectivo grafico de temple y revenido.

Tabla 13. Composición Química del acero K 455[5].

Composición Química K 455					
C	Si	Mn	Cr	V	W
0,63	0,6	0,3	1,1	0,18	2

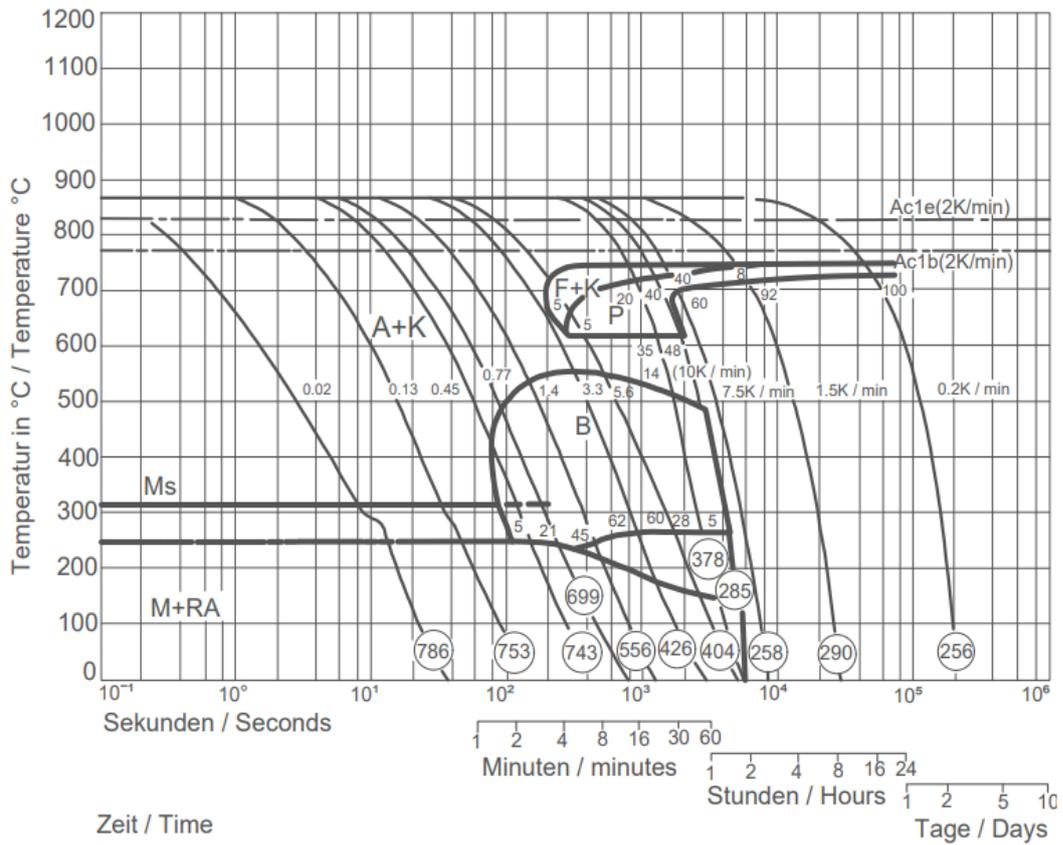


Figura 7. Grafica del temple y revenido del acero K455[5].

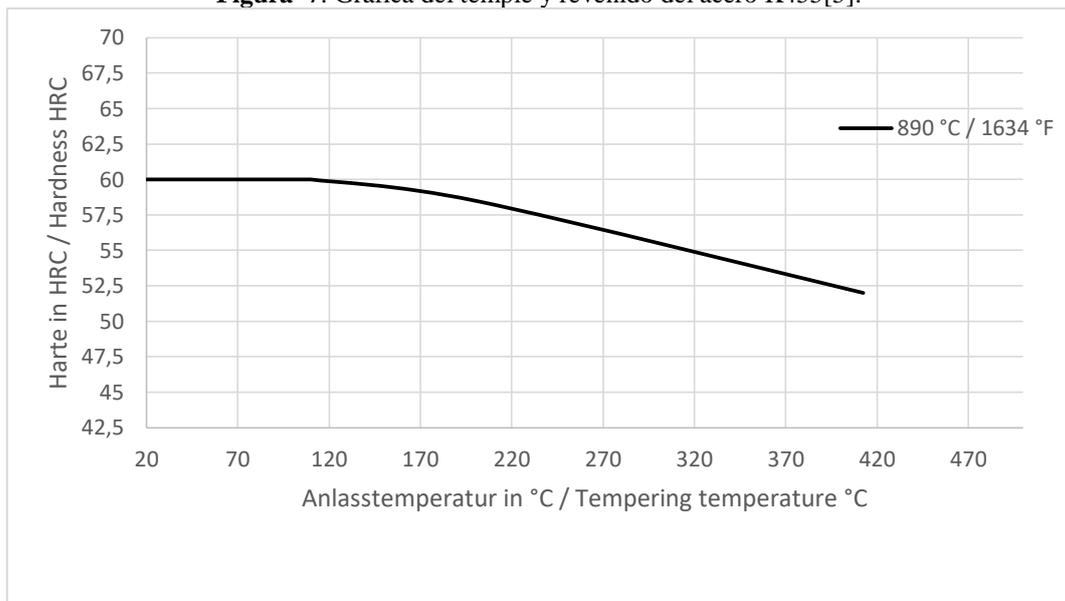


Figura 8. Grafica del revenido del acero K455

### 1.11 Acero K460

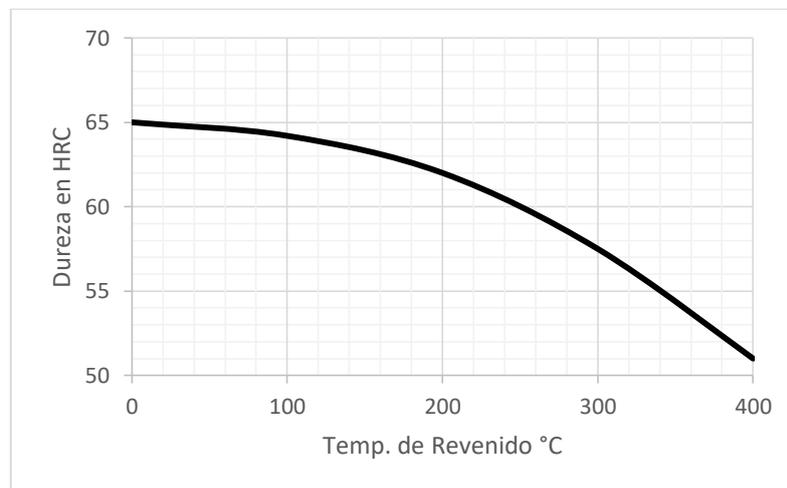
Este acero tiene propiedades físico químicas en los porcentajes detallados en la tabla 14. Es apropiado para realizar sin número de elementos tales como acero para trabajar en frío, de

temple en aceite. Para fabricación de herramientas usadas en la industria de la madera, cuchillas, industria papelera, matrices y punzones, herramientas cortantes.[5]

Según el fabricante Böhler el proceso para realizar el revenido en el material se debe mantener al menos 2 horas al ambiente, puede tomarse en consideración una hora por cada 20 mm en el espesor del material. Debe arrojar un valor aproximado en un rango de 63 – 65 HRC se tiene como referencia el grafico entre la temperatura y dureza del acero K460 [5]. En la tabla 14 se establece el porcentaje químico del acero K460 y en la figura 9 se ilustra el diagrama de revenido.

**Tabla 14.** Composición Química del acero K 460[5].

<b>Composición Química K 460</b>					
C	Si	Mn	Cr	V	W
0,95	0,25	1,10	0,55	0,10	0,55



**Figura 9.** Diagrama de revenido del acero K460[5].

### 1.12 Medición de la dureza de los aceros

Para la industria en la actualidad se ve cada vez más atraído en generar procesos de producción con equipos de trabajo las cuales proporcionen una mejor confiabilidad y disponibilidad, la industria implementa ciertas técnicas de ensayos no destructivos como una medida segura, ya que estos materiales ferromagnéticos son de una naturaleza no muy invasiva. Los materiales

como los aceros tienen propiedades que son sensibles debido a que sufren variaciones en su microestructura [12].

Jami et al.[13] realizaron una investigación para determinar la dureza y torsión del acero AISI 4340 mediante la implementación de tratamientos térmicos como el temple y revenido, con el objetivo elaborar una comparación a través de un material de suministro y otro que se encuentra tratado térmicamente, como resultado se generó la obtención de dureza entre estos dos materiales y se encontró con un incremento en las propiedades mecánicas.

Su et al. [14] mencionan en su artículo la mensuración de la dureza y la apreciación de la microestructura del acero GCr15, por medio de un método de enfriamiento térmico, en la cual la bainita sufre una transformación, la cual produce un cambio en su tamaño y una fragmentación en la superficie de los carburos. Como resultado se obtuvo que la temperatura de 860 °C, a causa del aumento de la temperatura isotérmica de 200 °C a 230 °C produjo un aumento en la tasa de modificación de la bainita en el acero GCr15.

Han et al.[15] investigaron sobre un acero que está reforzado con una dispersión de óxido FeCrAl (ODS), el cual es uno de los materiales que prometen ser efectivos en el campo de la fisión nuclear, en este experimento se pretende realizar un análisis comparativo de la dureza de un acero FeCrAl (ODS) y otro acero, pero se agregó Zr irradiado por iones pesados, para ello se implementó una difracción retro dispersada de electrones (EBSD) y microscopía electrónica. En conclusión, los dos materiales presentaron cambios en sus propiedades como la densidad, la dureza y su resistencia. Saxena et al.[16] indagaron sobre un método para la determinación de la dureza y su microestructura en un acero inoxidable austenítico SS316L, este es un acero que contiene cromo, níquel y también una ligera cantidad de molibdeno, esto permite un aumento en su resistencia a la corrosión, el propósito fundamental en la investigación es comprender el espesor y la orientación de ángulo en la dureza de los aceros, como resultado se determinó una dureza del acero de 218.835 BHN con un espesor de capa de 40µm y una orientación de ángulo de 90 °.

Para una mejor comprensión de la dureza en este tipo de acero inoxidable se ilustra en la tabla 15 el proceso y el análisis de las distintas muestras.

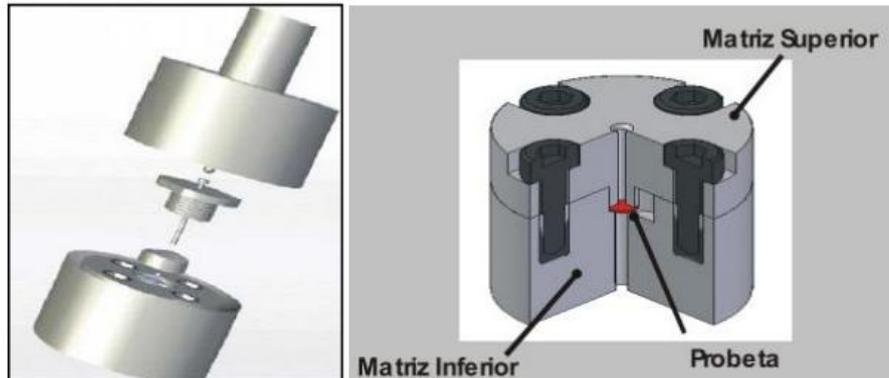
**Tabla 15.** Resultados de la dureza de las muestras [16].

<b>N° de Muestras</b>	<b>Espesor de capa (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Orientación del ángulo (grado)</b>	<b>Dureza (BHN)</b>
1	30	0	212.67
2	40	0	219
3	50	0	189.33
4	60	0	186
5	30	90	220.33
6	40	90	218.67
7	50	90	224
8	60	90	213.33

### **1.13 Aceros bonificados**

Los aceros bonificados se caracterizan por ser unos materiales que pretende tener calidad, en otras palabras, este tipo de aceros son apreciados por sus propiedades mecánicas que determinan a través de su dureza y resistencia en procesos industriales. Acero AISI 4140 es un tipo de acero con de poca aleación y medio carbono, este acero tiene propiedades como su elevada templabilidad, resistencia al desgaste y fatiga, su dureza en un estado bonificado que este alrededor de 29 a 34 HRC, se utiliza en la elaboración de componentes de máquinas en las cuales funcionan con engranajes, tornillos que necesitan buena resistencia al desgaste, cigüeñales, ejes de levas, entre otros. A medida que este acero se le aplican tratamientos térmicos como el temple y revenido, su dureza aumenta a valores entre los 50 y 56 HRC. Debido a esto los aceros bonificados llegan a ser uno de los materiales más importantes en las industrias[17].

Rodríguez et al.[18] realizaron un experimento donde se utilizó un ensayo Small Punch Test (SPT) esta metodología permite ocupar probetas de menor tamaño para la comprobación de sus características mecánicas, en este experimento se aplicó en los aceros templados y revenidos que se encuentran unidos con soldadura, para esto se pretende emplear este tipo de ensayo sobre estos aceros bonificados con el objetivo que conocer las propiedades mecánicas e inclusive saber los efectos del tratamiento térmico provocados por sus diversas pasadas. En la figura 10 se observa el dispositivo utilizaron en este proceso.



**Figura 10.** Esquema de la máquina para el ensayo Small Punch [18].

Chambi [19] en su investigación propone la elaboración de un proceso por el cual se va a verificar el comportamiento de la temperatura de austenización y sostenimiento de esta temperatura con un tiempo determinado, se pretende establecer un estudio para el crecimiento del grano austenítico que se encuentra sometido el acero bonificado AISI 4140 con un tratamiento térmico de dureza por temple, para ello se emplean 9 probetas de diámetros 12.7 mm y espesor de 10 mm, estas probetas serán sometidas por temperatura de austenización que se hallan entre valores de 950 a 1000 °C, como resultado se obtuvo que al usar este método el tamaño de los granos se aumentan su producción y así un cambio en la dureza del acero.

## **1.14 Tipos de madera**

### **1.14.1 Madera Tangare**

Nombre científico: *Carapa guianensis*, Aubl.

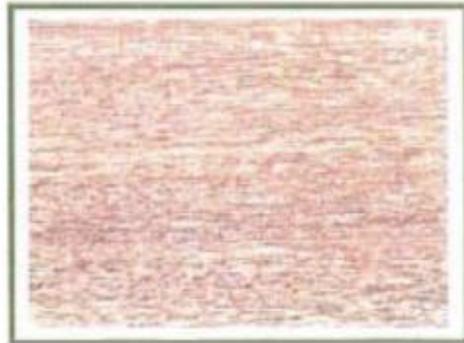
Árbol de un tronco cilíndrico y recto, que puede alcanzar una longitud de 40 metros, su altura de comercio promedio es de 25 metros. De color crema grisáceo, transición abrupta al duramen de color marrón claro a rojizo.[20]

Este tipo de madera tiene diversos usos, al ser una madera que es muy versátil, le hace una madera importante para el sector maderero y la construcción. Se utiliza para la realización de chapas, contrachapados, aserrío, muebles, puertas, ebanistería, botes, toneles. En diferentes países se utiliza como fines medicinales, como un antiparasitario, en Ecuador se utiliza como repelente de insectos caseros.[20]

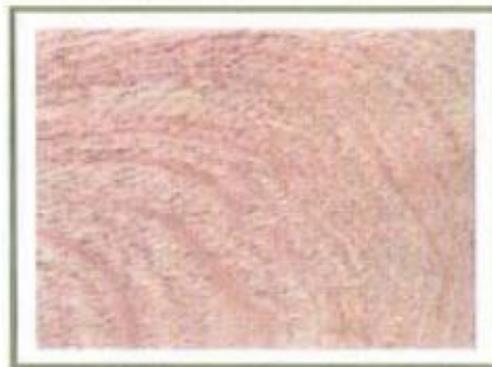
#### **1.14.1.2 Láminas de madera tangare**

Con los diferentes cortes como se ilustra en la figura 11 y figura 12 se puede observar las diferentes formas que puede presentarse al ser cortada la madera en forma radial y en forma

tangencial, se presenta con un color rosado de grosor medio no quebradizo. Este tipo de árboles por lo general crece en zonas planas y disectadas[21].



**Figura 11.** Corte radial de madera Tangare [20].



**Figura 12.** Corte tangencial madera Tangare [20].

#### ***1.14.1.3 Propiedades mecánicas y físicas de la madera***

Tiene muy buenas propiedades mecánicas y físicas, por ser una madera resistente a la pudrición blanca y marrón como se puede observar en la tabla 16. Delicado al ataque de Lyctus que es un escarabajo que daña a la madera, taladran y generan huecos en toda la madera[21].

Posee una densidad básica:  $0.49 \text{ g/cm}^3$

**Tabla 16.** Propiedades físicas y mecánicas[20].

<b>Tangare</b>		
	<b>Condición verde</b>	<b>12% de contenido de humedad</b>
<b>Compresión</b>	Paralela: 341 9 kg/cm <sup>2</sup>	Paralela: 511 9 kg/cm <sup>2</sup>
	Perpendicular: 49,0 kg/cm <sup>2</sup>	Perpendicular: 76,0 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Dureza</b>	Lados: 363,0 kg	Lados: 437 kg
	Extremo: 403,0 kg	Extremo: 563 kg
	Radial: 2.26 kg.m	Radial: 2.130 kg.m
<b>Tenacidad</b>	Tangencial:2.36 kg.m	Tangencial:3.12 kg.m

### 1.14.2 Madera Nato

Nombre científico: Mora megi stosperna

Es una madera resistente al ataque de insectos y hongos, pero no resiste a los perforadores marinos. Este tipo de madera al estar en contacto del suelo puede durar un aproximado 15 años. De color marrón rojizo como su color dominante, tiene una apariencia similar a la caoba.[22]

La madera Nato tiene un grano entrecruzado, este tipo de grano tiene direcciones opuestas y alternas entre anillos de crecimientos continuos, lo que dificulta las operaciones de cepillado y perforación.

Se usa para los pilotes para puentes, partes de botes, construcción de viviendas, vigas, es también utilizado para construcciones pesadas como pisos de alto tráfico, muebles pesados, traviesas, durmientes para ferrocarril, carrocerías, elementos sumergidos en agua, parket y para todo tipo de trabajos en carpintería.[22]

Las propiedades físicas y mecánicas se observarán a detalle en las tablas 17,18 y 19.

**Tabla 17.** Propiedades físicas[22].

	<b>Propiedades físicas</b>			
	Básica	Anhidra	Seca al aire	Verde
Densidad g/cm <sup>3</sup>	0.63	0.74	0.77	1.17
	T/R	Volumétrica	Radial	Tangencial
Contracción normal %	2.0	8.2	2.8	5.6
Contracción total %	1.86	13.8	5.0	9.6

**Tabla 18.** Propiedades mecánicas[22].

Condición CH %	Elasticidad estática			Compresión				
	ELP	MOR	MOE	Paralela			Perpendicular	
Verde + 30%	496.4	837.8	125.8	ELP	MOR	MOE	ELP	-
Seco al aire 12%	646.0	1265.1	154.6	499.2	605.8	63.20	94.1	-

**Tabla 19.** Propiedades mecánicas[22].

Condición CH %	Durezas (Kg)			Cizalladura (Kg/cm <sup>2</sup> )		Tenacidad (Kg-m)		Extrac. Clavos	
	Rad.	Tang.	Extrem	Tang. ER	Rad. ER	Rad.	Tang.	Rad.	Tang.
Verde + 30%	575.7	575.2	583.6	90.5	95.0	0.76	0.75	142.0	147.3
Seco al aire 12%	637.1	663.4	760.4	96.4	96.4	0.95	1.04	206.9	188.0

### 1.14.3 Eucalipto

El eucalipto es una madera semipesada, semidura, durable y con una elevada aptitud al pulimiento, de coloración pardo rojiza con tonalidad amarillenta rasgado pálido, posee grano medio y con escasos poros.

Este tipo de árbol llega alcanzar alturas que están entre los 60 a 80 metros y en ocasiones puede llegar alcanzar hasta los 100 metros de longitud. El uso de esta madera tiene una materia prima óptima para la elaboración de pasta celulosa de fibra corta, transformación de este producto para ser de gran uso en la industria. Este tipo de madera se utiliza para fabricación de postes, pasta de papel, chapa ,tableros, serrería, construcción naval, puentes, carros arados y herramientas agrícolas[23].En la tabla 20 se puede observar las propiedades mecánicas y físicas de la madera de Eucalipto.

En Argentina para la tala y manejo de los rebrotes del árbol de Eucalipto, tiene como densidades de plantaciones que van desde los 800 a 1600 plantas por hectárea, tiene como objetivo obtener

tablas para la industria de aserrados y la obtención de celulosa y tableros. Por lo regular se obtiene diámetros inferiores a 25 cm, excepto cuando la tala se produce en un rango de 15 o más años[24].

**Tabla 20.** Propiedades físico-mecánicas de la madera Eucalipto[23].

Propiedades	Media	Rango	Coof.	Resultado
			Variación	
Peso específico	0.76	0.42 - 1.07	11% a 20%	Medio
Dureza	6.0	3 - 10.1	22% a 28%	Medio - Alto
Contracción radial total %	7.5	2.9 - 11.6	13% a 30%	Alto
Contracción tangencial total %	13.8	6.9 - 20	8% a 27%	Alto
Punto de saturación de la fibra %	37.0	27 - 53	5% a 14%	Alto
Módulo de elasticidad (Mpa)	20580.0	6500 - 33000	17% a 31%	Alto
Resistencia a la compresión (Mpa)	71.0	39 - 107	12% a 20%	Alto
Resistencia a la flexión (Mpa)	130.0	48 - 181	12% a 23%	Alto

#### 1.14.4 Madera Canelo

Nombre científico: *Drimys winteri* Forst

Es un árbol robusto que puede llegar a medir 30 metros en condiciones buenas, en 1993 se determinó que los árboles de canelo tienen un crecimiento anual periódico que puede llegar a medir 0.92 cm a los 12 años el diámetro del tronco y en cada año tienen un crecimiento promedio de 0.54 cm [25]. La madera de canelo tiene un color amarillo-rosáceos de finas y café claro, con cortas líneas más oscuras, tiene una estructura lisa, media y heterogénea. La madera de canelo tiene una vida útil que va entre los 5 y 15 años, excelentes para realizar procesos de pintado, barnizado y encolado. En la tabla 21 se presenta las propiedades mecánicas que posee la madera de canelo[25].

**Tabla 21.** Propiedades mecánicas de la madera Canelo[25].

<b>Propiedades mecánicas canelo</b>	
Dureza	Dureza normal a la fibra de 154,0 kg y paralela de 155,0 kg Tensión límite de 416,0 kg/cm <sup>2</sup> Módulo de rotura 706,0 kg/cm <sup>2</sup>
Flexión estática	Módulo de elasticidad 94,40 N/cm <sup>2</sup> Tensión límite proporcional 243,0 N/mm <sup>2</sup>
Compresión paralela	Tensión máx. 372,0 kg/cm <sup>2</sup> Tensión límite proporcional 52,0 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión normal	Tensión máx. 108,0 kg/cm <sup>2</sup>

Por lo general es una madera fácil de trabajar, para la realización del cepillado es óptimo para dimensionar la madera antes de fabricar muebles, elaboración de instrumentos musicales, adecuada para la fabricación de tableros de madera. Posee un lijado y torneado considerado bueno y fácil, un excelente encolado con la mayor parte de los adhesivos. Al momento de darle los acabados finales a la madera canelo, como el barnizado y pintado presenta una aceptación favorable a la madera[25].

#### **1.14.5 Madera Laurel**

La madera de laurel se obtiene de distintos artículos y productos, esta madera es utilizada en la actualidad para proyectos de reforestación, para afianzar el beneficio de las fuentes naturales, es necesario incentivar con el cultivo de esta especie. La madera de laurel tiene diferentes colores en su presentación, albura que es un color crema o duramen es un color café, esta especie de madera contiene un olor a madera seca [26].

Díaz et al. [27] menciona en su investigación que las maderas de laurel son troncos cilíndricos con numerosas ramas, tienen una altura de 40 m y con un diámetro que llega a los 2 m, esto depende de la zona donde está plantado el árbol. El peso del laurel es de 0.58 g/cm<sup>3</sup> el cual es el más aproximado, tiene una humedad de 12%, el laurel es utilizado por lo general en la carpintería y elaboración de vivienda la cual emplean revestimientos al interior de esta, uno de sus importantes usos en la producción de tableros de contrachapa.

Este tipo de madera presenta distintas propiedades físico-mecánicas, como se puede ilustrar en la tabla 22 y la tabla 23 que expresa las propiedades mecánicas al 12% de humedad.

**Tabla 22.** Propiedades físico mecánicas del laurel[26].

<b>Propiedades físico-mecánicas para el laurel</b>					
Procedencia	Peso específico	Contracción volumétrica %	Contrac. Tang%	Contrac. Radial%	Relación T/R
San Carlos (3 años)	0.25	7.23	5.05	3.22	1.57
Guápiles (4 años)	0.31	7.10	4.81	3.10	1.55
América Central	0.44	9.20	7.10	3.50	2.10
Atlántico	0.28	8.59	-	-	-
Panamá	0.36	12.30	9.20	3.10	2.90
Costa Rica	0.44	8.70	6.70	3.10	2.10

**Tabla 23.** Propiedades mecánicas del laurel al 12% de humedad[26].

<b>Propiedad mecánica al 12% de contenido de humedad</b>					
Procedencia	Flexión estática MOR	Compresión Max	Cortant. Esf. Max	Dureza lateral	Dureza axial
San Carlos (3 años)	446.73	202.62	53.41	153.17	273.18
Guápiles (4 años)	532.00	220.00	42.00	184.00	287.00
América Central	848.00	441.50	85.77	358.30	-
Atlántico	660.00	362.00	70.10	297.00	389.00
Panamá	711.00	-	-	240.00	396.00
Costa Rica	613.00	-	-	336.00	372.00

#### 1.14.6 Madera de roble

La familia de las fagaceae, así como las hayas y los castaños que coinciden con el género Quercus, la cual existen 6 especies de roble las cuales son: roble común, roble pubescente, roble andaluz, roble albar, el rebollo, y el quejigo. Este tipo de madera es duradero en contra de los hongos, es utilizada en carpintería para vivienda en su parte interior, mobiliario y obras hidráulicas, en la antigüedad se usaba de forma habitual para catedrales y construcción naval [28].

Martínez et al. [29], investigan una capacidad de perfeccionar la calidad de habitabilidad y energía en edificios, para los cual emplean reglamentos y políticas para promover una fabricación eficiente en el sector de la construcción, de este modo se implementó un análisis térmicos y mecánicos de madera de roble, para este estudio se determinó mediante caracterización térmica en ensayos de tracción, compresión y flexión de diferentes probetas. En la tabla 24,25 y 26 se observa las propiedades físicas mecánicas de tres tipos de madera de robles.

**Tabla 24.** Propiedad en madera *Quercus petraea*[28].

<b>Propiedad en madera <i>Quercus petraea</i></b>					
Propiedades	Media	Desviación	CV(%)	Max	Min
Densidad (Kg/m3)	956.93	63.70	6.66	1067.96	805.73
Contracción Volumétrica (%)	14.81	1.75	11.82	20.59	10.57
Coef. Contracción vol.(%)	0.52	0.05	9.62	0.64	0.41
Higroscopicidad (Kg/m3)	0.0046	0.0007	15.22	0.0061	0.0033
Dureza Monnin (mm-1)	6.98	1.69	24.49	11.19	2.98
Flexión estática (Kg/cm2)	1423.34	141.04	9.91	1818.96	1137.66
Compresión axial (Kg/cm2)	679.80	64.33	9.46	819.18	542.72

**Tabla 25.** Propiedad en madera *Quercus Cerroides*[28].

<b>Propiedad en madera <i>Quercus cerrioides</i></b>					
Propiedades	Media	Desviación	CV(%)	Max	Min
Densidad (Kg/m3)	916.03	104.46	11.40	1095.29	640.39
Contracción Volumétrica (%)	13.24	1.86	14.10	17.29	7.90
Coef. Contracción vol.(%)	0.45	0.08	17.78	0.58	0.15
Higroscopicidad (Kg/m3)	0.0051	0.0011	21.57	0.0088	0.0032
Dureza Monnin (mm-1)	7.21	1.83	25.38	11.69	3.07
Flexión estática (Kg/cm2)	1231.90	186.02	15.10	1667.56	829.01
Compresión axial (Kg/cm2)	618.98	76.2	12.31	763.00	382.47

**Tabla 26.** Propiedad en madera *Quercus Canariensis*[28].

<b>Propiedad en madera <i>Quercus canariensis</i></b>					
Propiedades	Media	Desviación	CV(%)	Max	Min
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	840.63	95.52	11.36	1077.81	669.37
Contracción Volumétrica (%)	13.42	2.64	19.70	21.95	8.67
Coef. Contracción vol.(%)	0.46	0.09	19.57	0.61	0.25
Higroscopicidad (Kg/m <sup>3</sup> )	0.0046	0.0012	26.10	0.0072	0.0030
Dureza Monnin (mm-1)	5.11	1.77	34.64	9.79	2.10
Flexión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )	1275.16	165.77	13.00	1559.81	855.86
Compresión axial (Kg/cm <sup>2</sup> )	674.97	56.30	8.34	784.75	483.97

### 1.14.7 Madera caoba

Este tipo de madera por lo general crecen en lugares con una precipitación de 1000 a 4000 mm por año, crecen en suelos de amplio rango, así como suelos con un buen drenaje y con climas áridos, no se recomienda en suelos de sobre cultivo, con niveles menores de materia orgánica. En el mundo esta madera es considerada de las mejores debido a su color rojo, rosado y amarillo, se usa de forma habitual en carpintería, construcciones livianas y acabados de interiores. Es una madera apetecida en el mercado nacional e internacional y con excelentes precios [30].

En las tablas 27,28 y 29 se indican las propiedades mecánicas y físicas de la madera de caoba.

**Tabla 27.** Propiedades físicas de la caoba[30].

<b>Propiedad física</b>				
Densidad g/cm <sup>3</sup>	Básica	Anhídrica	Seca al aire	Verde
	0.43	0.45	0.52	-
Contracción normal %	T/R	Volumétrica	Radial	Tangencial
	1.68	3.37	1.25	2.12
Contracción total %	1.76	8.71	3.17	5.54

**Tabla 28.** Propiedades mecánicas de la caoba[30].

<b>Flexión estática</b>				<b>Compresión</b>				
				Paralela			Perpendicular	
Condición CH %	ELP	MOR	MOE	ELP	MOR	MOE	ELP	-
Verde + 30%	407.7	689.0	103.3	269.20	350.8	111.0	52.7	-
Seco al aire 12%	534.3	871.8	102.2	363.5	501.30	113.10	63.20	-

**Tabla 29.** Propiedades mecánicas de la caoba[30].

Dureza (Kg)			Cizalladura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tenacidad Kg-m	Extrac. Clavos	
Rad.	Tang.	Extrem.	Prom.	- Prom.	- Radial	Tang.
508.0	512.5	-	89.9	1.9	-	-
421.8	535.2	-	91.4	0.79	-	-

### 1.14.8 Madera Madroño

La madera madroño con su nombre científico (*Arbutus Unedo*) conocido también como Árbol de fresa, el cual es un arbusto verde de hoja perenne que no mide más de 4 m con racimos de flores de color blanco, en el mediterráneo este árbol es endémico y se lo localiza en Europa y África, en climas con calurosos veranos o climas lluviosos [31].

Rodriguez et al. [32]. Mencionan en su artículo una investigación acerca de cómo se evalúan todas esas condiciones que existen en el ambiente y el reparto de la vitamina C en los frutos de cuatro arboles silvestres, como son el zarzamora, el majuelo, el endrino y el madroño, los cual dio como resultado que la vitamina C en estas especies tuvo una influencia en la localidad o comunidad por cada temporada [32].

### 1.14.9 Madera chanul

Su nombre científico es (*Sacoglottis Procera*), viene de la familia de las Humiraceaes, su nombre más común es chanul, aceituno, batea y chano. Este tipo de madera se las encuentra en Costa Rica, Ecuador, Panamá y en entre otros, el árbol de chanul tiene una aproximada altura de 40 m y su diámetro es de 1.20 m, tiene un color café rojizo como se aprecia en la Figura 13 y su textura es delgada y escamosa. Se trabaja con esta madera de forma moderada ya que es difícil su manejo, pero ayuda que procesos de máquinas y herramientas [33].

FBuitrago et al. [34] Investigaron un método de tratamiento térmico para la cual se utilizó propiedades mecánicas como el hinchamiento, la dureza, comportamiento a la flexión, la apariencia física y cambio morfológicos. De este modo se utilizó tres tipos de madera las cuales son: el roble, el chanul y la teca, estas tres maderas fueron sometidas a variados niveles de temperatura con el objetivo de analizar el comportamiento y las propiedades mecánicas mencionadas en la tabla 30.



**Figura 13.** La madera chanul [34].

**Tabla 30.** Propiedades Mecánicas de la madera Chanul [34].

	Prueba de dureza Janka			Densidad g/cm <sup>3</sup>	Prueba de flexión		
	Longitudinal (Kg)	Radial (Kg)	Tangencial (Kg)		ELP Kg/cm <sup>2</sup>	MOR Kg/cm <sup>2</sup>	MOE Kg/cm <sup>2</sup>
Ref	1150	891	912	0,87	877	1420	190395
T1	1125	869	957	0,88	804	1176	156776
T2	1184	1079	1061	0,86	912	1302	164326
T3	1166	772	909	0,86	990	1387	192201
T4	1084	652	642	0,85	552	886	129285

#### 1.14.10 Madera Quebracho colorado

Su nombre científico es (*Schinopsis balansae*), es un tipo de árbol que proviene de la familia de Anacardiáceas que son originaria de Sudamérica, se caracteriza por su dureza, sus contenidos altos de taninos y su peso. Se los utiliza por su alta dureza, que sirve mucho en la carpintería para realizar cualquier tipo de mueble, tirantez y postes [35].

D'Alessandro et al. [35] Realizaron una indagación sobre el tipo de madera de Quebracho colorado chaqueño que se utiliza como una opción para protección anticorrosiva del acero, esto el motivo de sustituir colorantes tradicionales que tiene el cromo, para este trabajo se utilizó los pigmentos del Quebracho colorado para el acero SAE 1010 para los cual dio como resultado que este tipo de madera utilizada como anticorrosivo es muy efectiva.

Presentaron un estudio para obtener las propiedades mecánicas y físicas de la madera en el Parque Chaqueño, para ayudar a otros investigadores con nuevos conceptos y que tenga una consideración con las propiedades de las maderas, ya que se puede aprovechar la correcta aplicación de este método [36], en la tabla 31 se puede observar las propiedades determinadas en esta investigación.

**Tabla 31.** Propiedades Físicas y mecánicas del Quebracho colorado chaqueño[36].

<b>Madera Quebracho colorado chaqueño</b>		
Propiedades	Quebracho Blanco	Quebracho Colorado
Peso específico aparente	8,04	8,44
Hinchamiento vol. Total	15,57	17,07
Contracción vol. Total	15,4	18,64
Compresión longitudinal	12,64	21,39
Flexión estática	14,44	24,73
Módulo de elasticidad	12,98	25,73
Flexión dinámica	37,99	48,72
Dureza Janka radial	8,33	10,16
Dureza Janka tangencial	9,71	9,27
Corte paralelo fibra Radial	18,18	16,7
Corte paralelo fib. Tangencial	23,13	9,3

### **1.15 Máquinas de carpintería**

Las máquinas de carpintería juegan un rol muy importante cuando de moldear la madera se trata ya que estas permiten dimensionar la madera de forma correcta para poder establecer los perfiles adecuados antes de ensamblar un determinado mueble. En la industria maderera hay muchos factores de suma importancia al momento de seleccionar una determinada maquinaria ya sea por su área de trabajo, capacidad de operación, acabados superficiales en la madera entre otras variantes, entre las maquinas más usadas dentro de un taller de ebanisterías se tiene las sierras escardadoras, los cepillos, sierras cintas, sierra de cinta vertical, horizontal, herramientas manuales entre otras los cuales se analiza a continuación[37].

#### **1.15.1 Sierra de cinta vertical**

Esta máquina tiene la particularidad que permite realizar cortes en la madera, al tener como herramienta de trabajo una sierra muy versátil y flexible se pueden llegar a realizar cortes complejos necesarios para realizar muebles con determinados diseños su capacidad de operación está relacionada al tipo de mueble que se vaya a realizares es decir de acuerdo a las dimensiones de las piezas a cortar se obtiene la maquina con el área de trabajo adecuada[38].

#### **1.15.2 Sierra de cinta horizontal**

Máquina es de gran importancia, en el ahorro de cortar madera en comparación existentes de corte, su principal operación es cortar perfiles de madera a dimensiones requeridas provenientes

de troncos de madera o madera rustica, con las dimensiones adecuadas para la fabricación de muebles debido a que la sierra que utiliza para realizar el corte es delgada puede reducir el desperdicio de madera en comparación con una motosierra[39].

### **1.15.3 Cepilladora**

Esta maquinaria consta de un número de piezas y elementos necesarios para su funcionamiento entre las más relevantes están las cuchillas que posee para poder laborar la madera. Tiene la particularidad de dimensionar la madera en su espesor de acuerdo con las dimensiones que un determinado mueble requiera antes de su uso y por otro lado puede mejorar la superficie de la madera[37].

### **1.15.4 Rectificadora**

Como su nombre lo indica esta máquina tiene la capacidad de enderezar la madera en su canto al igual que la Cepilladora posee un mandril con cuchillas para maquinar la madera la cual al interactuar con el ambiente tiende a torcer ya sea esto por la humedad, maderas verdes entre otros factores que influyen de forma directa. Uno de los factores más relevante que proporciona este fenómeno en la madera es en el proceso de secado la madera tiende a torcer y de esta manera no es posible trabajarla ya que no quedan rectos los perfiles de madera[38].

### **1.15.5 Sierra escuadradora**

Esta máquina consta de un número de piezas entre las más relevantes está un mandril el cual es portador de una hoja de sierra la cual es requerida para realizar cortes en la madera. La sierra escuadradora o de usos múltiples permite dar longitudes a la madera de forma longitudinal y de manera transversal es de suma importancia en un taller de ebanistería ya que mediante esta máquina se puede llegar a establecer las condiciones adecuadas en cuanto a longitud de la madera se trata antes de elaborar un mueble[38].

### **1.15.6 Herramientas manuales**

Estas herramientas ayudan a realizar numerosas funciones desde pintar, cortar, moldear, perforar entre otras funciones es de suma importancia entre las más comunes están, taladro tupi de mano, caladora, sierra engletadora, etc. Las herramientas manuales facilitan la realización

de operaciones no muy complejas de esta forma se hace más versátil sin número de tareas en la fabricación de muebles[38].

### **1.16 Procesos principales dentro de la industria de la madera**

Existen sin número de procesos los cuales permitirán condicionar a la madera a los requerimientos necesario antes de realizar un determinado mueble, esto gracias a maquinarias específicas que permiten realizar dicho proceso.

Entre los procesos más utilizados se tiene “corte, enchapado, cepillado, Moldeado o Tallado, ensambles, entintando, acabados” Entre otros para realizar todo este proceso se requiere de diferentes máquinas elementales para poder implementarlos en la madera entre las más utilizadas están detalladas a continuación[37].

#### **1.16.1 Sierra Circular**

Permite calibrar la madera de forma longitudinal como transversal posterior a esto obtener los objetos que se quieran realizar, en el mercado existen distintas marcas y modelos uno de ellos se encuentra en la figura 14. Cada una será implementada en función del factor económico y el requerimiento de cada taller o industria.

Esta máquina para poder realizar cortes en madera utiliza hojas de sierra las cuales se encuentran en el mercado con sinnúmero de características, entre ellas dimensiones y materiales con las cuales están fabricadas, serán empleadas de acuerdo a las dimensiones del perfil de madera y del trabajo a realizar[38].



**Figura 14.** Sierra circular

### 1.16.2 Cepillo

Esta máquina está diseñada para homogenizar, enderezar la superficie de la madera al cual se le suele conocer también como enderezado de superficies, al emplear este proceso en la madera se puede corregir las superficies de la madera y dimensionarlas de acuerdo a los requerimientos de un determinado mueble tal como se observa en la figura 15 [37].



Figura 15. Cepillo de carpintería

### 1.16.3 Sierra cinta

También se puede encontrar bajo el nombre de sierra sin fin, esta máquina tiene como herramienta de corte una cinta dentada la cual permite realizar cortes en la madera gracias su versatilidad y flexibilidad que permite realizar cortes complejos con sin número de geografía de acuerdo a diseño a implementar, lo cual lo hace indispensable dentro de un taller de carpintería como se observa en la figura 16[38].



Figura 16. Sierra cinta

## 1.17 Tupi Moldeadora

Esta máquina consta de sinnúmero de componentes de donde se destaca dos componentes fundamentales el mandril porta cuchilla y la herramienta de trabajo en este caso la cuchilla, el funcionamiento de esta misma es moldear madera.

El diseño y posterior elaboración de muebles , dependerá de la herramienta que se emplee para moldear los muebles, influyen otros factores muy importantes tales como el número de revoluciones de la máquina, la densidad que posee la madera, el tipo de acero del cual está elaborada la cuchilla cabe mencionar que esta máquina mejora de forma significativa cuando se establecen condiciones adecuadas de corte y herramientas adecuadas[38].

### 1.17.1 Tupi

Esta máquina posee un eje vertical el cual sobre sale de la mesa de trabajo de la máquina, esto permite ubicar sin número de herramientas con formas y dimensiones diferentes que al interactuar con la madera generan sin número de molduras, entre ellas las que se realizaron en esta investigación como se ilustra en la figura 17.

Se ubican las cuchillas en el eje, posterior a esto es necesario el dimensionamiento de la herramienta ya que de esto depende el perfil que se desea obtener el motor está ubicado en la parte inferior, en función a las dimensiones y forma de las cuchillas se obtendrá el perfil de madera que se requiere obtener. Esta máquina es muy importante dentro de un taller de carpintería debe antes de su uso tomar en consideración sin número de precauciones ya que es una maquina peligrosa[38].



**Figura 17.** Tupie herramienta para carpintería

## CAPÍTULO II

### FABRICACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO DE CUCHILLAS K 100.

#### 2.1 Fabricación de Probetas y elección del material

Las probetas fueron fabricadas con el uso de una máquina de corte láser wáter jet 2030 teenking, la cual está fabricada bajo la norma ISO 9001, para proceder a realizar dichos cortes. Una vez que se tiene las dimensiones esperadas, se utilizó un software de diseño (AutoCAD), se procede a realizar códigos G los cuales permitirán que la maquina realice el corte. En la Figura 18 se ilustra las cuchillas ya cortadas.



**Figura 18.** Cuchillas cortadas

En la tabla 32, se describe las variables relevantes para selección del acero K 100 (D3) tales como inversión, dureza promedio del revenido en HRC, maquinabilidad del acero, relación costo beneficio, destacando entre ellos el acero usado dentro de la investigación. Se hizo uso de una escala del uno al cinco de la cual, uno es un valor bajo y cinco es un valor alto, en función a las cualidades del material más sin embargo en la dureza, se utilizó un valor promedio que puede llegar a obtener el material en función de la temperatura de temple y posterior de revenido de cada material según Böhler.

**Tabla 32.**Matriz de decisión.

Matriz de decisión					
Acero	Inversión	Dureza Promedio HRC	Maquinabilidad	Relación costo beneficio	Total
K100	5	61	3	5	74
K110	3	62,5	4	4	73,5
K455	2	56,25	2	2	62,25
K460	1	64	5	3	73

En la figura 19 se ilustra el afilado de las 5 cuchillas que se someterán en el análisis, este proceso debe realizarse en las cuchillas antes de someter las herramientas a tratamientos térmicos, con el objetivo de no alterar la propiedad que otorga dicho proceso en las herramientas de esta forma obtener resultados oportunos en el proceso. Por otra parte, en la Figura 20 se ilustra el resultado obtenido posterior a realizar el afilado a las cuchillas.



**Figura 19.**Afilado de cuchillas K100



**Figura 20.** Cuchillas K100.

## 2.2 Dureza de las probetas

Previo a la realización de tratamientos térmico en el material se recopiló datos de las 5 cuchillas en cuando a la dureza del material con el objetivo de que sea medible las propiedades que puede llegar a tener el material luego de dicho proceso como se observa en la tabla 35. Figura 21 y 22 se visualiza el trabajo de laboratorio para este tipo de proceso.



**Figura 21.** Medidor de la dureza



**Figura 22.** Pruebas con la probeta

### **2.3 Tratamientos térmicos de las probetas**

Con el propósito de mejorar las propiedades de las probetas se hizo uso del laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana, para realizar el tratamiento térmico como se ilustra en la figura 23.

Basándose en los parámetros que otorga el proveedor BÖHLER el cual menciona que se debe temprar el material K100 a una temperatura de 940 – 970 °C posterior a eso con el revenido se puede llegar a obtener una dureza de 56 – 65 HRC[5].

En la tabla 32 y 33 se especifica los tiempos en los procesos de temple y revenido del material, se tomó también en consideración los tiempos que tardaron dichos procesos.



**Figura 23.** Tratamiento térmico

Se utilizó el material base con el cual se realiza herramientas para “TUPI” en el taller de carpintería “Don Marce” que en este caso es el acero AISI 1018.

## 2.4 Dureza luego del tratamiento térmico

Una vez realizado este proceso con los parámetros establecidos en las Tablas 33 y 34 se procedió a realizar mediciones en la dureza de cada una de las cuchillas la cual esta detallada en las tablas 35 y 36, como se ilustra en la figura 24 con el objetivo de tener datos que permitan cuantificar las mejoras obtenidas en el material posterior al tratamiento térmico.



**Figura 24.** Medición de la dureza

En la figura 25 y 26 se observa cómo se procedió a realizar cortes en perfiles de madera los cuales tiene una dimensión de 70x70x1400 mm, en madera nato la cual tiene valiosas propiedades mecánicas, lo cual la hace apropiada para poner a prueba la resistencia al desgaste que posee cada herramienta según las propiedades otorgadas en el tratamiento térmico, se usa como punto de comparación entre ellas la eficiencia en el corte, el acabado superficial que deja en la madera.



**Figura 25.** Corte de madera



**Figura 26.** Corte de las medidas establecidas

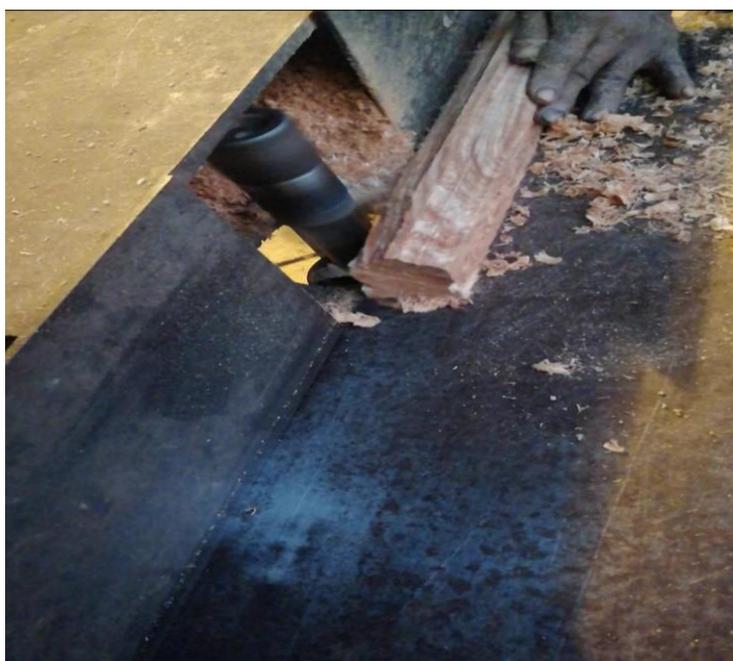
### **2.5 Corte con las cuchillas en la madera**

Para realizar el corte en la madera nato se procedió a ubicar la herramienta en la maquina “TUPI”, como se ilustra en las figuras 27 y 28 en donde se tiene un objetivo claro el cual consiste en medir la eficiencia que posee una cuchilla sobre las demás, esto se evidencia en los

resultados que arroja el análisis. Para esto se debe hacer uso de cada cuchilla con los parámetros ya establecidos, cada perfil de madera el cual tienen una dimensión de 70x70 x1400 mm.



**Figura 27.** Trabajo con cuchilla K100



**Figura 28.** Corte de la madera

## CAPÍTULO III

### PROCESO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Determinación de la composición química del material

Con las características referenciales del acero ledeburítico 12% Cr (AISI: D3) que también se encuentra en el mercado bajo el nombre de acero K100, esta clase de material opta de grandes implementaciones en la fabricación de herramientas sometidas a desgaste por abrasión, gracias a sus propiedades físicas y químicas este tipo de aceros se usa en la elaboración de matrices en la industria metal mecánica herramientas etc. [8].

En este tema de estudio se comprobará que el acero K 100 es viable para la fabricación de herramientas gracias a las propiedades químicas delimitadas por el fabricante “BÖHLER” como se muestra en la tabla 33, para utilizarlas en la industria de la madera. La primicia de tras de la investigación es muy clara se trata de aportar bajo la experimentación, alternativas a los artesanos para que fabriquen sus propias herramientas resistente al desgaste por abrasión.

**Tabla 33.** Propiedades químicas [5].

<b>Propiedades químicas del fabricante Böhler</b>				
Material	% C	%Si	%Mn	%Cr
Acero K 100	2	0,25	0,35	11,5

#### 3.2 Ensayos de espectrofotometría.

Se realizó el estudio en probetas del acero K 100, donde se usó el espectrofotómetro en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana para constatar la composición química que posee el material que otorga el proveedor, en donde arrojó los siguientes resultados como se ilustra en la tabla 34, 35 y 36.

Antes de realizar dicho análisis se debe tomar en consideración algunas variables muy importantes que pueden inferir en el resultado final del análisis entre los más relevantes esta tener una superficie uniforme libre de recubrimientos, óxidos, aceites u otros elementos. La figura 4 muestra el procedimiento ya efectuado.

**Tabla 34.** Valor porcentual de la Tabla

# muestras	Cr	C	Si	Mn	P	S	Fe
1	12,7	2,09	0,256	0,391	0,027	0,011	83,8
2	12,7	2,24	0,282	0,388	0,03	0,01	83,6
3	12,5	2,04	0,269	0,389	0,027	0,008	84
4	12,6	2,06	0,263	0,391	0,029	0,01	83,9
5	12,7	2,06	0,262	0,386	0,033	0,01	83,8
6	12,6	2,09	0,248	0,379	0,027	0,011	83,9
7	12,7	2,1	0,252	0,389	0,029	0,011	83,8
Promedio	12,64	2,1	0,26	0,39	0,03	0,01	83,8

**Tabla 35.** Valor porcentual de la Tabla

# muestras	Ti	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Mo
1	0,003	0,169	0,007	0,043	0,052	0,005	0,137
2	0,003	0,168	0,01	0,044	0,051	0,005	0,143
3	0,002	0,172	0,008	0,044	0,055	0,005	0,139
4	0,003	0,167	0,01	0,043	0,054	0,005	0,143
5	0,003	0,163	0,017	0,043	0,053	0,005	0,144
6	0,001	0,16	0,009	0,042	0,052	0,005	0,128
7	0,002	0,163	0,008	0,042	0,054	0,005	0,139
Promedio	0,002	0,166	0,01	0,043	0,053	0,005	0,139

**Tabla 36.** Valor porcentual de la Tabla

#muestras	Sn	W	Pb	V
1	0,001	0,19	0,017	0,1
2	0,001	0,191	0,019	0,1
3	0,001	0,186	0,02	0,1
4	0,001	0,194	0,019	0,1
5	0,001	0,188	0,023	0,1
6	0,001	0,17	0,019	0,1
7	0,001	0,182	0,017	0,1
Promedio	0,001	0,19	0,02	0,1

Se tomó en cuenta los valores de los elementos principales del acero como son carbono, silicio, manganeso y cromo, se puede observar que existe una aproximación entre los datos que otorga el proveedor Böhler para el acero k 100, con los datos provenientes de la tienda comercial donde se adquirió el acero, cuyos valores de dicha experimentación en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana se encuentra en la tabla 37. Se obtuvo el error porcentual entre los elementos antes mencionados donde se evidenció un valor de 7,59 % lo cual es un valor aceptable dentro de la investigación.

**Tabla 37.** Error porcentual

<b>Valores del error porcentual entre los elementos</b>				
Composición química	%C	%Si	%Mn	%Cr
Valor teórico	2	0,25	0,35	11,5
Valor experimental	2,1	0,26	0,39	12,64
Error %	5	4	11,43	9,91
Promedio				7,59

### 3.3 Acero base K100.

En las siguientes tablas se tomó en el laboratorio los valores de dureza en HRC en probetas que vinieron de fábrica, se encontraron en un promedio de 19 HRC. Como se muestra en las tablas 38 y 39.

**Tabla 38. Dureza base del acero K100**  
**Probeta 1- Acero K100**

# Mediciones	HRC
1	18
2	18,7
3	18,7
4	19,4
5	18,8
6	18,8
7	19,3
8	19,5
9	19,4
10	19,4
11	19,8
12	19,6
Promedio	19,117

**Tabla 39. Dureza base del acero K100**  
**Probeta 2- Acero K100**

# Mediciones	HRC
1	18,1
2	18,7
3	19,2
4	19,8
5	19,7
6	19,2
7	19,7
8	19,1
9	18,7
10	18,8
11	18,9
12	18,8
Promedio	19,058

### **3.4 Acero K100 templado y revenido.**

En las tablas se presenta el tratamiento de temple que fue por un tiempo de 1 hora de mantenimiento a una temperatura de 970°C. Lugo de eso se realizó un proceso térmico de revenido a una temperatura de 280°C y 300°C a diferentes probetas, como se puede observar en las tablas 40,41,42 y 43.

**Tabla 40. Temple a 970°C**  
**Temple de probetas Acero K100**

# Mediciones	Temperaturas 970°C	
	Probeta 1	Probeta 2
	HRC	
1	61,8	62,7
2	61,7	62,5
3	62,8	62,5
4	64,3	61,5
5	63	62,7
6	62,9	62,6
Promedio	62,75	62,42

**Tabla 41. Revenido a 280°C y 300°C**  
**Revenido de probetas Acero K100**

# Mediciones	Temple 970°C	
	280°C	300°C
	HRC	
1	57	54,2
2	57,2	55,5
3	57	54,7
4	57	55,8
5	57,5	56,1
6	58,4	55,5
Promedio	57,35	55,3

En las tablas 42 y 43 se presenta el tratamiento de temple que fue por un tiempo de 1 hora de mantenimiento a una temperatura de 940°C., Lugo de eso se realizó un proceso térmico de revenido a una temperatura de 280°C y 300°C a diferentes probetas.

**Tabla 42. Temple a 940°C**  
**Temple de probetas Acero K100**

# Mediciones	Temperaturas 940°C	
	Probeta 3	Probeta 4
1	57,4	55,6
2	56	56,9
3	55,7	54,2
4	52,4	53,5
5	54,6	55,4
6	55,4	54,2
Promedio	55,25	54,97

**Tabla 43. Revenido a 280°C y 300°C**  
**Revenido de probetas Acero K100**

# Mediciones	Temple 940°C	
	280°C	300°C
1	52	50,6
2	51,7	50
3	52,7	51,9
4	48,9	49,4
5	55,7	53,1
6	54,2	52,5
Promedio	52,53333333	51,25

En la tabla número 44 y en la figura 31 se ilustra la cantidad de madera de nato que fue con anticipación cortada con las cuchillas fabricadas en el tema de investigación en donde también

se consideró el acero 1018 que en la actualidad se usa en el taller de carpintería Marcelo para la fabricación de herramientas para la “Tupi”.

**Tabla 44.** Corte de la madera tipo nato

<b>Tipo de herramienta</b>	<b>Longitud (m)</b>
Herramienta AISI 1018	9
K100 revenido 280 (940°C)	27,5
K100 revenido 300 (940°C)	22
K100 revenido 280 (970°C)	37
K100 revenido 300 (970°C)	32,8

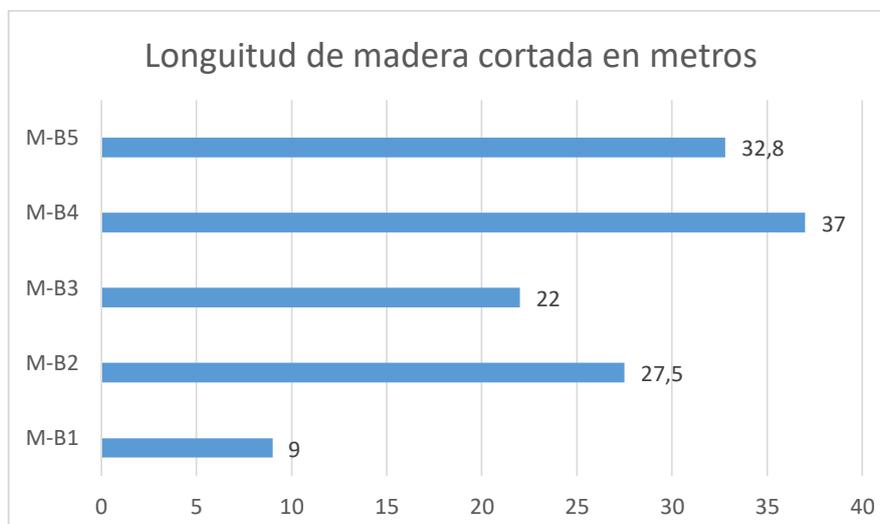
Para esto se utilizó la siguiente abreviatura M-B1 hace referencia al acero 1018, M-B2 es la herramienta que fue tratada a 280 de revenido y una temperatura de 940 en el temple, M-B3 las condiciones para la cuchilla fue 300 de revenido y una temperatura de temple de 940°C, para la probeta M-B4 las condiciones que se usaron fue 280 revenido y una temperatura de temple de 970 y por último se tiene M-B5 en la cual se implementó 300 de revenido y 970 de temple cada uno de estos parámetros se establecieron en un tiempo de permanencia de una hora en el laboratorio metalurgia de la Universidad Salesiana como se observa en figura 29 y 30



**Figura 29.** Horno de revenido.  
**Fuente:** Universidad Politécnica Salesiana



**Figura 30.** Horno de revenido  
**Fuente:** Universidad Politécnica Salesiana



**Figura 31.** Longitud de madera Nato-cortada

### 3.5 Formulación matemática.

#### 3.5.1 Cálculos de grados de libertad.

Grados de libertad del ensayo:

$$df_{\text{total}} = \text{Número de ensayos a realizar} - 1 \quad (1)$$

$$df_{\text{total}} = 4 - 1 = 3$$

Grados de libertad para los factores que influyen en el experimento:

$$df = \text{Número de niveles de experimento} - 1 \quad (2)$$

$$df = 2 - 1 = 1$$

Grado de libertad para calcular el error:

$$df_e = df_{total} - df * \text{factores del experimento} \quad (3)$$

$$df_e = 3 - (1) \cdot (1) = 2$$

### 3.5.2 Suma de cuadrados totales

$$SC_{\text{totales}} = \sum_{i=1}^n yi^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot (\sum_{i=1}^n yi)^2 \quad (4)$$

yi	yi <sup>2</sup>
52,53 HRC	2759,40
55,30 HRC	3058,09
51,25 HRC	2626,56
57,35 HRC	3289,02

$\sum_{i=1}^n yi^2$	$\sum_{i=1}^n yi$	$(\sum_{i=1}^n yi)^2$
11733,07	216,43	46841,94

$$SC_{\text{totales}} = 11733,07 - \frac{46841,94}{4} = \mathbf{22,59}$$

### 3.5.3 Cálculo de varianza

Temperatura de temple 940°C y 970°C

$$\sum_{k=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot [\sum_{i=1}^n (AKi)]^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot (\sum_{i=1}^n yi)^2 \quad (5)$$

$$S_{T940^\circ\text{C}} = \frac{(52,53 + 51,25)^2}{2} = 5385,14$$

$$S_{T970^\circ\text{C}} = \frac{(55,3 + 57,35)^2}{2} = 6345,01$$

$$S_{\text{Temple}} = 5385,14 + 6345,01 - 11710,48$$

$$S_{\text{Temple}} = \mathbf{19,67}$$

Temperatura de revenido 280°C y 300°C

$$S_{R280^{\circ}\text{C}} = \frac{(52,53 + 57,35)^2}{2} = 6036,81$$

$$S_{R300^{\circ}\text{C}} = \frac{(55,3 + 51,25)^2}{2} = 5676,45$$

$$S_{\text{Revenido}} = 6036,81 + 5676,45 - 11710,48$$

$$\mathbf{S_{\text{Revenido}} = 2,77}$$

$$\mathbf{S_{\text{Total}} = S_{\text{Temple}} + S_{\text{Revenido}}}$$

$$\mathbf{S_{\text{Total}} = 19,67 + 2,77 = 22,44}$$

### 3.5.4 Varianza de cada factor

Temperatura de temple

$$V_{\text{Temple}} = \frac{S_{\text{Temple}}}{df} \quad (6)$$

$$V_{\text{Temple}} = \frac{19,67}{1} = \mathbf{19,67}$$

Temperatura de revenido

$$V_{\text{Revenido}} = \frac{S_{\text{Revenido}}}{df} \quad (7)$$

$$V_{\text{Revenido}} = \frac{2,77}{1} = \mathbf{2,77}$$

### 3.5.5 Error

Temperatura de temple

$$e_{\text{Temple}} = SC_{\text{totales}} - (S_{\text{Temple}}) \quad (8)$$

$$e_{\text{Temple}} = 22,59 - 19,67 = \mathbf{2,92}$$

Temperatura de revenido

$$e_{\text{Revenido}} = SC_{\text{totales}} - (S_{\text{Revenido}}) \quad (9)$$

$$e_{\text{Revenido}} = 22,59 - 2,77 = \mathbf{19,82}$$

### 3.5.6 Error de la varianza

Temperatura de temple

$$Ve_{\text{Temple}} = \frac{e_{\text{Temple}}}{dfe} \quad (10)$$

$$Ve_{\text{Temple}} = \frac{2,92}{2} = \mathbf{1,46}$$

Temperatura de revenido

$$Ve = \frac{e_{\text{Revenido}}}{dfe} \quad (11)$$

$$Ve_{\text{Revenido}} = \frac{19,82}{2} = \mathbf{9,91}$$

### 3.5.7 Prueba exacta de Fisher

Temperatura de temple

$$VF_{\text{Temple}} = \frac{V_{\text{Temple}}}{Ve_{\text{Temple}}} \quad (12)$$

$$VF_{\text{Temple}} = \frac{19,67}{1,46} = \mathbf{13,47}$$

Temperatura de revenido

$$VF_{\text{Revenido}} = \frac{V_{\text{Revenido}}}{Ve_{\text{Revenido}}} \quad (13)$$

$$VF_{\text{Revenido}} = \frac{2,77}{9,91} = \mathbf{0,279}$$

### 3.5.8 Porcentaje de influencia (%)

Temperatura de temple

$$\%P = S_{\text{Temple}} \cdot \frac{1}{SC_{\text{totales}}} \cdot 100 \quad (14)$$

$$\%P = 19,67 \cdot \frac{1}{22,59} \cdot 100 = \mathbf{87,07\%}$$

Temperatura de revenido

$$\%P = S_{\text{Revenido}} \cdot \frac{1}{SC_{\text{totales}}} \cdot 100$$

$$\%P = 2,77 \cdot \frac{1}{22,59} \cdot 100 = \mathbf{12,27\%}$$

La tabla 45 contiene un resumen del análisis estadístico aplicado, donde es evidente que la variable de temperatura de temple tiene una influencia del 87,07% en la dureza del material a comparación de la temperatura de revenido con tan solo el 12,27%. Y a su vez, la prueba exacta de Fisher confirma que dicha variable está asociada con la dureza superficial.

**Tabla 45.** Resultados conseguidos en los ensayos de dureza superficial con la técnica de análisis estadístico ANOVA

Variables	$S = \sum_{k=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2$	$V = \frac{S}{df}$	$Ve = \frac{e}{dfe}$	Prueba de Fisher	Porcentaje de influencia
Temperatura de temple	19,67	19,67	1,46	13,47	87,07%
Temperatura de revenido	2,77	2,77	9,91	0,279	12,27%

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de estadístico de varianza ANOVA

Se consideró las variables de temperatura de temple y posterior revenido para el acero AISI D3/K100, mostradas en la Tabla 46, se aplicará un método estadístico de varianza ANOVA, se obtuvo como resultado un arreglo cuadrático para determinar el número de cuchillas a ensayar como se ilustra en la Tabla 47.

**Tabla 46.** Variables del ensayo

Designación	Temple °C	Revenido °C
Temperatura de temple	940	970
Temperatura de revenido	280	300

**Tabla 47.** Número de probetas a ensayar

Designación	Temperatura de temple	Temperatura de revenido
T940-R280	940	280
T970-R300	970	300
T940-R300	940	300
T970-R280	970	280

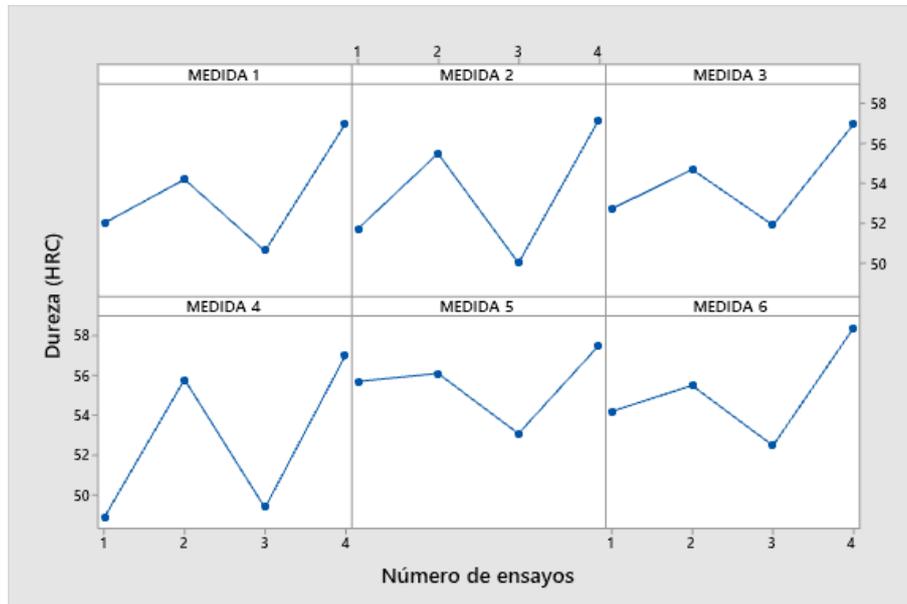
#### 4.2 Observación estadístico de los resultados de dureza superficial

Se ejecutaron ensayos de dureza superficial a las herramientas de corte de acero AISI D3/K100 luego de ser sometidas a procesos térmicos de temple y revenido, los resultados obtenidos se registran en la Tabla 48

**Tabla 48.** Resultados del ensayo de dureza a las herramientas de corte tratadas térmicamente.

Designación	Medida 1 (HRC)	Medida 2 (HRC)	Medida 3 (HRC)	Medida 4 (HRC)	Medida 5 (HRC)	Medida 6 (HRC)
T940-R280	52	51,7	52,7	48,9	55,7	54,2
T970-R300	54,2	55,5	54,7	55,8	56,1	55,5
T940-R300	50,6	50	51,9	49,4	53,1	52,5
T970-R280	57	57,2	57	57	57,5	58,4

En la Figura 32 se observa una gráfica de tiempo donde se evidencia que la dureza varía en función de las temperaturas seleccionadas para el tratamiento térmico por lo que se convierte en una variable de salida en la investigación.



**Figura 32.** Gráfica de tiempo de la dureza superficial en las herramientas de corte tratadas térmicamente

### 4.3 Validación de datos

Para una correcta de validación de datos de dureza es importante estudiar la desviación estándar relativa que relaciona los datos obtenidos con respecto a su media. La figura 33 contiene valores estadísticos de la desviación estándar y la media.

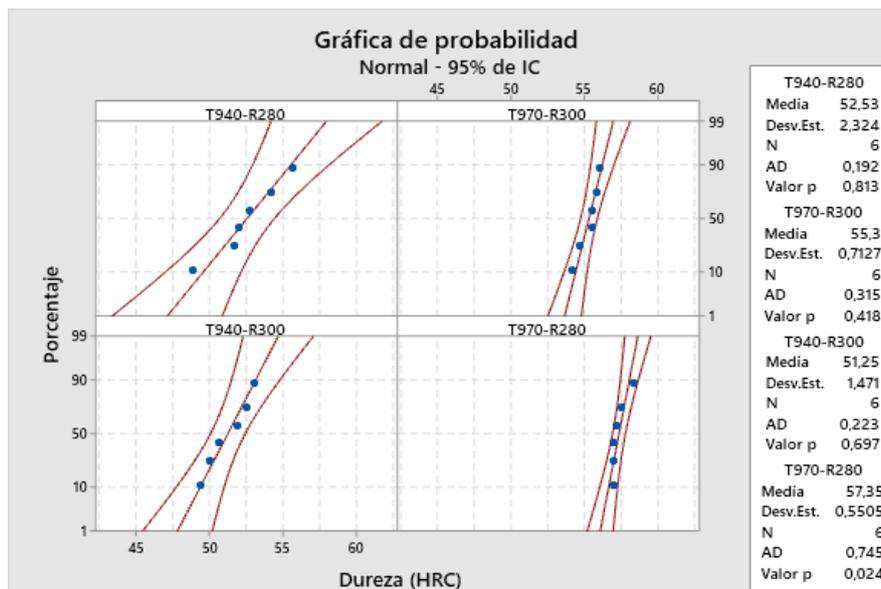
#### Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
T940-R280	6	0	52,533	0,949	2,324	48,900	51,000	52,350	54,575	55,700
T970-R300	6	0	55,300	0,291	0,713	54,200	54,575	55,500	55,875	56,100
T940-R300	6	0	51,250	0,600	1,471	49,400	49,850	51,250	52,650	53,100
T970-R280	6	0	57,350	0,225	0,550	57,000	57,000	57,100	57,725	58,400

**Figura 33.** Gráfica de tiempo de la dureza superficial en las herramientas de corte tratadas térmicamente

Además, se debe realizar un contraste de normalidad para la evaluación de una distribución normal con un 95% de confianza entre los datos obtenidos, lo que garantiza que el ensayo haya sido ejecutado de manera correcta.

Se puede observar en la figura 34 que los datos de dureza superficial en todas las herramientas de corte tratadas térmicamente se encuentran dentro de la distribución normal, se obtuvo un coeficiente de Anderson Darling (AD) de 0,192 para la cuchilla sometida a temple a 970°C y revenida a 300°C, lo que significa que ésta cuenta con el mejor ajuste.



**Figura 34.** Probabilidad de la dureza obtenida en las herramientas de corte tratadas térmicamente

Con estos análisis estadísticos es posible validar los datos obtenidos a través de ensayos de dureza y son óptimos para trabajar con ellos en la investigación.

#### 4.4 Análisis de varianza ANOVA

En este apartado se analizará la influencia de las variables de temperatura de temple y revenido frente a variables de respuesta de dureza y eficiencia de las herramientas de corte a través del software llamado Minitab. En la tabla 49 se registran los factores y niveles utilizados en el experimento.

**Tabla 49.** Niveles y factores utilizados en el experimento

Designación	Temperatura de temple °C	Temperatura de revenido °C	Dureza (HRC)	Taza de eficiencia
T940-R280	940	280	52,53	3,06
T970-R300	970	300	55,30	3,64
T940-R300	940	300	51,25	2,44
T970-R280	970	280	57,35	4,11

Este análisis involucra cierta formulación para su posterior interpretación de resultados como se observa en el capítulo 3, en el apartado 3.5 correspondiente a formulación matemática.

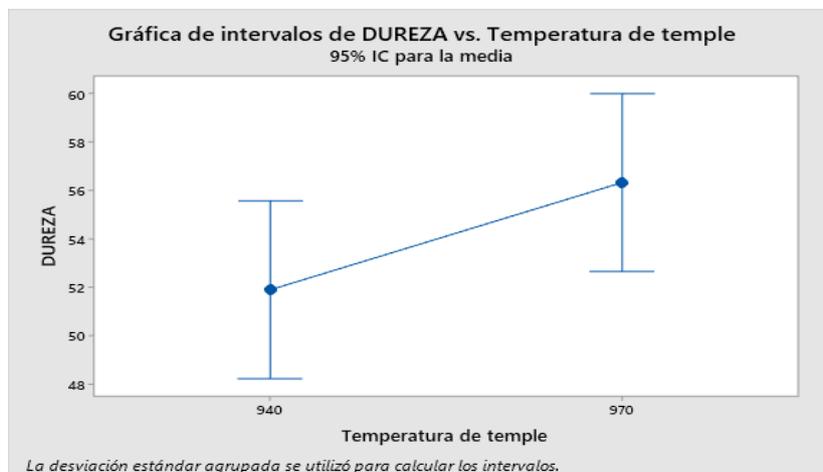
La figura 35 y 37 cotejan los valores obtenidos en los cálculos realizados de temperatura de temple y revenido, frente a la dureza superficial, todo ello a través del software especializado Minitab. Mientras que la Figura 36 y 38 representa de manera gráfica un intervalo de dureza generado en estas dos variables para la dureza con factor de confianza del 95%.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de temple	1	19,669	19,669	13,47	0,067
Error	2	2,920	1,460		
Total	3	22,590			

**Figura 35.** Resultados conseguidos de temperatura de temple – dureza en el software Minitab

Donde, GL, representa los grados de libertad; SC Ajust, suma de cuadrados totales; Valor F, prueba exacta de Fisher; Valor p, que son los niveles críticos.

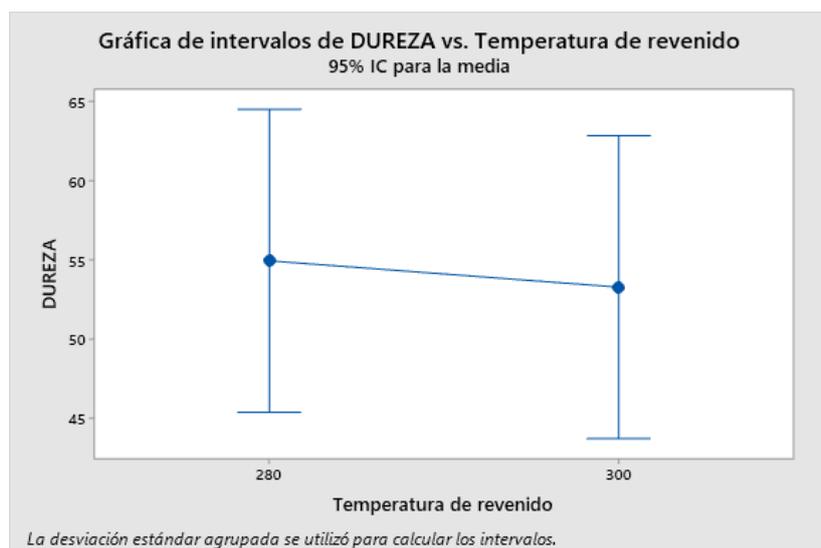


**Figura 36.** Intervalos en temperatura de temple – dureza obtenidos en el software Minitab

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de revenido	1	2,772	2,772	0,28	0,650
Error	2	19,817	9,909		
Total	3	22,590			

**Figura 37.** Resultados obtenidos de temperatura de revenido – dureza en el software Minitab



**Figura 38.** Intervalos de temperatura de revenido – dureza obtenidos en el software Minitab

### 4.5 Análisis estadístico de resultados de eficiencia

En la tabla 50 y 51 se detallan los valores obtenidos del cálculo realizado para el análisis estadístico ANOVA, el cual determina que la temperatura de revenido no es influyente en la variable de salida correspondiente a la tasa de eficiencia de las herramientas de corte, con un valor del 18,52%.

**Tabla 50.** Resultados de grados de libertad del ensayo mediante el análisis estadístico ANOVA

Variables	Designación	Formulación	Valores
Grado de libertad	$df_{total}$	Número de ensayos a realizar – 1	1
Grado de libertad para factores	df	Número de niveles de experimento – 1	1
Grado de libertad para el error	$df_e$	$df_{total} - df * \text{factores del experimento}$	2

**Tabla 51.** Resultados obtenidos de la tasa de eficiencia mediante el análisis estadístico ANOVA

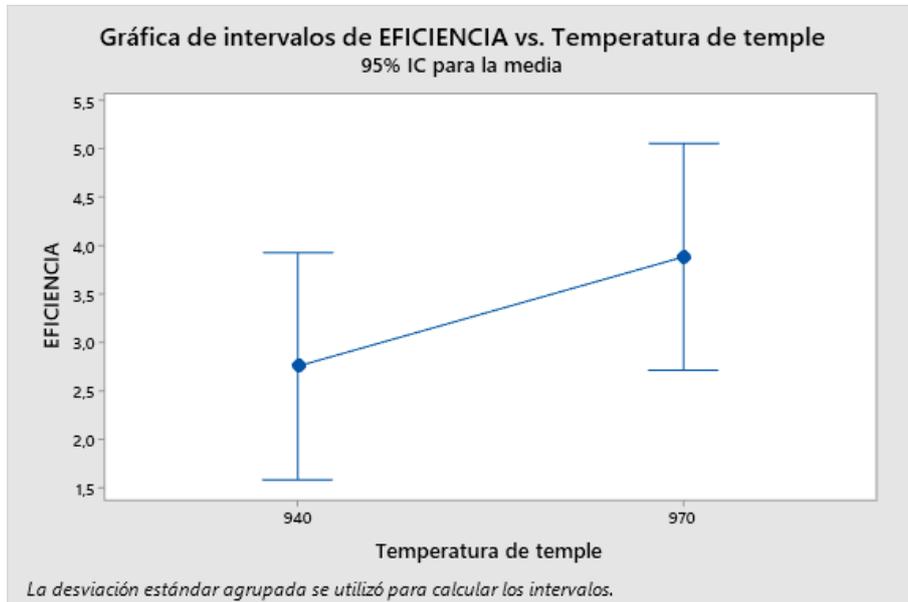
	Designación	Formulación	Valores para temperatura de temple	Valores para temperatura de revenido
Sumatoria cuadrados totales	SC <sub>totales</sub>	$\sum_{i=1}^n yi^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n yi\right)^2$	1,57	1,57
Varianza	S	$\sum_{k=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n yi\right)^2$	1,27	0,29
	V		1,27	0,29
Varianza en el factor		$\frac{S}{df}$		1,28
Error	e		0,30	
	Ve	$e = SC_{totales} - (S)$	0,15	0,64
Error de la varianza		$\frac{e}{dfe}$		
Prueba Fisher	VF		8,60	0,45
		$\frac{V}{Ve}$		18,52%
Porcentaje de influencia	% P	$S \cdot \frac{1}{SC_{totales}} \cdot 100$	80,98%	

Para la validación de resultados se hace uso del software Minitab, haciendo uso de un método de análisis de varianza como se observa en la figura 39 y 41. Así como también gráficas de intervalos de tasa de eficiencia con respecto a las variables de temperatura de temple y revenido, representadas en las figuras 40 y 42.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de temple	1	1,2719	1,2719	8,60	0,099
Error	2	0,2956	0,1478		
Total	3	1,5675			

**Figura 39.** Resultados obtenidos de temperatura de temple – tasa de eficiencia en el software Minitab

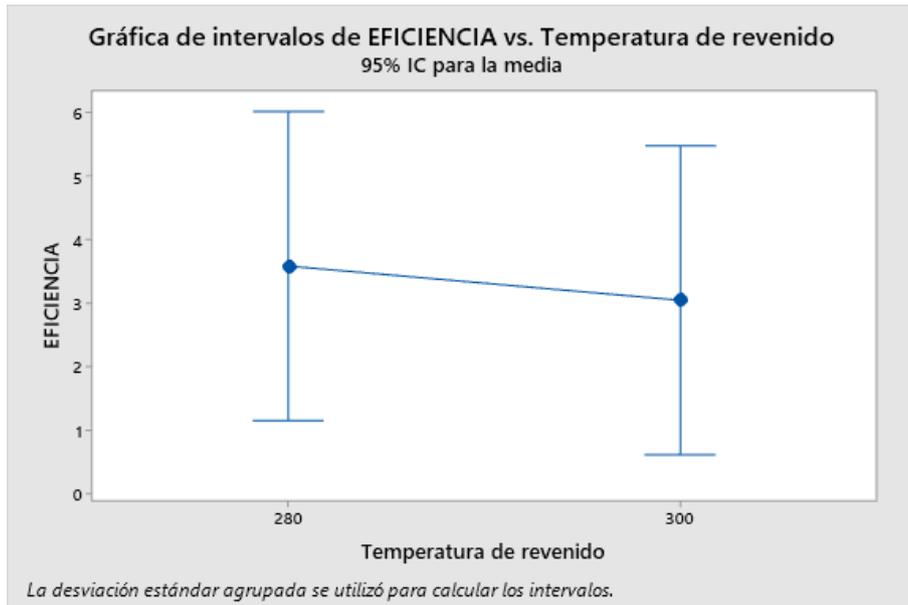


**Figura 40.** Intervalos temperatura de temple – dureza obtenidos en el software Minitab

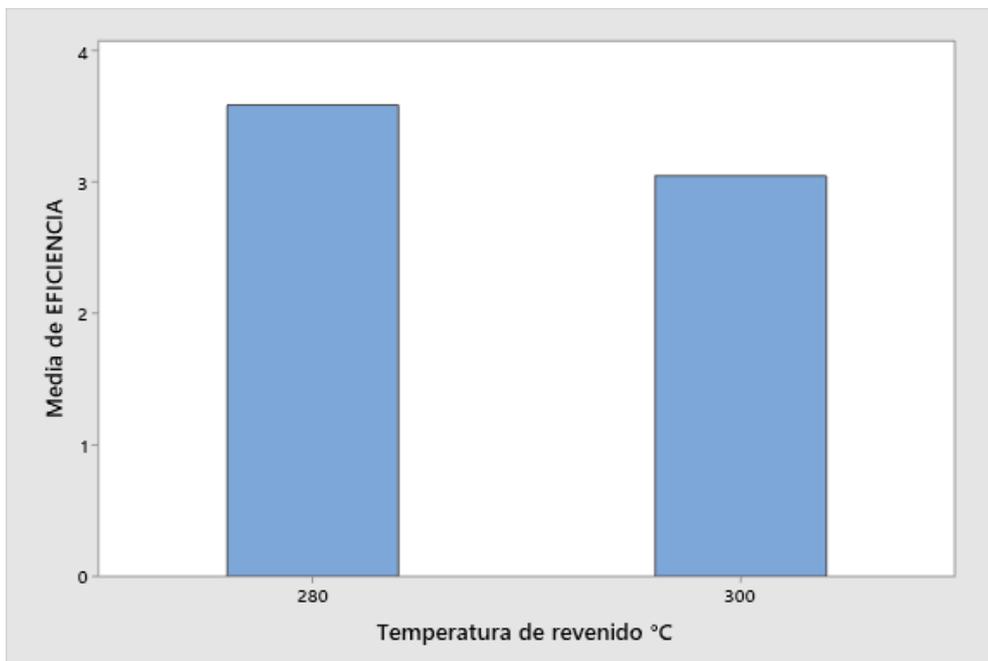
### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de revenido	1	0,2904	0,2904	0,45	0,570
Error	2	1,2771	0,6385		
Total	3	1,5675			

**Figura 41.** Resultados obtenidos de temperatura de temple – tasa de eficiencia en el software Minitab



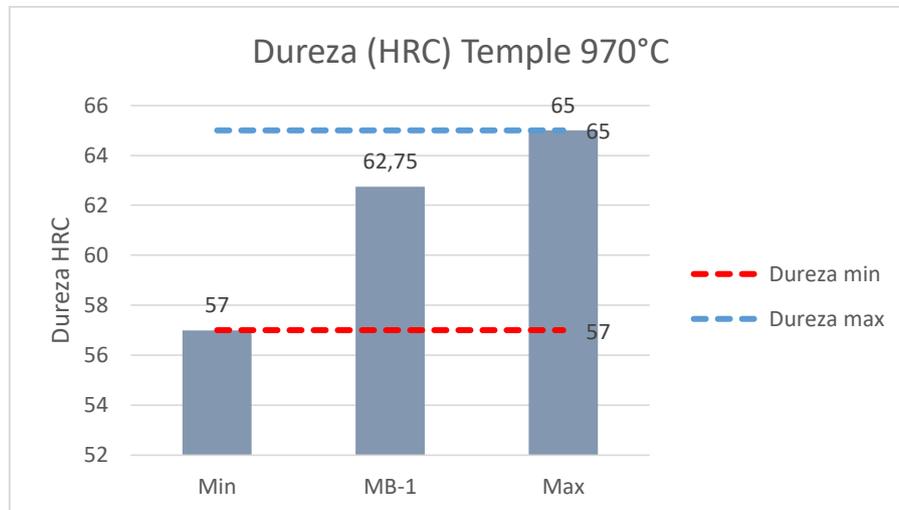
**Figura 42.** Intervalos temperatura de revenido – tasa de eficiencia obtenidos en el software Minitab



**Figura 43.** Intervalos temperatura de revenido – tasa de eficiencia obtenidos en el software Minitab

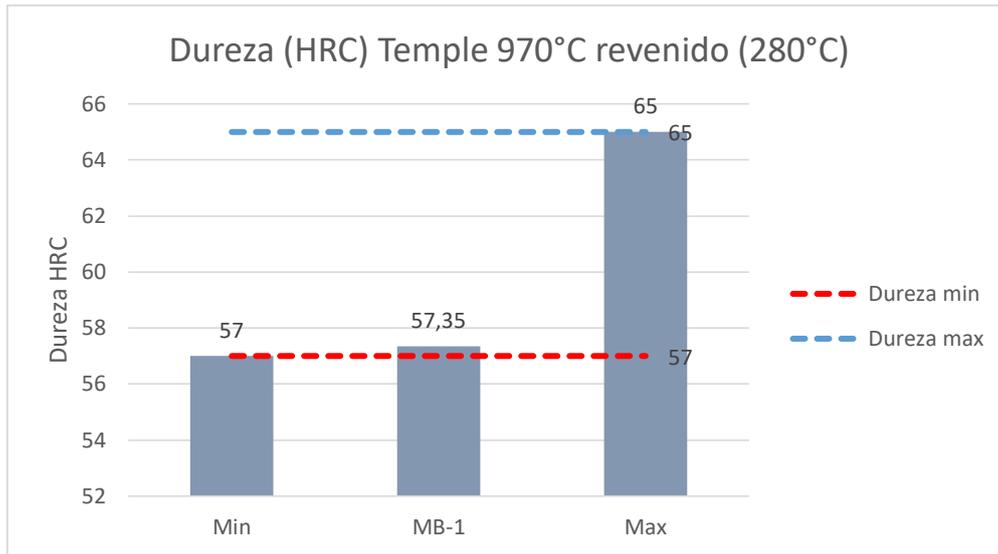
Este estudio determina que para aumentar tanto la dureza como la tasa de eficiencia es importante considerar altas temperaturas de temple, en este caso particular de estudio es 970°C con una influencia del 87,07% y 80,98%. En cuanto a la temperatura de revenido, 280°C se posiciona como el factor que incrementa la tasa de eficiencia como se observa en la figura 43, se obtuvo como resultado la herramienta de corte sometida a temple a 970°C y revenida a 280°C como la más eficiente en el corte de madera y con más dureza superficial.

En la figura 44 se ilustra la dureza obtenida en el acero K 100 (AISI D3) al realizarle temple a 970 C, y tiempo de permanencia de 1 hora en el horno, donde MB-1 hace referencia a la cuchilla Min y Max hace referencia a los rangos de dureza según el fabricante Böhler que está en un rango de 57 – 65 HRC[5].



**Figura 44.** Dureza a temple 970°C

En la figura 45 se ilustra la dureza obtenida en el tema de investigación donde se puede observar que son válidos los datos obtenidos luego de realizar el tratamiento térmico en el material donde se tiene una reducción en la dureza al realizar el revenido del 8,61 % basándose en los parámetros establecidos por el probador que en este caso en específico es Böhler el cual indica que se debe realizar el proceso de temple en el acero K100 con temperatura de temple en un rango de 940 – 970 °C , una hora por cada 20 mm de espesor y previo a eso esperar una dureza de 57 – 65 HRC.[5]



**Figura 45.** Dureza de herramientas sometida a temple 970°C y revenido a 280°C

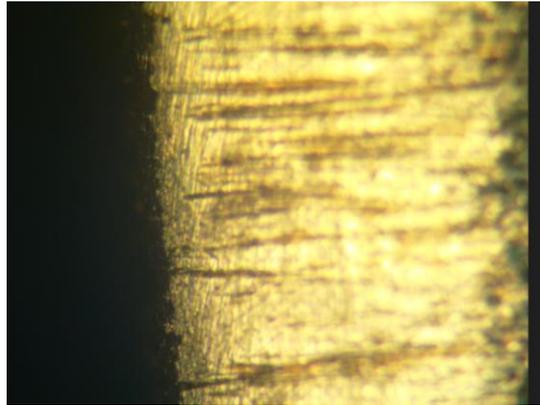
#### 4.6 Análisis y comparación de las cuchillas antes y después de ser sometidas al trabajo

Se recopiló información de los filos de corte de las cuatro herramientas fabricados con acero K100 (D3), presentes en el tema de investigación, haciendo uso del microscopio del laboratorio de metalurgia de la Universidad Salesiana, previo al muestreo estaban sometidas a tratamiento térmico como se ilustra en las tablas 48, el filo de la herramienta sin someter a desgaste abrasivo como se ilustra en las figuras 46,47,48 y 49.

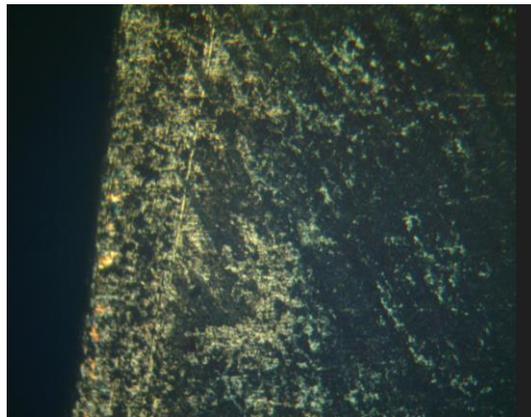
Posterior a esto se sometió las herramientas a desgaste abrasivo en el “Taller de carpintería Marcelo”, haciendo uso de la máquina herramienta “Tupi”, las cuchillas de acero K100 fueron sometidas a desgaste abrasivo haciendo uso de la madera tipo Nato, la cual tiene propiedades físicas y mecánicas en la tabla 17,18 y 19.

Por consiguiente, se realizó el muestreo del filo de las cuchillas como se ilustra en las figuras 50,51,52, y 53. De la cual destaca la cuchilla de la figura 50, que tiene un tratamiento térmico de 970 °C en temple y un revenido a 280 °C, esta cuchilla alcanza una longitud de 37 metros y aun así conserva el mejor filo en relación con las demás cuchillas, como se ilustra en la tabla 44, corroborando con el dato obtenido en el análisis estadístico anova.

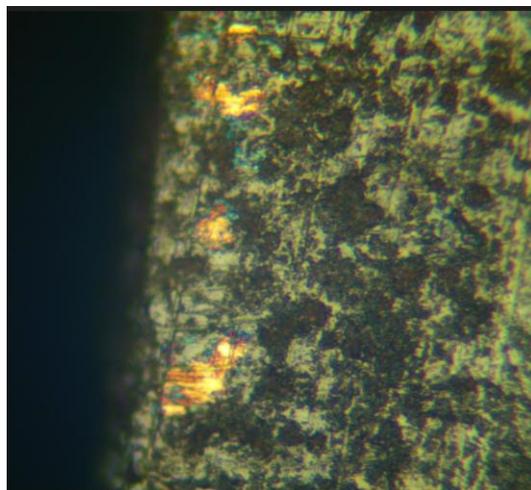
**Fotos del microscopio de cuchillas sin someter a desgaste por abrasión**



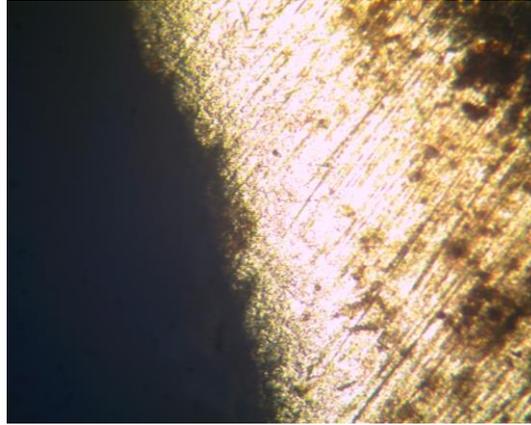
**Figura 46.** Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x



**Figura 47.** Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x

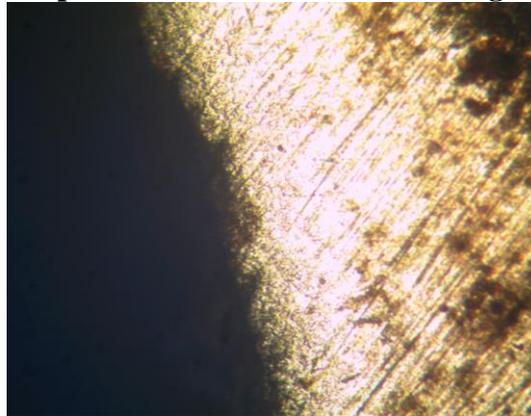


**Figura 48.** Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x

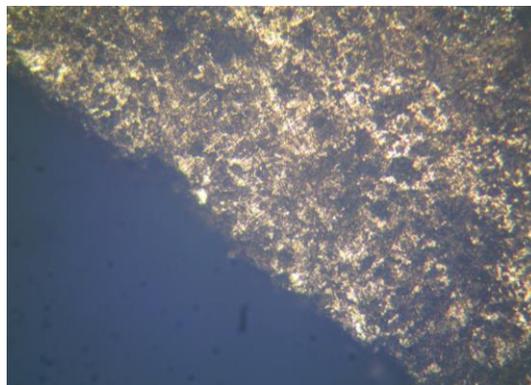


**Figura 49.** Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x

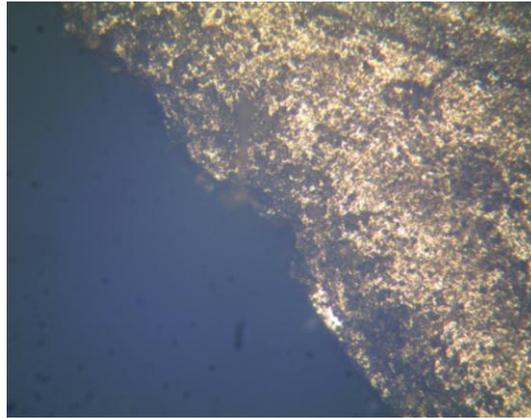
**Fotos del microscopio de cuchillas sometidas a desgaste por abrasión**



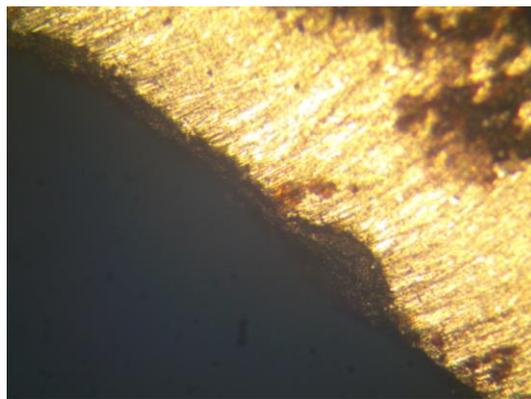
**Figura 50.** Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x



**Figura 51.** Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x



**Figura 52.** Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x



**Figura 53.** Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x

## 4.7 Costos

### 4.7.1 Costos directos

En la sección de costos directos se incluyen los costos por material, mano de obra y equipos, y transportes utilizados en la realización del proyecto. En el cual se presenta los costos de mano de obra, transporte y costo de materiales en las tablas 52, 53 y 54.

**Tabla 52.** Costos de materiales

MATERIALES			
Descripción	Cantidad	V. Unitario	Total
Plancha de acero K100 (5x100x100) mm	3	15	45
Otros	1	25	25
<b>TOTAL</b>			<b>70</b>

**Tabla 53.** Costos de mano de obra

<b>TRABAJADOR</b>	<b>PAGO/HORA</b>	<b>HORAS/MIN</b>	<b>TOTAL, TRABAJADOR</b>
Maestro mecánico	6,43	7	45
Corte CNC con Agua	1,28	25min	32
	<b>TOTAL</b>		<b>77</b>

**Tabla 54.** Costos de transporte

<b>TRANSPORTE</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V.UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Transporte de las cuchillas a san Lorenzo	5	1,2	6
Transporte de las cuchillas a Quito	7	1	7
	<b>TOTAL</b>		<b>13</b>

Este trabajo de investigación tiene un total 160USD. Entre materiales y cuchillas de acero K  
100

## CONCLUSIONES

La investigación realizada determina que el acero K100 (AISI D3) en la fabricación de herramientas puede aportar de forma significativa a la industria de la madera en comparación del acero que es utilizado de forma habitual en la fabricación de herramientas en el taller de carpintería Marcelo como es el AISI 1018, se superó en un 38% en comparación a otros aceros implementados.

Con el método estadístico Anova se puede corroborar que los resultados obtenidos en el laboratorio se asemejan al método estadístico antes mencionado. El cual especifica las condiciones adecuadas tanto de temple como de revenido la cual recomienda una temperatura de 970 °C en temple y una temperatura de 280 °C en revenido.

Se comprobó que esta herramienta con los tratamientos térmicos antes mencionados alcanzo una longitud de 37 m, evidenciándose un poco desgaste por abrasión en el filo de la cuchilla al cortar la madera de nato la cual tiene propiedades mecánicas las cuales están reflejadas en las tablas 17,18 y 19 [22], con la capacidad de producir desgaste de forma rápida a las herramientas que interactúen con esta.

Se comprobó el aumento significativo reflejado en las cuchillas que se sometieron a tratamientos térmicos con las condiciones ya antes planteadas, la cual obtuvo una tasa de eficiencia de 4,11 como refleja la tabla 47. Lo cual, si se pone en contexto con la cuchilla que alcanzo una longitud de 9 metros, la cuchilla del AISI 1018 la longitud alcanzada fue de 9 metros se obtiene una eficiencia de 3 en relación a las cuchillas usadas en el presente.

Lo cual se verá reflejado en los tiempos muertos por cada afilada de la herramienta lo cual disminuye de forma relevante la productividad en el caso de emplear cuchillas con AISI 1018.

## RECOMENDACIONES

Para obtener un máximo rendimiento de este tipo de herramientas con el material K 100 se recomienda templar a una temperatura de 970 C y dar un revenido de 240 C con un tiempo de 4 horas.

Para abaratar costos se recomienda fabricar las herramientas en serie en un centro de mecanizado (CNC) por razones de costo beneficio, que pueden aportar cada una de estas herramientas a las empresas PIMES en la fabricación de cuchillas para usarlas en la “Tupi “, en específico en carpinterías ubicadas en el sector rural.

Al momento de hacer uso de la maquinas herramienta conocida como “tupi” se debe tomar en consideración un sin número de aspectos tales como el ajuste apropiado de las cuchillas, también se debe asegurar que la maquina tenga instalada la carcasa posterior o guía y lo más impórtate procurar que las cuchillas estén balanceadas ya que esto puede provocar un aumento significativo en las vibraciones de la máquina, y esto aumentaría el riesgo a un posible accidente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Perez, “Tratamientos térmicos de los aceros,” *Univ. Autónoma Nuevo Leon*, p. 1, 1996, [Online]. Available: <http://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/estructura-y-funcion-del.html>.
- [2] J. A. Puerto, “INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI/SAE 1045 TEMPLADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS,” *Univ. Libr. Colomb.*, vol. 7, pp. 1–25, 2018.
- [3] S. Hirsch, “Protección de la madera 2011,” 2011.
- [4] E. et al Spavento, “Propiedades Mecánicas de la Madera,” *Xilotecnología*, vol. 0, no. 0, pp. 1–26, 2008.
- [5] Böhler, “Kaltarbeitsstahl cold work tool steel,” p. 12, 2010.
- [6] J. P. Sánchez, “Tratamiento térmico de templado de los aceros aleados,” *Univ. Autónoma Nuevo Leon*, 1981.
- [7] T. Xvii and T. Xvii, “XVII- ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO,” pp. 1–10.
- [8] D. P. Molina, “Análisis de la influencia de un dieléctrico ecológico sobre la rugosidad superficial en el maquinado del acero K100 mediante el proceso de electroerosión por Hilo (WEDM),” *Univ. Técnica Ambato*, no. Cohorte 2017, 2020.
- [9] O. R. Villalta, “Estudio del tiempo y temperatura de austenización en el acero especial BÖHLER K100 (AISI D3) utilizado en matricería,” *Univ. Nac. San Agustín Arequipa*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [10] G. L. CALMET, “Aplicación De La Criogenia En El Tratamiento Térmico De Aceros Para Trabajo En Frío: K100 (Aisi D3),” *Tesis*, pp. 1–125, 2006.
- [11] J. Muños, D. A. & Diaz, “Diseño de máquina recuperadora de llantas,” *Univ. Tecnológica Pereira*, pp. 6–18, 2017.

- [12] F. A. F. G. and L. R. Padovese, “Ruido magnético de barkhausen: ensayo no destructivo para la evaluación de grados de dureza en aceros,” *Sci. Tech.*, vol. XIII, no. 36, pp. 135–139, 2007, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84903626>.
- [13] M. Jami, E. Gil, E. Ushiña, V. H. Cabrera, and A. Cartagena, “Determine hardness and torsional resistance of AISI/SAE 4340 steel, treated by quenching at 860°C and tempering at 300°C, 350°C and 400°C,” *Mater. Today Proc.*, vol. 49, pp. 35–42, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.439.
- [14] Y. Su, L. J. Miao, X. F. Yu, T. M. Liu, L. Liu, and J. L. Liu, “Effect of isothermal quenching on microstructure and hardness of GCr15 steel,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 15, pp. 2820–2827, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.09.096.
- [15] X. Han *et al.*, “A comparison study of change in hardness and microstructures of a Zr-added FeCrAl ODS steel irradiated with heavy ions,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 841, no. 509, p. 143050, 2022, doi: 10.1016/j.msea.2022.143050.
- [16] P. Saxena, H. Gajera, D. Shah, and N. Pancholi, “Effect of SLM process parameters on hardness and microstructure of stainless steel 316 material,” *Mater. Today Proc.*, vol. 50, pp. 1653–1659, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.09.144.
- [17] D. Del and A. Aisi, “LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y RESISTENCIA AL F rancisco J avier B olívar O sorio \* PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF THE TEMPERED AISI 4140 STEEL,” *Esc. Ing. Antioquía*, vol. 10–19, pp. 151–160, 2013.
- [18] C. Rodríguez, J. García Cabezas, E. Cárdenas, and F. J. Belzunce, “Caracterización Mecánica de la ZAT en Aceros Bonificados Mediante el Uso de Probetas Miniatura,” *18 Jornadas Técnicas Sold.*, pp. 1–9, 2010.
- [19] J. Quiñones, “Universidad Nacional De San Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa,” *CAMBIOS EPIDEMIOLÓGICOS LA PANDEMIA POR COVID-19 EN LA APENDICITIS AGUDA EN PACIENTES DEL Hosp. III YANAHUARA, MAYO, 2021 Tesis*, p. 164, 2021, [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12336/MDzutoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [20] M. Tejada, A. Arevalo, and M. Vinueza, “Manual de descripción general de especies de bosque secundario.” 2004.
- [21] J. Escobar, Oscar. & Rodríguez, “Tangare,” *Cent. Colombo Can. la madera*, 1993.
- [22] J. Escobar, Oscar. & Rodríguez, “Nato alcornoque,” *Cent. Colombo Can. la madera*, 1993.
- [23] J. Bermúdez, M. Touza, and F. Sanz, *Manual de la madera de Eucalipto blanco*. 2004.
- [24] L. Vera and F. Larocca, “Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de Entre Ríos,” *Manejo Tradic. vs. manejo con raleos. Proy. For. Desarro. PIA*, pp. 01–03, 2004, [Online]. Available: [http://www.inta.gov.ar/concordia/info/documentos/Forestacion/costos\\_anecon\\_prodmdera.pdf](http://www.inta.gov.ar/concordia/info/documentos/Forestacion/costos_anecon_prodmdera.pdf).
- [25] *Estudio eM rcado Para Madera de Canelo en Estados Unidos y Europa. .*
- [26] R. Córdoba, “Características, propiedades y usos de la madera.” *Revista Forestal Centroamericana* N 20, 1997.
- [27] J. E. Díaz-Vaz, “Anatomía de madera de *Laurelia sempervirens* (R. et Pav.) TUL,” *Bosque*, vol. 9, no. 2, pp. 123–124, 1988, doi: 10.4206/bosque.1988.v9n2-09.
- [28] C. Villches and M. Correal, “Caracterización físico-mecánica de la madera de roble albar, roble cerrioide y roble andaluz de Cataluña,” pp. 1–11, 2013.
- [29] J. Martínez, “Thermal and Mechanical Characterization of Oak Wood Caracterización Térmica y Mecánica de la Madera de Roble,” no. 16, pp. 82–90, 2019.
- [30] Y. Flores, “Caoba,” *INIEA E.E. Pucallpa*.
- [31] P. HernándezRodríguez, L. C. P. Baquero, and M. F. R. Álvarez, “Propiedades químicas y biológicas de *Arbutus unedo*: Una planta con potencial medicinal,” *Rev. Cuba. Farm.*, vol. 49, no. 1, pp. 144–155, 2015.

- [32] B. M. Ruiz-Rodríguez *et al.*, “Efecto de las condiciones ambientales en el contenido de vitamina C en frutos silvestres comestibles de uso tradicional en España,” pp. 776–780, 2012.
- [33] W. K. Brahan, “Orientaciones para el manejo de las especies forestales amenazadas Chanul y Níspero basado en su estado de conservación en el Consejo Comunitario Mayor de Istmina, Chocó, Colombia,” *Rev. Bioetnia*, vol. 8, no. 2, pp. 121–130, 2020, doi: 10.51641/bioetnia.v8i2.38.
- [34] B. Buitrago and O. A. Ayala, “Caracterización de especies maderables (Roble, Teca y Chanul) antes y después de diferentes condiciones de tratamiento térmico,” *Rev. Colomb. Mater.*, vol. 5, pp. 93–99, 2014, [Online]. Available: <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/view/19423>.
- [35] C. F. Issn, “Tanino de Quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*) como precursor de un inhibidor de corrosión para acero de bajo contenido de carbono,” *Quebracho - Rev. Ciencias For.*, vol. 26, no. 1, pp. 31–39, 2018.
- [36] E. Coronel, “Variación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de especies nativas y cultivadas en el chaco argentino,” *Quebracho*, no. 2, pp. 14–20, 1994.
- [37] E. J. Peraza, “La evolución tecnología en la carpintería,” 2000.
- [38] S. C. Beltrán, N. N., & Chávez, “Control de los riesgos de tareas críticas en la elaboración de muebles de madera en Indumay LTDA.,” *Univ. Libr. Fac. Ing. Programa Ing. Ind. Bogotá*, vol. 9, no. 1, pp. 76–99, 2010.
- [39] R. Quirós, O. Chinchilla, and M. Gómez, “Consumo de madera en troza por dos aserraderos portátiles con sierra de banda horizontal,” *Agron. Costarric.*, vol. 29, no. 2, pp. 17–25, 2005.

## ANEXOS

### Anexo 1. Mecanizado y tratamientos térmicos que se dio a las cuchillas de trabajo

Mecanizado de las cuchillas



Corte en agua Máquina Water jet 2030 teenking



Cuchilla K100



## PRUEBA DE DUREZA

Laboratorio de Ingeniería Mecánica

Universidad Politécnica Salesiana



# AFILAMIENTO DE LAS CUCHILLAS K100

Laboratorio de Ingeniería Mecánica

Universidad Politécnica Salesiana



# TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPLE DEL ACERO K 100 EN LOS

Laboratorio de Ingeniería Mecánica

Universidad Politécnica Salesiana



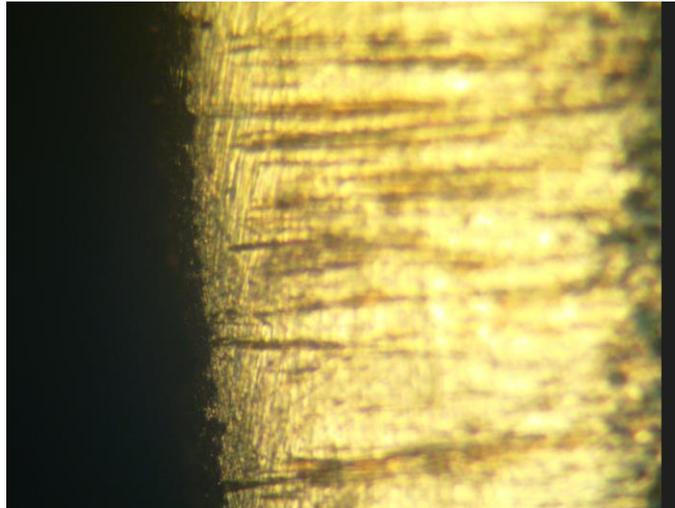
**ANEXO 2**

**FOTOS DEL MICROSCOPIO DEL FILO DE LA CUCHILLA**

**Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

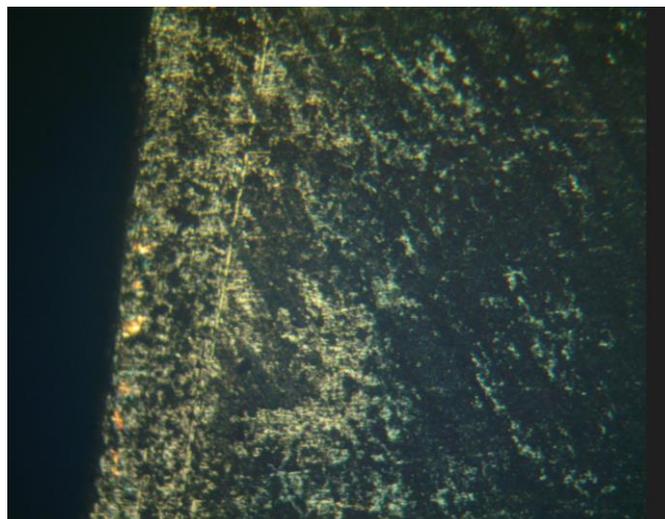
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

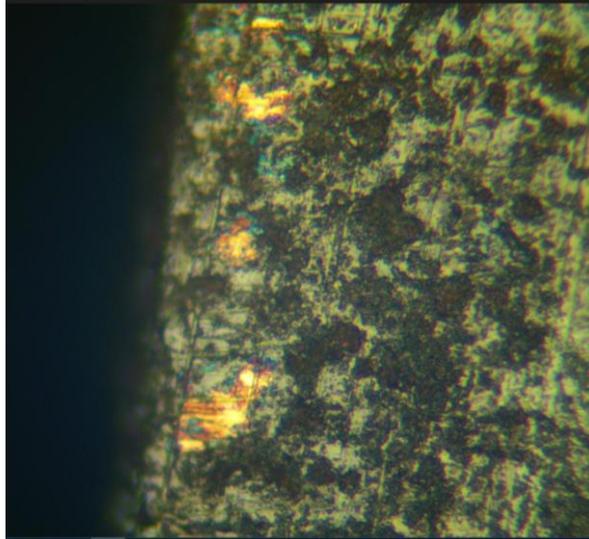
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

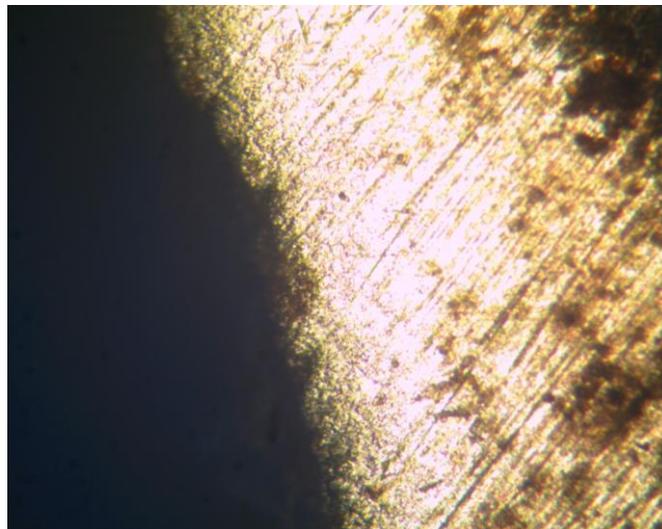
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

**Universidad Politécnica Salesiana**



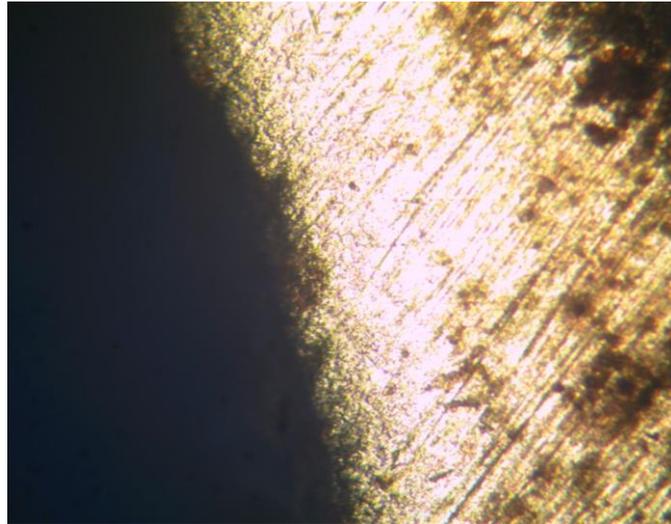
## **ANEXO 2**

### **FOTOS DEL MICROSCOPIO DEL DESGASTE DE LA CUCHILLA**

**Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 280 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

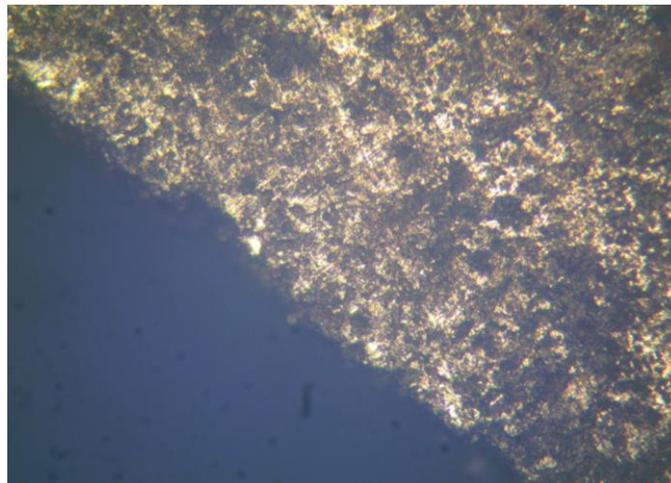
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 970 y revenido 300 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

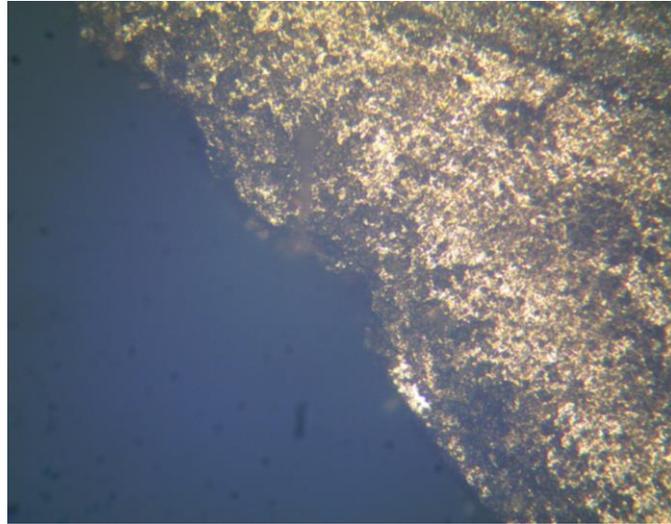
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 300 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

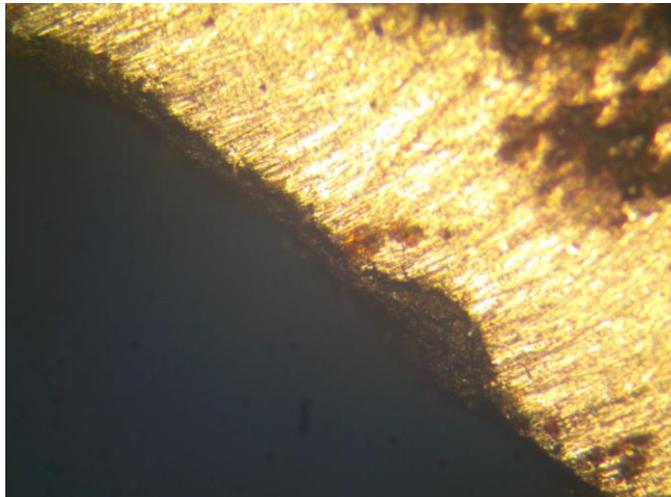
**Universidad Politécnica Salesiana**



**Cuchilla a temperatura de temple de 940 y revenido 280 a 10x**

**Laboratorio de Ingeniería Mecánica**

**Universidad Politécnica Salesiana**



### **ANEXO 3**

#### **CUCHILLAS DE FABRICACIÓN ARTESANAL CON ACERLO AISI 1018 EN “CARPINTERIA MARCELO” CON ACERLO AISI 1018**



#### **PUERTA CON MOLDURAS REALIZADAS EN LA TUPI EN EL TALLER DE CARPINTERIA MARCELO**

