



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD
SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI
1045 TRATADO TÉRMICAMENTE Y
TORNEADO POR CNC MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED
NEURONAL ARTIFICIAL**

Autores:
Miguel Yrady
C.I: 27.213.115
Víctor Mujica
C.I: 23.409.801

Urb. Yuma II, calle nº 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (master)-Fax: (0241) 87123



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045
TRATADO TÉRMICAMENTE Y TORNEADO POR CNC MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autores:

Yrady, Miguel

C.I: 27.213.115

Mujica, Víctor

C.I: 23.409.801

Tutor: Ing. Donato Romanello

C.I: 4.131.877

San Diego, julio 2020



FI-M -004-2020-1CR (TG)

Valencia, 08 de junio de 2020

Ciudadano:
Mujica N., Victor R.
23.409.801
Yrady H., Miguel A.
27.213.115
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2020 de fecha 11-02-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045 TRATADO TERMICAMENTE Y EL TORNEADO POR CNC MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Donato Romanello C.I: 4.131.877 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/a.a.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing. Donato Romanello, portador de la cédula de identidad N° 4.131.877 en mi carácter de tutor hace constar que he leído el proyecto de trabajo de grado presentado por los ciudadanos Miguel Yrady y Víctor Mujica, portadores de la cédula de identidad N° 27.213.115 y N° 23.409.801 respectivamente, titulado: **ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045 TRATADO TÉRMICAMENTE Y TORNEADO POR CNC MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la revisión y aprobación por parte de la Comisión de la Escuela de Ingeniería.

En San Diego, a los ocho días del mes de julio del año dos mil veinte.

Ing. Donato Romanello

C.I. V-4.131.877

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, mis más grandes agradecimientos a Dios, por otorgarme la bendición de estar en este mundo para alcanzar mis sueños.

A mi madre Luz Navarro, no solo por traerme al mundo sino también por su amor incondicional, enseñarme que se debe tener fe en uno mismo y por enseñarme que a pesar de los obstáculos se debe seguir luchando para alcanzar mis metas, porque para eso se vino a este mundo. ¡Por eso y mucho más Te amo mamá!

A mi padre Víctor Mujica, por enseñarme los valores que constituyen a un hombre útil, disciplina, temple, respeto además de perseverar en su paciencia y sacrificio para que yo lograra alcanzar este sueño.

Le agradezco a mi compañero de tesis Miguel Yrady, trabajo duro que hemos compartido en este trayecto que ha sido de constancia, el que persevera alcanza ya hemos cumplido con el objetivo, gracias por confiar en mí y ser tu compañero de tesis.

A el Ing. Alirio Sánchez que es como un hermano para mí, le agradezco por todo el apoyo provisto y por emplazarme en el espacio correcto para la idealización de este trabajo de grado, gracias por siempre estar ahí peleando codo a codo ante la adversidad que siempre se nos avecino en nuestros periodos como estudiantes.

Mi agradecimiento a nuestro tutor de tesis, Ing. Donato Romanello por su dedicación, paciencia, por sus conocimientos y ayuda para que este trabajo especial de grado fuese posible.

Víctor Mujica

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, Alcides Yrady no tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí, la vida no me alcanzará para reponértelo, pero sé que este logro te llena de felicidad, gracias por tu apoyo moral y económico. ¡Este éxito es gracias a ti!

A mi Mamá, Raíza Hernández gracias por tu apoyo y tus consejos, eres mi ejemplo a seguir gracias por enseñarme que la vida me pone obstáculos y que lo limites me lo coloco yo. Nunca tendré las mejores palabras para agradecerte el hecho de que me hayas traído a este mundo gracias y mil gracias.

A mis hermanos, gracias por su apoyo, cariño y estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.

A mi tía Mirleny Hernández por apoyarme todos estos años muchas gracias.

Gracias a la familia Arcaya Yrady por su apoyo y colaboración.

A mi compañero de tesis Víctor Mujica, gracias por todos los momentos de esfuerzo que hemos compartido en este trayecto que ha sido de constancia, el que persevera alcanza ya hemos cumplido con el objetivo, gracias por confiar en mí y ser tu compañera de tesis.

Gracias a nuestro tutor Ing. Donato Romanello por su dedicación, paciencia, por sus conocimientos y ayuda para que este trabajo especial de grado fuese posible.

Miguel Yrady

DEDICATORIA

Mi más sincera dedicatoria primeramente a Dios, por ser la fuerza y guía esencial que provee de resiliencia, esperanza y fe de las cuales me mantenido en pie durante toda mi carrera universitaria.

A mis padres Víctor Mujica y Luz Navarro por haberme dado la vida, forjarme y acompañarme en este largo camino que hoy es una meta cumplida, un logro lleno de éxitos ¡Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible!

A mis familiares y amigos por creer en mí, por ser parte de mi vida y permitirme ser parte de su orgullo.

A la Universidad José Antonio Páez, por abrir sus puertas y permitirme formarme como profesional capacitado para ejercer la carrera que he cursado.

A nuestro tutor académico Ing. Donato Romanello, por formar parte primordial de este trabajo especial de grado.

Víctor Mujica

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mi Padre, a quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi Madre, por haberme educado, soportar mis errores, por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis Hermanos, porque siempre he contado con ellos para todo, gracias por el apoyo y amistad.

Miguel Yrady

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación del problema.....	6
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Alcance.....	7

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Rugosidad superficial.....	11
2.2.1.1 Rugosidad superficial terminología.....	11
2.2.1.2 Parámetros de rugosidad.....	15
2.2.1.3 Rugosidad ideal y rugosidad natural.....	20
2.2.1.4 Factores que influyen en la rugosidad superficial.....	24
2.2.1.5 Influencia de la Rugosidad Superficial.....	25
2.2.2 Acero.....	25
2.2.2.1 Microconstituyentes del acero.....	26
2.2.2.2 Acero AISI 1045.....	28
2.2.3 Tratamientos Térmicos.....	29
2.2.3.1 Tipos de tratamiento térmicos.....	30
2.2.4 Procesos de Manufactura.....	33
2.2.4.1 Torneado.....	34
2.2.4.2 El torno.....	34
2.2.4.3 Operaciones de Torneado.....	35
2.2.4.4 Movimientos en la operación de torneado.....	36
2.2.4.5 Herramientas de Corte para Tornos.....	37
2.2.4.6 Parámetros de corte en Torneado.....	37
2.2.4.7 Ecuaciones de Torneado.....	39
2.2.4.8 Tornos (CNC).....	39
2.2.4.9 Funcionamiento de componentes.....	40
2.2.5 Red Neuronal Artificial.....	41

2.2.5.1 Modelo de una neurona artificial.....	42
2.2.5.2 Arquitectura de una red neuronal.....	42
2.2.5.3 Aprendizaje de una red neuronal artificial.....	43
2.2.5.4 Algoritmos de aprendizaje de una (RNA).....	44
2.3 Términos Básicos.....	45

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	46
3.2 Diseño de la Investigación.....	47
3.3 Nivel de la Investigación.....	47
3.4 Población y Muestra.....	48
3.5 Técnicas e Instrumento de recolección de Datos.....	48
3.6 Fases de la Investigación.....	49

IV RESULTADOS

4.1 Fase I. Construir y desarrollar una red neuronal artificial capaz de predecir la rugosidad superficial del acero AISI 1045 en función del tipo de tratamiento térmico y los factores que influyen en el torneado CNC, usando herramientas computacionales	51
4.1.1 Variables y factores influyentes en el acabado superficial.....	51
4.1.2 Selección del modelo de red neuronal artificial.....	56
4.1.3 Arquitectura de la red neuronal artificial.....	56
4.1.4 Fórmulas para el desarrollo de la red neuronal artificial para la predicción de valores de rugosidad Ra.....	57
4.1.5 Normalización de las variables.....	61
4.1.6 Software utilizado para el desarrollo de la red neuronal.....	61
4.2 Fase II. Entrenar la red neuronal artificial en consideración de las variables y factores que influyen en la determinación de la rugosidad superficial mediante el uso de algoritmos de aprendizaje.....	62
4.2.1 Algoritmo de Aprendizaje de la red neuronal.....	63
4.2.2 Datos para el entrenamiento de la red neuronal para las distintas condiciones del material.....	63
4.2.3 Patrones para finalizar el entrenamiento.....	66
4.3 Fase III. Evaluar la rugosidad superficial de acero AISI 1045 utilizando la red neuronal artificial entrenada para la obtención de resultados de rugosidad superficial (Ra).....	67
4.4 Fase IV. Comprobar la confiabilidad de la red neuronal artificial mediante la comparación de los datos reales obtenidos en ensayos experimentales previos.....	70
4.4.1 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en condición normal (sin tratamiento térmico)	71
4.4.2 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Temple/Revenido..	72
4.4.3 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Normalizado.....	73
4.4.4 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Recocido.....	73

CONCLUSIÓN	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
1 Superficie geométrica.....	12
2 Superficie real.....	12
3 Perfil real de la rugosidad intersectado por un plano normal.....	12
4 Longitudes básicas y de evaluación.....	13
5 Línea media de mínimos cuadrados.....	13
6 Línea media aritmética.....	14
7 Cresta del perfil.....	14
8 Valle local del perfil.....	14
9 Cresta del perfil.....	15
10 Valle del perfil.....	15
11 Perfil de rugosidad.....	16
12 Representación gráfica del parámetro Ra.....	18
13 Rugosidad generada por Herramienta de corte con filo.....	21
14 Rugosidad con herramienta de corte de filo pronunciado.....	22
15 Relación entre la rugosidad real y la rugosidad natural (rai).....	23
16 Diagrama causa-efecto de los factores que afectan el acabado superficial.....	24
17 Diagrama Hierro-Carbono.....	26
18 Grafica representativa de las etapas de un tratamiento térmico.....	30
19 Efecto del revenido sobre las propiedades mecánicas de un acero.....	32
20 Grafica de temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos al acero.....	33
21 Esquema de las partes de un Torno.....	34
22 Operaciones de torneado.....	36
23 Parámetros de corte en el proceso de torneado.....	38
24 Parámetros geométricos de la herramienta de corte.....	38
25 Estructura de una red neuronal artificial.....	42
26 Barra porta herramienta.....	53
27 Barra porta herramienta planos.....	53
28 Inserto de la herramienta de corte.....	54
29 Esquema de la red neuronal artificial desarrollada para predecir valores de rugosidad superficial del acero AISI 1045.....	58
30 Interfaz gráfica de la red neuronal desarrollado en Java.....	62
31 Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en condición inicial.....	71
32 Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en temple/Revenido.....	72

33 Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en Normalizado.....	73
34 Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en Recocido.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	Pp.
2 Parámetros de rugosidad.....	16
3 Grado de rugosidad (Ra) según Norma ISO 1302.....	19
4 Rangos de valores de rugosidad (Ra) de métodos de fabricación.....	20
5 Composición química del Acero AISI 1045.....	51
6 Especificaciones del tratamiento térmico.....	52
7 Parámetros de corte.....	52
8 Especificaciones de la barra porta herramienta.....	53
9 Especificaciones de Inserto utilizado en el ensayo.....	54
10 Variables de entrada.....	55
11 Factores que influyen en el proceso.....	55
12 Variable de Salida.....	56
13 Vector de entrada.....	58
14 Rango de valores de las variables de entrada.....	58
15 Variables de salida.....	60
16 Rango de valores de la variable de salida.....	60
17 Valores de entrenamiento para condición inicial.....	64
18 Valores de entrenamiento para Temple/Revenido.....	65
19 Valores de Entrenamiento para Normalizado.....	65
20 Valores de Entrenamiento para Recocido.....	66
21 Valores obtenidos por la Red neuronal condición inicial.....	67
22 Valores obtenidos por la red neuronal Temple/Revenido.....	68
23 Valores obtenidos por la Red neuronal Normalizado.....	69
24 Valores obtenidos por la Red neuronal Recocido.....	70
25 Condición inicial AISI 1045.....	115
26 Acero AISI 1045 Templado/Revenido.....	115
27 Acero AISI 1045 Normalizado.....	116
28 Acero AISI 1045 Recocido.....	116



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045
TRATADO TÉRMICAMENTE Y TORNEADO POR CNC MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL**

Autores: Yrady, Miguel
Mujica, Víctor

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: Julio, 2020

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como propósito estudiar la rugosidad superficial de un acero AISI 1045 tratado térmicamente y torneado por CNC, mediante el desarrollo de una red neuronal artificial con la finalidad de predecir la rugosidad del acero de acuerdo a las variables que influyen como la velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada y el tratamiento térmico aplicado en el material, entrenar la red mediante el uso del algoritmo backpropagation tradicional basado en el descenso de la gradiente con el fin de que pueda predecir valores de rugosidad cercanos a la realidad, desarrollando la red mediante el uso de JAVA que es un software informático, que facilita la tarea de construir modelos matemáticos neuronales, permitiendo construir una interfaz gráfica que permite mayor manejo de la red entre usuario y el programa, esta red neuronal tiene como objetivo principal predecir valores de rugosidad del acero AISI 1045 con sus respectivos parámetros de corte, lo cual ahorra tiempo, se evitan pérdida de material y desgaste en las herramientas de corte y que se obtenga un buen acabado superficial que es vital para todas las piezas mecanizadas y que cumpla con sus funciones mecánicas.

Descriptor: Rugosidad, Acabado superficial, Tratamiento térmico, Torneado, Parámetros de corte, Torno CNC, Acero AISI 1045, Red neuronal artificial.

INTRODUCCIÓN

El acero AISI 1045 es uno de los materiales metálicos más utilizados en el sector industrial en especial en las industrias metalmecánicas, esto se debe a la favorable combinación de las propiedades mecánicas, tiene buena maquinabilidad, y es adecuado para fabricar elementos y piezas mecánicas en múltiples procesos de mecanizado.

En los procesos de mecanizado el torneado representa una operación fundamental siendo una de las operaciones de arranque de viruta más utilizadas en las industrias metalmecánicas en la fabricación de piezas mecánicas, donde la calidad es un factor muy importante en la producción. La rugosidad superficial y las tolerancias, son los parámetros críticos de mayor evaluación en el control de calidad del proceso productivo de muchas de las piezas mecanizadas. Los consumidores de estas piezas cada vez demandan un mejor acabado superficial y más estrechos márgenes de tolerancias, pero con menores costos, lo cual motiva hacia la investigación de los procesos que originan dicha calidad superficial para determinar la influencia de las variables involucradas en el acabado final.

Hoy en día gracias a múltiples trabajos de investigación se conoce que la rugosidad superficial es afectada por varios factores, tales como: la velocidad de avance, las propiedades del material de trabajo, la velocidad de corte, la profundidad, el radio de la punta de la herramienta, las condiciones de la máquina, los fluidos de corte, los materiales de las herramientas de corte y los ángulos de la herramienta de corte, etc.

Según la documentación analizada, existen una serie de métodos para la medición de la rugosidad los cuales pueden ser separados en dos grupos: de contacto y sin contacto. En los métodos de contacto se usan instrumentos llamado rugosímetro el cual mide la rugosidad superficial de las piezas después de que esta sea mecanizada de acuerdo a ciertos parámetros ajustable en el proceso de torneado CNC.

En los métodos de sin contacto para determinar el acabado superficial de una pieza, se utilizan los siguientes: Diseño de Experimentos (DOE), la Metodología de Superficies de Respuesta (MSR), Regresión lineal y análisis de coeficientes de correlación, Análisis geométrico, análisis por Redes Neuronales Artificiales (RNA) o análisis Fractal.

En el presente trabajo de grado se pretende implementar un método de no contacto, en este caso un modelo matemático neuronal para predecir valores de rugosidad superficial del acero AISI 1045 tras recibir tratamiento térmico, y variar determinados parámetros y factores de torneado CNC, con lo que se quiere demostrar que es posible determinar valores de rugosidad superficial utilizando un análisis fractal, y así mejorar el proceso de mecanizado CNC del acero AISI 1045. A continuación, se describen cada una de las partes que componen este proyecto de investigación:

Capítulo I, se expone el planteamiento del problema, formulación del mismo, los objetivos a desarrollar, justificación de la investigación, las limitaciones y alcance.

Capítulo II, en este capítulo se detalla toda la explicación teórica para comprender la naturaleza del estudio, asimismo, antecedentes de investigaciones, las bases teóricas y definición de términos más relevantes que fundamentan teóricamente al trabajo para su comprensión.

Capítulo III, se definen aspectos referentes al tipo de investigación, nivel de investigación, diseño metodológico, se describe la población y muestra, también se menciona las técnicas e instrumentos a utilizar y se exponen las fases metodológicas, que dará a conocer los procedimientos a seguir para el cumplimiento de los objetivos trazados en el trabajo de investigación.

Capítulo IV, en este capítulo se presentan la forma en la que se desarrolló y construyó la red neuronal, que mecanismo de aprendizaje los resultados obtenidos y la posterior evaluación realizada con la red neuronal entrenada y por último la comparación entre los datos obtenidos de forma experimental con los datos obtenidos por la red neuronal artificial desarrollada en el presente trabajo de grado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Las propiedades de un material se pueden ver afectados por diferentes factores, uno de ellos es la rugosidad que afecta directamente a la pieza después de ser mecanizada. En la industria, la rugosidad y el acabado superficial son parte fundamental para el desarrollo de productos y elementos mecánicos. Es por esto, que al momento de mecanizar un elemento se debe garantizar que el material tenga unas tolerancias de fabricación que cada día deben ser más perfectas, todo esto para evitar daños con consecuencias negativas tanto económicas como en tiempo de producción, debido a que cuando un elemento de estos, falla puede causar accidentes o el paro de una planta de producción.

La calidad superficial es uno de los indicadores de desempeño que tiene efecto sobre la aceptación o rechazo de un producto terminado, es por ello que, un producto terminado que no cumpla con el acabado superficial requerido por el cliente es garantía de la generación de costos en el proceso de corte de metales manifestándose a través de grandes cantidades de desperdicio de material, re-trabajo de piezas, tiempos extras, etc. La rugosidad de la superficie es el indicador de la calidad de las superficies mecanizadas e influye en propiedades tales como resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, índice de desgaste, coeficiente de fricción, lubricación y resistencia a la corrosión de las piezas mecanizadas.

Hoy en día hay diversas técnicas de fabricación, entre las cuales se encuentra el mecanizado, que consiste en la remoción de material de una pieza de trabajo con el fin de obtener geometrías uniformes con pequeñas tolerancias y buenos acabados. Uno de los procesos de maquinados de mayor relevancia en la industria es el torneado, en donde se realizan geometrías cilíndricas como ejes roscos.

Entre los procesos de torneado se pueden ejecutar de forma manual y automatizada, el primero consiste en un torno mecánico que es manipulado por un operario el cual define la tolerancia y acabado según su experiencia, mientras que el automatizado es por medio de una maquina CNC (Control Numérico Computacional). El acabado de una pieza torneada depende de muchos variables como lo son el tipo de máquina utilizada, las condiciones de esta, las herramientas de corte, la velocidad de avance y de giro con la que se realice el maquinado. La buena combinación de estas variantes ayudaría a realizar un acabado superficial de mejor calidad.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que los forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman a los aceros, sin variar la composición química de los mismos, de esta manera se obtiene un aumento de la dureza y resistencia mecánica, así como mayor plasticidad o maquinabilidad para facilitar su conformación o mecanizado. Lo que implica otra variable importante para la obtención de un acabado superficial ideal es conocer que tratamiento térmico se le ha realizado al material que se va a mecanizar.

Las aleaciones de Acero como la AISI 1045 son ampliamente utilizadas en empresas metalmecánicas, para la fabricación de elementos mecánicos, tales como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, entre otros, donde el acabado superficial final es obtenido directamente en los procesos de torneado, este acabado podría influenciar en el funcionamiento de estas piezas mecánicas y en los costos de producción.

Muchos defectos como ralladuras en la superficie del producto, micro grietas, que ocasionan a su vez fallas, algunas de estas catastróficas, han sido atribuidas al acabado superficial de estos componentes mecánicos, lo que puede llegar a ser muy grave si uno de los elementos mecánicos previamente mencionados llegara a fallar en una industria por no cumplir con los estándares de calidad que debe tener la pieza para su correcto funcionamiento.

Con este proyecto se pretende mejorar el acabado superficial en las distintas piezas, identificando y estudiando la influencia de los parámetros que inciden en el proceso, como lo pueden ser la selección del material a usar y el posible tratamiento térmico que se utilizó para adaptar la pieza, el tipo de maquina en este caso el torno CNC, la velocidad de corte, la velocidad de avance la profundidad de pasada, para así garantizar que el valor de la rugosidad en los elementos mecanizados, sea la exigida por el usuario, todo esto enfocado para prolongar la vida útil de las herramientas reduciendo desgastes y obteniendo resultados de muy alta calidad en el acabado superficial.

Con el crecimiento de los mercados, los consumidores demandan ahora más calidad en los productos ya que la rugosidad de la superficie es un parámetro vital para evaluar la calidad deseada del producto acabado, haciendo que la rugosidad superficial se convierta en uno de los más importantes aspectos a tomar en cuenta en la industria manufacturera.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se podría simular la rugosidad de un acero AISI 1045 tratado térmicamente y mecanizado por un torno CNC?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la rugosidad superficial del Acero AISI 1045 mediante la implementación de una red neuronal artificial en función de todos los parámetros que inciden en el proceso de torneado CNC.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Construir y desarrollar una red neuronal artificial capaz de predecir la rugosidad superficial del acero AISI 1045 en función del tipo de tratamiento térmico y los factores que influyen en el torneado CNC, usando herramientas computacionales.
- Entrenar la red neuronal artificial en consideración de las variables y factores que influyen en la determinación de la rugosidad superficial mediante el uso de algoritmos de aprendizaje.
- Evaluar la rugosidad superficial de acero AISI 1045 utilizando la red neuronal artificial entrenada para la obtención de resultados de rugosidad superficial (Ra).
- Comprobar la confiabilidad de la red neuronal artificial mediante la comparación de los datos reales obtenidos en ensayos experimentales previos.

1.4 Justificación de la investigación

En la industria de procesos de manufactura, es muy importante el control de las variables de entrada, por esto se realizó esta investigación para optimizar el proceso de torneado CNC el cual genere piezas con la más alta calidad de acabado superficial o rugosidad. Esto beneficiará tanto a las empresas metalúrgicas dedicadas a este proceso, como a las compañías o personal que la requieran, puesto que el desperdicio de material disminuirá notablemente, la vida útil de la herramienta se prolongará y lo más importante la pieza mecanizada tendrá pocas probabilidades de presentar grietas o problemas de lubricación gracias a su alta calidad de acabado superficial.

Para lograr optimizar el proceso de torneado se debe encontrar las dependencias que tengan las variables de entrada con el resultado esperado (acabado superficial), esto se llevó a cabo con la metodología de diseño de una red neuronal artificial determinar la rugosidad superficial de acuerdo con los parámetros fundamentales de esta. Para advertir sobre los problemas que afrontan las empresas por no tener conocimientos sobre modelos avanzados, la herramienta que se va a utilizar y la importancia de la aplicación de los parámetros tecnológicos, se deben efectuar arduas investigaciones y delimitar lo que se necesita para lograr los resultados esperados.

Es por esto que este proyecto busca determinar valores de rugosidad superficial de un acero AISI 1045 tratado térmicamente, en relación de parámetros de torneado, relacionando la velocidad de corte (V_c), velocidad de avance (F) y la profundidad de pasada (P), material, geometría, ángulo y desgaste de la herramienta de corte, y tipo de torno CNC usado en la operación mediante el uso de un modelo matemático de redes neuronales artificiales con la finalidad de predecir la rugosidad del acero enfocado en relación de todas las variables previamente mencionadas, Por otra parte, la importancia de este estudio es perfeccionar los principales parámetros que inciden en el resultado final de la rugosidad del acero AISI 1045.

1.5 Limitaciones

No se dispone de los equipos, maquinas-herramientas y materiales para obtener de forma experimental la rugosidad del acero AISI 1045 tratado térmicamente y de acuerdo a los parámetros de corte del torno CNC para comprobar de una forma más segura la confiabilidad de la red neuronal artificial desarrollada en este proyecto.

No tener conocimiento del tipo de torno CNC, material de la herramienta de corte, geometría de la misma y tipo de refrigerante usado en los ensayos experimentales donde los valores de rugosidad fueron obtenidos de la lectura de un rugosímetro.

1.6 Alcance

El alcance del proyecto es desarrollar una red neuronal artificial, mediante un software de programación, con el objetivo de determinar la rugosidad superficial del acero AISI 1045 de acuerdo al tratamiento térmico realizado y a los parámetros de corte del torno que influyen en el acabado superficial de un elemento mecánica, por lo cual este proyecto de investigación se centra en implementar con éxito un modelo matemático de red neuronal artificial con los que se pueden obtener resultados óptimos, con el propósito de mejorar el acabado superficial de la pieza a mecanizar.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Inicialmente, Dos Santos R. y Laurentin M. (2007), egresados de la Universidad de Carabobo, sede en Valencia, Venezuela. En su trabajo de grado titulado: **Influencia de los parámetros de corte y la geometría de la herramienta en la rugosidad superficial en el torneado de la aleación AA A356-T6**, para optar al título de ingeniero mecánico. Este trabajo de grado tiene como objetivo general analizar la influencia de los parámetros de corte y la geometría de la herramienta en la rugosidad superficial obtenida en el torneado de la aleación AA A356-T6.

Se concluyó que, la rugosidad superficial obtenida en una operación de torneado se ve significativamente afectada por el avance de la herramienta, es el parámetro de corte que más influye en el comportamiento de la rugosidad superficial, alcanzando un porcentaje de contribución de aproximadamente un 79%. La profundidad de corte no ejerce un efecto significativo en la rugosidad superficial obtenida en el torneado, ya que el porcentaje de contribución fue de apenas 0,17%. La velocidad de corte no influye significativamente en la rugosidad superficial obtenida en el torneado, ya que el porcentaje de contribución fue de apenas 4,27 %.

Aunque si existe una tendencia a disminuir ligeramente los valores de rugosidad a medida que se incrementa la velocidad de corte. Al incrementar el radio de punta de la herramienta disminuye de manera significativa la rugosidad superficial obtenida en el torneado, es el parámetro de corte que ejerce la segunda mayor influencia en el comportamiento de la rugosidad superficial, alcanzando porcentajes de contribución de 9,08%..

Otro punto a tomar en cuenta es lo expuesto en el proyecto de investigación de Maizo A. y Moronta L. (2019), egresados de la Universidad de Carabobo, sede en Valencia, Venezuela. En su trabajo de grado titulado: **Influencia de la microestructura sobre la rugosidad superficial de un acero al carbono 1045 torneado por CNC**, para optar al título de ingeniero mecánico. El cual tuvo como objetivo general determinar la influencia de la microestructura según tratamientos térmicos, sobre la rugosidad superficial de un acero al carbono 1045. Entre sus conclusiones más resaltantes están que la correcta elección de los parámetros de temperatura y permanencia en horno son cruciales para garantizar una correcta configuración de la microestructura, ya que, como se demostró en este trabajo de grado es un factor determinante en la calidad final de la superficie.

En el presente trabajo investigativo se pudo evidenciar que la dureza superficial por sí sola no es garante de una buena rugosidad, esto se demuestra con el hecho de que aunque las probetas en condición inicial presentaron mayor dureza que la mayoría de las muestras tratadas térmicamente, las probetas normalizadas sin ser las más duras

del grado de rugosidad superficial en el mecanizado de un acero AISI 1010 en operaciones de fresado, para optar al título de ingeniero mecánico. El proyecto tiene como finalidad de analizar de forma comparativa el grado de rugosidad superficial en el mecanizado de un acero comercial en procesos de fresado. Realizar pruebas piloto para definir los parámetros de corte a usar durante el mecanizado. Comparar el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido dependiendo de los parámetros de corte previamente seleccionados. Comparar la rugosidad superficial (Ra) obtenida en el mecanizado con las diferentes máquinas, con valores ideales obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos. Concluir cómo influyen en el mecanizado de un acero AISI 1010 los parámetros de corte, la herramienta de corte y el uso o no de fluido lubricante.

Entre las conclusiones más destacadas del trabajo de investigación están que al aumentar la velocidad de rotación de la herramienta, mejora la calidad superficial observada; a partir de ciertos valores de velocidad de corte (entre 1000 – 1200 RPM), comienza a ocurrir una adherencia de virutas en la herramienta para el mecanizado de un acero AISI 1010, debido a que las virutas adheridas rayan directamente sobre la superficie mecanizada.

Otra observación derivada de estas pruebas fue la disminución de la calidad superficial observada al aumentar la velocidad de avance usada para la herramienta. Se destaca que los mejores acabados superficiales se obtuvieron cuando se realizó el proceso de mecanizado con la mayor velocidad de corte, al igual que al usar las menores velocidades de avance y profundidad de corte de la herramienta.

Y para concluir Tovar J. y Reyes C. (2018), egresados de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sede en Bogotá, Colombia. En su trabajo de grado titulado: **Optimización de la rugosidad superficial en acero AISI/SAE 1045 empleando el método de redes neuronales**, para optar al título de ingeniero mecánico. Tiene como objetivo, implementar el método de redes neuronales para definir los parámetros de corte a partir de una rugosidad específica en acero AISI/SAE 1045.

En este trabajo, se logró diseñar y construir por MATLAB de manera exitosa la red neuronal para la predeterminación de la rugosidad en el material usado, este método es

práctico para analizar por medio de iteraciones la posible salida (respuesta) frente al suministro de factores (entrada). También se logró El entrenamiento de la red por medio del método (Backpropagation), arrojó resultados los cuales sus valores de salida (rugosidad superficial) reflejan alta precisión a una baja exactitud, esto debido a la múltiple iteración de valores de entrada los cuales tienden a generar oscilación de las variables de respuesta deseada.

Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, son satisfactorios en el análisis buscando la mayor aproximación hacia el valor inicial o real de rugosidad superficial, después de evaluar los parámetros a los cuales se sometió el acero AISI/SAE 1045, se recomienda para futuras evaluaciones incluir la adición de el número de pasadas del inserto, con el fin de evaluar si la condición final de rugosidad tiende a ser más exacta y precisa.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Rugosidad Superficial.

La rugosidad se puede definir como el conjunto de irregularidades que presenta una pieza, generalmente estas imperfecciones son generadas por las herramientas de corte durante la producción de dicho elemento.

Para medir la rugosidad existe un aparato que brinda una lectura digital llamado el rugosímetro que en el sistema inglés la unidad d

2.2.1.1 Rugosidad superficial terminología.

Rugosidad superficial: es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados.

Superficie geométrica: Superficie ideal cuya forma está especificada por el dibujo y/o todo documento técnico. En la figura 1 se puede observar.

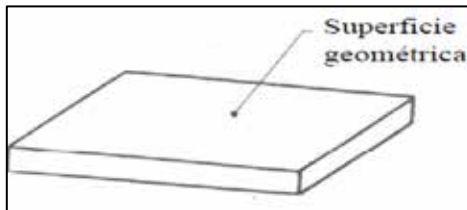


Figura 1. Superficie geométrica.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Superficie real: Superficie que limita el cuerpo y lo separa del medio que lo rodea. En la figura 2 se puede observar un ejemplo de superficie real.

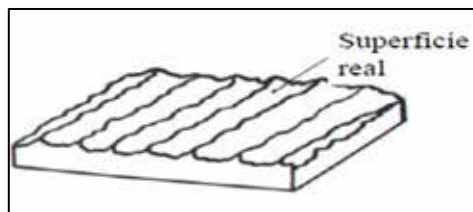


Figura 2. Superficie real.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Superficie de referencia: Superficie a partir de la cual se determinan los parámetros de rugosidad. Tiene la forma de la superficie geométrica. Se puede calcular por el método de mínimos cuadrados.

Perfil real: Es la intersección de la superficie real con un plano normal. En donde se puede apreciar en la figura 3.

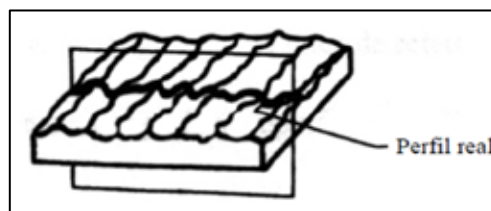


Figura 3. Perfil real de la rugosidad intersectado por un plano normal.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Longitud básica, l : Longitud de la línea de referencia utilizada para separar las irregularidades que forman la rugosidad superficial.

Longitud de evaluación, l_n : Longitud utilizada para determinar los valores de los parámetros de rugosidad superficial. Puede comprender una o longitudes básicas. Esta línea de evaluación queda representada en la figura 4.

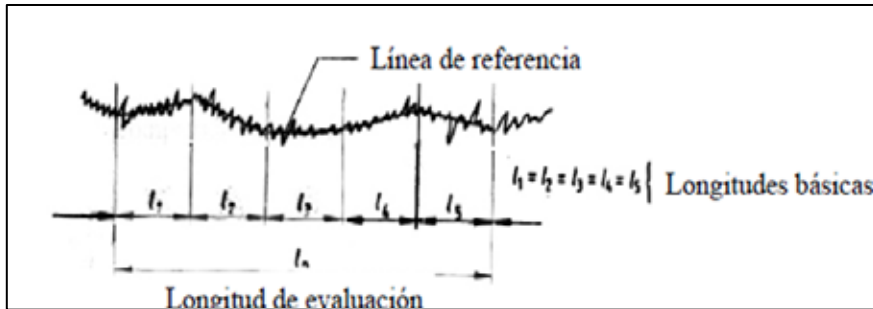


Figura 4. Longitudes básicas y de evaluación.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Línea media de los mínimos cuadrados: Línea de referencia cuya forma es la del perfil geométrico. Divide el perfil de modo que, en el interior de la longitud básica, la suma de los cuadrados de las desviaciones a partir de esta línea es mínima. Esta línea se puede visualizar en el en la figura 5.

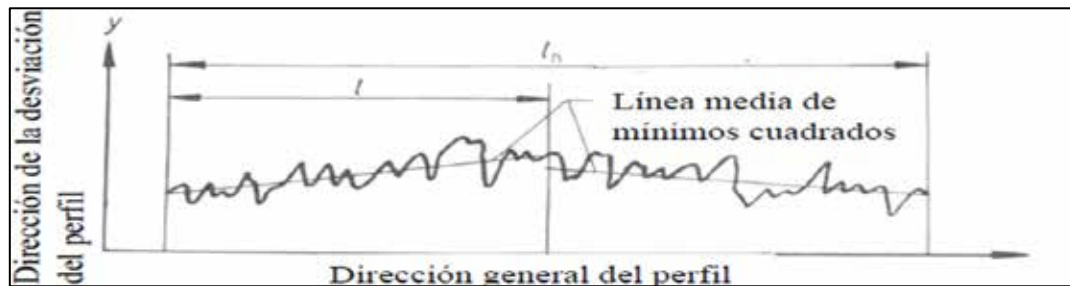


Figura 5. Línea media de mínimos cuadrados.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Línea media aritmética (o línea central): Línea de referencia con la forma del perfil geométrico, paralela a la dirección general del perfil en el interior de la longitud básica. Divide el perfil de modo que la suma de áreas comprendidas entre ella y el perfil es igual en la parte superior e inferior. Esta línea se puede observar en la figura 6.

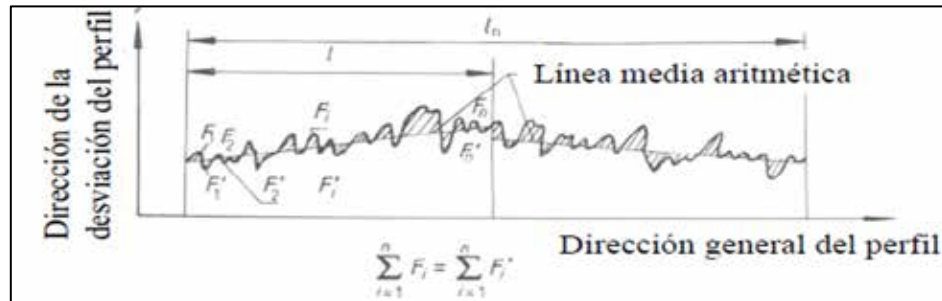


Figura 6. Línea media aritmética.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Cresta local del perfil: es la parte del perfil comprendida entre dos mínimos adyacentes del perfil. Se puede apreciar en la figura 7.

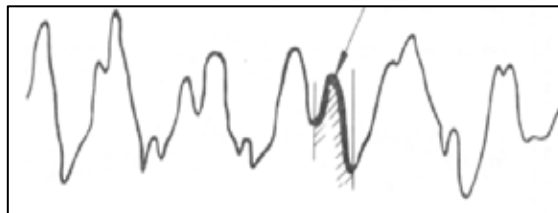


Figura 7. Cresta del perfil.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Valle local del perfil: Parte del perfil comprendida entre dos máximos adyacentes del perfil. Esta parte de perfil lo podemos ver en la figura 8.

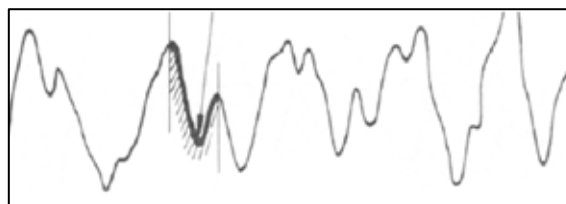


Figura 8. Valle local del perfil.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Cresta del perfil: Parte del perfil dirigida hacia el exterior del cuerpo uniendo dos intersecciones consecutivas del perfil con la línea media. Esta parte la podemos observar en la figura 9.

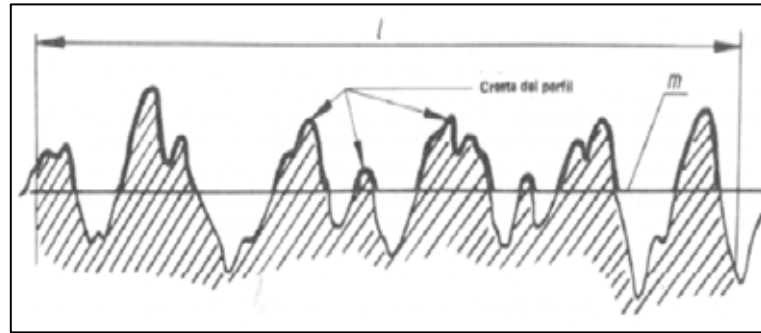


Figura 9 Cresta del perfil.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Valle del perfil: Parte del perfil dirigida hacia el interior del cuerpo uniendo dos intersecciones consecutivas del perfil con la línea media. Se aprecia en la figura 10.

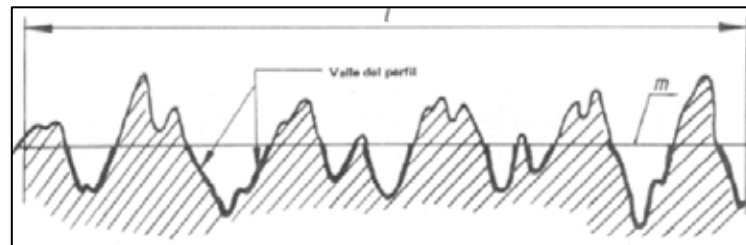


Figura 10. Valle del perfil.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

2.2.1.2 Parámetros de rugosidad.

Como indicador de la calidad superficial de una pieza se emplean por una parte los parámetros de rugosidad superficial y por otra parte los parámetros de tolerancia dimensional según sea el sector de fabricación.

En general, el perfil de rugosidad y sus parámetros son los elementos característicos del estado superficial de una pieza y se encuentran bien definidos en la norma ISO 4287:1998. Según esta norma, para definir la calidad superficial de una pieza es necesario determinar una serie de parámetros obtenidos mediante un rugosímetro. Para realizar las mediciones de rugosidad, en general, se emplean rugosímetro de contacto mediante palpador, con filtro gaussiano. Los parámetros de ajuste básicos de estos dispositivos se encuentran definidos en la norma ISO 4288:1996. Las imperfecciones

en la textura de la superficie no son consideradas en las normas citadas anteriormente, simplemente se indica, que las medidas deberían ser tomadas, allí donde no existan defectos provocados por otro proceso de fabricación.

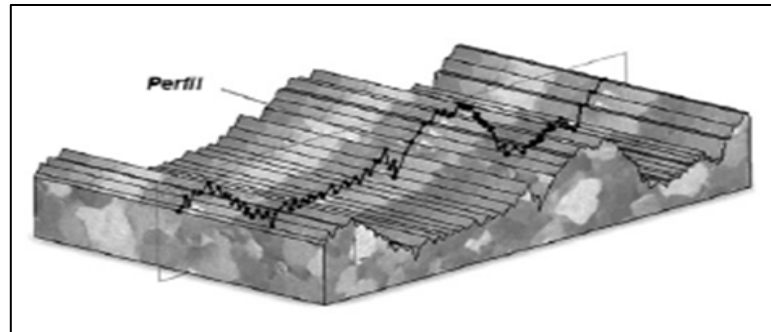


Figura 11. Perfil de rugosidad.

Fuente Morera Steve. (2011) blogspot “Rugosidad, definición y características” Disponible desde (<http://stevemorera.blogspot.com/2011/07/rugosidad.html>).

Para determinar el acabado superficial debido a su influencia directa en la fricción, fatiga y resistencias electrónica y térmica. Es cuantificado por parámetros relativos a características de la superficie y corresponde a la variación vertical sobre una distancia de medida. Estos parámetros son conocidos como R, los cuales están tabulados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de rugosidad.

Parámetros	Nombre	Estándar
R_a	Promedio de rugosidad	1,2,3,4
R_z	Promedio de máxima altura del perfil	1,3
R_q	Rugosidad RMS (Root Mean Square)	1,3,4
R_t	Máxima altura del perfil	1,3
R_{max}	Profundidad de rugosidad máxima	1
R_p	Altura pico máximo del perfil	1,3,4
R_m	Profundidad de valle máximo del perfil	1,3,4

Fuente López, F., Cavazos, R., and Delgado, M. (2003). Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. , 6(18):62–68.

El parámetro de rugosidad, Ra, es uno de los más utilizados y corresponde a la media aritmética de las desviaciones verticales del perfil con respecto a la línea media, dentro de una longitud de muestreo. El parámetro de rugosidad Ra mide las irregularidades verticales de la superficie a medir.

Si existen irregularidades horizontales no las considera. El concepto de este parámetro de rugosidad está representado por la siguiente ecuación.

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx \quad \text{ECU.1}$$

Por aproximación se puede determinar el valor de Ra por medio de un cierto número de ordenadas de puntos del perfil. En donde en la fórmula 1 se desarrolla para quedar como se ve en la fórmula 2.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y| \quad \text{ECU.2}$$

y = ordenada

n = número de ordenadas consideradas El valor de “n” es prefijado de acuerdo con el tipo de aparato. La medida del valor Ra puede ser expresada en μm o en μin (sistema métrico o en pulgadas respectivamente). El parámetro Ra se encuentra expresado en la figura 12.

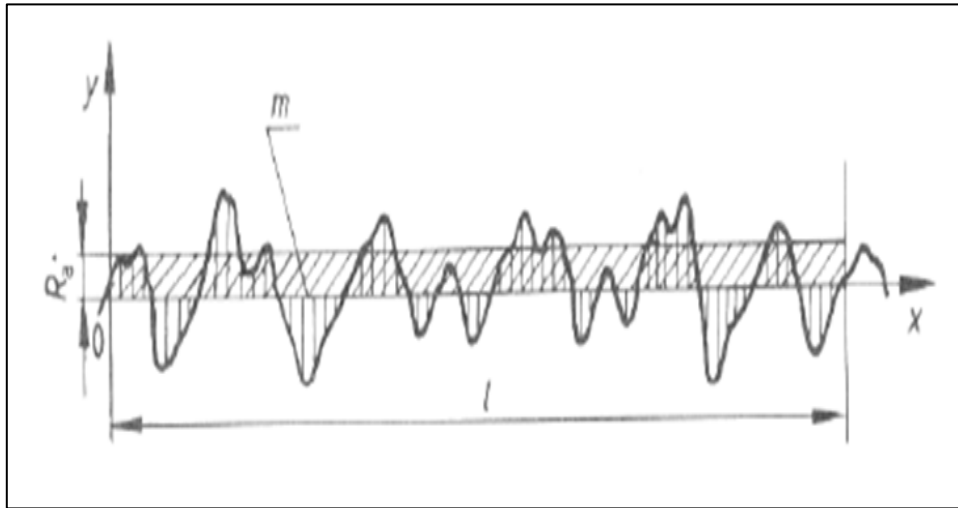


Figura 12. Representación gráfica del parámetro Ra.

Fuente: Gonzáles González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. Metrología. Ed. McGraw-Hill 1995. CAP. 17 P.434

Empleo del parámetro Ra.

Cuando sea necesario el control de la rugosidad en forma continua en las líneas de producción, debido a la facilidad de obtención del resultado.

Superficies donde el acabado presenta los surcos de mecanizado bien orientados (torneado, fresado)

Superficies rectificadas, bruñidas, lapidadas, etc.

Ventajas del parámetro Ra.

Es el parámetro más utilizado en todo el mundo.

Es un parámetro aplicable a la mayoría de los procesos de fabricación.

Debido a su gran utilización, casi la totalidad de los equipos presentan este parámetro, en forma analógica o digital.

Las marcas inherentes al proceso de mecanizado no alteran sustancialmente su valor.

Para la mayoría de las superficies la distribución está de acuerdo con la curva de Gauss y es generalmente observado que el valor de Ra, da un buen parámetro estadístico que caracteriza la distribución de amplitud.

Desventajas del parámetro Ra

El valor de Ra en un módulo de medición representa la media de la rugosidad, por eso un pico o valle no típico en una superficie, va a alterar el valor de la medida, no representando fielmente el valor medio de la rugosidad.

El valor de Ra no define la forma de la irregularidad de un perfil, de esa forma podremos tener un valor de Ra prácticamente igual para superficies con procesos de acabado diferentes.

Ninguna distinción es hecha entre picos y valles.

Para algunos procesos de fabricación donde hay una diferencia muy alta de picos y valles, como ocurre en los sinterizados, el parámetro no es el adecuado, ya que la distorsión provocada por el filtro eleva el error a niveles inaceptables.

Según la norma ISO 1302-1978 el valor de rugosidad puede ser nombrada en términos de grados de rugosidad N1 a N12, donde se pueden apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Tabla de grados de rugosidad Ra según norma ISO 1302.

Grados de la Rugosidad según DIN/ISO 1302		
Grados de Rugosidad	Valor medio Aritmético Ra	
	µm	µin
1	0,025	1
2	0,05	2
3	0,1	4
4	0,2	8
5	0,4	16
6	0,8	32
7	1,6	63
8	3,2	125
9	6,8	250
10	12,5	500
11	25	1000
12	50	2000

Fuente. GONZÁLES GONZÁLEZ C. y VÁSQUEZ J. Metrología Superficial. Rugosidad. Metrología. Ed. McGraw-Hill 1995. CAP. 17 P.442.

A Continuación, la tabla 3, muestra los rangos típicos de valores de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos de fabricación.

Tabla 3. Rangos de valores de rugosidad superficial (Ra) obtenidos mediante métodos de fabricación.

Rugosidad promedio en micrómetros – Ra μm													
Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012
Arenado	■	■	■										
Aserrado	■	■	■	■	■	■							
Brochado				■	■	■	■	■					
Bruñido							■	■	■				
Cepillado		■	■	■	■	■							
Cizallado	■	■	■	■									
Corte con soplete	■												
Corte electroquímico		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Corte láser		■	■	■	■	■	■	■					
Electroerosión				■	■	■	■	■	■				
Estampado		■	■	■	■	■							
Esmerilado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Extrusión			■	■	■	■	■	■					
Forjado		■	■	■	■	■							
Fresado		■	■	■	■	■	■	■	■				
Fundición a cera perdida				■	■	■	■	■					
Fundición a presión					■	■	■	■					
Fundición en arena		■	■	■	■	■							
Fundición en coquilla				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Granallado					■	■	■	■	■	■	■	■	
Laminado en caliente	■	■	■										
Laminado en frío				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Lapidado							■	■	■	■	■	■	■
Limado				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Mandrillado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Mortajado				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Oxicorte	■	■	■										
Pulido							■	■	■	■	■	■	■
Recalcado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Rectificado				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Superacabado							■	■	■	■	■	■	■
Taladrado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Torneado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Trefilado				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Aplicación frecuente						Aplicación menos frecuente						

Fuente. Norma ANSI/ASME B46.1-1985. P. 34.

2.2.1.3 Rugosidad ideal y rugosidad natural.

La rugosidad superficial obtenida en una operación de mecanizado puede considerarse como la suma de dos efectos independientes: la rugosidad ideal (R_{ai}) que es un resultado de la geometría de la herramienta y de la velocidad de avance, por lo

que depende únicamente de los factores geométricos. Y la rugosidad superficial natural (R_{an}) que depende de las irregularidades en la operación y del material, por lo que depende de los factores asociados al material de trabajo, la vibración y la máquina en sí. Por lo tanto, la rugosidad superficial (R_a) está expresado en la fórmula 3.

$$R_a = R_{ai} + R_{an} \quad \text{ECU. 3}$$

La rugosidad ideal (R_{ai}), representa el mejor acabado que se puede obtener de una forma de herramienta y avance seleccionado y sólo puede alcanzarse si se eliminan los otros factores que generan rugosidad natural. Dependiendo del tipo de herramienta de corte utilizada en el mecanizado se obtiene e la rugosidad que se observa en la figura 13.

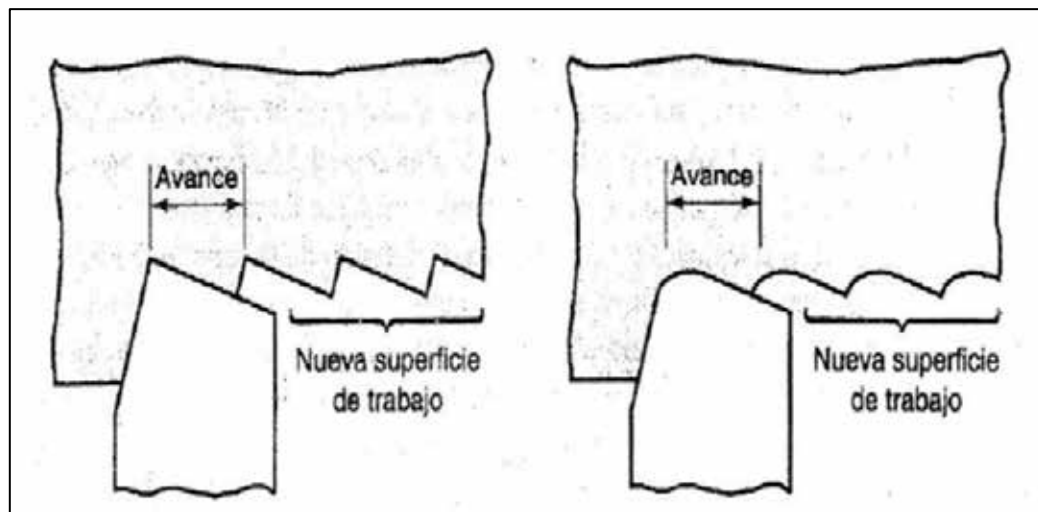


Figura 13. Rugosidad generada por (izquierda) Herramienta de corte con filo y (derecha) Herramienta con radio.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Para una operación de torneado se puede determinar la rugosidad ideal a partir de la geometría de la herramienta y el avance determinando el área del material removido, las cuales vienen expresada en la fórmula 4.

$$R_{ai} = \frac{f}{4(\cot(\kappa_{re}) + \cot(\kappa'_{re}))}$$

ECU. 4

Dónde:

f: Velocidad de avance de la herramienta.

κ_{re} : ángulo del filo principal (ángulo del filo de corte lateral).

κ'_{re} : ángulo del filo secundario.

La variable utilizada para la deducción de la rugosidad ideal en un proceso de torneado con herramienta de corte de filo pronunciado se observa en la figura 14.

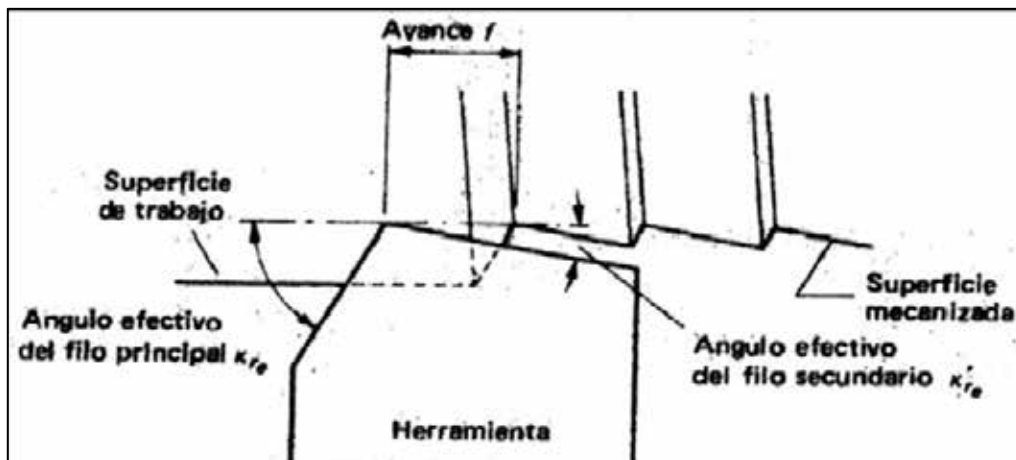


Figura 14. Rugosidad con herramienta de corte de filo pronunciado.

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Herramienta con radio de Punta está representada por la fórmula 5.

$$R_{ai} = \frac{f^2}{32 \cdot r_e}$$

ECU. 5

Dónde:

f: Velocidad de avance de la herramienta (mm/rev).

r_e : Radio de la punta (radio de nariz) (mm).

Rai: Rugosidad ideal (mm).

La rugosidad natural es la rugosidad generada por los factores del material de trabajo y los factores dependientes de la máquina, esta rugosidad superficial no es posible determinarla teóricamente, sin embargo, se han realizado ensayos que permiten obtener la rugosidad natural generada en la operación de mecanizado en función del tipo de material y la velocidad de corte. En la figura 15 se muestra la relación entre la rugosidad real y la rugosidad natural con respecto a la velocidad de corte para tres tipos de materiales.

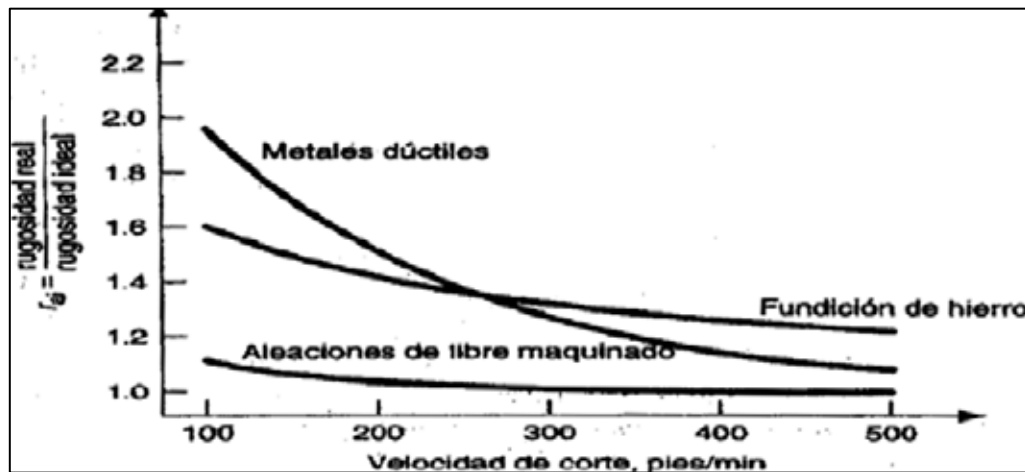


Figura 15. Relación entre la rugosidad real y la rugosidad natural (Rai).

Fuente J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

Por lo tanto, es posible determinar la rugosidad real empleando la fórmula 6.

$$Ra = Rai + Ran = rai * Rai$$

ECU. 6

Donde:

Rai: Es la rugosidad ideal

Ran: Es la rugosidad natural

rai: Relación entre rugosidad real y rugosidad ideal.

2.2.1.4 Factores que influyen en la rugosidad superficial

Factores Geométricos: son todos aquellos factores que determinan la geometría de la superficie de una pieza mecanizada, y entre ellos tenemos: tipo de operación de mecanizado, geometría de la herramienta de corte, avance de la herramienta o del material. Estos factores siempre van a estar presente en la operación de mecanizado por lo que la rugosidad obtenida sería la mejor (Rugosidad ideal).

Factores del material de trabajo: son aquellos factores que surgen de la interacción entre el material y la herramienta de corte, y son los siguientes:

Efectos de acumulación en el filo, debido a que se forma una acumulación en el filo que se rompe cíclicamente, las partículas se depositan en la superficie recién creada produciendo una textura rugosa como una lija.

Daño causado a la superficie por la viruta enredada en el trabajo.

Desgarramiento de la superficie cuando se trabaja con metales dúctiles

Factores de vibración y de la máquina herramienta: estos factores se relacionan con la máquina herramienta, con la sujeción de la herramienta y con la instalación de la operación. Incluye la vibración de la máquina, la deflexión de los montajes, el juego en los mecanismos de avance, etc.

En resumen, en la figura 16 podemos apreciar un diagrama causa efecto en donde observamos los factores y variables que influyen en la rugosidad superficial.



Figura 16. Diagrama causa-efecto de los factores que afectan el acabado superficial. Fuente López F.P. Cavazos R, Delgado M. (2003) “caracterización de superficies maquinas por medio por medios parámetros de rugosidad”. Ingenierías Vol.6 No 18, pp 62-68.

2.2.1.5 Como influye en la industria la Rugosidad Superficial.

Aspecto económico: El acabado superficial de un componente mecánico debe tener en cuenta no solamente el aspecto estético como una función específica, sino que también debe ser producido al menor costo posible, considerando que existe una relación directa entre el grado de acabado y el tiempo necesario para lograrlo.

Lubricación: La efectividad de una película de aceite en la lubricación de dos piezas en movimiento será nula si su espesor es menor que la profundidad de la rugosidad, ya que eso significa que habrá contacto de metal con metal, lo que produce un incremento de la temperatura y desprendimiento de material.

Capacidad Relativa de carga: En el estudio de dos marcas de motores de combustión interna se observa que la rugosidad, tanto de los metales de biela como de los muñones de cigüeñal, debe ser tanto menores cuantos mayores sean las condiciones de carga. La máxima capacidad de carga es obtenida con una mejoría del 85% en relación a una superficie simplemente rectificada.

Transferencia de calor: La influencia de la rugosidad superficial también puede notarse en la transmisión del calor entre dos superficies, donde se observa que a medida que la rugosidad disminuye, el coeficiente de transmisión de calor aumenta, debido a que es mayor el área de contacto.

2.2.2 Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono en un porcentaje de este último elemento variable entre el 0,008% y el 2% en masa de su composición. La rama de la metalurgia que se especializa en producir acero se denomina siderurgia o acería.

No se debe confundir el acero con el hierro, que es un metal duro y relativamente dúctil, con diámetro atómico (dA) de 2,48 Å, con temperatura de fusión de 1535 °C y punto de ebullición 2740 °C. Por su parte, el carbono es un no metal de diámetro menor (dA = 1,54 Å), blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante). La difusión de este elemento en la estructura cristalina del anterior se logra gracias a la diferencia en diámetros atómicos, formándose un compuesto intersticial. Cabe destacar que el acero posee diferentes constituyentes que se ven

reflejado en el diagrama hierro-carbono. También llamado de equilibrio o de fases Fe-C se emplea para la representación de las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. La adición de elementos de aleación al hierro, influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. El diagrama hierro carbono queda representado en la figura 17.

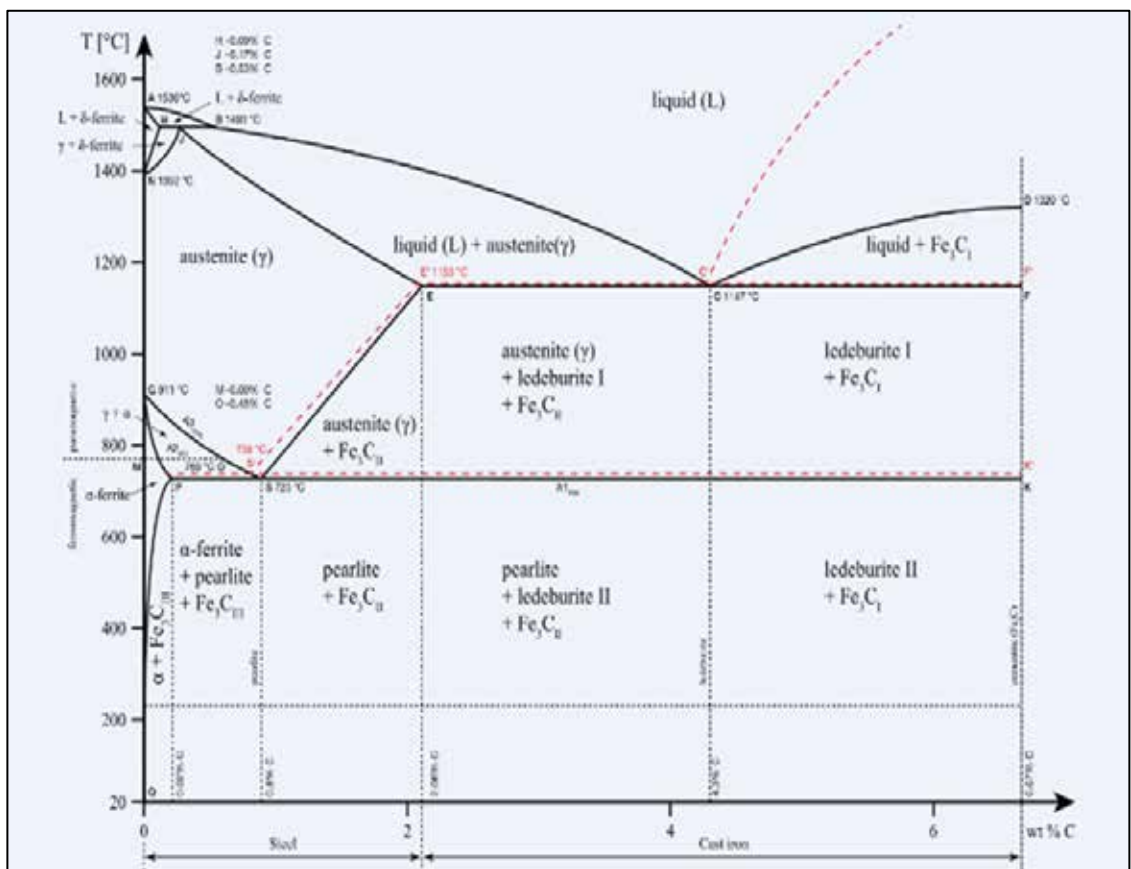


Figura 17. Diagrama Hierro-Carbono.

Fuente <https://es.wikipedia.org/wiki/Acero>.

2.2.2.1 Microconstituyentes del Acero

Ferrita. El hierro ordinario cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y

es ferromagnético hasta los 770 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad; se suele llamar también AC2). La ferrita puede disolver pequeñas cantidades de carbono.

Austenita.

máxima solubilidad es del 2% de carbono a 2065°F. Las propiedades promedias son. Generalmente no es estable a temperatura ambiente y solo bajo ciertas condiciones es posible obtener austenita a temperatura ambiental. Un ejemplo de lo descrito puede ser visualizado a continuación en la figura 2.2 donde se muestra la microestructura clásica de la austenita presente en el acero al carbono.

Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el «sistema cúbico de cuerpo centrado» y recibe la denominación de hierro alfa, pero con un parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

La Cementita (Fe₃C). Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas.

La Perlita. Se trata del agregado eutectoide, formado por capas alternativas de ferrita y cementita (carburo de hierro, Fe₃C). Posee una composición bastante definida, tiene seis partes de hierro por una de carbono, 88% de ferrita y 12% de cementita. Su dureza es de alrededor de los 250 HB (unidades Brinell), dependiendo de su espaciado interpaginar, que depende de si el enfriamiento se ha llevado a cabo en el horno (200 HB) o al aire (normalizado) (250HB).

La Martensita. La martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es la cantidad de carbono, a la sustitución de la estructura «cúbica centrada en el cuerpo» por «tetragonal centrada en el cuerpo». Tras la cementita (y los carburos de otros metales), es el constituyente más duro de los aceros.

La Bainita. Es el micro constituyente del acero que se obtiene por transformación isotérmica de la austenita. Mientras más baja su temperatura de formación, las partículas de carburos son más finas. La bainita superior, que tiene forma como de plumas de ave, se forma a temperaturas entre 500°C y 450°C. La bainita inferior, con una morfología circular compuesta por agregados finos de carburos y ferrita, puede considerarse como una perlita muy fina, se forma a temperaturas entre 400°C y 250°C.

2.2.2.2 Acero AISI 1045

El AISI 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama o por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; o templado en agua y revenido).

Es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se pueden obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica. El acero AISI 1045 puede ser mecanizado fácilmente en estado recocido, normalizado o templado, tomando como referencia al 12L14 (100% de maquinabilidad). El acero 1045 presenta la siguiente maquinabilidad: En estado calibrado = 55% En estado recocido = 68 - 70%. Este acero presenta un buen acabado superficial y su mecanizado se caracteriza por presentar una larga vida útil de la herramienta de corte.

Este acero de medio carbono se usa cuando la resistencia y dureza obtenidas por el tratamiento térmico o por deformación en frío, son suficientes para satisfacer las condiciones de servicio requeridas. Es ampliamente utilizado en la industria automotriz (productos forjados y estampados). Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media,

piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas de todo tipo como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, palas, barretones, llaves, etc.

2.2.3 Tratamientos Térmicos

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

Temperaturas convenientes durante un cierto tiempo y luego enfriarlas adecuadamente se logra: modificar su estructura microscópica, produciendo transformaciones físicas (variación de las propiedades mecánicas) y a veces cambios en la composición química de ellas.

Para conocer a qué temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el del hierro-carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Etapas del tratamiento térmico

Un tratamiento térmico consta de tres etapas elementales que se presentan a continuación:

- 1. Calentamiento hasta la temperatura fijada:** La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.

2. **Permanencia a la temperatura fijada:** Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse suficiente una permanencia de unos 2 minutos por milímetro de espesor.
3. **Enfriamiento:** Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

En la figura 18, en la gráfica podemos observar las etapas representativas del tratamiento térmico.

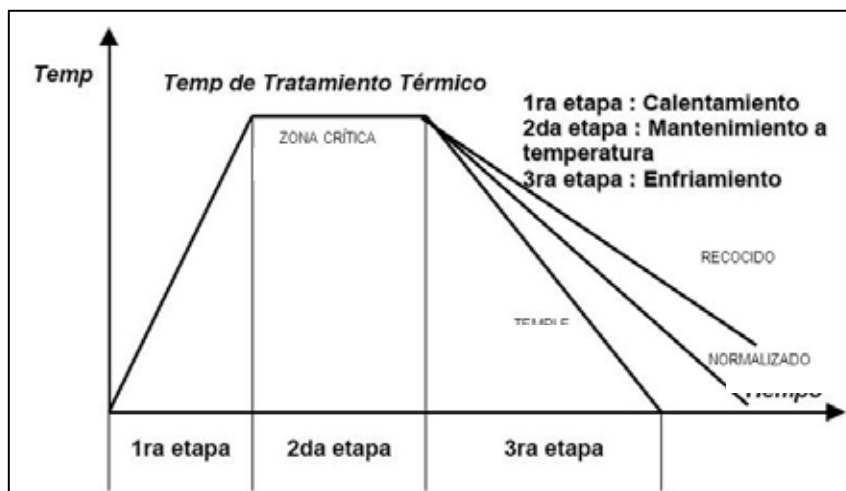


Figura 18. Grafica representativa de las etapas de un tratamiento térmico.

Fuente ASKELAND, Donal R., "Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Thomson Editores. México, 1998.

2.2.3.1 Tipos de tratamiento térmicos

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son: temple, Recocido, revenido, normalizado.

El temple. El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados. En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre

superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.

El recocido. Es un tratamiento térmico que normalmente consiste en calentar un material metálico a temperatura elevada durante largo tiempo, con objeto de bajar la densidad de dislocaciones y, de esta manera, impartir ductilidad.

El Recocido se realiza principalmente para:

Alterar la estructura del material para obtener las propiedades mecánicas deseadas, ablandando el metal y mejorando su maquinabilidad.

Recristalizar los metales trabajados en frío.

Para aliviar los esfuerzos residuales.

Las operaciones de Recocido se ejecutan algunas veces con el único propósito de aliviar los esfuerzos residuales en la pieza de trabajo causadas por los procesos de formado previo. Este tratamiento es conocido como Recocido para Alivio de Esfuerzos, el cual ayuda a reducir la distorsión y las variaciones dimensionales que pueden resultar de otra manera en las partes que fueron sometidas a esfuerzos. Se debe tener en cuenta que el Recocido no proporciona generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero. Por lo general, al material se le realiza un tratamiento posterior con el objetivo de obtener las características óptimas deseadas.

El revenido. El Revenido es un tratamiento complementario del Temple, que generalmente prosigue a éste. Después del Temple, los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos a los cuales están destinados. Lo anterior se puede corregir con el proceso de Revenido, que disminuye la dureza y la fragilidad Excesiva, sin perder demasiada tenacidad. Por ejemplo, se han utilizado estos tratamientos térmicos para la fabricación del acero de Damasco (Siglo X a.C.) y de las espadas de los samuráis japoneses (Siglo XII d.C.). Es posible obtener una dispersión

excepcionalmente fina de Fe₃C (conocida como martensita revenida) si primero se temple la austenita para producir martensita, y después se realiza el revenido. Durante el revenido, se forma una mezcla íntima de ferrita y cementita a partir de la martensita. El tratamiento de revenido controla las propiedades físicas del acero en la figura 19 podemos observar los efectos del revenido en las propiedades mecánicas de un acero.

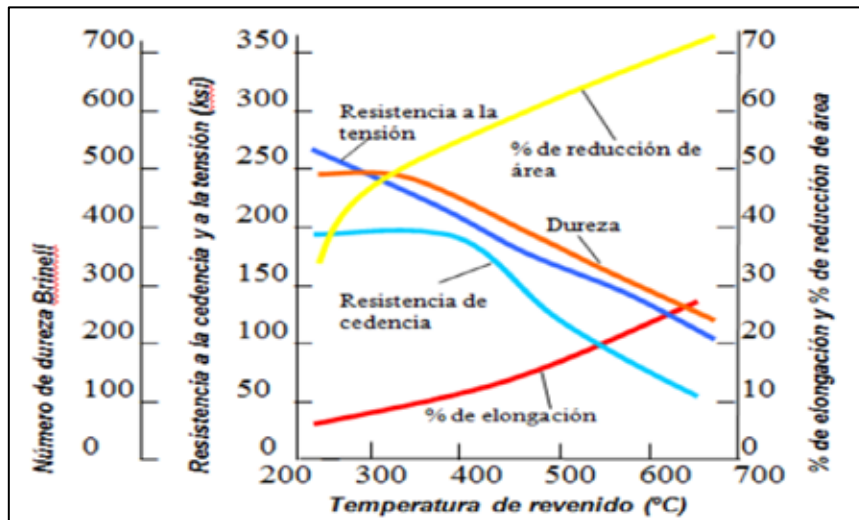


Figura 19. Efecto del revenido sobre las propiedades mecánicas de un acero.
Fuente ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero, (después de haberle realizado un Temple) a una temperatura inferior al punto crítico (o temperatura de recristalización), seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones. Es muy importante aclarar que con la realización del proceso de Revenido no se eliminan los efectos del Temple, solo se modifican, ya que se consigue disminuir la dureza y tensiones internas para lograr de ésta manera aumentar la tenacidad.

El normalizado. El objetivo del tratamiento de normalizado es cambiar la estructura irregular de granos gruesos, (que aparece durante la colada o la conformación en

caliente), en una estructura uniforme de grano fino, es decir, homogenizar toda la masa. Tras el forjado, la laminación en caliente o la fundición.

La microestructura de un acero es a menudo poco homogénea y formada por granos de gran tamaño y componentes estructurales indeseables, como bainita y carburos. Dicha micro estructura tiene un impacto negativo en las propiedades mecánicas del acero, así como en la maquinabilidad. La normalización permite que el acero obtenga una estructura homogénea de grano más fino con propiedades predecibles y maquinabilidad.

En conclusión, Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas, en la figura 20 podemos observar la relación tiempo y temperatura de transformación de cada tipo de tratamiento térmico.

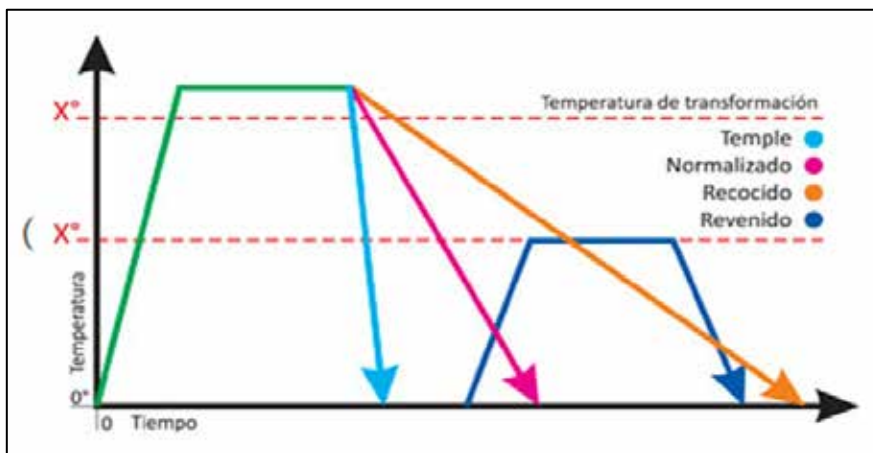


Figura 20. Grafica de temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos al acero.
Fuente. ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.

2.2.4 Procesos de Manufactura

Un proceso industrial, proceso de fabricación, manufactura o producción es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. Estas características pueden ser de naturaleza muy variada como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética. Se realizan en el ámbito de la industria. La fabricación mecánica por arranque de viruta, es un proceso de Mecanizado, que

consiste en separar material de una pieza fabricada previamente normalmente por fundición, forja, laminación o por pulvimetalurgia.

2.2.4.1 Torneado

El torneado es una operación de mecanizado en el cual una herramienta de punta sencilla remueve material de una superficie de trabajo cilíndrica en rotación. El torneado se lleva a cabo en una máquina herramienta llamada torno, la cual operan haciendo girar la pieza a mecanizar sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje, mientras que una o varias herramientas cuyo filo de corte es empujado contra la superficie de la pieza, arrancando la viruta.

2.2.4.2 El torno

El torno es una máquina que trabaja en el plano, porque solo tiene dos ejes de trabajo, (Z y X) de una parte el carro que desplaza las herramientas a lo largo de la pieza y produce torneados cilíndricos, y de otra el carro transversal que se desplaza de forma perpendicular al eje de simetría de la pieza, con este carro se realiza la operación denominada refrentado en la figura 21 se puede observar el esquema de un torno.

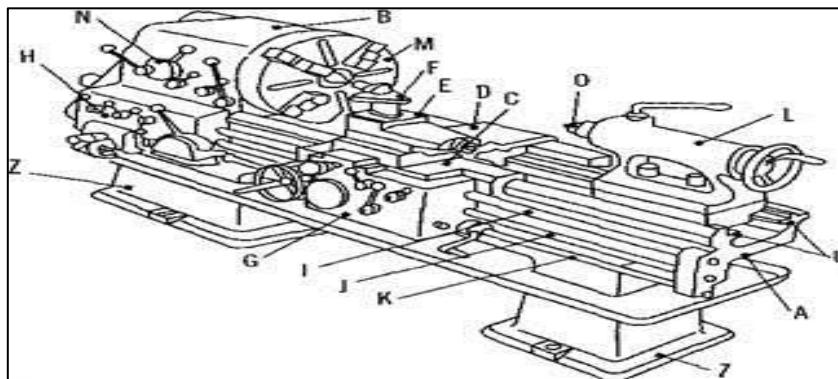


Figura 21. Esquema de las partes de un Torno.

Fuente Metalografía (2011) 17- 11- 11 [On-line]. Disponible en:

www.revistadigitalmetalografia.com/laboratorio/materiales/sorbita (Consulta octubre 2018).

Partes del Torno

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| A. La bancada | J. Barra de cilindrar |
| B. Cabezal fijo | K. Barra de Avance |
| C. Carro principal | L. Cabezal móvil |
| D. Carro de desplazamiento | M. Usillo |

E. Carro porta-herramientas

f. Porta Herramienta

G. Caja de movimiento

H. Mecanismo de avance

I. Tornillo de rosca

N. Palancas de comando

O. Contrapunta

U. Guía

Z. Patas de apoyo

2.2.4.3 Operaciones de Torneado.

Refrentado: La herramienta se mueve radialmente sobre el extremo de la pieza de trabajo con la finalidad de generar una superficie plana.

Torneado cónico: La herramienta se mueve con cierto ángulo en línea recta (no paralela a la superficie) para generar una forma cónica.

Torneado de contornos: La herramienta se mueve siguiendo un contorno diferente a la línea recta, para crear una forma contorneada.

Torneado de formas: En esta operación una herramienta que tiene una forma definida se pone en contacto con el material y al darle un movimiento de penetración se obtiene la forma deseada en la pieza de trabajo.

Achaflanado: La herramienta se utiliza para cortar un ángulo en la esquina del cilindro y formar lo que se llama chaflán.

Tronzado: Esta operación se utiliza para cortar el material en dos partes, se le da movimiento de penetración a la herramienta especial para seccionar el extremo de la pieza de abajo.

Roscado: Esta operación puede llevarse a cabo de forma interna o externa, para ello se utiliza una herramienta puntiaguda que avanza linealmente a través de la superficie de la pieza de trabajo en rotación y en dirección paralela al eje de rotación.

Perforado: Esta operación también es conocida como mandrilado, permite agrandar un agujero utilizando una herramienta especial que avanza en línea recta paralela al eje de rotación, dentro del agujero inicial.

Taladrado: Esta operación se realiza colocando un mandril en el cabezal móvil y ajustando una broca en el mandril, se hace penetrar la broca en el material generándose el agujero concéntrico al eje de rotación del material.

Moletado: Esta no es una operación de mecanizado porque no se remueve material. Es una operación de formado de metal (deformación plástica) que se usa para generar un rayado regular o patrón en la superficie de trabajo.

En la figura 22 se puede apreciar las diferentes operaciones de torneado que puede ejecutar un torno.

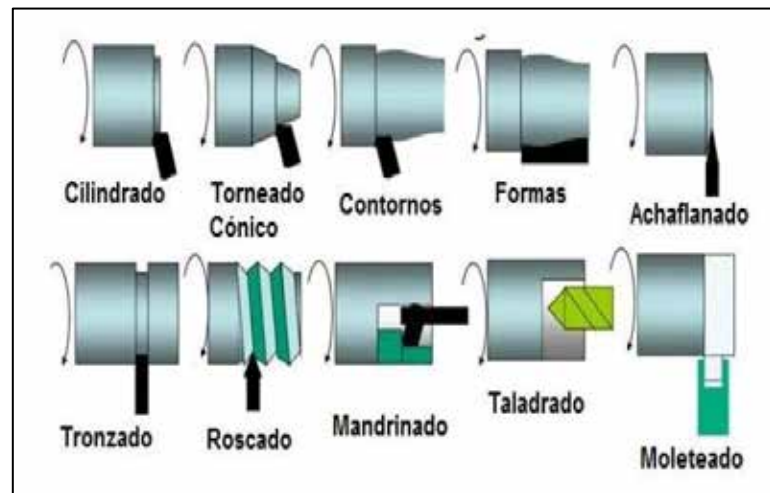


Figura 22 Operaciones de torneado.

Fuente Escuela colombiana de ingeniería. (2007). 12- 2- 2007 [On-line]. Disponible en: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474_torno.pdf. (Consulta octubre 2018).

2.2.4.4 Movimientos de trabajo en la operación de torneado

Existen 3 movimientos, conocidos como parámetros de corte para mecanizado en el proceso de torneado estos son: movimiento de corte, movimiento de avance y profundidad de pasada.

Movimiento de corte: por lo general se imparte a la pieza que gira rotacional mente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes, El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandrinos auxiliares u otros), los cuales sujetan la pieza a mecanizar.

Movimiento de avance: es debido al movimiento de la herramienta de corte en la dirección del eje de la pieza que se está trabajando. En combinación con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza. Este movimiento también puede no ser paralelo al eje, produciéndose así conos. En ese caso se gira el carro de debajo del transversal ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada.

Profundidad de pasada: movimiento de la herramienta de corte que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. La cantidad de material factible de ser arrancada depende del perfil del útil de corte usado, el tipo de material mecanizado, la velocidad de corte, etc.

2.2.4.5 Herramientas de Corte para Tornos

Existe una amplia variedad de materiales utilizados para herramientas de corte, desarrollados desde el siglo 1800 hasta la fecha, la elección del material de la herramienta depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del material a mecanizar y de los requerimientos del proceso a realizar. En estas herramientas se requiere de elevada dureza y alta resistencia al desgaste, estas propiedades deben mantenerse a altas temperaturas debido a que en el proceso de mecanizado se alcanzan altas temperaturas, entre las más usadas en los procesos de torneado CNC están: Aceros al Carbono y de baja aleación, Rápidos (HS), Extra-rápidos (HSS), Aleaciones duras (estelitas), Carburos.

2.2.4.6 Parámetros de corte en Torneado

Los parámetros de corte utilizados en las operaciones de torneado son: la velocidad de corte V_c , es el movimiento principal y representa la velocidad tangencial del material, el avance F , es la velocidad lineal de la herramienta de corte, es un movimiento más lento que la velocidad de corte. Por último, la profundidad de corte P , es la profundidad de penetración de la herramienta dentro del material e indica la cantidad de material removido en la operación de mecanizado.

Estos parámetros de corte dependen básicamente del material de la herramienta de corte a utilizar, del material a ser mecanizado y de la operación a realizar. En la figura 23 podemos apreciar los parámetros de corte reflejados en la operación de mecanizado y en la figura 24 se observa con mayor detalle el corte con respecto a la herramienta.

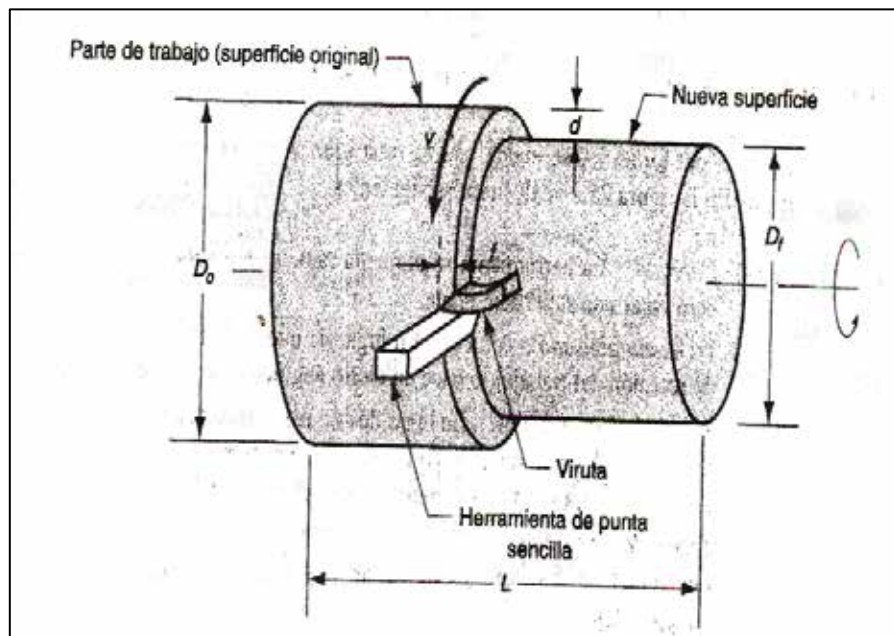


Figura 23. Parámetros de corte en el proceso de torneado.

Fuente: J. C. Pereira, Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta, Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería, 2004.

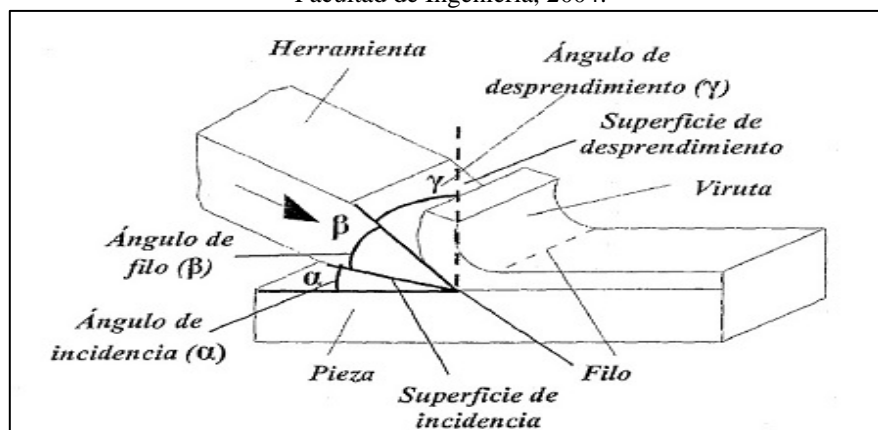


Figura 24. Parámetros de la herramienta de corte.

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

2.2.4.7 Ecuaciones de Torneado

A) Velocidad de Corte

$$V_c = \frac{D \times N}{1000}$$

D: diámetro (mm).

N: velocidad Angular (RPM).

V_c: velocidad de corte (mm/min).

B) Velocidad de Avance

$$F = N \times Fr$$

Fr: Velocidad de avance lineal (mm/min)

F: velocidad de avance

C) Numero de Pasadas

NP: Numero de Pasadas.

Di: Diámetro Inicial (mm)

$$NP = \frac{D_i - D_f}{d}$$

Df: Diámetro final (mm)

d: Profundidad de corte.

D) Área de Corte

$$A = f \times dA$$

Área de corte (mm²).

f: Avance (mm).

2.2.4.8 Tornos por control numérico computarizado (CNC)

El torno CNC es un tipo de máquina herramienta que realiza procesos de mecanizado mediante un control numérico por computadora. Un equipo ideal para el trabajo en serie y para el mecanizado de piezas complejas y de alta precisión.

Al igual que el convencional, un torno CNC es un equipo de trabajo que permite manufacturar piezas de distintos materiales como el acero, el hierro y el bronce, entre otros, la diferencia con el primero radica en que la máquina de control numérico tiene una gran capacidad para producir piezas en serie con alta precisión debido, principalmente, a que todos los valores de maquinado están guiados por el control o computadora que lleva incorporado, cuya función específica es procesar las órdenes contenidas en un software que previamente ha sido programado por un experto. De

hecho, debido a que el control es el que comanda el proceso de mecanizado en los tornos CNC, estos equipos permiten al fabricante una altísima repetitividad de fabricación entre una pieza y la siguiente, es decir están en la capacidad de producir grandes volúmenes de partes idénticas, mientras que, en las máquinas manuales, esta función depende en gran medida de la pericia, la visión e incluso del estado anímico y físico del operario.

2.2.4.9 Funcionamiento de componentes

En general, los tornos CNC cuentan con un motor que produce el movimiento giratorio de las piezas, una bancada o bastidor que sirve de apoyo a las partes principales del torno, los carros que se desplazan longitudinal y transversalmente hacia la pieza, el portaherramientas que sirve para fijar varias herramientas de trabajo y el software de control numérico CNC desde donde se programa todo el proceso.

El husillo: es el que produce el movimiento giratorio de las piezas; por lo regular, los tornos CNC disponen de un motor de corriente alterna que actúa directamente. Estos motores proporcionan velocidades variables que van desde cero hasta un número máximo, las cuales se guardan en el programa de ejecución de cada pieza. A diferencia de los tornos CNC, los convencionales utilizan, en vez de un motor, una caja de engranajes para hacer girar el husillo, se trata de una combinación de palancas, en las que el operario indica las velocidades según una tabla ya estipulada por la industria. Este sistema demanda mayores tiempos de producción.

Bancada y carros desplazables: tanto en los tornos convencionales como en los de control numérico, la estructura de la bancada determina las dimensiones máximas con que se pueden trabajar las piezas; en los tornos CNC estas fueron diseñadas especialmente para desplazamientos rápidos, conservando por largos períodos de tiempo, precisión en los movimientos.

Los carros, por su parte, integran unas guías perpendiculares a la bancada que sirven para su desplazamiento.

La torreta de herramienta: las herramientas que realizan las operaciones de mecanizado están sujetas a una torreta de herramientas, en la cual se alojan desde seis hasta veinte instrumentos diferentes de corte, de acuerdo al trabajo de mecanizado que se ha programado previamente. Este elemento también conocido como revolver, lleva incorporado un motor que lo hace girar y un sistema hidráulico encargado de realizar su estacionamiento con una precisión que oscila entre 0.5 milímetros y 1 micra de milímetro.

Unidad de control de proceso: todas las máquinas de control numérico, llevan integrado una unidad central de procesamiento o CPU, por su acrónimo en inglés (Central Processing Unit); es el componente encargado de interpretar y ejecutar un conjunto de datos insertados en una secuencia estructurada o específica de órdenes que constituyen el programa de mecanizado. La función principal de la CPU en un torno, consiste en desarrollar las órdenes de mando y control, de acuerdo con el programa de mecanizado que el operario haya establecido, por ejemplo, calcular la posición y el cambio de las herramientas en todo el proceso de trabajo, pero también controlar otros factores de maquinado como las revoluciones del husillo o copa que sujeta la pieza y los avances y la velocidad de desplazamiento de los carros.

2.2.5 Red neuronal artificial (RNA).

Las redes neuronales artificiales (también conocidas como sistemas conexionistas) son un modelo computacional vagamente inspirado en el comportamiento observado en su homólogo biológico. Consiste en un conjunto de unidades, llamadas neuronas artificiales, conectadas entre sí para transmitirse señales. La información de entrada atraviesa la red neuronal (donde se somete a diversas operaciones) produciendo unos valores de salida. El objetivo de la red neuronal es resolver los problemas de la misma manera que el cerebro humano, aunque las redes neuronales son más abstractas. Las redes neuronales actuales suelen contener desde unos miles a unos pocos millones de unidades neuronales, en la figura 24 se observa el esquema de la red neuronal.

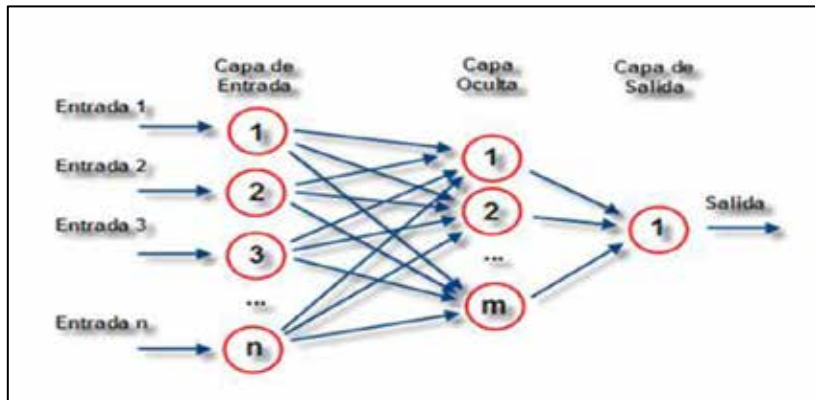


Figura 25. Estructura de una red neuronal artificial.

2.2.5.1 Modelo de una neurona artificial

La neurona artificial es un elemento de procesamiento simple que a partir de un vector de entradas produce una única salida. En general podemos encontrar tres tipos de neuronas artificiales, donde cada una de las cuales tiene su contraparte en el sistema nervioso:

Las que reciben información directamente desde el exterior, a las cuales se las denomina neuronas de entrada.

Las que reciben información desde otras neuronas artificiales, a las cuales se las denomina neuronas ocultas. Es en estas neuronas, en particular en sus sinapsis, donde se realiza la representación de la información almacenada.

Las que reciben la información procesada y las devuelven al exterior. A estas neuronas se las denomina neuronas de salida.

2.2.5.2 Arquitectura de una red neuronal

Una vez definida el tipo de neurona que se utilizará en un modelo de redes neuronales artificiales es necesario definir la topología de la misma. La organización y disposición de las neuronas dentro de una red neuronal se denomina topología, y viene dada por el número de capas, la cantidad de neuronas por capa, el grado de conectividad, y el tipo de conexión entre neuronas.

Las neuronas suelen agruparse en unidades funcionales denominadas capas. Se denomina capa de entrada a aquella que está compuesta por neuronas de entradas y por

lo tanto recibe información procedente desde el exterior. Análogamente, se denomina capa oculta y capa de salida a aquellas capas que están compuestas por neuronas ocultas y de salida respectivamente. Una red neuronal artificial está compuesta por una o más capas, las cuales se encuentran interconectadas entre sí. Entre un par de neuronas de la red neuronal artificial pueden existir conexiones. Estas conexiones son las sinapsis, tienen asociadas un peso sináptico, y son direccionales. Cuando la conexión se establece entre dos neuronas de una misma capa hablamos de conexiones laterales o conexiones intra-capas. Por el contrario, si la conexión se establece entre neuronas de distintas capas se la denomina conexión inter-capas. Si la conexión se produce en el sentido inverso al de entrada-salida la conexión se llama recurrente o realimentada. Se conocen 3 arquitecturas básicas en las redes neuronales:

Red de capa simple. En la literatura es llamada red de capa simple feedforward Este tipo de red consiste en solo dos capas, la primera de entrada y la segunda de salida. Las interconexiones que contienen los pesos, se encargan de conectar cada una de las entradas con la salida de forma unidireccional.

Red multicapa. Este tipo de red al igual que la anterior, tiene una capa de entrada y salida, pero con una o más capas intermedias que a su vez contienen a los pesos y que son llamadas capas ocultas. Las capas ocultas se encargan de realizar los cálculos previos antes de direccionar las entradas hacia la capa de salida.

Redes recurrentes. Su principal característica radica en que al menos existe un ciclo de retroalimentación, donde la capa de salida se encuentra conectada a la capa de entrada.

2.2.5.3 Aprendizaje de una red neuronal artificial

Durante la operatoria de una red neuronal podemos distinguir claramente dos fases o modos de operación: la fase de aprendizaje o entrenamiento, y la fase de operación o ejecución.

Durante la primera fase, la fase de aprendizaje, la red es entrenada para realizar un determinado tipo de procesamiento. Una vez alcanzado un nivel de entrenamiento

adecuado, se pasa a la fase de operación, donde la red es utilizada para llevar a cabo la tarea para la cual fue entrenada.

El proceso de aprendizaje se puede dividir en tres grandes grupos de acuerdo a sus características:

Aprendizaje supervisado. Se presenta a la red un conjunto de patrones de entrada junto con la salida esperada. Los pesos se van modificando de manera proporcional al error que se produce entre la salida real de la red y la salida esperada.

Aprendizaje no supervisado. Se presenta a la red un conjunto de patrones de entrada. No hay información disponible sobre la salida esperada. El proceso de entrenamiento en este caso deberá ajustar sus pesos en base a la correlación existente entre los datos de entrada.

Aprendizaje por refuerzo. Este tipo de aprendizaje se ubica entre medio de los dos anteriores. Se le presenta a la red un conjunto de patrones de entrada y se le indica a la red si la salida obtenida es o no correcta. Sin embargo, no se le proporciona el valor de la salida esperada. Este tipo de aprendizaje es muy útil en aquellos casos en que se desconoce cuál es la salida exacta que debe proporcionar la red. deseada, y en caso de haber error, busca desde la última capa hacia atrás, cambia un elemento y vuelve a correr.

2.2.5.4 Algoritmos de Aprendizaje de una Red Neuronal Artificial.

El entrenamiento de un modelo de red neuronal en esencia significa seleccionar un modelo de la serie de modelos permitidos (o, en un bayesiano marco, la determinación de una distribución en el conjunto de modelos permitidos) que minimiza el criterio de costo. Hay numerosos algoritmos disponibles para la formación de los modelos de redes neuronales; la mayoría de ellos puede ser vista como una aplicación directa de la teoría de optimización y la estimación estadística. La mayoría de los algoritmos utilizados en las redes neuronales artificiales de formación emplean alguna forma de descenso de gradiente, utilizando propagación hacia atrás para calcular los gradientes reales. Esto se hace simplemente tomando la derivada de la función de coste con

respecto a los parámetros de la red y a continuación, cambiando los parámetros en una dirección relacionada al gradiente.

2.3 Definición de Términos Básicos

Rugosidad: es el conjunto de irregularidades que posee una superficie.

Aleación: es una combinación de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos metálicos sólidos

Mecanizado: es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

Parámetro: es cualquier característica que pueda ayudar a definir o clasificar un sistema particular (es decir, un evento, proyecto, objeto, situación, etc.)

Optimización: Es el procedimiento usado en el diseño de un sistema para maximizar o minimizar algún índice de desempeño.

Superficie: Magnitud que expresa la extensión de un cuerpo en dos dimensiones, longitud y anchura

Viruta: es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que se extrae mediante un cepillo u otras herramientas, tales como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación, sobre madera o metales.

Metal: a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad. Poseen alta densidad y son sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado. Según Tamayo (2003, p. 37), definen al marco metodológico como “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento”, dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados.

3.1 Tipo de Investigación.

De acuerdo al nivel de estudio y tipo de investigación, el presente trabajo de grado está considerado dentro de la modalidad general de estudio como Proyecto Factible. En este sentido, la UPEL (1998, p. 7) define el proyecto factible como un estudio “que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”.

Un proyecto factible se enfoca en desarrollar posibles soluciones de problemas planteados, basándose en la operatividad de las propuestas de las necesidades y así cumplir con los objetivos fundamentales en el proyecto. En este proyecto tiene como principal prioridad la de desarrollar un modelo de red neuronal artificial funcional capaz de predecir valores de rugosidad superficial de un acero AISI 1045 basados de acuerdo a las variables que influyen en el proceso de torneado CNC (Velocidad de corte, velocidad de avance, Profundidad de pasada) y otras variables como el tratamiento térmico aplicado al acero, resolviendo la necesidad de un modelo predictivo que pueda dar valores útiles basados en la realidad.

3.2 Diseño de la Investigación

Según Arias F. (2012) define al diseño de la investigación como “la estrategia general que adopto el investigador poro responder al problema planteado. En atención al diseño, lo investigación se clasifico en: documental, de campo y experimental”.

En el presente trabajo de grado se pretende utilizar variables de entrada como el tipo de tratamiento térmico, los parámetros de torneado como la velocidad de corte, profundidad de corte y la velocidad de avance de la herramienta de corte con la finalidad de determinar el efecto de estos sobre una variable de salida como es la rugosidad superficial en el acero AISI 1045. Encajando perfectamente en lo que describe Arias F. (2012, p. 31), la investigación de campo “es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”. Se recolectarán los datos directamente de ensayos realizados en estudios previos que funcionarán como guía y referencia a la hora de validar el presente proyecto de investigación.

3.3 Nivel de la Investigación

En el presente trabajo se emplea la investigación descriptiva, ya que en el presente trabajo de grado se busca determinar y analizar el valor de rugosidad del acero al carbono 1045 tras recibir tratamiento térmico, y variar parámetros del proceso de torneado CNC (velocidad corte, velocidad de avance, profundidad de pasada de la herramienta de corte), implementando una red neuronal artificial funcional que se realizara con la finalidad de obtener valores de rugosidad en relación a las variables antes mencionadas, y por lo tanto este trabajo de grado entra en el contexto de estudio descriptivo.

De acuerdo con el autor Arias F. (2012, pág. 24), dice que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”.

3.4 Población y Muestra

Según Arias F. (2012), define “la población o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. El mismo autor define a la muestra como “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”.

De acuerdo con el presente trabajo de grado en desarrolló y lo anteriormente expresado podemos decir que la población y muestra se reduce al acero AISI 1045 a los que se trataron térmicamente y mecanizados por un torno CNC, el cual es el objeto de estudio en el presente trabajo de grado.

3.5 Técnicas e Instrumento de recolección de Datos

En esta etapa de la investigación se centra en la técnica a implementar en el proyecto y el instrumento usado para la recolección de datos, según Arias F. (2012) “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”.

Según Arias, F. (2012) “las técnicas de recolección de datos son el procedimiento o formas particulares de obtener la información”. Teniendo en cuenta que las técnicas son los procedimientos, entonces para el desarrollo de la investigación se emplearan las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos. En primer lugar, se hará uso de la recopilación documental.

Sobre la revisión documental, Arias F. (2012, p.31), sostiene que “consiste en el análisis e interpretación de la información recolectada”. Este proceso se centra en la revisión de documentos sobre el tema tratado y el posterior análisis del contenido de los mismos para presentarlos datos mediante cuadros y gráficos.

Y por último se usará la observación según Arias F (2012) define a la observación como “una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. Se empleará la observación como herramienta para la recolección de datos de ensayos de

estudio de rugosidad, en especial la parte de los cuadros resumen en donde se pretende recopilar la información de los valores de rugosidad superficial

3.6 Fases de la Investigación

En el presente trabajo de grado está formado por una serie de fases que permitieron dar respuesta a los objetivos planteados en un determinado orden para la realización del proyecto.

Fase I. Construcción y desarrollo de una red neuronal artificial capaz de predecir la rugosidad superficial del acero AISI 1045 en función del tipo de tratamiento térmico y los factores que influyen en el torneado CNC, usando herramientas computacionales

En la primera fase de desarrollo de la investigación se prioriza desarrollar una red neuronal artificial que sea capaz de analizar los datos de entrada de las variables que influyen en el proceso de torneado CNC y el tipo de tratamiento térmico aplicado al acero AISI 1045, y arrojar un valor de salida de rugosidad superficial (Ra), y todo esto con el uso apropiado de herramientas informáticas que facilitan la construcción de un modelo matemático de redes neuronales.

Fase II. Entrenamiento de la red neuronal artificial en consideración de las variables y factores que influyen en la determinación de la rugosidad superficial mediante el uso de algoritmos de aprendizaje.

La siguiente fase de la investigación se centra en el entrenamiento de red neuronal artificial, mediante el uso de algoritmos de aprendizaje, con la finalidad de entrenar la red de neuronas y lograr resultados óptimos de rugosidad (Ra).

Fase III. Evaluación de la rugosidad superficial de acero AISI 1045 utilizando la red neuronal artificial entrenada para la obtención de resultados de rugosidad superficial (Ra).

En la tercera fase del trabajo de grado se basa en el uso del modelo computacional neuronal entrenado en donde se procederá a introducir los datos de las variables del proceso de entrada (parámetros de corte de torneado CNC y tipo de tratamiento térmico), para comenzar con la simulación de la red neuronal artificial entrenada para

predecir la salida (valor de rugosidad superficial (Ra)). Los resultados obtenidos de la simulación se registrarán para su posterior estudio y análisis.

Fase IV. Comprobación la confiabilidad de la red neuronal artificial mediante la comparación de los datos obtenidos en estudios experimentales previos.

Después de obtener los datos de rugosidad superficial (Ra) estos se van a comparar con los resultados obtenidos en ensayos físicos realizados previamente siguiendo las normas internacionales, el cual tiene como propósito principal el de validar los resultados del presente estudio de rugosidad superficial del acero AISI 1045.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se exponen las fases de la investigación con la finalidad de lograr el desarrollo del presente trabajo de investigación que cuenta con las siguientes fases:

Fase I. Construir y desarrollar una red neuronal artificial capaz de predecir la rugosidad superficial del acero AISI 1045 en función del tipo de tratamiento térmico y los factores que influyen en el torneado CNC, usando herramientas computacionales.

Para lograr desarrollar un modelo matemático neuronal que simule el proceso de torneado CNC de un acero AISI 1045 primero debemos definir en su totalidad las variables que influyen en la obtención de valores de rugosidad del acero estudiado, estas variables son las siguientes:

4.1.1 Variables y factores utilizados

Material de Trabajo: Acero AISI 1045

Descripción de la probeta

Longitud: 100 mm

Diámetro: 19,05 mm

Tabla 4. Composición química del acero AISI 1045

Acero AISI 1045 Composición Química	
Elemento Químico	Porcentaje (%)
Carbono (C)	0,485
Manganeso (Mn)	0,58
Fosforo (P)	0,014
Azufre (S)	0,005
Silicio (Si)	0

Fuente: Yrady, Mujica

Tratamiento Térmico

En esta tabla queda tabulada las especificaciones del tratamiento térmico realizados a las muestras de acero AISI 1045.

Tabla 5. Especificaciones del tratamiento térmico

tratamiento térmico	Temperatura (°C)	Tiempo en el horno (min)	Enfriamiento
Temple	845	90	En aceite agitado
Recocido	845	90	En horno (apagado)
Revenido	450	120	Aire quieto
Normalizado	900	90	Aire quieto

Fuente: Yrady, Mujica

Operación de maquinado: Torneado

Tipo de Torno: Torno CNC.

Parámetros tecnológicos de mecanizado CNC:

Los parámetros de corte con los que fueron utilizados en el mecanizado de las probetas de acero AISI 1045 fueron los siguientes:

Tabla 6. Parámetros de Corte

Parámetros de corte empleados en el mecanizado en las probetas de Acero AISI 1045			
Velocidad de corte (RPM)	0,2	0,4	0,6
Velocidad de Avance (mm/rev)	0,2	0,4	0,6
Profundidad de pasada (mm)	225	265	305

Fuente: Yrady, Mujica

Herramienta de Corte

Para fines práctico y lograr establecer la gran mayoría de las condiciones con las que se llevaría a cabo el proceso de mecanizado se tomara en cuenta una barra porta herramienta de corte marca iscar MWLNR/L-W, en específico el modelo MWLNR 2525M-08W Portaherramientas con Fijación Por Cuña/Brida para Plaquetas Trigonaes. De la misma marca que el inserto de herramienta que se usó en el ensayo mecánico desbaste de las probetas de acero.

Material de la herramienta de corte.

Como material para la herramienta de corte, no se especifica en el ensayo así que asumiremos que es de carburo cementado o metal duro.

Geometría de la herramienta de corte

Cuenta como diseño en forma de cuña/brida, como podemos observar en la siguiente imagen.

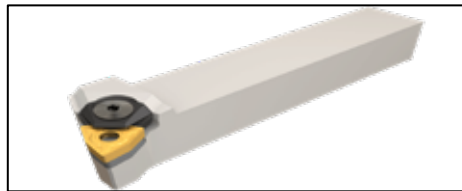


Figura 26. Barra porta herramienta

Fuente: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx?lang=SP>

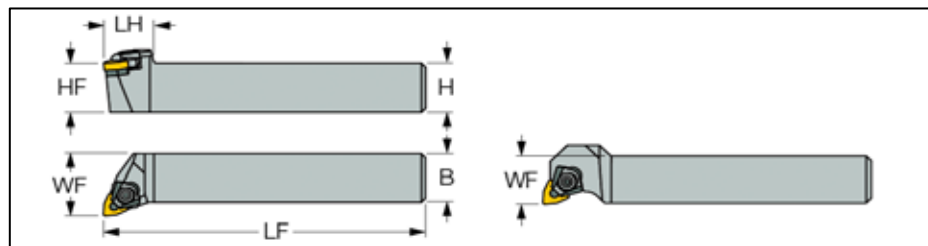


Figura 27. Barra porta herramienta planos

Fuente: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx?lang=SP>

Tabla 7. Especificaciones de la barra porta herramienta

Especificaciones de la barra porta herramienta		
Altura del mango	(H)	25 mm
Altura funcional	(Hf)	25 mm
Ancho del mango	(B)	25mm
Longitud funcional	(Lf)	150 mm
Longitud del mango	(Lh)	30 mm
Ancho funcional	(Wf)	32 mm
Angulo de ataque axial	---	-6 °
Angulo de inclinación radial	---	-6 °

Fuente: Yrady, Mujica

Inserto de la herramienta de corte

Inserta marca iscar modelo WNMG 080416-GN

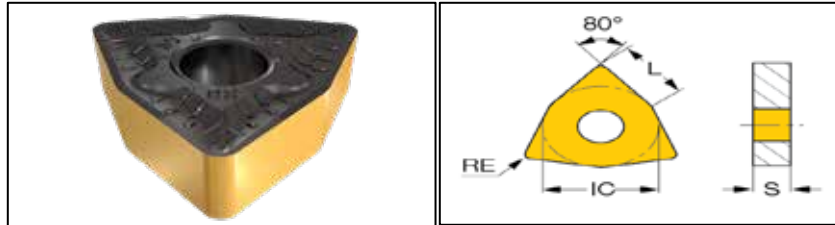


Figura 28. Inserto de la herramienta de corte

Fuente: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=3543&mapp=IS&app=0&GFSTYP=M&l ang=SP>

Tabla 8. Especificaciones de Inserto utilizado en el ensayo

Especificaciones de Inserto utilizado en el ensayo		
Longitud del filo de corte	(L)	8,70 mm
Diámetro del círculo inscrito	(IC)	12,40 mm
Espesor de la plaquita	(S)	4,76 mm
Radio de punta	(RE)	1,60 mm
Avance mínimo y máximo para torneado	(fn)	0,2-0,6 mm/rev
Profundidad mínima y máxima para torneado	(Ap)	0,2-6 mm

Fuente: Yrady, Mujica

Plaquetas trigonales de doble cara con filos de corte seguros, para mecanizado medio y semi-desbaste y desbaste en acero y fundición.

Radio de la punta de la herramienta de corte

El radio de la punta de la herramienta de corte viene dado por el inserto de la misma el cual es de 1,60 mm de radio

Angulo de la herramienta de corte

El Angulo de ataque de la herramienta es de aproximado 95 ° con respecto al material de trabajo.

Estado de la herramienta de corte

En cualquier proceso de mecanizado, el uso continuo de la herramienta de corte afecta su estado la cual empieza a degradarse y perder el filo, para este estudio se considera la herramienta sin desgaste en pocas palabras “nueva”.

Otros factores a tomar en cuenta

Aceite de corte

La taladrina o aceite de corte es un producto compuesto por agua y aceites que se utiliza como lubricante y refrigerante en la industria del mecanizado mecánico, en operaciones de mecanizado por arranque de viruta.

Rugosidad superficial.

Esta es la variable a predecir en la red neuronal que se desarrollara en el presente trabajo.

En resumen, en el siguiente cuadro podemos observar las variables que van a influir en el proceso de obtención de la rugosidad del acero AISI 1045.

Tabla 9. Variables de Entrada

Variables de Entrada	
Velocidad de Corte	Vc (RPM)
Velocidad de Avance	Fn (mm/rev)
Profundidad de Corte	Ap (mm)

Fuente: Yrady, Mujica

Para cada condición distinta de tratamiento térmico, incluyendo su condición inicial del acero AISI 1045 se procederá a tomarlo en cuenta por separado, pero siguiendo la misma estructura de la red neuronal propuesta ya que van a influir el mismo número de variables.

Tabla 10. Factores que influyen en el proceso

Factores influyentes en el proceso	
Tipo de torno	Torno CNC
Herramienta de Corte	Buril
Material de la Herramienta de Corte	Metal duro

Geometría de la Herramienta de Corte	Diseño de brida-cuña
Angulo de ataque	95°
Inserto de la herramienta de corte	Inserto iscar
Radio de la punta de la herramienta	1,60 mm
Estado de la herramienta	Nuevo-si desgaste
Aceite de corte	Taladrina

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 11. Variable de Salida

Variable de Salida	
Rugosidad	Ra (μm)

Fuente: Yrady, Mujica

4.1.2 Selección del modelo de red neuronal artificial

Una vez identificadas y definidas las variables y factores que influyen en la obtención de la rugosidad superficial del acero AISI 1045 en un proceso de torneado CNC procedemos a seleccionar un modelo de red neuronal artificial que más se adapte al problema a resolver.

La red neuronal feedforward backpropagation es capaz de aproximar cualquier función no lineal con un determinado grado de precisión y es la que se va a utilizar en este proyecto, Sin embargo, para evitar una ausencia de generalización, es necesario especificar una arquitectura adecuada. Una práctica muy común en la mayoría de las aplicaciones empíricas consiste en seleccionar una arquitectura por medio de un proceso de prueba y error.

4.1.3 Arquitectura de la red neuronal artificial

La red neuronal propuesta por lo general está constituida de tres capas, la capa de entrada que está compuesta por el número de variables de entrada que va a tener la red, la segunda capa o capa oculta está formada por neuronas que reciben el estímulo de la entrada, o por ultimo esta la capa de salida la cual muestra el resultado final de la red, en nuestro caso será el valor de rugosidad superficial del acero AISI 1045.

Así que la primera capa de la red estará compuesta de tres neuronas con la información de las tres variables de entrada, las cuales son la velocidad de corte (V_c),

velocidad de Avance (f_n) y la profundidad de pasada (A_p), la segunda capa que es la capa oculta de la red está compuesta de neuronas, o en día no existe un forma de estimar el número adecuado de neuronas que debe tener la capa oculta, sin embargo de acuerdo a la experiencia de muchos autores existe criterios que se adoptan para lograr determinar las neuronas necesarias para que el modelo matemático neuronal tenga un buen rendimiento, o simplemente mediante el ensayo y error continuo variando el número de neuronas de la capa oculta empezando con un número pequeño y después ir aumentando gradualmente hasta que se obtenga un mínimo de error posible lo que facilita mucho la parte del entrenamiento de la red neuronal descrita en la fase siguiente de este capítulo.

En este trabajo de grado optamos por ir variando el número de neuronas en la capa oculta se aproximó hasta un total de 9 neuronas en donde el error fue bajo en comparación que los demás sin entrenamiento.

Y por último tenemos la capa de salida la cual está formada por una única neurona que muestra el resultado de salida es decir el valor de la rugosidad del acero estudiado en este trabajo, en resumen, se decidió adoptar una red neuronal con una arquitectura 3-9-1.

4.1.4 Fórmulas para el desarrollo de la red neuronal artificial para la predicción de valores de rugosidad R_a .

Se planteó una red neuronal artificial con una arquitectura 3-9-1 para la condición inicial y todas las condiciones de tratamiento térmico debido a que en todas se tomaran en cuenta las mismas variables y factores influyentes del proceso, en la siguiente figura queda expuesto el esquema de la red neuronal.

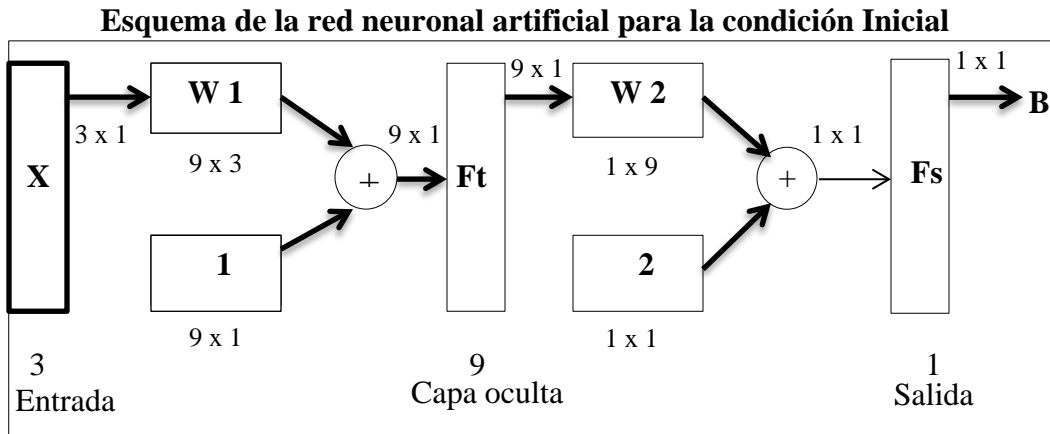


Figura 29. Esquema de la red neuronal artificial desarrollada para predecir valores de rugosidad superficial del acero AISI 1045

Fuente: Yrady, Mujica

X representa el vector de entrada con las variables de velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada.

Tabla 12. Vector de Entrada

Vector X		
X1	Velocidad de Corte	Vc (RPM)
X2	Velocidad de Avance	Fn (mm/rev)
X3	Profundidad de Pasada	Ap (mm)

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 13. Rango de valores de las variables de entrada

Velocidad de corte (RPM)	225	265	305
Velocidad de Avance (mm/rev)	0,2	0,4	0,6
Profundidad de pasada (mm)	0,2	0,4	0,6

Fuente: Yrady, Mujica

W1 es la matriz de pesos de la capa 1, la cual es una matriz 9x3, por lo general al inicio toma valores aleatorios de -0,5 a 0,5

W11	W12	W13
W14	W15	W16
W17	W18	W19

W110	W111	W112
W113	W114	W115
W116	W117	W118
W119	W120	W121
W122	W123	W124
W125	W126	W127

es el bias o umbral de la red de la capa 1, y está definido por una matriz 9x1 por lo general sus valores son aleatorios.

b1 1
b1 2
b1 3
b1 4
b1 5
b1 6
b1 7
b1 8
b1 9

Ft es la función de transferencia de la capa 1 a la capa 2, para esta se decidió utilizar la función sigmoïdal logística la cual es la siguiente:

En donde el resultado de la capa 1 a la capa 2 (capa de salida) tenemos

A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
A9

En la capa de salida tenemos una matriz A 9×1 la cual se multiplicará con la matriz de pesos $W2$ que es una matriz 1×9 .

$W2_1$	$W2_2$	$W2_3$	$W2_4$	$W2_5$	$W2_6$	$W2_7$	$W2_9$	$W2_{10}$
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------

Que después se le sumara el umbral de la capa de salida el cual es una matriz 1×1

Y por último tenemos la función de salida F_s , que en este caso será una función sigmoide logística.

Y por lo tanto la ecuación final queda de la siguiente forma:

Con esta fórmula obtenemos el valor de salida que representa al valor de rugosidad R_a del Acero AISI 1045.

B representa el valor de salida de la red el cual es el valor de la rugosidad R_a

Tabla 14. Variable de Salida

Variable de salida B		
B	Rugosidad R_a	R_a (μm)

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 15. Rango de valores de la variable de salida

Rugosidad R_a	Valor mínimo (μm)	Valor máximo (μm)
	0,05	25

Fuente: Yrady, Mujica

4.1.5 Normalización de las variables

Para la normalización de las variables de entrada utilizaremos el método del máximo, que viene dada por la siguiente expresión:

X_i : variable X a normalizar.

(X_{max}) : valor máximo que tomara la variable X .

$X(n)$: valor de la variable X normalizada.

4.1.6 Software utilizado para el desarrollo de la red neuronal

Una máquina virtual Java (en inglés Java Virtual Machine, JVM) es una máquina virtual de proceso nativo, es decir, ejecutable en una plataforma específica, capaz de interpretar y ejecutar instrucciones expresadas en un código binario especial (el bytecode Java), el cual es generado por el compilador del lenguaje Java.

El código binario de Java no es un lenguaje de alto nivel, sino un verdadero código máquina de bajo nivel, viable incluso como lenguaje de entrada para un microprocesador físico. Como todas las piezas del rompecabezas Java, fue desarrollado originalmente por Sun.

En resumen, se elaborará una red neuronal con entrenamiento basada en el algoritmo backpropagation con las siguientes especificaciones:

3 variables de Entradas (V_c , F_n , A_p)

1 capa oculta con nueve (9) neuronas respectivamente

La función de transferencia utilizada en esta red es la función sigmoide logística

Una variable de salida (B) la cual nos representara el valor de la rugosidad superficial.

En la siguiente imagen se muestra la interfaz gráfica de usuario implementada para el para el modelo matemático neuronal, lo cual facilita un mejor manejo de la red neuronal.

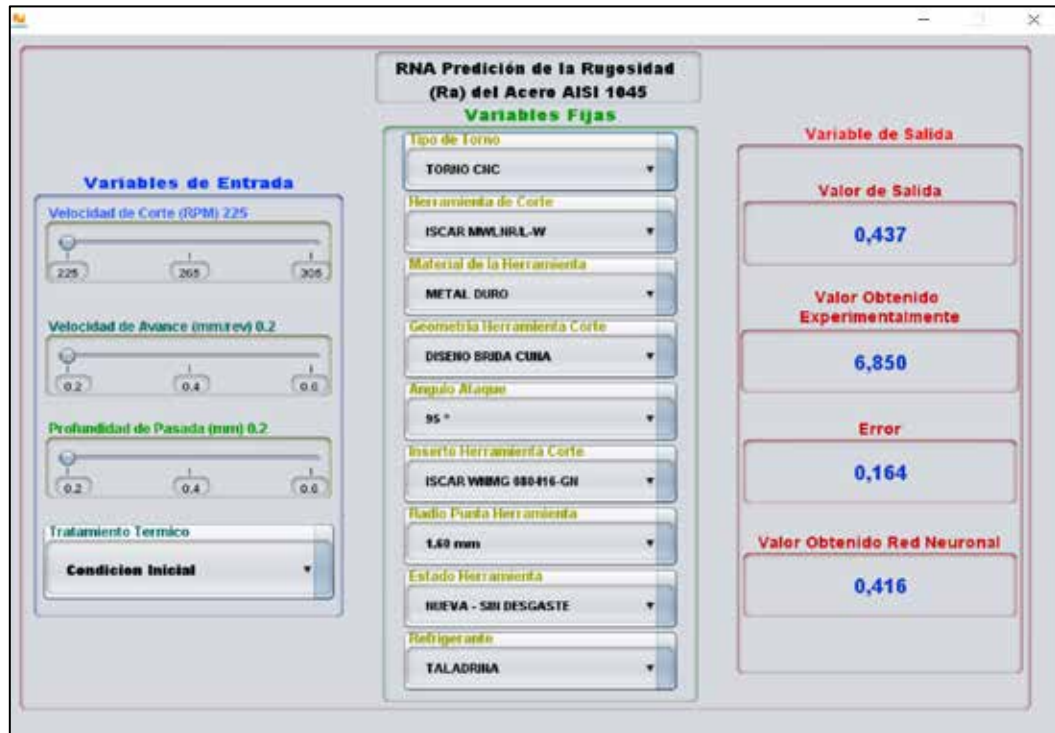


Figura 30. Interfaz gráfica de la red neuronal desarrollado en Java.

Fuente: Yrady, Mujica

Fase II. Entrenar la red neuronal artificial en consideración de las variables y factores que influyen en la determinación de la rugosidad superficial mediante el uso de algoritmos de aprendizaje.

En esta fase del trabajo de investigación se procede a entrenar la red neuronal desarrollada en la primera fase de la investigación, sin más preámbulo el entrenamiento de una red neuronal no es más utilizar un algoritmo matemático para ajustar las para que el modelo matemático pueda presentar valores de salidas optimo y cercanos a la realidad de un proceso de torneado CNC.

Para lograr entrenar una red neuronal artificial primero debemos seleccionar un método de aprendizaje que se adapte al modelo de red neuronal, seleccionar los datos de entrenamiento y por ultimo realizar un ciclo en donde el entrenamiento se repita

varias veces hasta que alcance un mínimo de error lo que indicara que la red va a estar lista para usar.

4.2.1 Algoritmo de Aprendizaje de la red neuronal

Para el entrenamiento de red neuronal de este trabajo de grado se decidió utilizar el algoritmo backpropagation, este algoritmo realizara la labor de actualizar el valor de los pesos de la red $W1$, $W2$ y también el valor de las ganancias de l base al error cuadrático medio.

Después de obtener una salida en la red neuronal, podemos observar que no es una salida óptima, así que se calcula el error en la salida mediante la aplicación de la siguiente formula:

Después de calcular el error en la salida de la red se procede a calcular el error cuadrático medio, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

—

Este proceso se repite para cada de patrón de entrada que se va introducir en la con su respectiva salida, para un proceso de aprendizaje exitoso el objetivo es actualizar los pesos y ganancias de la red minimizando el error medio cuadrático total descrito en la siguiente formula.

En donde es el error total en el proceso de aprendizaje en una interacción luego de haber presentado a la red los patrones de entrenamiento.

4.2.2 Datos para el entrenamiento de la red neuronal para las distintas condiciones del material.

Luego de definir el algoritmo de entrenamiento de la red neuronal se procede a realizar el entrenamiento de la red, y para completarlo se debe le debe presentar un conjunto de datos de entrada es decir, primero especificar su condición (condición inicial, temple/revenido, normalizado, recocido) después presentarle un conjunto de patrones de entrada con su respectiva salida la cual la compara con la salida deseada y

se le aplica el algoritmo de backpropagation que mediante la técnica del descenso de la gradiente minimiza el error y aproxima el valor de salida a un valor más real.

En este proceso se seleccionará en un alrededor del 50% de los datos que fueron obtenidos experimentalmente para el entrenamiento los demás se utilizaran para su posterior validación y comparación y de esta manera se averiguara si la red neuronal para la predicción de valores de rugosidad superficial del acero AISI 1045 es funcional y práctica, para el fin en que fue construida.

Es importante destacar que los datos son seleccionados para cada uno de las condiciones del tratamiento térmico, y que los datos se seleccionaron de forma aleatoria y fueron tabulados en una tabla de Microsoft Excel e importados al programa desarrollado en Java. Sin más preámbulos los datos que fueron presentados para el entrenamiento de la red fueron los siguientes:

Tabla 16. Valores de entrenamiento para condición inicial.

1. Condición Inicial

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad Ra (µm)
225	0,2	0,2	6,85
225	0,2	0,4	6,25
225	0,4	0,2	12,4
225	0,4	0,6	7,18
225	0,6	0,4	10,04
225	0,6	0,6	12,19
265	0,2	0,2	4,68
265	0,2	0,6	4,5
265	0,4	0,4	5,24
265	0,4	0,6	6,48
265	0,6	0,2	10,78
305	0,2	0,4	4,62
305	0,4	0,2	7,72
305	0,6	0,2	13,12
305	0,6	0,6	13,96

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 17. Valores de entrenamiento para Temple/Revenido.

2. Temple/Revenido

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad Ra (μm)
225	0,2	0,2	11,5
225	0,2	0,6	9,34
225	0,4	0,4	7,04
225	0,6	0,2	14,58
225	0,6	0,4	13,09
265	0,2	0,4	3,66
265	0,4	0,2	8,95
265	0,4	0,6	6,69
265	0,6	0,4	12,54
305	0,2	0,2	4,04
305	0,2	0,6	4,18
305	0,4	0,4	7,56
305	0,6	0,2	11,5
305	0,6	0,4	11,61
305	0,6	0,6	9,39

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 18. Valores de entrenamiento para Normalizado.

3. Normalizado

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance(fn)	Profundidad de pasada(Ap)	Rugosidad Ra (μm)
225	0,2	0,4	7,31
225	0,2	0,6	5,54
225	0,4	0,4	6,16
225	0,6	0,2	13,51
265	0,2	0,4	3,26
265	0,2	0,6	5,53
265	0,6	0,2	12,3
265	0,6	0,4	9,96
305	0,2	0,2	6,3
305	0,2	0,4	5,61
305	0,4	0,2	7,91
305	0,4	0,6	6,34

305	0,6	0,4	9,65
305	0,6	0,6	11,04

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 19. Valores de entrenamiento para Recocido.

4. Recocido

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance(fn)	Profundidad de pasada(Ap)	Rugosidad Ra (μm)
225	0,2	0,2	10,82
225	0,2	0,6	5,98
225	0,4	0,4	7,58
225	0,6	0,2	16,34
225	0,6	0,6	13,61
265	0,2	0,2	7,53
265	0,4	0,4	8,09
265	0,6	0,6	15,8
305	0,2	0,2	7,22
305	0,2	0,6	5,48
305	0,4	0,4	8,32
305	0,6	0,2	10,55
305	0,6	0,6	8,87

Fuente: Yrady, Mujica

4.2.3 Patrones para finalizar el entrenamiento

Hoy en día existen tres principales parámetros para detener el entrenamiento de una red neuronal, para evitar sobretensiones en esta, en este trabajo de grado se decidió optar por el mínimo error cuadrático medio (ECM) el cual se le fijo un margen de error aceptable aproximadamente del 7% es decir que cuando la red alcance cerca de un 93% de precisión se finalizara el entrenamiento.

En resumen, en esta fase presento el algoritmo de entrenamiento que se utilizara para ajustar la red neuronal para que pueda arrojar valores óptimos, se seleccionaron los datos que se usaran para el entrenamiento con sus respectivos patrones de entrada con su salida, y por último se estableció el parámetro para finalizar el entrenamiento de la red neuronal para predecir valores de rugosidad del Acero AISI 1045.

Fase III. Evaluar la rugosidad superficial de acero AISI 1045 utilizado la red neuronal artificial entrenada para la obtención de resultados de rugosidad superficial (Ra).

En esta fase se utilizará la red neuronal artificial desarrollada y entrenada en las fases anteriores con la finalidad de tabular los datos que fueron obtenidos experimentalmente con los datos que fueron arrojados por un modelo matemático neuronal y con esto establecer una forma con la que se puedan mejor los valores de rugosidad del acero AISI 1045. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos por la red neuronal.

Tabla 20. Valores obtenidos por la Red neuronal condición inicial

En condición inicial se obtuvieron los siguientes valores de rugosidad

velocidad de corte (RPM)	velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad (µm)	Rugosidad RNA (µm)
225	0,2	0,2	6,85	6,473
225	0,2	0,4	6,25	5,591
225	0,2	0,6	5,92	5,558
225	0,4	0,2	12,4	11,533
225	0,4	0,4	10,52	9,452
225	0,4	0,6	7,18	6,516
225	0,6	0,2	11,24	10,629
225	0,6	0,4	10,04	9,329
225	0,6	0,6	12,19	11,216
265	0,2	0,2	4,68	4,333
265	0,2	0,4	4,81	4,488
265	0,2	0,6	4,5	4,236
265	0,4	0,2	8,34	7,850
265	0,4	0,4	5,24	4,696
265	0,4	0,6	6,48	5,824
265	0,6	0,2	10,78	9,709
265	0,6	0,4	8,87	8,007
265	0,6	0,6	8,72	8,105
305	0,2	0,2	4,69	4,384
305	0,2	0,4	4,62	4,176
305	0,2	0,6	4,59	4,108

305	0,4	0,2	7,72	7,286
305	0,4	0,4	8,78	8,144
305	0,4	0,6	8,4	7,881
305	0,6	0,2	13,12	12,075
305	0,6	0,4	9,83	9,182
305	0,6	0,6	13,96	12,795

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 21. Valores obtenidos por la Red neuronal Temple/revenido

En temple/revenido

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad (μm)	Rugosidad RNA (μm)
225	0,2	0,2	11,5	10,326
225	0,2	0,4	10,69	10,128
225	0,2	0,6	9,34	8,750
225	0,4	0,2	11,2	10,435
225	0,4	0,4	7,04	6,570
225	0,4	0,6	5,73	5,378
225	0,6	0,2	14,58	13,773
225	0,6	0,4	13,09	11,903
225	0,6	0,6	10,93	9,921
265	0,2	0,2	4,63	4,135
265	0,2	0,4	3,66	3,274
265	0,2	0,6	4,82	4,464
265	0,4	0,2	8,95	8,374
265	0,4	0,4	5,78	5,288
265	0,4	0,6	6,69	6,174
265	0,6	0,2	12,31	11,363
265	0,6	0,4	12,54	11,902
265	0,6	0,6	12,39	11,363
305	0,2	0,2	4,04	3,718
305	0,2	0,4	4,76	4,441
305	0,2	0,6	4,18	3,927
305	0,4	0,2	9,34	8,769
305	0,4	0,4	7,56	7,149
305	0,4	0,6	6,41	5,812
305	0,6	0,2	11,5	10,479
305	0,6	0,4	11,61	10,853

305	0,6	0,6	9,39	8,732
-----	-----	-----	------	-------

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 22. Valores obtenidos por la Red neuronal Normalizado

Con tratamiento térmico de normalizado

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad (μm)	Rugosidad RNA(μm)
225	0,2	0,2	7,36	6,922
225	0,2	0,4	7,31	6,809
225	0,2	0,6	5,54	5,226
225	0,4	0,2	10,14	9,210
225	0,4	0,4	6,16	5,583
225	0,4	0,6	4,91	4,548
225	0,6	0,2	13,51	12,448
225	0,6	0,4	11,13	10,425
225	0,6	0,6	14,04	13,182
265	0,2	0,2	2,72	2,491
265	0,2	0,4	3,26	3,043
265	0,2	0,6	5,53	5,002
265	0,4	0,2	9,42	8,478
265	0,4	0,4	6,47	5,835
265	0,4	0,6	4,68	4,407
265	0,6	0,2	12,3	11,440
265	0,6	0,4	9,96	9,126
265	0,6	0,6	8,35	7,906
305	0,2	0,2	6,3	5,743
305	0,2	0,4	5,61	5,125
305	0,2	0,6	3,52	3,279
305	0,4	0,2	7,91	7,482
305	0,4	0,4	7,95	7,465
305	0,4	0,6	6,34	5,969
305	0,6	0,2	12,36	11,114
305	0,6	0,4	9,65	9,081
305	0,6	0,6	11,04	10,230

Fuente: Yrady, Mujica

Tabla 23. Valores obtenidos por la Red neuronal Recocido

En recocido tenemos los siguientes resultados

Velocidad de corte (RPM)	Velocidad de Avance (fn)	Profundidad de pasada (Ap)	Rugosidad (µm)	Rugosidad RNA (µm)
225	0,2	0,2	10,82	9,928
225	0,2	0,4	5,76	5,344
225	0,2	0,6	5,98	5,478
225	0,4	0,2	11,43	10,662
225	0,4	0,4	7,58	6,715
225	0,4	0,6	6,93	6,273
225	0,6	0,2	16,34	14,364
225	0,6	0,4	9,47	8,391
225	0,6	0,6	13,61	12,392
265	0,2	0,2	7,53	6,918
265	0,2	0,4	4,64	4,282
265	0,2	0,6	4,33	3,907
265	0,4	0,2	12,98	11,894
265	0,4	0,4	8,09	7,476
265	0,4	0,6	7,09	6,462
265	0,6	0,2	11,27	9,893
265	0,6	0,4	13,03	11,640
265	0,6	0,6	15,8	14,440
305	0,2	0,2	7,22	6,538
305	0,2	0,4	4,79	4,289
305	0,2	0,6	5,48	4,913
305	0,4	0,2	9,04	7,837
305	0,4	0,4	8,32	7,640
305	0,4	0,6	6,62	6,136
305	0,6	0,2	10,55	9,700
305	0,6	0,4	11,9	11,126
305	0,6	0,6	8,87	8,290

Fuente: Yrady, Mujica

Fase IV. Comprobar la confiabilidad de la red neuronal artificial mediante la comparación de los datos reales obtenidos en ensayos experimentales previos.

En la fase IV del presente trabajo de grado se analizará y comparará los resultados obtenidos experimentalmente con los resultados calculados por la red neuronal

artificial desarrollada en la investigación con la finalidad de demostrar que mediante métodos estadísticos se pueden obtener valores óptimos de rugosidad conociendo de antemano los parámetros tecnológicos de corte.

4.4.1 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en condición normal (sin tratamiento térmico)

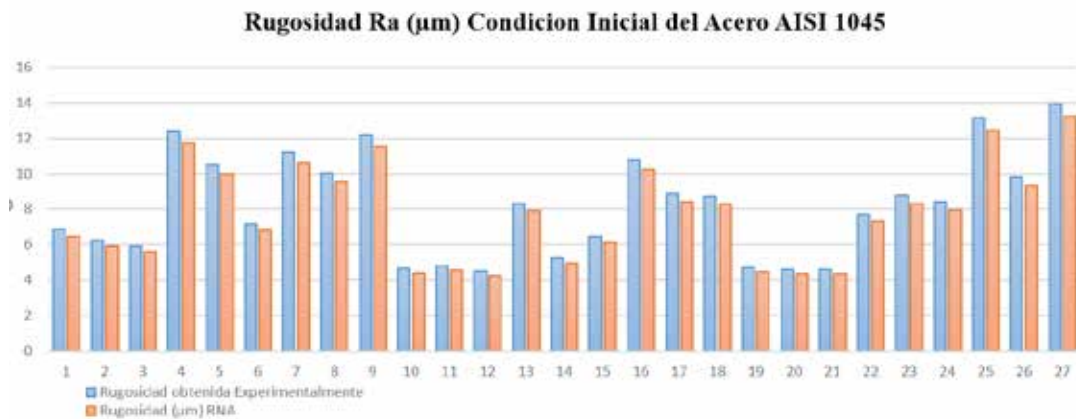


Figura 31. Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en condición inicial. Fuente: Yrady, Mujica

En esta grafica podemos observar los valores de rugosidad que fueron obtenidos experimentalmente con respecto a los que se calcularon con la red neuronal desarrollada en el presente trabajo de grado en donde podemos apreciar que los valores obtenidos de la red son precisos con un margen de error aproximado entre el 3% al 7% con respecto al valor calculado por el rugosímetro que se utilizó en el ensayo previo.

4.4.2 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Temple/Revenido

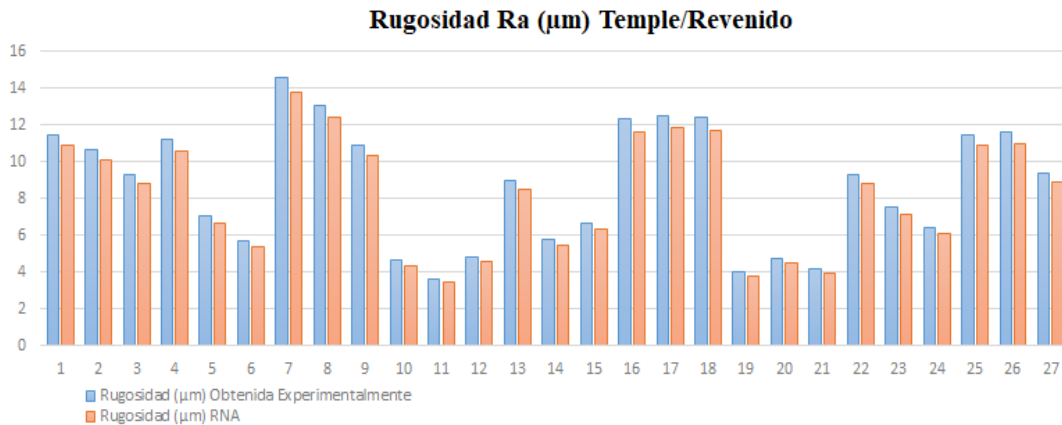


Figura 32. Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal con temple/revenido.

Fuente: Yrady, Mujica

En esta siguiente tabla podemos observar los datos obtenidos de forma experimental con los obtenidos por la red neuronal artificial, con el acero AISI 1045 pasado por un proceso de temple/revenido el cual hace que el material se mas tenas y por ello facilita el mecanizado de la pieza, como podemos observar los resultados se aproximó con el obtenido experimentalmente cerca 93 % al 94% de precisión. También podemos decir que en los resultados obtenidos en esta condición la velocidad de avance demostró ser el parámetro tecnológico de torneado por control numérico más influyente en el valor de rugosidad del acero en esta condición.

4.4.3 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Normalizado.

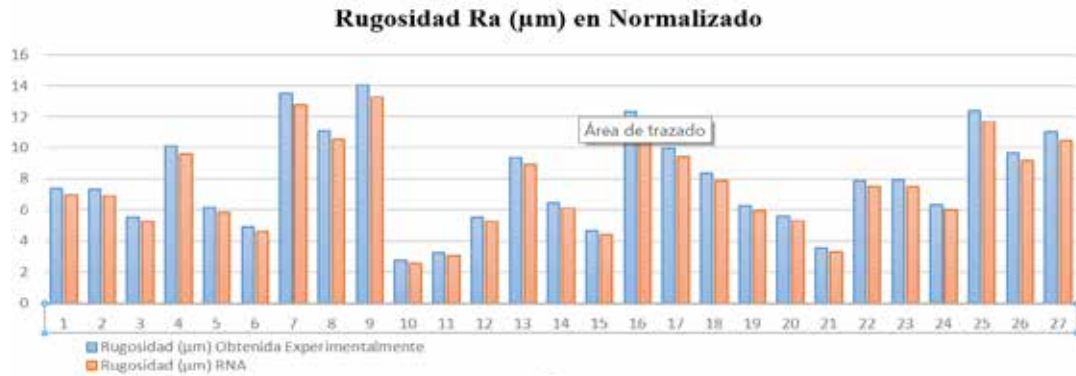


Figura 33. Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en Normalizado. Fuente: Yrady, Mujica

En esta grafica podemos apreciar los resultados obtenidos por la Red neuronal artificial desarrollada en el presente trabajo de grado con respecto a los valores obtenidos experimentalmente en donde podemos denotar que los valores obtenidos de la red son precisos que entran entre el 92% a 95% de precisión.

4.4.4 Resultados de la rugosidad del acero AISI 1045 en Recocido.

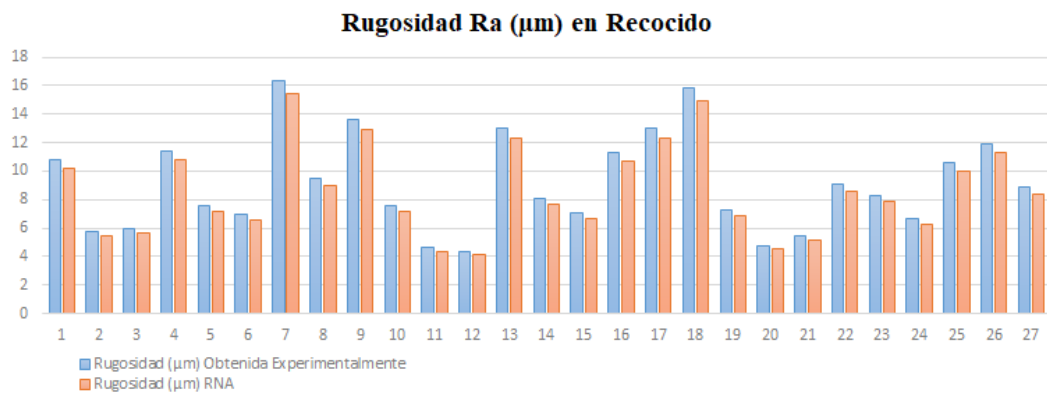


Figura 34. Grafica representativa de los valores experimentales y los obtenidos por la red neuronal en Recocido. Fuente: Yrady, Mujica

Por ultimo tenemos los valores de rugosidad que fueron obtenidos por la red neuronal artificial, pero en con tratamiento térmico de recocido el cual arrojo resultados no tan precisos como los primeros, pero si con un alto margen de precisión que cae entre en 89 % al 92%.

CONCLUSIONES

En conclusión, se logró crear una red neuronal artificial en el entorno de JAVA con éxito, capaz de predecir con un alto margen de precisión valores de rugosidad superficial del acero AISI 1045 en sus diferentes condiciones, desde su condición inicial (sin tratamiento térmico) hasta sus diferentes condiciones de tratamiento térmico aplicados en el material entre ellos están el temple/revenido, el normalizado y el recocido que demostraron ser factores de gran influencia a la hora de predecir valores de rugosidad superficial siguiendo los distintos parámetros tecnológicos en el torneado por control numérico.

El entrenamiento de la red por medio del algoritmo Backpropagation basado en el descenso de la gradiente, arrojó resultados los cuales sus valores de salida (rugosidad superficial) reflejan alta precisión a una baja exactitud, esto debido a la múltiple iteración de valores de entrada los cuales tienden a generar oscilación de la variable de respuesta deseada.

Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, son satisfactorios en el análisis buscando la mayor aproximación hacia el valor inicial o real de rugosidad superficial, después de evaluar los parámetros a los cuales se sometió el acero AISI 1045. En sus diferentes condiciones. Los resultados más destacables de acuerdo a los niveles de los parámetros tecnológicos se presentan a continuación.

En condición inicial podemos destacar que a una velocidad de corte de 265 RPM con una velocidad de avance ajustada a 0,2 mm/rev y la profundidad de pasada 0,6 mm el resultado obtenido un valor de rugosidad es 4,5 μm el cual tiene una precisión del 94,98 % con respecto al valor obtenido de forma experimental, también se destaca que fue el valor de rugosidad superficial arrojado por la red el más preciso en condición inicial (sin tratamiento térmico).

En temple/Revenido se puede apreciar que manejando una velocidad de corte igualada a 225 RPM con la velocidad de avance de 0,2 mm/rev y con una profundidad de corte igual a 0,4 mm la red neuronal entrenada determino un valor de rugosidad superficial de 10,69 μm este valor representando más del 95% del valor obtenido de forma experimental y por ende es el resultado más preciso de la red bajo el tratamiento térmico de temple/revenido.

Bajo un tratamiento térmico de Normalizado se puede obtener un valor de rugosidad superficial de 4,649 μm siendo este el valor de rugosidad obtenido mediante la red neuronal artificial el más preciso, con una precisión cercana al 94,669% del valor experimental con unos parámetros de corte de 265 RPM a un nivel de velocidad de avance de 0,2 mm/rev de acuerdo a una profundidad de pasada de 0,2 mm.

De ultimo podemos notar que con el tratamiento térmico de recocido el valor de rugosidad más cercano al valor experimental es de 11,50 μm representado cerca del 94 % del valor del experimental, en donde también se puede destacar que los parámetros tecnológicos del torneado por CNC que fueron utilizados para obtener el valor de rugosidad son de 305 RPM como la velocidad e corte, con una velocidad de avance de 0,6 mm/rev manejado una profundidad de corte de 0,4 mm respectivamente.

De lo acotado anteriormente se puede decir que la velocidad de avance es el parámetro de corte más significativo en el proceso de torneado teniendo gran importancia en la obtención de una buena superficie maquinada, empeorando el valor de la rugosidad del Acero AISI 1045 en sus cuatros condiciones que fue evaluado, como quedó demostrado, y los valores de rugosidad superficial más cercanos al valor experimental se lograron cuando la velocidad de avance en el nivel más bajo, se consiguieron los valores más cercano al valor experimental.

RECOMENDACIONES

Realizar ensayos experimentales siguiendo todas las normas de la ASTM en donde se pueda obtener valores de rugosidad del acero AISI 1045 con la finalidad de tener a la mano toda la información del ensayo como el modelo del torno CNC, el material de la herramienta de corte, en ángulo de ataque, aceite de corte, desgaste de la herramienta de corte y estado de la misma, ya que estos son factores claves a tomar en cuenta a la hora de plasmarlo en el desarrollo de cualquier proyecto que tenga que basarse en una data real.

Ampliar el rango de parámetros tecnológicos, ya que tres valores no son suficientes para lograr un mejor desarrollo de modelo matemático neuronal más asertivo a la realidad.

Se recomienda ampliamente utilizar más neuronas en la capa oculta en la red neuronal y funciones de activación distintas a lo logística sigmoidea en la capa de salida, variar en el número de neuronas en la capa oculta en donde se pueden conseguir mejores resultados.

REFERENCIAS

- Arias F. Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 6ta Edición.
- Askeland D.R. (1998). **Ciencia e Ingeniería de los materiales**. Recuperado el 03 de diciembre 2019.
- Bernd, E. (2003). **Introducción a la Metalurgia**. (1° ed.) Universidad de Santiago de Chile. Chile.
- Callister JR, W. (1997). **Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. Recuperado el 04 de diciembre de 2019.
- C.A. Rodríguez. (2003). **Influencia de parámetros de corte y vibraciones en la** . Ingenierías, Vol. 6, No. 18, pp. 62- 68.
- D. Askeland. (1998). **Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. (3° ed.) Universidad de Missouri- Rolla, Editorial International Thomson.
- DeConceptos. (2020). **Definición de Acero**. Recuperado el 15 diciembre 2019. Disponible en: <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/acero>
- FANDOM. (2013). **Redes Neuronales**. Recuperado el 08 de diciembre de 2019. Disponible en: http://es.iii.wikia.com/wiki/REDES_NEURONALES.
- Feng CXJ, Wang X. (2002). **Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning**. Int. J. Adv.Manuf. Technol, 20:348–356.
- Groover M. (2007). **Fundamentos de Manufactura Moderna**. (3° ed.) México D.F, México, McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- J. C. Pereira (2004). **Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta**. Valencia, Carabobo: Facultad de Ingeniería.
- W. Smith y J. Hashemi. (2006). **Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales**. (4° ed.). México D.F, México, McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.

Anexo A. Código de la Red Neuronal.

Fuente: Yrady, Mujica.

```
package rsa;

import java.awt.Image;
import java.awt.Toolkit;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.text.DecimalFormat;
import javax.swing.event.ChangeEvent;
import javax.swing.event.ChangeListener;

/**
 *
 * @author Natd
 */
public class FrmPrincipal extends javax.swing.JFrame {

    public FrmPrincipal() {
        initComponents();
        jcmbTratamientoTermicold.setVisible(false);
        jcmbModeloCnclId.setVisible(false);
        jcmbHerramientaCorteld.setVisible(false);
        jcmbMaterialHerramientald.setVisible(false);
        jcmbGeometriaHerramientald.setVisible(false);
        jcmbAnguloAtaqueld.setVisible(false);
        jcmbInsertoHerramientald.setVisible(false);
        jcmbRadioPuntald.setVisible(false);
    }
}
```

```

jcmbDesgasteHerramientald.setVisible(false);
jcmbRefrigeranteld.setVisible(false);
////////////////////////////////////
float jfltAvance=(float)jsldVelocidadAvance.getValue()/100;
float jfltProfundidad=(float)jsldVelocidadAvance.getValue()/100;
////////////////////////////////////
jsldVelocidadCorte.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
    "Velocidad de Corte (RPM) "+jsldVelocidadCorte.getValue(),
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1,
12),
    new java.awt.Color(51, 102, 255))); // NOI18N
////////////////////////////////////
jsldVelocidadAvance.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
    "Velocidad de Avance (mm/rev) "+jfltAvance,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1,
12),
    new java.awt.Color(0,102,102))); // NOI18N
////////////////////////////////////
jsldProfundidadPasada.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
    "Profundidad de Pasada (mm) "+jfltProfundidad,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1,
12),
    new java.awt.Color(0,153,0))); // NOI18N
////////////////////////////////////
jsldVelocidadCorte.addChangeListener(newChangeListener() {

```

```

@Override
public void stateChanged(ChangeEvent e) {
    jsldVelocidadCorte.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
        "Velocidad de Corte (RPM) "+jsldVelocidadCorte.getValue(),
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
        javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial",
1, 12),
        new java.awt.Color(51, 102, 255))); // NOI18N
    calcular_rugosidad();
}
});
////////////////////////////////////
jsldVelocidadAvance.addChangeListener(new ChangeListener() {
@Override
public void stateChanged(ChangeEvent e) {
    float jfltValor=(float)jsldVelocidadAvance.getValue()/100;
    jsldVelocidadAvance.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
        "Velocidad de Avance (mm/rev) "+jfltValor,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
        javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial",
1, 12),
        new java.awt.Color(0,102,102))); // NOI18N
    calcular_rugosidad();
}
});
////////////////////////////////////
jsldProfundidadPasada.addChangeListener(new ChangeListener() {
@Override

```

```

public void stateChanged(ChangeEvent e) {
    float jfltProfundidad=(float)jsldProfundidadPasada.getValue()/100;

jsldProfundidadPasada.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
    "Profundidad de Pasada (mm) "+jfltProfundidad,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
    javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial",
1, 12),
    new java.awt.Color(0,153,0))); // NOI18N
    calcular_rugosidad();
}
});
////////////////////////////////////

jcmbTratamientoTermicoClick jlstjcmbTratamientoTermico=new
jcmbTratamientoTermicoClick();

jcmbTratamientoTermico.addActionListener(jlstjcmbTratamientoTermico);
////////////////////////////////////

jcmbModeloCncClick jlstjcmbModeloCnc=new jcmbModeloCncClick();
jcmbModeloCnc.addActionListener(jlstjcmbModeloCnc);
////////////////////////////////////

jcmbHerramientaCorteClick jlstjcmbHerramientaCorte=new
jcmbHerramientaCorteClick();

jcmbHerramientaCorte.addActionListener(jlstjcmbHerramientaCorte);
////////////////////////////////////

jcmbMaterialHerramientaClick jlstjcmbMaterialHerramienta=new
jcmbMaterialHerramientaClick();

jcmbMaterialHerramienta.addActionListener(jlstjcmbMaterialHerramienta);
////////////////////////////////////

```

```

        jcmbGeometriaHerramientaClick jlstGeometriaHerramienta=new
jcmbGeometriaHerramientaClick();

        jcmbGeometriaHerramienta.addActionListener(jlstGeometriaHerramienta);
        //////////////////////////////////////

        jcmbAnguloAtaqueClick jlstjcmbAnguloAtaque=new jcmbAnguloAtaqueClick();
        jcmbAnguloAtaque.addActionListener(jlstjcmbAnguloAtaque);
        //////////////////////////////////////

        jcmbInsertoHerramientaClick jlstjcmbInsertoHerramienta=new
jcmbInsertoHerramientaClick();

        jcmbInsertoHerramienta.addActionListener(jlstjcmbInsertoHerramienta);
        //////////////////////////////////////

        jcmbRadioPuntaClick jlstjcmbRadioPunta=new jcmbRadioPuntaClick();
        jcmbRadioPunta.addActionListener(jlstjcmbRadioPunta);
        //////////////////////////////////////

        jcmbDesgasteHerramientaClick jlstjcmbDesgasteHerramienta=new
jcmbDesgasteHerramientaClick();

        jcmbDesgasteHerramienta.addActionListener(jlstjcmbDesgasteHerramienta);
        //////////////////////////////////////

        jcmbRefrigeranteClick jlstjcmbRefrigerante=new jcmbRefrigeranteClick();
        jcmbRefrigerante.addActionListener(jlstjcmbRefrigerante);
        calcular_rugosidad();
    }

    @Override
    public Image getIconImage(){
        Image retValue = Toolkit.getDefaultToolkit().
        getImage(ClassLoader.getResource("icono.jfif"));
        return retValue;
    }

```

```

}
class jcmbTratamientoTermicoClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbTratamientoTermico.getSelectedItemId()!=null){

jcmbTratamientoTermicoId.setSelectedIndex(jcmbTratamientoTermico.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}
////////////////////////////////////
class jcmbModeloCncClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbModeloCnc.getSelectedItemId()!=null){
            jcmbModeloCncId.setSelectedIndex(jcmbModeloCnc.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}
////////////////////////////////////
class jcmbHerramientaCorteClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbHerramientaCorte.getSelectedItemId()!=null){

```

```

jcmbHerramientaCorteld.setSelectedIndex(jcmbHerramientaCorte.getSelectedIndex());
        calcular_rugosidad();
    }
}
}

```

////////////////////////////////////

```

class jcmbMaterialHerramientaClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbMaterialHerramienta.getSelectedItem()!=null){

```

```

jcmbMaterialHerramientald.setSelectedIndex(jcmbMaterialHerramienta.getSelectedIndex()
);

```

```

        calcular_rugosidad();
    }
}
}

```

////////////////////////////////////

```

class jcmbGeometriaHerramientaClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbGeometriaHerramienta.getSelectedItem()!=null){

```

```

jcmbGeometriaHerramientald.setSelectedIndex(jcmbGeometriaHerramienta.getSelectedInd
ex());

```

```

        calcular_rugosidad();
    }
}

```

```

    }
}
////////////////////////////////////
class jcmbAnguloAtaqueClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbAnguloAtaque.getSelectedItem()!=null){
            jcmbAnguloAtaqueId.setSelectedIndex(jcmbAnguloAtaque.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}
////////////////////////////////////
class jcmbInsertoHerramientaClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbInsertoHerramienta.getSelectedItem()!=null){
            jcmbInsertoHerramientaId.setSelectedIndex(jcmbInsertoHerramienta.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}
////////////////////////////////////
class jcmbRadioPuntaClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){

```

```

        if(jcmbRadioPunta.getSelectedItems()!=null){
            jcmbRadioPuntald.setSelectedIndex(jcmbRadioPunta.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}

////////////////////////////////////

class jcmbDesgasteHerramientaClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbDesgasteHerramienta.getSelectedItems()!=null){

jcmbDesgasteHerramientald.setSelectedIndex(jcmbDesgasteHerramienta.getSelectedIndex(
));
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}

////////////////////////////////////

class jcmbRefrigeranteClick implements ActionListener {
    @Override
    public void actionPerformed (ActionEvent e){
        if(jcmbRefrigerante.getSelectedItems()!=null){
            jcmbRefrigeranteld.setSelectedIndex(jcmbRefrigerante.getSelectedIndex());
            calcular_rugosidad();
        }
    }
}

```

```

}

////////////////////////////////////

void calcular_rugosidad(){

    // float: El tipo de dato float es un dato en coma flotante IEEE 754 de 32 bits y precisión
    simple.

    DecimalFormat formatonumero=new DecimalFormat("0.0000000000000000");

    /////// Variables de Entrada

    float jfloVelocidadCorte=(float)jsldVelocidadCorte.getValue();

    float jfloVelocidadAvance=(float)jsldVelocidadAvance.getValue()/100;

    float jfloProfundidadPasada=(float)jsldProfundidadPasada.getValue()/100;

    float
jfloTratamientoTermico=Float.parseFloat(jcmbTratamientoTermicold.getSelectedItemId().toString().trim());

    /////// Variables Capa Oculta

    float
jfloModeloCnc=Float.parseFloat(jcmbModeloCncId.getSelectedItemId().toString().trim());

    float
jfloHerramientaCorte=Float.parseFloat(jcmbHerramientaCorteld.getSelectedItemId().toString().trim());

    float
jfloMaterialHerramienta=Float.parseFloat(jcmbMaterialHerramientald.getSelectedItemId().toString().trim());

    float
jfloGeometriaHerramienta=Float.parseFloat(jcmbGeometriaHerramientald.getSelectedItemId().toString().trim());

    float
jfloAnguloAtaque=Float.parseFloat(jcmbAnguloAtaqueId.getSelectedItemId().toString().trim());
;

    float
jfloInsertoHerramienta=Float.parseFloat(jcmbInsertoHerramientald.getSelectedItemId().toString().trim());

```

```

float
jfloRadioPunta=Float.parseFloat(jcmbRadioPuntald.getSelectedItemId().toString().trim());

float
jfloDesgasteHerramienta=Float.parseFloat(jcmbDesgasteHerramientald.getSelectedItemId().toString().trim());

float
jfloRefrigerante=Float.parseFloat(jcmbRefrigeranteld.getSelectedItemId().toString().trim());

//////// Variables de Entrada

//// Declaro/Inicializo W1, es la matriz de pesos de la capa 1, la cual es una matriz 9x3

//// W1 va con valores Fijos

// -0,9 0,8 0,6
// 0,5 -0,3 0,1
// -0,2 -0,7 -0,5
// 0,1 0,2 0,9
// 0,7 -0,1 0,4
// 0,9 0,5 -0,7
// 0,1 0,3 0,2
// 0,8 -0,4 0,5
// 0,1 0,6 -0,2

////

// En Java
double[][]jmtzW1={{-0.9, 0.8,-0.6},
                  { 0.5,-0.3, 0.1},
                  {-0.2,-0.7,-0.5},
                  { 0.1, 0.2, 0.9},
                  { 0.7,-0.1, 0.4},
                  { 0.9, 0.5,-0.7},
                  { 0.1, 0.3, 0.2},

```

```

        { 0.8,-0.4, 0.5},
        {-0.1, 0.6,-0.2}};

    ///

    /// Declaro/Inicializo la Matriz 9x1 la cual sus elementos van a cambiar de valor al
    multiplicar los valores de

    /// la primera columna de W1 por la variable de Velocida de Corte X1
    (jfloVelocidadCorte Fc RPM), la segunda

    /// columna de W1 por la variable X2 Velocidad de Avance (jfloVelocidadAvance Fn
    mm/rev), la tercera columna de W1

    /// por la la variable X3 Profundidad de pasada (jfloProfundidadPasada Ap mm) y hago
    la sumatorias de las filas

    // -0,9*X1 + 0,8*X2 + -0,6*X3      N1
    // 0,5*X1 + -0,3*X2 + 0,1*X3      N2
    // -0,2*X1 + -0,7*X2 + -0,5*X3    N3
    // 0,1*X1 + 0,2*X2 + 0,9*X3      =====> N4
    // 0,7*X1 + -0,1*X2 + 0,4*X3     =====> N5
    // 0,9*X1 + 0,5*X2 + -0,7*X3     =====> N6
    // 0,1*X1 + 0,3*X2 + 0,2*X3      N7
    // 0,8*X1 + -0,4*X2 + 0,5*X3     N8
    // -0,1*X1 + 0,6*X2 + -0,2*X3    N9

    ///

    // En java

    double[]jmtzW1X={0,0,0,0,0,0,0,0,0};

    // bytF Filas de la matriz W1, la primer ordinal-posicion de una matriz siempre comienza
    en 0

    // bytC Columnas de la matriz W1, la primer ordinal-posicion de una matriz siempre
    comienza en 0

    for(byte bytF=0; bytF<=8; bytF++){ // 9 Filas

```

```

for(byte bytC=0; bytC<=2; bytC++){ // 3 Columnas
    switch(bytF){
        case 0: //Primera Fila
            switch(bytC){
                case 0: //Primera Columna
                    jmtzW1X[0]=jmtzW1X[0]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
                    break;
                case 1: //Segunda Columna
                    jmtzW1X[0]=jmtzW1X[0]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
                    break;
                case 2: //Tercera Columna
                    jmtzW1X[0]=jmtzW1X[0]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
                    break;
            }
            break;
        case 1: //Segunda Fila
            switch(bytC){
                case 0: //Primera Columna
                    jmtzW1X[1]=jmtzW1X[1]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
                    break;
                case 1: //Segunda Columna
                    jmtzW1X[1]=jmtzW1X[1]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
                    break;
                case 2: //Tercera Columna
                    jmtzW1X[1]=jmtzW1X[1]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
                    break;
            }
            break;
    }
}

```

```

    }
    break;
case 2: // Tercera Fila
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[2]=jmtzW1X[2]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[2]=jmtzW1X[2]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[2]=jmtzW1X[2]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }
    break;
case 3: // Cuarta Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[3]=jmtzW1X[3]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[3]=jmtzW1X[3]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[3]=jmtzW1X[3]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }

```

```

    }
    break;
case 4: // Quinta Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[4]=jmtzW1X[4]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[4]=jmtzW1X[4]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[4]=jmtzW1X[4]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }
    break;
case 5: // Sexta Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[5]=jmtzW1X[5]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[5]=jmtzW1X[5]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[5]=jmtzW1X[5]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }

```

```

    }
    break;
case 6: // Septima Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[6]=jmtzW1X[6]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[6]=jmtzW1X[6]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[6]=jmtzW1X[6]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }
    break;
case 7: // Octava Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[7]=jmtzW1X[7]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[7]=jmtzW1X[7]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[7]=jmtzW1X[7]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }

```

```

    }
    break;
case 8: // Novena Columna
    switch(bytC){
        case 0: //Primera Columna
            jmtzW1X[8]=jmtzW1X[8]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadCorte);
            break;
        case 1: //Segunda Columna
            jmtzW1X[8]=jmtzW1X[8]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloVelocidadAvance);
            break;
        case 2: //Tercera Columna
            jmtzW1X[8]=jmtzW1X[8]+(jmtzW1[bytF][bytC]*jfloProfundidadPasada);
            break;
    }
    break;
}
}
}
/// W1x + 1
// N1 +1
// N2 +1
// N3 +1
// N4 +1
// N5 +1
// N6 +1
// N7 +1

```

```

// N8 +1
// N9 +1
///
// En java
for(byte bytF=0; bytF<=8; bytF++){
    jmtzW1X[bytF]=jmtzW1X[bytF]+1;
}
//          1
// Calculo F(t)=-----
//          1+e -

// En java Math.exp() es la funcion de calcular el exponencial de un numero
for(byte bytF=0; bytF<=8; bytF++){
    jmtzW1X[bytF]=1/(1+Math.exp(-1*jmtzW1X[bytF]));
}
//// Declaro/Inicializo W2, es la matriz de pesos , la cual es una matriz 9x1
//// W2 va con valores Fijos aleatorios que van de -0.9 a 0.9
double[]jmtzW2={0.9,-0.8,0.5,-0.3,0.6,0.2,-0.9,0.4,0.1};
//// Obtengo la matriz W2xA de 1x1, que resulta al multiplicar A por W2.
//// En java
//// Delaro/Inicializo W2xA
double[]jmtzW2xA={0};
for(byte bytF=0; bytF<=8; bytF++){
    jmtzW2xA[0]=jmtzW2xA[0]+(jmtzW1X[bytF]*jmtzW2[bytF]);
}
//

```

```

    ///  $(W^2 \times A) + 2 = (W^2 \times A) + 1$ 
    ///  $f(s) = (W^2 \times A) + 2 = (W^2 \times A) + 1$ 
    ///  $B = fs((W^2 \times A) + 2)$ 
    ///
    /// En Java

    double jfloRugosidad=jmtzW2xA[0]+1;

    System.out.println("jfloRugosidad..." +jfloRugosidad);

    lblRugosidad.setText(formatonumero.format(jfloRugosidad));
}
/**
 * This method is called from within the constructor to initialize the form.
 * WARNING: Do NOT modify this code. The content of this method is always
 * regenerated by the Form Editor.
 */
@SuppressWarnings("unchecked")
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
private void initComponents() {

    jPanel1 = new javax.swing.JPanel();
    jPanel2 = new javax.swing.JPanel();
    jLabel1 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel7 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel8 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel9 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel10 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel11 = new javax.swing.JLabel();

```

```
jLabel2 = new javax.swing.JLabel();
jLabel13 = new javax.swing.JLabel();
jLabel14 = new javax.swing.JLabel();
jLabel15 = new javax.swing.JLabel();
jsldVelocidadCorte = new javax.swing.JSlider();
jsldVelocidadAvance = new javax.swing.JSlider();
jsldProfundidadPasada = new javax.swing.JSlider();
jcmbTratamientoTermico = new javax.swing.JComboBox<>();
jPanel3 = new javax.swing.JPanel();
jcmbModeloCnc = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbHerramientaCorte = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbMaterialHerramienta = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbGeometriaHerramienta = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbAnguloAtaque = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbInsertoHerramienta = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbRadioPunta = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbDesgasteHerramienta = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbRefrigerante = new javax.swing.JComboBox<>();
jPanel4 = new javax.swing.JPanel();
jlblRugosidad = new javax.swing.JLabel();
jcmbTratamientoTermicold = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbGeometriaHerramientald = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbModeloCncld = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbHerramientaCorteld = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbMaterialHerramientald = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbAnguloAtaqueld = new javax.swing.JComboBox<>();
```

```

jcmblInsertoHerramientald = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbradioPuntald = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbrDesgasteHerramientald = new javax.swing.JComboBox<>();
jcmbrRefrigeranteld = new javax.swing.JComboBox<>();

setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
setAlwaysOnTop(true);
setIconImage(getIconImage());
setMinimumSize(new java.awt.Dimension(900, 650));
setPreferredSize(new java.awt.Dimension(900, 650));
setResizable(false);
setSize(new java.awt.Dimension(900, 650));
setState(6);
getContentPane().setLayout(null);

jPanel1.setBackground(new java.awt.Color(255, 0, 0));
jPanel1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jPanel1.setOpaque(false);
jPanel1.setLayout(null);

jPanel2.setBackground(new java.awt.Color(0, 51, 255));
jPanel2.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null, "Variables de
Entrada", javax.swing.border.TitledBorder.CENTER,
javax.swing.border.TitledBorder.ABOVE_TOP, new java.awt.Font("Arial Black", 1, 14), new
java.awt.Color(0, 51, 255))); // NOI18N
jPanel2.setToolTipText("Variables de Entrada");
jPanel2.setOpaque(false);

```

```
jPanel2.setLayout(null);
```

```
jLabel1.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
```

```
jLabel1.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel1.setText("0.2");
```

```
jLabel1.setAlignmentY(0.0F);
```

```
jLabel1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
```

```
jLabel1.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel1.setIconTextGap(0);
```

```
jPanel2.add(jLabel1);
```

```
jLabel1.setBounds(20, 180, 35, 20);
```

```
jLabel7.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
```

```
jLabel7.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel7.setText("0.4");
```

```
jLabel7.setAlignmentY(0.0F);
```

```
jLabel7.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
```

```
jLabel7.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel7.setIconTextGap(0);
```

```
jPanel2.add(jLabel7);
```

```
jLabel7.setBounds(120, 180, 35, 20);
```

```
jLabel8.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
```

```
jLabel8.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel8.setText("0.6");
```

```
jLabel8.setAlignmentY(0.0F);
```

```
jLabel8.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel8.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel8.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel8);
jLabel8.setBounds(220, 180, 35, 20);
```

```
jLabel9.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel9.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel9.setText("0.6");
jLabel9.setAlignmentY(0.0F);
jLabel9.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel9.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel9.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel9);
jLabel9.setBounds(220, 270, 35, 20);
```

```
jLabel10.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel10.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel10.setText("0.4");
jLabel10.setAlignmentY(0.0F);
jLabel10.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel10.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel10.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel10);
jLabel10.setBounds(120, 270, 35, 20);
```

```
jLabel11.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel11.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel11.setText("0.2");
jLabel11.setAlignmentY(0.0F);
jLabel11.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel11.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel11.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel11);
jLabel11.setBounds(20, 270, 35, 20);
```

```
jLabel2.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel2.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel2.setText("205");
jLabel2.setAlignmentY(0.0F);
jLabel2.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel2.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel2.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel2);
jLabel2.setBounds(14, 80, 38, 20);
```

```
jLabel13.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel13.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel13.setText("305");
jLabel13.setAlignmentY(0.0F);
jLabel13.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel13.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
```

```
jLabel13.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel13);
jLabel13.setBounds(220, 80, 38, 20);

jLabel14.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel14.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel14.setText("265");
jLabel14.setAlignmentY(0.0F);
jLabel14.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel14.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel14.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel14);
jLabel14.setBounds(95, 80, 38, 20);
jLabel14.getAccessibleContext().setAccessibleName("245");

jLabel15.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 10)); // NOI18N
jLabel15.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel15.setText("285");
jLabel15.setAlignmentY(0.0F);
jLabel15.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(""));
jLabel15.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);
jLabel15.setIconTextGap(0);
jPanel2.add(jLabel15);
jLabel15.setBounds(175, 80, 38, 20);

jsldVelocidadCorte.setBackground(new java.awt.Color(153, 153, 0));
```

```

jsldVelocidadCorte.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
jsldVelocidadCorte.setMajorTickSpacing(40);
jsldVelocidadCorte.setMaximum(305);
jsldVelocidadCorte.setMinimum(205);
jsldVelocidadCorte.setPaintTicks(true);
jsldVelocidadCorte.setSnapToTicks(true);
jsldVelocidadCorte.setToolTipText("Vc (RPM)");

jsldVelocidadCorte.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Velocidad de Corte (RPM)", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(51, 102, 255))); // NOI18N

jPanel2.add(jsldVelocidadCorte);
jsldVelocidadCorte.setBounds(10, 30, 250, 75);

jsldVelocidadAvance.setBackground(new java.awt.Color(153, 153, 0));
jsldVelocidadAvance.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
jsldVelocidadAvance.setMajorTickSpacing(20);
jsldVelocidadAvance.setMaximum(60);
jsldVelocidadAvance.setMinimum(20);
jsldVelocidadAvance.setPaintTicks(true);
jsldVelocidadAvance.setSnapToTicks(true);
jsldVelocidadAvance.setToolTipText("Fn (mm/rev)");
jsldVelocidadAvance.setValue(20);

jsldVelocidadAvance.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Velocidad de Avance (mm/rev)", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(0, 102, 102))); // NOI18N

jPanel2.add(jsldVelocidadAvance);

```

```

jsldVelocidadAvance.setBounds(10, 130, 250, 75);

jsldProfundidadPasada.setBackground(new java.awt.Color(153, 153, 0));
jsldProfundidadPasada.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
jsldProfundidadPasada.setMajorTickSpacing(20);
jsldProfundidadPasada.setMaximum(60);
jsldProfundidadPasada.setMinimum(20);
jsldProfundidadPasada.setPaintTicks(true);
jsldProfundidadPasada.setSnapToTicks(true);
jsldProfundidadPasada.setToolTipText("Ap (mm)");
jsldProfundidadPasada.setValue(20);

jsldProfundidadPasada.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Profundidad de Pasada (mm)", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(0, 153, 0))); // NOI18N

jPanel2.add(jsldProfundidadPasada);

jsldProfundidadPasada.setBounds(10, 220, 250, 75);

jcmbTratamientoTermico.setFont(new java.awt.Font("Arial Black", 0, 12)); // NOI18N
jcmbTratamientoTermico.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "Condicion Inicial (57.25)", "Temple y Revenido (55.51)", "Normalizado (49.2)",
"Recocido (45.73)" }));

jcmbTratamientoTermico.setToolTipText("Tratamiento Termico (CI, T/R, N, R)");

jcmbTratamientoTermico.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Tratamiento Termico", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("sansserif", 1, 12),
new java.awt.Color(0, 102, 102))); // NOI18N

jPanel2.add(jcmbTratamientoTermico);

jcmbTratamientoTermico.setBounds(10, 310, 250, 70);

```

```

jPanel1.add(jPanel2);

jPanel2.setBounds(10, 90, 270, 400);

jPanel3.setBackground(new java.awt.Color(0, 204, 0));

jPanel3.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null, "Variables en la
Capa Oculta", javax.swing.border.TitledBorder.CENTER,
javax.swing.border.TitledBorder.ABOVE_TOP, new java.awt.Font("Arial Black", 1, 14), new
java.awt.Color(0, 153, 0))); // NOI18N

jPanel3.setToolTipText("Variables en la Capa Oculta");

jPanel3.setOpaque(false);

jPanel3.setLayout(null);

jcmbModeloCnc.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N

jcmbModeloCnc.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {
"Modelo CNC 01", "Modelo CNC 02", "Modelo CNC 03" }));

jcmbModeloCnc.setToolTipText("Modelo CNC (T-CNC)");

jcmbModeloCnc.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null, "Modelo
CNC", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N

jPanel3.add(jcmbModeloCnc);

jcmbModeloCnc.setBounds(25, 25, 220, 58);

jcmbHerramientaCorte.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N

jcmbHerramientaCorte.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "Herramienta Corte 01", "Herramienta Corte 02", "Herramienta Corte 03" }));

jcmbHerramientaCorte.setToolTipText("Herramienta Corte (HC)");

```

```
jcmbHerramientaCorte.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Herramienta Corte", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbHerramientaCorte);
```

```
jcmbHerramientaCorte.setBounds(25, 85, 220, 58);
```

```
jcmbMaterialHerramienta.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
```

```
jcmbMaterialHerramienta.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "Material Herram. Corte 01", "Material Herram. Corte 02", "Material Herram.
Corte 03" }));
```

```
jcmbMaterialHerramienta.setToolTipText("Material Herramienta Corte (MHC)");
```

```
jcmbMaterialHerramienta.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Material Herramienta Corte", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbMaterialHerramienta);
```

```
jcmbMaterialHerramienta.setBounds(25, 145, 220, 58);
```

```
jcmbGeometriaHerramienta.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
```

```
jcmbGeometriaHerramienta.setModel(new
javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] { "Geomet. Herram. Corte 01",
"Geomet. Herram. Corte 02", "Geomet. Herram. Corte 03" }));
```

```
jcmbGeometriaHerramienta.setToolTipText("Geometria Herramienta Corte (GHC)");
```

```
jcmbGeometriaHerramienta.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Geometria Herramienta Corte", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbGeometriaHerramienta);
```

```
jcmbGeometriaHerramienta.setBounds(25, 205, 220, 58);
```

```

jcmbAnguloAtaque.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N

jcmbAnguloAtaque.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[]
{ "Angulo Ataque 01", "Angulo Ataque 02", "Angulo Ataque 03" }));

jcmbAnguloAtaque.setToolTipText("Angulo Ataque (AHC)");

jcmbAnguloAtaque.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Angulo Ataque", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N

jPanel3.add(jcmbAnguloAtaque);

jcmbAnguloAtaque.setBounds(25, 265, 220, 58);

jcmbInsertoHerramienta.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N

jcmbInsertoHerramienta.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "Inserto Herram. Corte 01", "Inserto Herram. Corte 02", "Inserto Herram. Corte 03"
}));

jcmbInsertoHerramienta.setToolTipText("Inserto Herramienta Corte (IHC)");

jcmbInsertoHerramienta.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Inserto Herramienta Corte", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new
java.awt.Color(153, 153, 0))); // NOI18N

jPanel3.add(jcmbInsertoHerramienta);

jcmbInsertoHerramienta.setBounds(25, 325, 220, 58);

jcmbRadioPunta.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N

jcmbRadioPunta.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {
"Radio Punta Herram. 01", "Radio Punta Herram. 02", "Radio Punta Herram. 03" }));

jcmbRadioPunta.setToolTipText("Radio Punta Herramienta (RHC)");

jcmbRadioPunta.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null, "Radio
Punta Herramienta", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,

```

```
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new  
java.awt.Color(153, 153, 0)); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbRadioPunta);
```

```
jcmbRadioPunta.setBounds(25, 385, 220, 58);
```

```
jcmbDesgasteHerramienta.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
```

```
jcmbDesgasteHerramienta.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {  
"Desgaste Herramienta 01", "Desgaste Herramienta 02", "Desgaste Herramienta  
03" }));
```

```
jcmbDesgasteHerramienta.setToolTipText("Desgaste Herramienta (DHC)");
```

```
jcmbDesgasteHerramienta.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,  
"Desgaste Herramienta", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,  
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new  
java.awt.Color(153, 153, 0)); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbDesgasteHerramienta);
```

```
jcmbDesgasteHerramienta.setBounds(25, 445, 220, 58);
```

```
jcmbRefrigerante.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 12)); // NOI18N
```

```
jcmbRefrigerante.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {  
"Refrigerante 01", "Refrigerante02", "Refrigerante03" }));
```

```
jcmbRefrigerante.setToolTipText("Refrigerante (RF)");
```

```
jcmbRefrigerante.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,  
"Refrigerante", javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_JUSTIFICATION,  
javax.swing.border.TitledBorder.DEFAULT_POSITION, new java.awt.Font("Arial", 1, 12), new  
java.awt.Color(153, 153, 0)); // NOI18N
```

```
jPanel3.add(jcmbRefrigerante);
```

```
jcmbRefrigerante.setBounds(25, 505, 220, 58);
```

```
jPanel1.add(jPanel3);
```

```

jPanel3.setBounds(325, 10, 280, 575);

jPanel4.setBackground(new java.awt.Color(204, 0, 0));

jPanel4.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null, "Variable de
Salida", javax.swing.border.TitledBorder.CENTER,
javax.swing.border.TitledBorder.ABOVE_TOP, new java.awt.Font("Arial", 1, 14), new
java.awt.Color(255, 0, 0))); // NOI18N

jPanel4.setToolTipText("Variable de Salida");

jPanel4.setOpaque(false);

jPanel4.setLayout(null);

jlblRugosidad.setBackground(new java.awt.Color(255, 0, 0));

jlblRugosidad.setFont(new java.awt.Font("Arial", 1, 18)); // NOI18N

jlblRugosidad.setForeground(new java.awt.Color(0, 51, 204));

jlblRugosidad.setHorizontalAlignment(javax.swing.SwingConstants.CENTER);

jlblRugosidad.setText("5.0569");

jlblRugosidad.setToolTipText("Rugosidad (Ra)");

jlblRugosidad.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createTitledBorder(null,
"Rugosidad", javax.swing.border.TitledBorder.CENTER,
javax.swing.border.TitledBorder.ABOVE_TOP, new java.awt.Font("Arial", 1, 14), new
java.awt.Color(204, 0, 0))); // NOI18N

jlblRugosidad.setHorizontalTextPosition(javax.swing.SwingConstants.CENTER);

jlblRugosidad.setIconTextGap(0);

jPanel4.add(jlblRugosidad);

jlblRugosidad.setBounds(5, 60, 240, 90);

jPanel1.add(jPanel4);

jPanel4.setBounds(605, 170, 250, 200);

```

```
jcmbTratamientoTermicold.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new  
String[] { "57.25", "55.51", "49.2", "45.73" }));
```

```
jPanel1.add(jcmbTratamientoTermicold);
```

```
jcmbTratamientoTermicold.setBounds(120, 490, 70, 26);
```

```
jcmbGeometriaHerramientald.setModel(new  
javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] { "1.300", "1.350", "1.400" }));
```

```
jPanel1.add(jcmbGeometriaHerramientald);
```

```
jcmbGeometriaHerramientald.setBounds(290, 240, 70, 26);
```

```
jcmbModeloCnclId.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {  
"0.850", "0.900", "0.950" }));
```

```
jPanel1.add(jcmbModeloCnclId);
```

```
jcmbModeloCnclId.setBounds(290, 50, 70, 26);
```

```
jcmbHerramientaCorteld.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new  
String[] { "1", "1.050", "1.100" }));
```

```
jPanel1.add(jcmbHerramientaCorteld);
```

```
jcmbHerramientaCorteld.setBounds(290, 110, 70, 26);
```

```
jcmbMaterialHerramientald.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new  
String[] { "1.150", "1.200", "1.250" }));
```

```
jPanel1.add(jcmbMaterialHerramientald);
```

```
jcmbMaterialHerramientald.setBounds(290, 180, 70, 26);
```

```
jcmbAnguloAtaqueId.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new  
String[] { "1.500", "1.550", "1.600" }));
```

```

jPanel1.add(jcmbAnguloAtaqueId);
jcmbAnguloAtaqueId.setBounds(290, 290, 70, 26);

jcmbInsertoHerramientaId.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new
String[] { "1.650", "1.700", "1.750" }));
jPanel1.add(jcmbInsertoHerramientaId);
jcmbInsertoHerramientaId.setBounds(290, 350, 70, 26);

jcmbRadioPuntaId.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] {
"1.800", "1.850", "1.900" }));
jPanel1.add(jcmbRadioPuntaId);
jcmbRadioPuntaId.setBounds(290, 410, 70, 26);

jcmbDesgasteHerramientaId.setModel(new
javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[] { "1.950", "2", "2.050" }));
jPanel1.add(jcmbDesgasteHerramientaId);
jcmbDesgasteHerramientaId.setBounds(290, 480, 70, 26);

jcmbRefrigeranteId.setModel(new javax.swing.DefaultComboBoxModel<>(new String[]
{ "2.100", "2.150", "2.200" }));
jPanel1.add(jcmbRefrigeranteId);
jcmbRefrigeranteId.setBounds(290, 540, 70, 26);

getContentPane().add(jPanel1);
jPanel1.setBounds(10, 10, 860, 590);

pack();
setLocationRelativeTo(null);

```

```

} // </editor-fold>

/**
 * @param args the command line arguments
 */
public static void main(String args[]) {
    /* Set the Nimbus look and feel */
    //<editor-fold defaultstate="collapsed" desc=" Look and feel setting code (optional) ">
    /* If Nimbus (introduced in Java SE 6) is not available, stay with the default look and
    feel.
        * For details see
        http://download.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/lookandfeel/plaf.html
        */
    try {
        for (javax.swing.UIManager.LookAndFeelInfo info :
        javax.swing.UIManager.getInstalledLookAndFeels()) {
            if ("Nimbus".equals(info.getName())) {
                javax.swing.UIManager.setLookAndFeel(info.getClassName());
                break;
            }
        }
    } catch (ClassNotFoundException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(FrmPrincipal.class.getName()).log(java.util.logging.Level.S
        EVERE, null, ex);

    } catch (InstantiationException ex) {

        java.util.logging.Logger.getLogger(FrmPrincipal.class.getName()).log(java.util.logging.Level.S
        EVERE, null, ex);
    }
}

```

```

    } catch (IllegalAccessException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(FrmPrincipal.class.getName()).log(java.util.logging.Level.S
EVERE, null, ex);

    } catch (javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException ex) {

java.util.logging.Logger.getLogger(FrmPrincipal.class.getName()).log(java.util.logging.Level.S
EVERE, null, ex);

    }
//</editor-fold>

/* Create and display the form */
java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
    public void run() {
        new FrmPrincipal().setVisible(true);
    }
});
}

// Variables declaration - do not modify
private javax.swing.JLabel jLabel1;
private javax.swing.JLabel jLabel10;
private javax.swing.JLabel jLabel11;
private javax.swing.JLabel jLabel13;
private javax.swing.JLabel jLabel14;
private javax.swing.JLabel jLabel15;
private javax.swing.JLabel jLabel2;
private javax.swing.JLabel jLabel7;

```

```
private javax.swing.JLabel jLabel8;
private javax.swing.JLabel jLabel9;
private javax.swing.JPanel jPanel1;
private javax.swing.JPanel jPanel2;
private javax.swing.JPanel jPanel3;
private javax.swing.JPanel jPanel4;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbAnguloAtaque;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbAnguloAtaqueId;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbDesgasteHerramienta;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbDesgasteHerramientaId;
private javax.swing.JComboBox<String> jcmbGeometriaHerramienta;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbGeometriaHerramientaId;
private javax.swing.JComboBox<String> jcmbHerramientaCorte;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbHerramientaCorteId;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbInsertoHerramienta;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbInsertoHerramientaId;
private javax.swing.JComboBox<String> jcmbMaterialHerramienta;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbMaterialHerramientaId;
private javax.swing.JComboBox<String> jcmbModeloCnc;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbModeloCncId;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbRadioPunta;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbRadioPuntaId;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbRefrigerante;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbRefrigeranteId;
private javax.swing.JComboBox<String> jcmbTratamientoTermico;
private static javax.swing.JComboBox<String> jcmbTratamientoTermicoId;
```

```
private static javax.swing.JLabel jlblRugosidad;  
private javax.swing.JSlider jsldProfundidadPasada;  
private javax.swing.JSlider jsldVelocidadAvance;  
private javax.swing.JSlider jsldVelocidadCorte;  
// End of variables declaration  
}
```

Anexo B. Datos obtenidos de forma experimental.

Fuente. Andrés M. y Leonard M.

Datos Experimentales para el entrenamiento de la red neuronal artificial en donde tenemos los siguientes:

En condición inicial en el acero AISI 1045 (sin tratamiento térmico) tenemos los siguientes datos con velocidades distintas y profundidades diferentes con los que se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 24. Condición Inicial del Acero AISI 1045

CONDICION INICIAL DEL ACERO AISI 1045				
Vc (RPM)	Fn (mm/rev)	Ap (mm)		
		0,2	0,4	0,6
		Ra (µm)		
225	0,2	6,85	6,25	5,92
	0,4	12,40	10,52	7,18
	0,6	11,24	10,04	12,19
265	0,2	4,68	4,81	4,50
	0,4	8,34	5,24	6,48
	0,6	10,78	8,87	8,72
305	0,2	4,69	4,62	4,59
	0,4	7,72	8,78	8,4
	0,6	13,12	9,83	13,96

En la siguiente tabla podemos visualizar datos de rugosidad Ra del acero AISI 1045 tratado térmicamente con temple y revenido:

Tabla 25. Acero AISI 1045 Templado/Revenido

ACERO AISI 1045 TEMPLADO/REVENIDO				
Vc (RPM)	Fn (mm/rev)	Ap (mm)		
		0,2	0,4	0,6
		Ra (µm)		
225	0,2	11,50	10,69	9,34
	0,4	11,20	7,04	5,73
	0,6	14,58	13,09	10,93

265	0,2	4,63	3,66	4,82
	0,4	8,95	5,78	6,69
	0,6	12,31	12,54	12,39
305	0,2	4,04	4,76	4,18
	0,4	9,34	7,56	6,41
	0,6	11,50	11,61	9,39

En esta tabla podemos observar los datos experimentales obtenidos en la medición de la rugosidad de un acero AISI 1045 que recibió un tratamiento térmico de normalizado:

Tabla 26. Acero AISI 1045 Normalizado

ACERO AISI 1045 NORMALIZADO				
Vc (RPM)	Fn (mm/rev)	Ap (mm)		
		0,2	0,4	0,6
Ra (µm)				
225	0,2	7,36	7,31	5,54
	0,4	10,14	6,16	4,91
	0,6	13,51	11,13	14,03
265	0,2	2,72	3,26	5,53
	0,4	9,42	6,47	4,68
	0,6	12,30	9,96	8,35
305	0,2	6,30	5,61	3,52
	0,4	7,91	7,95	6,34
	0,6	12,36	9,65	11,04

Y por último tenemos los datos de rugosidad de un acero AISI 1045 tras recibir un tratamiento térmico de recocido:

Tabla 27. Acero AISI 1045 Recocido

ACERO AISI 1045 RECOCIDO				
Vc (RPM)	Fn (mm/rev)	Ap (mm)		
		0,2	0,4	0,6
Ra (µm)				
225	0,2	10,82	5,76	5,98
	0,4	11,43	7,58	6,93

	0,6	16,34	9,47	13,61
265	0,2	7,53	4,64	4,33
	0,4	12,98	8,09	7,09
	0,6	11,27	13,03	15,80
305	0,2	7,22	4,79	5,48
	0,4	9,04	8,32	6,62
	0,6	10,55	11,90	8,87

Anexo C. Interfaz gráfica de Usuario.

Fuente. Yrady, Mujica

RNA Predicción de la Rugosidad (Ra) del Acero AISI 1045

Variables de Entrada

- Velocidad de Corte (RPM) 225: Slider set to 225 (range 225-305)
- Velocidad de Avance (mm/rev) 0.2: Slider set to 0.2 (range 0.2-0.6)
- Pretundidad de Pasada (mm) 0.2: Slider set to 0.2 (range 0.2-0.6)
- Tratamiento Térmico: Condicion Inicial

Variables Fijas

- Tipo de Torno: TORNO CNC
- Herramienta de Corte: ISCAR MWLIRL-W
- Material de la Herramienta: METAL DURO
- Geometría Herramienta Corte: DISEÑO BRIDA CUNA
- Angulo Ataque: 95 °
- Inserto Herramienta Corte: ISCAR WIIMG 000416-GH
- Radio Punta Herramienta: 1.50 mm
- Estado Herramienta: NUEVA - SIN DESGASTE
- Refrigerante: TALADRIÑA

Variable de Salida

- Valor de Salida: **B = 6,473**
- Valor Obtenido Experimentalmente: **Bd = 6,850**
- Error: **$\delta B = -0,007$**
- ECM: **ECM = 0,0000432357**