



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PAEZ**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES  
ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DEL  
ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO  
MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO  
COMPUTARIZADO.**

**Autor:**

Reina M. Gómez F.  
CI. 22407580

Urb. Yuma II, Calle N. ° 3, Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



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

**DESARROLLO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES  
ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DEL  
ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO  
MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO  
COMPUTARIZADO.**

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

**Autor:**

Reina M. Gómez F.

C.I 22.407.580

**Tutor:** Ing. Donato Romanello

San Diego, junio 2020



**FI-M-004-2020-2CR (TG)**

Valencia, 09 de octubre de 2020

Ciudadana:  
Gómez F., Reina Michelle N.  
22.407.580  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2020 de fecha 27-07-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DESARROLLO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DE ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO*** 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 la asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

**Dra. Zaida Ostro**  
**Decana ( E) de la Facultad de Ingeniería**



**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, hace constar que ha leído el proyecto de trabajo de grado, presentado por la ciudadana Reina M. Gómez F. titular de la cédula de identidad N° 22.407.580, titulado **DESARROLLO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DEL ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico y acepta la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.  
En San Diego, mes de junio del año dos mil veinte.

**DONATO ROMANELLO L.**

---

**Ing. Donato Romanello**  
**C.I.: 4.131.877**



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

San Diego, Junio de 2020

**DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: titulado **DESARROLLO ACTA DE UN MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DEL ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**, ha sido revisado y cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Donato Romanello

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Tutor Académico**

Firma

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella

\_\_\_\_\_

16-6-20

**Tutor Metodológico**

Firma

Fecha

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradeciendo primeramente a mi fuente de energía universal, a Dios, por mantenerme sana, darme siempre la sabiduría y fortaleza para seguir adelante con firmeza a pesar de cualquier adversidad y por mantenerme rodeada de seres de luz como lo son mi hermano y mis padres.

Siento un fuerte agradecimiento hacia mis padres *Eleida y Samuel* por brindarme la oportunidad de estudiar, por confiar en mí, por darme todo el apoyo necesario para culminar esta etapa tan importante, gracias por todo el amor incondicional que me tienen.

A mi novio *José*, por siempre tener palabras de aliento y creer que siempre puedo con todo, por colocar su granito de arena en el área de metodología para culminar esta investigación.

A mi tutor y director de escuela *Ing. Donato Romanello*, por su paciencia, por guiarme en cada paso para la realización de esta investigación, gracias por confiar en mi como estudiante.

A mis compañeros de estudios que muchos se han convertido en grandes amigos, los cuales, con sus risas, y cariño siempre hicieron el camino universitario mucho más ameno.

**¡MUCHÍSIMAS GRACIAS A TODOS POR CREER EN MI!**

*Reina Gómez*

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN INFORMATIVO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>

## CÁPITULOS

### I EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo General .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Alcance.....	6
1.6. Limitaciones .....	6

### II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación .....	7
2.2 Bases Teóricas .....	9
2.2.1 Redes Neuronales Artificiales.....	9
2.2.2 Definición de redes neuronales artificiales.....	10
2.2.3 Características de las Redes Neuronales Artificiales .....	13

2.2.4 Ventajas de las Redes Neuronales Artificiales.....	14
2.2.5 Tipos de neuronas artificiales .....	14
2.2.6 Elementos que componen una red neuronal.....	15
2.2.7 Estructura de un sistema de redes neuronales .....	16
2.2.8. Formas funcionales .....	20
2.2.9 Tipo de redes neuronales elementales .....	25
2.2.10 Formas de aprendizaje .....	28
2.2.11 Aspectos fundamentales del acero.....	30
2.2.12 Fundamentos generales del proceso de mecanizado.....	34
2.2.13 Proceso de torneado.....	35
2.2.14 Acabado superficial.....	48
2.3 Definición de términos básicos.....	54

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo de investigación .....	56
3.2 Nivel de investigación.....	56
3.3 Diseño de investigación .....	56
3.4 Población y Muestra.....	57
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.6 Fases de la investigación.....	57

### **IV ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1 Analizar los criterios de fallas que pueden estar involucrados en el torneado .....	59
4.2 Diseñar las estructuras neuronales para modelar cada variable del proceso .....	63
4.3 Generar las relaciones necesarias implementando las redes neuronales artificiales para la predicción de la falla .....	67
4.3.1 Recopilación de datos.....	67
4.3.2 Preparación de los datos .....	70
4.3.3 Normalización de datos .....	72
4.3.4 Datos entrenados .....	75
4.4 Establecer comparación entre datos ya existentes y el valor obtenido mediante el uso de la herramienta de redes neuronales artificiales. ....	76
4.4.1 Resultados de la rugosidad del acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado con el inserto DCMT 11T304 04 UF .....	76
4.4.2 Resultados de la rugosidad del acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado con el inserto DCMT 11T304 08 UF .....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
1. Neurona Biológica.....	12
2. Esquema de neurona artificial. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3. Ejemplo de capas interconectadas de una red neuronal. ....	15
4. Estructura de un sistema de redes neuronales. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5. Red monocapas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6. Red Neuronal Multicapa. ....	17
7. Estructura típica de una red neuronal artificial Feedforward. ....	18
8. Redes neuronales recurrentes. ....	19
9. Neurona estándar. ....	21
10. Funciones lineal y mixta. ....	21
11. Función escalón. ....	22
12. Función Sigmoidea. ....	23
13. Función Hiperbólica. ....	23
14. Neurona con dos entradas y una salida. ....	24
15. Red Adaline y MAdeline.....	26
16. Perceptron básico.....	27
17. Perceptron Multicapa. ....	28
18. Esquema de alto horno. ....	31
19. Esquema de horno eléctrico.....	32
20. Composición química del acero SAE 1020. ....	33
21. Tratamientos térmicos aplicado en el acero SAE 1020.....	33
22. Propiedades mecánicas laminado en caliente. ....	34
23. Propiedades físicas del acero al carbono.....	34
24. Operaciones de cortes. ....	37
25. Ángulos de una herramienta de corte para torno. ....	39
26. Características del inserto .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
27. Parámetros de corte en el torneado .....	41
28. Parámetros de corte para diferentes tipos de herramientas.....	42
29. Avances recomendados con herramientas de acero rápido.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
30. Presión específica de corte $K_s(Kg (mm)^2)$	

<b>38. Rugosidad promedio en procesos de mecanizado .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>39. Unidad procesadora Básica del Perceptron .....</b>	<b>63</b>
<b>40. Entrenamiento de una neurona .....</b>	<b>65</b>
<b>41. Arquitectura de la red neuronal propuesta .</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>42. Representación gráfica de los valores reales y los obtenidos por RNA, utilizando inserto DCMT 11T304 04 UF .....</b>	<b>77</b>
<b>43. Representación gráfica de los valores reales y los obtenidos por RNA utilizando inserto DCMT 11T304 08 UF .....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADROS</b>	<b>Pág.</b>
1. Parámetros de corte empleados en el mecanizado del Acero SAE 1020.....	60
2. Variables a la entrada y salida de la red propuesta.....	66
3. Características y tipo de portainserto.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
1. Rugosidad Superficial utilizando el inserto DCMT 11T304 08 UF.....	69
2. Rugosidad Superficial utilizando el inserto DCMT 11T304 04 UF.....	69
3. Datos de entrada de la red neuronal.....	70
4. Datos de salida de la red neuronal.....	71
5. Valores de entrada de la red normalizados.....	73
6. Valores de la salida de la red normalizados.....	74
7. Valores entrenados con el inserto DCMT 11T304 04 UF.....	75
8. Valores entrenados con el inserto DCMT 11T304 08.....	76



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

**DESARROLLO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES  
ARTIFICIALES QUE PERMITAN PREDECIR LAS FALLAS DEL  
ACERO SAE 1020 SOMETIDO A UN PROCESO DE MECANIZADO  
MEDIANTE UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO  
COMPUTARIZADO.**

**Autor:** Gómez Reina

**Tutor:** Ing. Donato Romanello

**Fecha:** junio 2020

**RESUMEN INFORMATIVO**

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo general desarrollar un modelo de redes neuronales artificiales que permita predecir la falla del acero SAE1020 sometido a un proceso de torneado mediante un torno de

(CNC) Bajo el manejo de datos experimentales previamente adquiridos sobre la maquinabilidad de dicho acero. Esta investigación está limitada únicamente al proceso de torneado, este estudio se basará en datos experimentales previamente adquiridos, el cual consta del estudio de maquinabilidad del acero en un torno CNC. En cuanto a la parte metodológica, la investigación es tipo documental basada en un nivel tipo descriptiva.

**Descriptor:** Acero, Redes Neuronales Artificiales, Torneado, Maquinabilidad, Controles Numéricos Computarizados.

## INTRODUCCIÓN

El acero ha jugado un papel relevante en el desarrollo tecnológico de la humanidad, desde los hititas que aprendieron a fundir el hierro para fabricar armas más duras y resistentes, hasta la modernidad donde se utiliza de manera amplia en la ingeniería, para el diseño de piezas o elementos mecánicos esenciales en cualquier máquina. La mayoría de esas piezas mecánicas deben ser sometidas a un proceso de mecanizado, como lo es el proceso de torneado. Uno de los tipos de aceros más utilizados para el mencionado proceso es el acero SAE1020, debido a sus grandes propiedades tanto mecánicas, físicas y su composición química.

Los estándares de hoy en día exigen que los procesos de torneados sean cada vez más precisos y de mayor calidad en el acabado. Esto ha llevado a la incursión de nuevas tecnologías en los últimos años, tal como lo es el control numérico computarizado(CNC) y diferentes dispositivos para determinar la calidad superficial del mismo, debido a que por tal razón pueden ocurrir fallas ocasionando la fractura de la pieza de trabajo. Se puede decir actualmente existen diferentes experimentos o base de datos que permiten conocer las propiedades y acabado superficial del material luego de ser sometido al proceso, por lo que se puede extraer información y relacionarlas para así modelar una Red Neuronal Artificial(RNA).

Por consecuente se tiene como propósito en esta investigación predecir la falla del acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado CNC implementando la herramienta computacional conocida como Redes Neuronales Artificiales (RNA). Así mismo es importante mencionar que, la presente investigación está estructurada siguiendo los pasos metodológicos pertinentes y necesario para llevar a cabo y culminar de manera exitosa los objetivos que se plantean, el cual consta de (4) capítulos: El capítulo I, comprende el planteamiento de problema, el objetivo general, los objetivos específicos, justificación y alcance de esta investigación.

El capítulo II, abarca marco teórico, conformado por antecedentes de la investigación bases teóricas y sistema de variables del estudio. El capítulo II comprende marco metodológico donde se muestra detalladamente las actividades efectuadas en esta investigación para alcanzar los objetivos propuestos. El capítulo IV se nombran los recursos humanos utilizados, como también los recursos institucionales y materiales necesarios para el desarrollo.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

El advenimiento de la producción de acero comercial a fines del siglo XIX fue el resultado de la creación de una manera eficiente de reducir el contenido de carbono en el hierro fundido. Al reducir la cantidad de carbono en el hierro a aproximadamente el 2%, se produce la aleación más dura y más maleable. Con el fin de estandarizar la composición de los diferentes tipos de aceros que predominan en el mercado la han establecido métodos para identificarlos, entre las clasificaciones se encuentran los aceros al carbono. Entre ellos está el acero el cual esta normalizado como un acero en bajo porcentaje de carbono.

Este acero es utilizado en la actualidad para la fabricación de elementos de máquinas en general, esto debido a su bajo contenido de carbono, lo cual proporciona buena ductilidad, maleabilidad, y tenacidad al material, además presenta bajas propiedades de templeabilidad y de tracción, lo cual lo lleva a ser un material bastante importante en la ingeniería. Debido a sus propiedades anteriormente mencionadas le permite tener un intervalo amplio de maquinabilidad, esto, no es más que la capacidad que tiene un material para ser sometido de manera exitosa a un proceso de mecanizado por arranque de viruta.

El mecanizado es un proceso de manufactura en el cual se utiliza una herramienta de corte para remover material de una pieza de trabajo, con la finalidad de lograr una geometría deseada. Es importante mencionar que el mecanizado, no es solamente un proceso sino una familia de procesos, entre ellos se encuentra el torneado. El cual es una operación en la que una herramienta de punta sencilla remueve material de una superficie de trabajo cilíndrica en rotación. Este proceso se lleva a cabo en una máquina herramienta llamada torno, en la misma se suministra la potencia necesaria

para torneear la pieza a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta y profundidad de corte especificada.

Los tornos se han automatizado progresivamente con los años, los controles manuales de las máquinas se han reemplazado con diversos mecanismos que permiten que las operaciones de maquinado sigan cierta secuencia prescrita. En la actualidad se cuenta con tornos con (CNC). Se toma la terminología de control numérico debido a que la máquina CNC recibe órdenes mediante una codificación alfanumérica estandarizada para ejecutar una gran variedad de movimientos tridimensionales, llevándolo a tener la capacidad de realizar trabajos con mayor precisión.

Por lo general cuando se somete un material a este tipo de procesos y herramientas pueden ocurrir fallas en el mismo, bien sea por un mal diseño, procedimientos defectuosos como puede ser en el mecanizado, tratamiento térmico o errores cometidos en el proceso de manufactura, teniendo como consecuencia la fractura del material y a su vez, esto puede traer consigo en términos económicos, pérdidas y altos costos de producción o inclusive pérdidas humanas, por esta razón se plantea la necesidad de desarrollar un modelo por medio de redes neuronales artificiales que permita predecir la falla del acero sometido a un proceso de mecanizado mediante un torno de control numérico computarizado.

## **1.2. Formulación del problema**

Una vez definida la problemática se plantea la siguiente interrogante.

¿Cómo predecir las fallas del acero sometido a un proceso de mecanizado mediante un torno de control numérico computarizado?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un modelo de redes neuronales artificiales que permita predecir las fallas del acero sometido a un proceso de torneado con CNC.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Analizar los criterios de fallas que pueden estar involucrados en el proceso de torneado.

2. Diseñar las estructuras neuronales para modelar cada variable del proceso.
3. Generar las relaciones necesarias implementando las redes neuronales artificiales para la predicción de la falla.
4. Establecer comparación entre datos ya existentes y el valor obtenido mediante el uso de la herramienta de redes neuronales artificiales.

#### **1.4. Justificación**

En la mayoría de los componentes o piezas mecánicas diseñadas, puede llegar a existir una probabilidad de falla, es por tal motivo, que en el área de ingeniería se han desarrollado amplios estudios de los tipos de fallas que se pueden producir y las causas que originan las mismas. Las fallas de un material están directamente asociadas con la fractura de un elemento o pieza, por eso es de gran importancia predecir cualquier tipo de falla y así poder evitar o minimizar cualquier tipo de fractura. Al fracturarse cualquier pieza o componente mecánico, que por lo general componen un sistema grande de cualquier maquina o estructura, puede ocurrir un accidente de gran magnitud, teniendo como consecuencias pérdidas de producción, alteraciones de costos o pérdidas vitales.

Por consecuente es necesario realizar diferentes tipos de estudio al material con el que se desea diseñar una pieza mecánica, someterlo a diferentes esfuerzos para así considerar que el mismo sea óptimo, y, unos de los materiales más utilizados en la industria para la realización de piezas es el acero SAE1020 Dicho acero se puede someter a procesos de mecanizado como lo es el torneado, debido a las altas velocidades y potencias con las que se trabaja en el proceso, sería de gran utilidad implementar alguna herramienta computarizada que permita la predicción de la falla del material.

De esta manera se puede decir que, la importancia de la elaboración de esta investigación consiste en utilizar la herramienta de redes neuronales

artificiales para así predecir la falla del acero sometido a un proceso de torneado mediante un torno CNC, por medio de los conocimientos previos experimentales y teóricos, con la convicción de que dicha herramienta pueda dar resultados bastantes precisos, asemejándose de manera directa a los obtenidos de forma convencional.

### **1.5. Alcance**

La investigación se sustentará en el uso de la herramienta de redes neuronales artificiales para predecir la falla del acero, tomando acciones metódicas anteriormente declaradas como parte de los objetivos a cumplir.

### **1.6. Limitaciones**

Esta investigación se llevará a cabo mediante el uso de herramientas como lo son las redes neuronales, para así predecir la falla del acero limitado únicamente al proceso de torneado, este estudio se basará en datos experimentales previamente adquiridos el cual consta del estudio de maquinabilidad del acero en un torno CNC.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Luego de plantearse el problema y el objetivo tanto general como los específicos los cuales determinan los fines de investigación. A continuación, se presentan los antecedentes y las bases teóricas que no son más que una serie de elementos que se encuentran relacionados con la investigación en curso, con la finalidad de respaldar la misma, tomando en cuenta el sistema de variables ya señaladas como lo es el análisis de fallas del acero sometido a un proceso de torneado con control numérico computarizado y la implementación de las redes neuronales artificiales.

Destacando entre ellas en primera instancia un estudio llevado a cabo en la Universidad autónoma Nuevo León, México por el Ing. Bernardo González O. (2004), para obtener el grado de maestro en ciencias de la Ingeniería de Manufactura con especialidad en Automatización, titulado **“Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de maquinado de Control Numérico Computarizado”** donde el autor obtiene variables óptimas que afectan la maquinabilidad en piezas de aleaciones metálicas comerciales con el propósito de obtener los valores mejorados de maquinado, en base a parámetros intrínsecos del material y asociados a la geometría del corte desarrollados en el centro de maquinado implementando el conocimiento adquirido en cuanto a lo que se refiere a la utilización de equipos de manufactura, complementado con el conocimiento desarrollado con los equipos de Control Numérico Computarizado, mostrando así en su investigación la definición de conceptos sobre el CNC.

Otro estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira, donde Ospina, R; Parra, H & Aguirre, H. (2007), en su artículo titulado **“Diseño de una Red Neuronal Artificial para asistir la automatización en un taller de mecanizado”**

proponen un modelo alternativo que consiste en la utilización de redes neuronales que sirvan como modelos de procesamiento, de control y que ayuden en la toma de decisiones respecto de nuevas piezas a mecanizar que lleguen a un taller, mostrando así información específica de cómo diseñar una red neuronal y la codificación de las piezas dentro de la red. En el diseño de la red neuronal para este trabajo, se empezó por determinar cuál era la más adecuada para la toma de decisiones en los procesos de mecanizado por arranque de viruta.

Del mismo modo se puede tener en cuenta la investigación realizada en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú por Vásquez H. (2017), para optar por el título de Ingeniero Mecánico titulada **“Diseño de un sistema para medir la fuerza de corte en el acero SAE 1020 utilizando galgas extensométricas”** donde presenta el estudio de un diseño de un sistema muy simple para la medición de la fuerza de corte en el acero SAE 1020. Los ensayos se realizaron en un torno con un dinamómetro especialmente acondicionado para este fin, encima de este dispositivo se posiciono una herramienta de corte de tal manera que esta pueda transmitir su fuerza al dispositivo utilizado.

Para llevar a cabo esta investigación el autor se planteó varios objetivos, como utilizar una galga extensométricas para medir la fuerza de corte sobre la cuchilla, determinar la variación de los voltajes, amplificarlos y enlazarlos con un dispositivo de salida para su lectura, estableciendo así enlaces entre el amplificador y la lectura a través de un computador, calibrando la señal de salida y de esta manera determinar la fuerza de corte.

Por último, se puede tomar bajo consideración el estudio realizado en la Universidad de Carabobo, por el Ing. Sthory E. (2019), presentado para optar el grado de Magíster en matemática y computación, titulado **“Sistema de Redes Neuronales para la evaluación de programas de Postgrados”** donde la investigación se basa en la utilización de la tecnología de las Redes Neuronales Artificiales, para diseñar un sistema de aprendizaje que procese encuestas de satisfacción hechas a los estudiantes

de postgrado. El sistema se encarga de procesar la información suministrada y es capaz de aprender cuales son las calificaciones adecuadas para cada tipo de encuesta, de esta manera puede realizar pronósticos una vez finalizada la fase de aprendizaje, mostrando así información bastante detallada con lo que se refiere a la implementación de la herramienta de RNA.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Redes Neuronales Artificiales**

Las Redes Neuronales Artificiales son una amplia herramienta para resolver problemas, bien sea de manera individual o combinada con otros métodos, puede ser utilizada para tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción, es por ello que se ha convertido en una opción viable para la ingeniería.

Si nos basamos en la evolución histórica que enmarca a las Redes Neuronales Artificiales, en primera estancia se puede mencionar que en el año 1936, Alan Turing fue el primero en estudiar el cerebro desde el punto de vista computacional, pero si bien es importante mencionar que los primeros trabajos pioneros que ayudaron a la construcción de modelaciones matemáticas que logran imitar el comportamiento de las neuronas biológicas son debidamente atribuidas a Warren McCulloch y Walter Pitts (neurofisiólogo y matemático, respectivamente), los cuales presentaron en el año 1943 uno de los primeros modelos abstractos de una neurona artificial.

Pocos años más tardes, Hebb en el año 1949 propuso una ley explicativa del aprendizaje neuronal, la cual llevaba su nombre, “regla de Hebb”, la cual se convirtió en la antecesora de las modernas técnicas de entrenamiento de Redes neuronales Artificiales para ese entonces. A partir de estas aportaciones iniciales previamente mencionadas, en la década de los años 50 y 60 surgieron nuevos desarrollos, donde se destacan los trabajos de Minsky (1954) y Rosenblatt (1958), quien desarrollo la red conocida como Perceptrón o Perceptrón Simple.

Casi al mismo tiempo, Windrow y Hoff (1960) desarrollaron una importante variación del algoritmo de aprendizaje del Perceptrón, denominada “ley de Windrow- Hoff” la cual dio lugar al modelo Adaline (Adaptive Linear Elements), que constituyó a la primera RNA aplicada a un problema real, la cual es la eliminación de ecos de las líneas telefónicas a través de filtros adaptativos, y que ha continuado utilizándose durante años.

A pesar de los brillantes inicios de las investigaciones neuronales, la misma decae de manera muy notoria tras una publicación en el año 1969 del libro de  por parte de Marvin Minsky y Seymour Papert del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), donde estos autores demuestran importantes limitaciones teóricas en el aprendizaje de los modelos neuronales artificiales desarrollados hasta entonces. Pero, no obstante, otros autores continuaron investigando en el campo de las RNA, destacándose particularmente el Asociador Lineal desarrollado por James Anderson en el 1977.

Durante la década de los 80 se desarrollaron diversas redes autoasociativas, especializadas en la detección de clusters de ejemplos, así durante años se presentaron diversos estudios donde la consecuencia de dichos esfuerzos, las RNA han experimentado importantes desarrollos en los últimos años, hasta el punto que el paradigma conexionista ha llegado a superar a las aplicaciones basadas en modelos simbólicos. En los últimos años, ciertas investigaciones se centran en conseguir sinergias entre la capacidad de procesamiento y aproximación de las RNA, que pueden llegar a dar soluciones sorprendentes con rapidez y poca información de partida, y el potencial explicativo de los sistemas basados en el conocimiento, como demuestran los trabajos de Hrycej (1992), McNelis (1997) entre otros.

### **2.2.2 Definición de redes neuronales artificiales.**

Se podría iniciar con la definición de una Red Neuronal planteada por WayBacjk Machine (2016) citado por Rivas W. & Mazón O. (2018): “Las redes

neuronales son sistemas ideados como abstracciones de las estructuras neurobiológicas (cerebros) encontradas en la naturaleza y tienen la característica de ser sistemas desordenados capaces de guardar información” (p.12)

Por otra parte, también se puede definir una red neuronal como Aleksabder y Morton (1990) citado por Rivas W. & Mazón O. (2018):

Una red neuronal es un procesador distribuido masivamente paralelo que tiene una propensión natural para almacenar el conocimiento a partir de su experiencia y hacerlo disponible para su uso. Se parece al cerebro en dos sentidos: El conocimiento es adquirido por la red mediante un proceso de aprendizaje. La fuerza de las conexiones entre neuronas conocidas como pesos sinápticos se utilizan para almacenar el conocimiento.

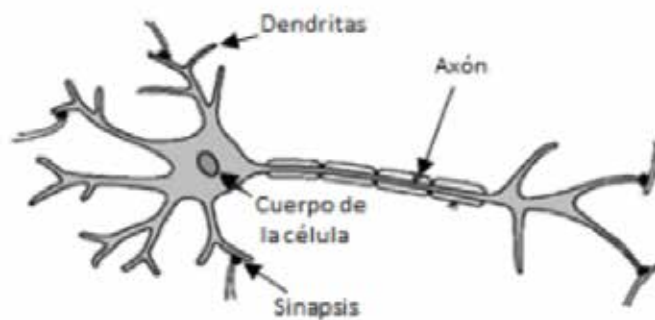
Existen numerosas maneras de definir a las redes neuronales; desde definiciones cortas y muy genéricas hasta las que intentan explicar más detalladamente las mismas. Por lo tanto, una red neuronal puede verse como una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos, específicamente en una neurona biológica. Dentro de este orden de ideas también se pudiera considerar que las redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples, usualmente adaptativos y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico.

Dicho de otro modo, es un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos simples, de procesos muy interconectados, los cuales procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas.

Sin duda alguna una red neuronal artificial está basada en la similitud del funcionamiento de un cerebro humano el cual posee una capa de tejido neuronal plegado. El cerebro es un procesador de información más eficiente que un computador, existen tareas cotidianas para el cerebro que sería impensable realizar mediante computación tradicional. Una neurona típica se constituye como parte fundamental del

sistema nervioso, cada neurona es una unidad procesadora que es capaz de recibir y enviar señales a otras unidades, y así mismo, si su sistema de entradas es fuerte, se activa una salida específica.

Una neurona biológica la conforma el axón que es la salida de la neurona, esta misma se conecta con las dendritas o entradas por medio de la sinapsis, la cual a su vez puede cambiar durante su proceso de aprendizaje, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Neurona Biológica.

*Fuente:*

En consiguiente una neurona artificial es un nodo que tiene una o más entradas y solo posee una salida. En la Figura 2, se tiene un esquema de neurona artificial donde la neurona de interés es la  $Y_j$ . Las  $n$  neuronas  $X_i$  están enviando señales de entradas, los cuales son valores numéricos establecidos. Los  $W_{ji}$  representan los pesos sinápticos en las dendritas de  $Y_j$ . Observándose así la notación: en el primer índice se denota la neurona hacia donde se dirige la información, luego el segundo índice denota de que neurona procede la información.

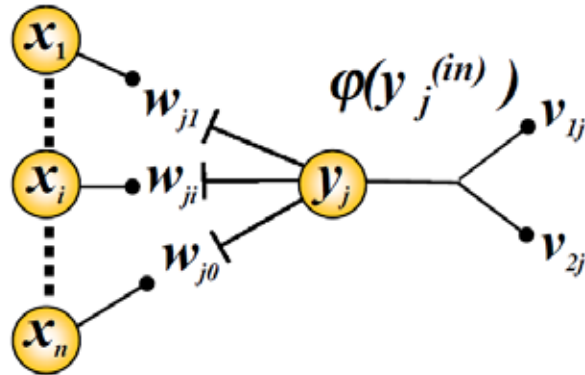


Figura 2. Esquema de neurona artificial.

*Fuente:*

### 2.2.3 Características de las Redes Neuronales Artificiales

Debido al gran parecido de las Redes Neuronales Artificiales al cerebro, presentan una serie de características propias del mismo. Tal como aprender de la experiencia y abstraer las características principales de una serie de datos. A continuación, se describen las características más considerables en una red neuronal:

**Topología de red:** Las Redes Neuronales Artificiales pueden determinar la capacidad representativa de como una cantidad de neuronas están distribuidas en capas y entre sí. La topología de la red se basa en el problema a resolver.

**Regla de aprendizaje:** Las RNA tienen la capacidad de aprender a través de un entrenamiento previo, ellas son una integración de diversos sistemas de aprendizaje.

**Tipo de entrenamiento:** Una RNA está basada en dos tipos de entrenamientos, la primera es durante la etapa de aprendizaje, la red se entrena para que los pesos sinápticos se adecuen a la red. Y consiguiente a eso, se encuentra la etapa de ejecución en donde la red ya pasa a ser operativa, cuya red toma un valor de funcionamiento real.

**Generalizar:** Las RNA tienen la capacidad de extender o ampliar, pueden generalizar de manera automática, debido a su propia estructura y naturaleza. Estas

redes ofrecen dentro de un margen, respuestas correctas a entradas que representan pequeñas variaciones debido a los efectos de ruido o distorsión.

**Abstraer:** Las RNA pueden aislar o considerar por separado las cualidades de un objeto, algunas redes son capaces de abstraer la esencia de un conjunto de entradas que aparentemente pueden no presentar ningún aspecto común o relativo.

#### **2.2.4 Ventajas de las Redes Neuronales Artificiales**

Debido a las características anteriormente mencionadas, las RNA pueden ofrecer numerosas ventajas, logrando así convertirse en una herramienta tecnológica aplicada en diferentes áreas. Entre las ventajas se incluyen:

**Auto Organización:** Una red neuronal puede lograr crear su propia organización a través de una etapa de aprendizaje.

**Tolerancia a fallos:** Debido a la distribución parcial de la red, la misma conduce a una degradación de su estructura, pero a pesar de eso, algunas capacidades de la red se pueden retener e incluso sufriendo algún daño.

**Fácil inserción dentro de la tecnología:** En ocasiones, se pueden obtener chips especiales para redes neuronales, que a su vez pueden mejorar su capacidad en ciertas tareas. Esto ayuda a facilitar la integración modular en los sistemas existentes.

**Operación en tiempo real:** Las redes neuronales, tienen la facilidad de que pueden ser llevadas a cabo por computadoras o dispositivos de hardware especial de manera paralela y aprovechar así la capacidad de las RNA.

**Predicción:** Es una de las ventajas más importantes, existen fenómenos de los que se conoce el comportamiento a través de una serie de datos o valores y, se ha demostrado que hay redes que superan en un orden de magnitud a los métodos de predicción polinómicos y lineales convencionales.

#### **2.2.5 Tipos de neuronas artificiales**

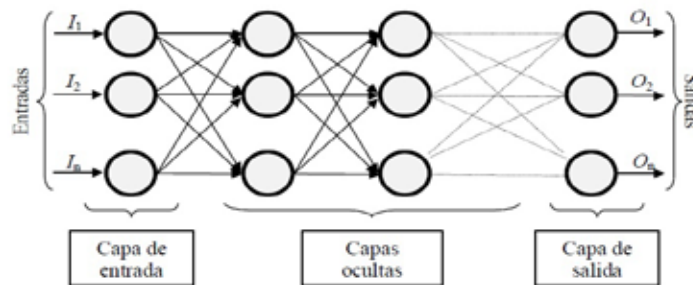
Las neuronas artificiales pueden llegar a clasificarse de acuerdo a los valores que son capaces de tomar. Es suficiente distinguir entre dos tipos:

- a. Neuronas binarias.
- b. Neuronas reales.

El tipo de neuronas binarias solo pueden tomar valores dentro del intervalo  $\{0, 1\}$  o  $\{-1, 1\}$ , mientras que las neuronas reales están comprendidas dentro del rango  $[0, 1]$  o  $[-1, 1]$ . Por otra parte, los pesos normalmente no están contemplados a un cierto intervalo, aunque en algunas aplicaciones específicas puede ser necesario.

### 2.2.6 Elementos que componen una red neuronal

Una red neuronal artificial principalmente está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en tres capas diferentes, así como se muestra en la Figura 3. Donde se puede observar que la primera capa es denominada “capa de entrada” no es más que la capa por donde ingresan los datos, los cuales pasan a través de la “capa oculta” para posteriormente salir por la “capa de salida”. Es importante acotar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas.



**Figura 3.** Ejemplo de capas interconectadas de una red neuronal.

*Fuente*

Estas capas interconectadas se distribuyen dentro de la red formando niveles, con un número determinado de neuronas en cada nivel, los nodos o neuronas están únicamente conectadas con neuronas de un nivel superior, notando así que existen más conexiones que neuronas en sí; por consiguiente, se dice que una red está totalmente conectada si todas las salidas desde un nivel logran llegar a todos y cada uno de los nodos del siguiente nivel.

La manera de distinguir entre los tres tipos de capas es la siguiente:

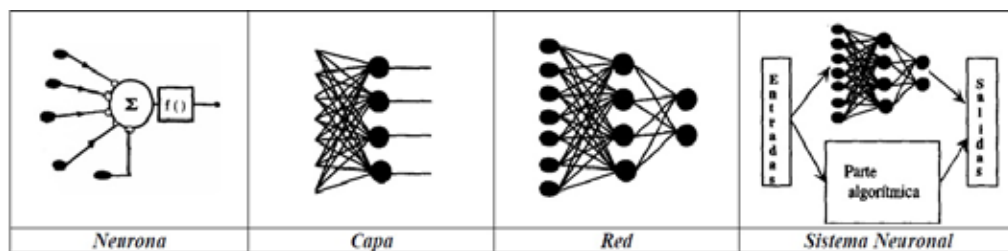
**De entrada:** Es la capa que tiene el rol de recibir de manera directa la información proveniente de cualquier fuente externa de la red.

**Ocultas:** Estas capas son netamente internas a la red, por lo mismo, no mantienen ningún contacto directo con el entorno exterior. Las neuronas que se encuentran en esta capa, pueden llegar a estar interconectadas de maneras distintas, que, a su vez, esto determina junto a su número, las distintas topologías de las redes neuronales.

**De salida:** No, es más, que la capa encargada de transferir la información de la red hacia el exterior.

### 2.2.7 Estructura de un sistema de redes neuronales

La estructura o topología de un sistema de redes neuronales esta fundamentalmente constituida por el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conexiones y el tipo de conexiones entre neuronas. En resumen, consiste en la organización y disposición de las neuronas en la red y, además y sin menos importancia posee un proceso matemático, así como se muestra en la figura 4.



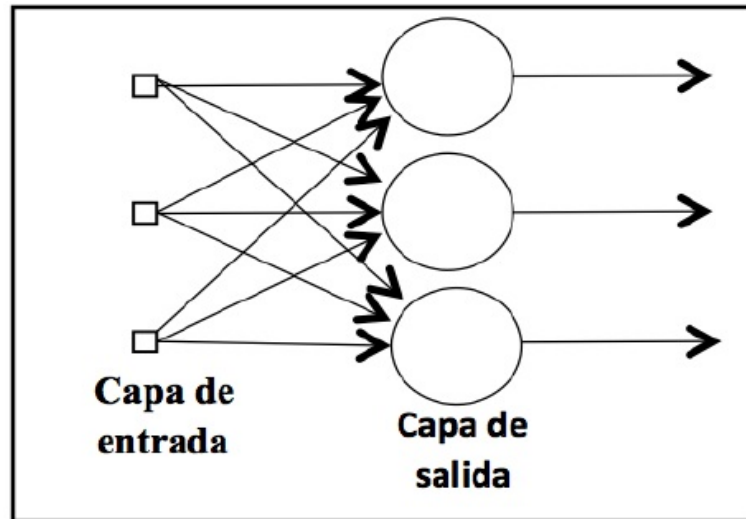
**Figura 4.** Estructura de un sistema de redes neuronales.

*Fuente*

#### 2.2.7.1 Según el número de capas

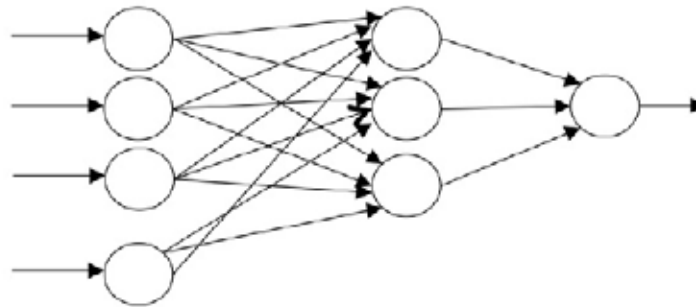
**Redes neuronales monocapas:** Las redes monocapas con las más sencillas en una red neuronal, como se muestra en la Figura 5. Consta de una sola capa, la cual tiene como función proyectar la capa de entrada a una capa de salida. Por lo general las redes monocapas son aplicadas en la auto asociación, lo cual consiste en generar

información de entrada, que se presenta en la red de manera incompleta o distorsionada.



**Figura 5.** Red monocapas.

**Redes neuronales multicapa:** Posee una estructura como la de monocapas a diferencia de que existe un conjunto de capas intermedias entra la entrada y la salida, generalmente son capas ocultas. Este tipo de red puede estar conectada totalmente o de manera parcial, tal y como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Red Neuronal Multicapa.

*Fuente:*

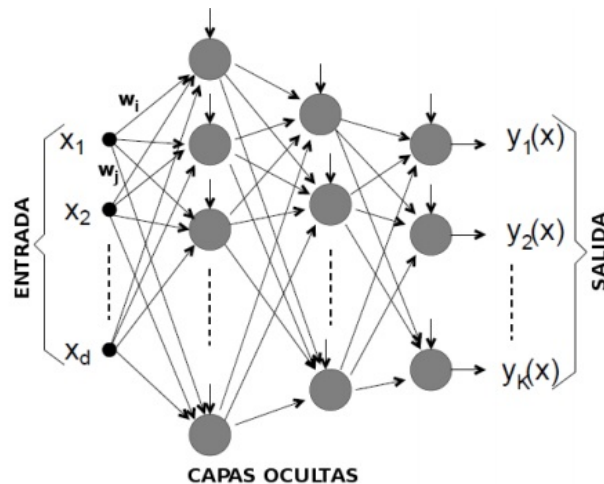
En estos casos, una manera de cómo distinguir la capa a la que pertenece una neurona, consiste en observar el origen de las señales que recibe a la entrada y a su vez el destino de la señal de salida. Por lo general las neuronas de una

capa reciben señales de entrada desde otra capa anterior y posteriormente envía señales de salida a la capa siguiente.

### 2.2.7.2 Según el tipo de conexiones

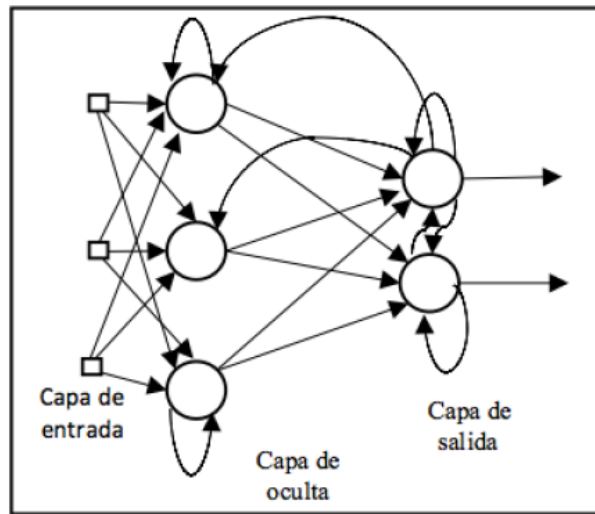
La conectividad entre las neuronas en una red, están relacionada directamente con la forma en que las salidas de las neuronas están canalizadas para convertirse en entradas de otras neuronas. Es importante acotar que la señal de salida de un nodo puede ser una entrada de otro elemento de proceso, hasta incluso ser una entrada de sí mismo, siendo conexiones recurrentes o no recurrentes.

**Redes neuronales no recurrentes:** En este tipo de redes no existe la retroalimentación de ningún tipo, debido a que se mueven únicamente hacia adelante(Feedforward). Dicho de otra manera, es cuando ninguna salida de las neuronas es entrada de neuronas del mismo nivel o de niveles precedentes, tal como se indica en la Figura 7.



**Figura 7.** Estructura típica de una red neuronal artificial Feedforward.  
*Fuente:*

**Redes neuronales recurrentes:** Estas redes permiten la retroalimentación mediante el uso de lazos, a su vez pueden ser neuronas de capas distintas o de la misma, de esta manera se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Redes neuronales recurrentes.

*Fuente:*

Las redes neuronales recurrentes también son llamadas redes de propagación hacia atrás (Feedback), es cuando alguna conexión se propaga hacia atrás desde la capa de salida. Permitiendo que los pesos sobre las conexiones de las neuronas que se ubican en las capas ocultas, puedan cambiar durante el entrenamiento.

El cambio de los pesos en las conexiones de las neuronas, pueden influir sobre la entrada global, en la activación y por consiguiente en la salida de una neurona.

### 2.2.7.3 Según el grado de conexión

El tipo de grado de conexión en una red neuronal dependerá de lo siguiente:

**Redes neuronales totalmente conectadas:** En este tipo de redes todas las neuronas se conectan con las capas anteriores o siguientes, constituyendo de esta manera redes concurrentes o no concurrentes.

**Redes parcialmente conectadas:** Son aquellas redes neuronales donde no se llega a una conexión total, sino de manera parcial. Estas pueden ser en paralelo o de manera jerárquica.

### 2.2.8. Formas funcionales

Como ya se ha mencionado anterior mente lo elemental de una RNA es la computación mediante una serie de conjuntos de procesadores y adaptativos (neuronas), que se mantienen conectadas y operan en paralelo.

Ese procesador elemental o neurona es un dispositivo simple de cálculo que, a partir de un vector de entradas  $X(t)$  que proviene del exterior o de otras neuronas, proporcionan una respuesta única o salida  $Y_i(t)$ . En la Figura 9. Se ilustra una neurona estándar donde se pueden observar elementos esenciales de la neurona con una etiqueta  $i$ , como lo son:

Un conjunto de entradas  $x_j(t)$  y de pesos sinápticos  $w_{ij}$ .

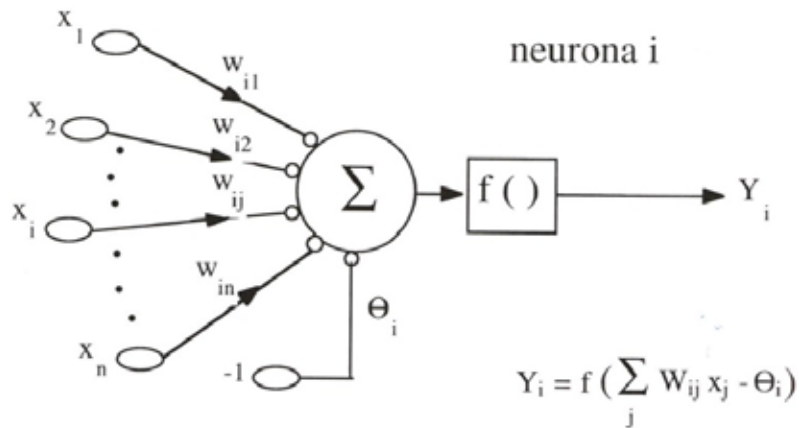
Una regla de propagación  $h_i(t) = s(w_{ij}, x_j(t))$ .

Una función de activación  $y_i(t) = f_i(y_i(t-1), h_i(t))$ , la cual proporciona su salida  $i(t)$ .

En las entradas y salidas de la neurona artificial pueden ser binarias o continuas, todo dependerá del modelo y la aplicación. Para entender más lo mencionado, se puede plantear como ejemplo las tareas de clasificación, las mismas deben ser empleadas con salidas digitales o binarias 0, +1, mientras que en un problema funcional de alguna aplicación multivariable continua, se emplean salidas continuas dentro de cierto intervalo. Por otra parte, la regla de propagación ocurre cuando las entradas de la neurona y sus pesos proporcionan un valor potencial postsináptico. Por lo general la regla de propagación más habitual es línea, donde se lleva a cabo la suma de las entradas ponderadas con los pesos sinápticos, como en la siguiente expresión, donde se añade un parámetro adicional  $\theta_i$  denominado umbral.

$$i(t) = \sum_j W_{ij} X_j - \theta_i \quad \text{Ec.1}$$

En ocasiones se hace uso de sinapsis multiplicativas, denominadas de orden superior o sigma.

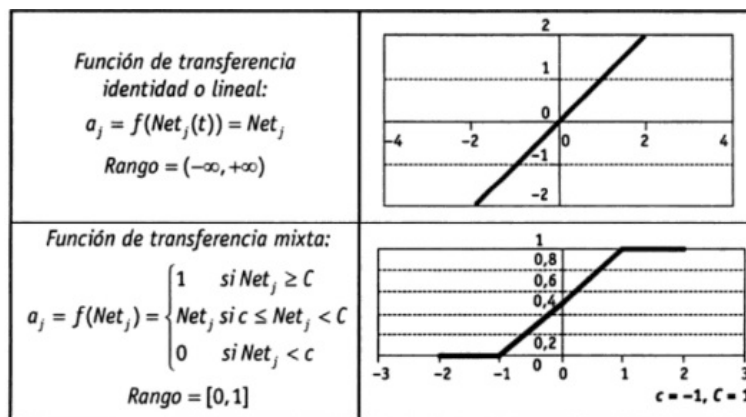


**Figura 9.** Neurona estándar.

*Fuente:*

La función de activación o de transferencia  $(.)$  se proporciona a partir del potencial postsináptico  $h_i(t)$  y del estado de activación propio de la neurona  $y_i(t-1)$ , volviendo así su estado de activación actual  $y_i(t)$ . La mayoría de las veces esta función es monótona creciente y continua, como es de observarse en muchas de las neuronas biológicas. Las formas funcionales de activación más habituales en las RNA son:

**Función Lineal:** Es la función de activación más sencilla de las redes neuronales artificiales, es la más apta para realizar una regresión lineal, en la figura 10.

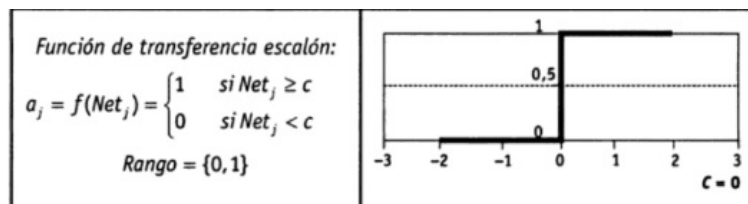


**Figura 10.** Funciones lineal y mixta.

*Fuente:*

Se puede observar como su entrada es igual a la salida. Este tipo de función se utiliza en redes de baja complejidad. Dentro del tipo de función lineal también se encuentra la función mixta o función lineal a tramos, donde si, la activación de la unidad es menor que un límite inferior preestablecido, la salida se asocia con un determinado valor, en cambio si la activación es igual o superior a un límite superior, la salida se asocia con otro valor. Si el nivel de activación se encuentra entre ambos límites, debe aplicarse la función lineal. Es por ello, que es considerada como una función lineal mixta debido a que es saturada en sus extremos.

**Función Escalón:** Esta función también suele ser sencilla, fue empleada en la neurona original de McCulloch-Pitts. Quien fue el que creo el primer modelo de red neuronal. Su principal característica es que presenta salidas binarias estas por lo general son  $\{0,1\}$  ó  $\{-1,1\}$ , así como se muestra en la Figura 11. Debido a su sencillez las neuronas que implementan este tipo de funciones suelen ser fáciles de implementar, pero, es importante saber que sus aplicaciones son limitas, ya que se restringe solo a problemas binarios.



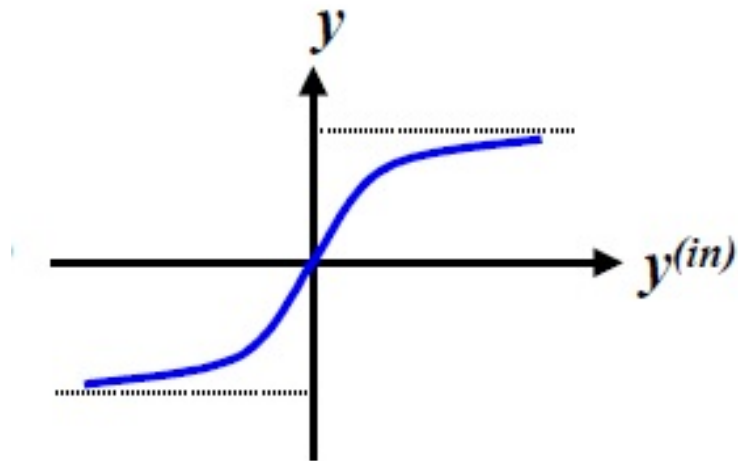
**Figura 11.** Función escalón.

*Fuente:*

**Función Sigmoidea:** Este tipo de función es unas de las funciones más utilizadas, la misma posee como imagen un rango continuo de valores dentro de los intervalos  $[0, 1]$  y además viene dada por la siguiente expresión:

$$f_1(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad \text{Ec.2}$$

Su principal característica es ser una función definida por un intervalo monótonico, con límites superiores e inferiores como se muestra en la Figura 12.



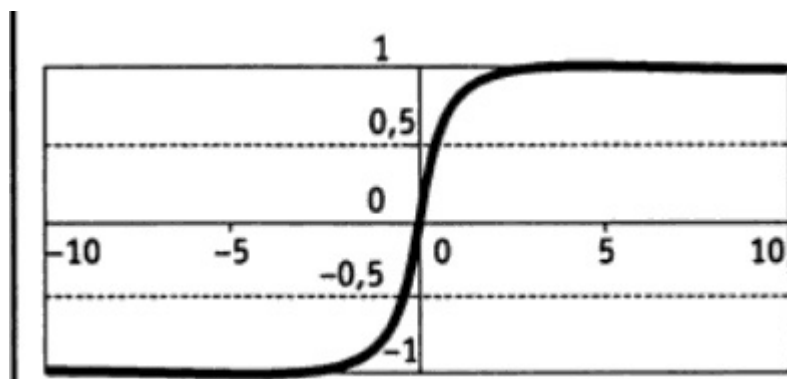
**Figura 12.** Función Sigmoidea.

*Fuente:*

**Función tangente hiperbólica:** Es un tipo de función de activación muy parecida a la sigmoidea, los valores de la salida de esta función están comprendidos dentro del rango de -1 a 1, como se muestra en la Figura 13. Y viene dada por la expresión:

$$f_x = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}}$$

Ec.3



**Figura 13.** Función Hiperbólica.

*Fuente:*

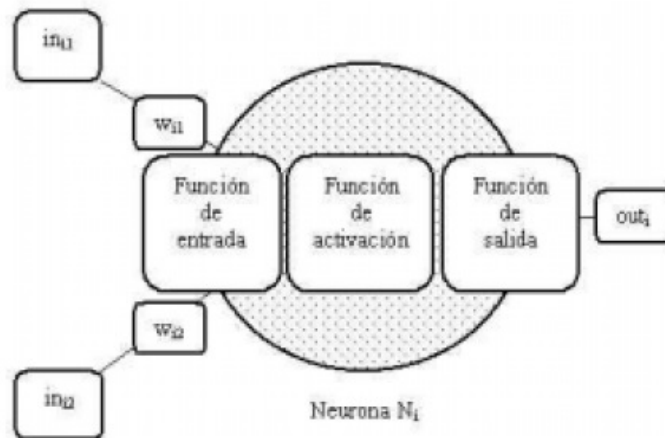
### 2.2.8.1 Función de entrada

Por lo general la neurona trata a los valores de entradas como que, si fuera una sola, por lo tanto, se denomina entrada global. Debido a eso, se deben combinar dichas entradas, que se pueden señalar como  $(in_{i1}, in_{i2}, \dots)$  dentro de la entrada global  $gin_i$ . A través de la función de entrada se puede lograr lo mencionado anteriormente, y se describe de la siguiente manera:

$$\text{input}_i = (in_{i1} w_{i1}) \quad (in_{i2} w_{i2}) \quad \dots \quad (in_{in} w_{in}) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde \* representa un operador apropiado bien sea, máximo, sumatoria, producto entre otros, y  $n_i$  al número de entradas de la neurona  $n_i$  y  $w_i$  al peso.

Los valores de la entrada se multiplican por los pesos anteriormente ingresados en la neurona. Por consiguiente, los pesos que generalmente no están restringidos pueden cambiar el tipo de influencia que tienen los valores de entrada. En mejores palabras, los pesos pueden permitir que un gran valor de entrada tenga poca influencia, si estos son suficientemente pequeños. En la siguiente Figura 14. Se ilustra un ejemplo de una neurona con dos entradas y una salida.



**Figura 14.** Neurona con dos entradas y una salida.

**Fuente:**

Si se explica un poco la nomenclatura de la imagen se puede observar que  $in_{i1}$  corresponde a la entrada número uno a la neurona  $N_i$ ;  $w_{i1}$  el peso correspondiente de la misma. Por otra parte, la entrada de la neurona dos corresponde a  $in_{i2}$  y

respectivamente  $w_{i2}$  al peso de la neurona dos. La salida de la neurona esta denotada como out. Por lo general el conjunto de todas las entradas es llamado vector de entrada.

Algunas de las funciones de entrada más utilizadas son:

- 1) **Sumatoria de las entradas pesadas:** Se refiere a la suma de todos los valores de entrada a la neurona y a su vez multiplicado por sus pesos.

$$\sum_j (n_{ij} w_{ij}), \text{ donde } j= 1, 2, \dots \quad \text{Ec. 5}$$

- 2) **Producto de las entradas pesadas:** Es donde ocurre el producto de todos los valores de entrada a la neurona, multiplicados por sus propios pesos.

$$\prod_j (n_{ij} w_{ij}), \text{ donde } j= 1, 2, \dots \quad \text{Ec.6}$$

**Máximo de las entradas pesadas:** En este caso, se toma en consideración el valor de entrada más fuerte, previamente multiplicado con su peso correspondiente.

$$\text{Max}_j (n_{ij} w_{ij}) \text{ donde } J= 1, 2, \dots, n \quad \text{Ec.7}$$

### 2.2.8.2 Función de salida

El ultimo componente de una neurona es la función de salida. La resultante de esta función es la salida de la neurona (out). Dicha función determina qué valor se trasfiere a las neuronas vinculas. Es importante mencionar que normalmente no cualquier valor es permitido como la entrada de una neurona, por lo tanto, los valores de salida siempre estarán comprendidos en el rango de [0,1] o [-1, 1], como también pueden ser binarios {0,1} o {-1,1}. Las funciones de salida más comunes son:

**Ninguna:** Es la función más sencilla, debido a que la salida es la entrada, es también la función identidad o lineal anteriormente mencionada.

**Binaria:**  $\begin{cases} 1 & \text{si act} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$ , donde  $\theta$  es el umbral

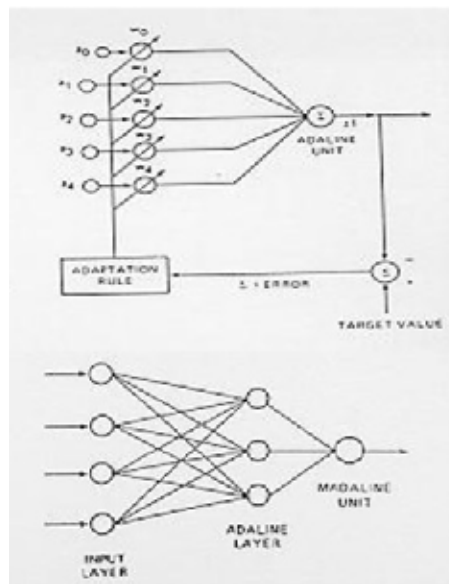
### 2.2.9 Tipo de redes neuronales elementales

Los tipos de redes neuronales artificiales que se presentan a continuación son las más comunes y frecuentes en simuladores software de sistemas de computación neuronal.

#### 2.2.9.1 Adaline y Madeline

Este tipo de redes son modelos adaptativos, **ADALINE**, tiene las siglas **ADALINE**, es un tipo de red que fue desarrollada con el propósito de lograr reconocer patrones de forma binaria. Su funcionamiento básicamente está comprendido en la suma de los pesos de entradas produciendo así una salida con 0 y 1, y esto dependerá si pasa o no un umbral. Es un tipo de red es muy importante ya que de ella se pueden derivar redes más complejas.

Por otra parte, **MADALINE**, tiene las siglas **MADALINE**, esta red fue la primera red neuronal de multicapa incluyendo elementos adaptivos. No es más que una red constituida por dos o más unidades del **ADALINE** fue diseñada posterior a ella, con el fin de realizar soluciones un poco más complejas. En la siguiente Figura 15, se ilustrará de manera general una red **ADALINE** y **MADALINE**.



**Figura 15.** Red Adaline y MADeline.

*Fuente:*

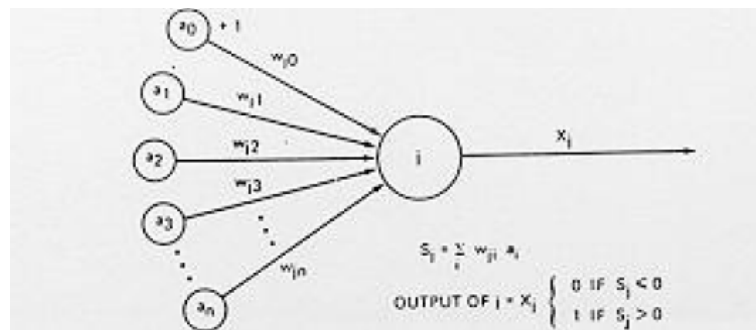
Con respecto a la Figura 15. Anteriormente mencionada es importante destacar que el mecanismo de ajuste en los pesos representados en la red **ADALINE**, está basado en la diferencia entre el valor de salida y el esperado, la unidad procesadora de la red

actúa como un sumador y luego realiza la función umbral. La salida de la unidad de la red es  $\pm 1$  de igual manera para la red .

### 2.2.9.2 Perceptron

La topología del Perceptron llamada también mapeo de patrón, tiene la capacidad de aprender a clasificar modelos a través de un aprendizaje supervisado. Por lo general los modelos que clasifica suelen ser vectores con valores binarios (0,1).

El Perceptron presenta dos capas de unidades procesadoras y una sola capa presenta la habilidad de adaptar o modificar los pesos de las conexiones. Su arquitectura logra permitir capas adicionales más estas no disponen capacidad para modificar sus propias conexiones. En la Figura 16. Se ilustra una unidad procesadora del Perceptron básico, donde las entradas llegan por la parte izquierda, y cada conexión con la neurona de salida posee un peso de valor.



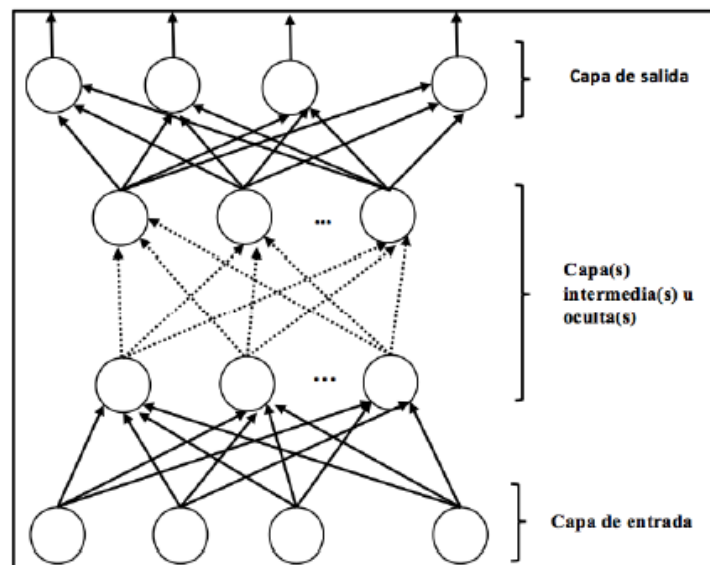
**Figura 16.** Perceptron básico.

*Fuente*

Por otra parte, también se encuentra el perceptron multicapa. El perceptron multicapa posee una serie de aspectos que lo hace importante, como poseer un estado de activación que determina la salida de la neurona, tiene un entorno que le proporciona las señales de entrada con el cual debe operar el sistema de la neurona y su método para tratar la información lo hace mediante una regla de aprendizaje. En la Figura 17. Se ilustra la estructura del Perceptron multicapa, donde se puede observar que tiene sus neuronas agrupadas en capas de diferentes niveles. Y, además, ver que cada conexión del Perceptron

multicapa siempre están dirigidas hacia adelante, en otras palabras, las neuronas de una capa se conectan con las neuronas de la siguiente capa.

Y, cada una de esas capas esta formadas por un conjunto de neuronas donde se distinguen en tres tipos de capas diferentes, la capa de entrada, oculta y de salida. Es importante destacar que las neuronas que se encuentran en la capa de entrada solo se encargan de recibir las señales o patrones del exterior y propagar esas señales a todas las neuronas de la capa siguiente.



**Figura 17.** Perceptron Multicapa.  
*Fuente:*

En cuanto a las capas ocultas las neuronas realizan el procesamiento no lineal de los patrones recibidos. Y, por último, la capa de las neuronas de salida muestra al exterior las respuestas de la red para cada uno de los patrones de entrada.

### 2.2.10 Formas de aprendizaje

Como anteriormente se ha mencionado, unas de las principales características de las RNA es su capacidad de aprendizaje. La manera de cómo se entrenan las redes neuronales muestra un parecido con el desarrollo intelectual de los seres humanos, a diferencia que suele estar más limitado.

Básicamente las Redes Neuronales Artificiales se entrenan con el fin de conseguir que una aplicación determinada para cierto conjunto de entradas, produzca el conjunto de salida que se desea.

Este proceso de aprendizaje consiste en la aplicar de manera secuencial diferentes conjuntos o vectores de entrada para que así, se ajusten los pesos de las interconexiones según un procedimiento predeterminado.

A través del aprendizaje los pesos convergen gradualmente hacia los valores que logran que cada entrada produzca el vector de salida deseado.

Los procedimientos de aprendizaje se clasifican en dos grupos:

**Aprendizaje supervisado:** Se puede definir el aprendizaje supervisado según (Tan, 2014):

El aprendizaje supervisado, es una técnica de aprendizaje de las redes neuronales artificiales que se basa en deducir una función a partir de datos o información de entrenamiento, dichos datos están compuestos por vectores u objetos dados en par, un par de la información es la entrada mientras que el otro son los resultados deseados. La finalidad de este sistema de aprendizaje es predecir de manera correspondiente de cualquier entrada valida que un supervisor ingrese.

Para mayor entendimiento, el aprendizaje supervisado se basa en el entrenamiento de la red neuronal por medio de un operador bien sea un individuo u objeto que pueda proveer la información necesaria, de tal manera que la red neuronal pueda obtener dicha información por una entrada. Y, además el operador pueda mejorar las conexiones de los pesos sinápticos en caso de que el aprendizaje del modelo no sea el esperado.

**Aprendizaje no supervisado:** La característica de este tipo de aprendizaje o la diferencia, se encuentra en que, en este caso, el aprendizaje de las redes neuronales no es modelado ni controlado por ningún tipo de agente externo. En consecuencia, este entrenamiento no requiere de un vector de salida, si no, únicamente un vector de entrada. En este caso, la red distribuye patrones de manera probabilística, extrae rasgo según sea la similitud a las redes de entrada, para esto, se necesita de una gran

cantidad de vectores de entradas, de tal manera que la red pueda disponer suficientes patrones y obtener resultados de calidad.

## **2.2.11 Aspectos fundamentales del acero**

### **2.2.11.1 Introducción al acero**

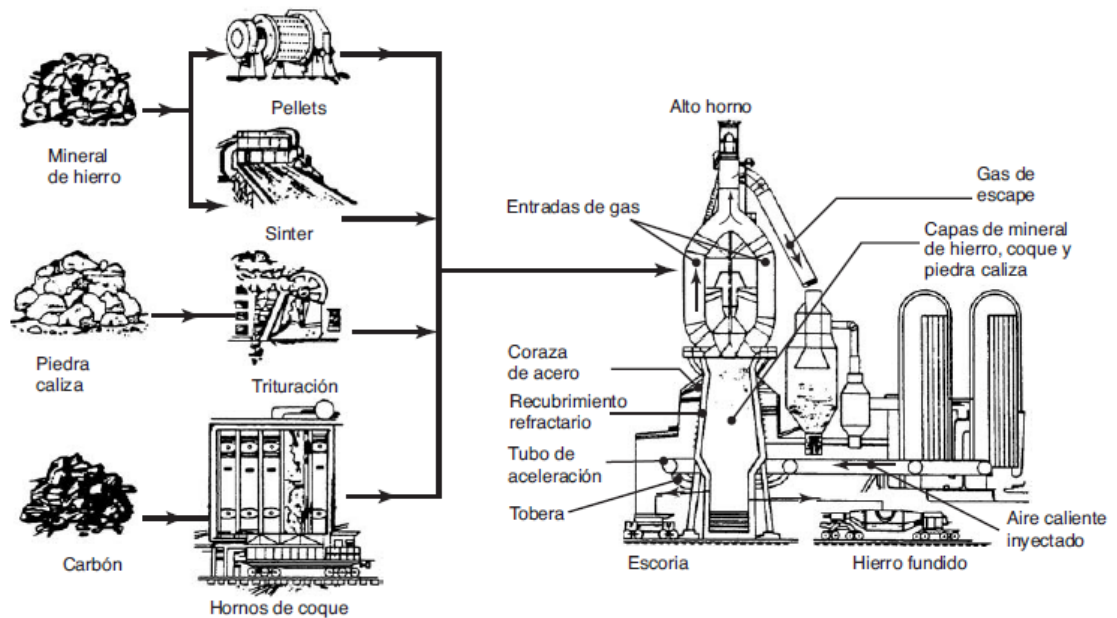
El acero se produjo por primera vez en China y Japón entre los años 600 y 800 d.C., su gran virtud se encuentra en la amplia gama de propiedades mecánicas, físicas y químicas que posee. El uso del acero como material estructural ha sido uno de los desarrollos tecnológicos modernos más importante.

### **2.2.11.2 Definición y proceso del acero**

El acero es un material en el que el hierro es el que predomina y además posee un contenido en carbono generalmente inferior al 2% en masa de su composición. Por lo general el acero se produce de dos maneras: refinando mineral de hierro o reciclando chatarra de acero.

En la producción del acero primario, el mineral de hierro procesado para contener de 50 a 70% de óxido de hierro, bien sea  $Fe_3O_3$  o  $Fe_3O_4$ , se calienta en un alto horno en presencia de coque y oxígeno. El coque reduce el óxido de hierro en un hierro fundido crudo como lo es el arrabio. A unos 1600°C, el material contiene alrededor de 95% hierro; 4% Carbono; 0.3 a 0.9 % de silicio; 0.5 % de manganeso, y 0.025 a 0.05% de azufre, fósforo y titanio.

Como el arrabio líquido contiene una gran cantidad de carbono, se procede a soplar el oxígeno en el horno de oxígeno básico para eliminar el exceso de carbono y producir de esa forma, acero líquido. Ya que, tiene un contenido de carbono máximo de 2% en peso como anteriormente se ha mencionado. En la Figura 18. Se ilustra un esquema detallado de un alto horno.



**Figura 18.** Esquema de alto horno.

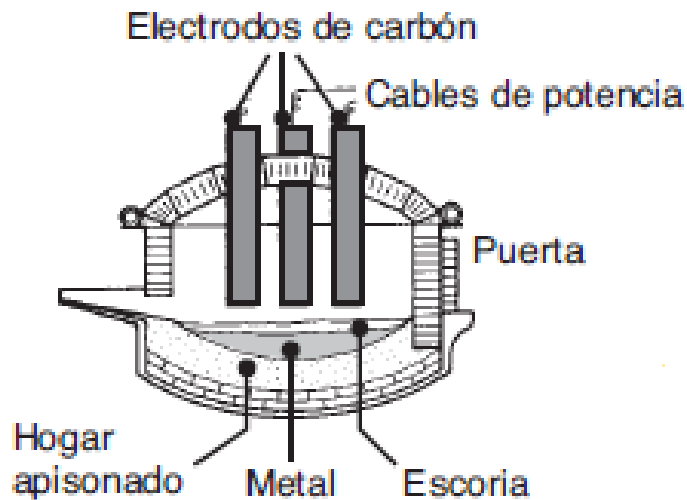
**Fuente:**

Donde se puede observar el hierro fundido, la presencia del coque, las entradas de gas y la inyección de aire entre otros elementos, como la escoria, el mismo es subproducto derivado del alto horno, el cual contiene dióxido de silicio y otras impurezas.

El proceso de producción de acero también se puede realizar en un horno eléctrico, donde la fuente de calor de este horno es originada por un arco eléctrico continuo que se forma entre electrodos y el metal cargado en el horno.

En este tipo de horno, se generan temperaturas de 1925°C. El proceso consta de dejar caer chatarra de acero y una cantidad de carbón y piedra caliza a través del techo abierto del horno, que luego se procede cerrar y se bajan los electrodos. Una vez encendido el horno, luego de cierto tiempo, aproximadamente dos horas, el material se funde, luego se corta la corriente y se elevan los electrodos, se balancea el horno y el metal fundido se vierte en una olla especializado para transferir y colar el material. La capacidad de los hornos eléctricos y varían de 60 a 90 toneladas por día. Hoy en día, son los más

utilizados ya que garantizan aceros de mejor calidad. En la Figura 19. Se ilustra el esquema de un horno eléctrico convencional.



**Figura 19.** Esquema de horno eléctrico.

*Fuente:*

Es importante mencionar que existen muchos tipos de aceros en función del elemento que se encuentren presente en su composición, Los aceros con porcentaje de carbono son denominados aceros al carbono.

Los aceros al carbono se pueden agrupar entre aceros al bajo carbono, medio y alto carbono.

### **2.2.11.3 Denominación y clasificación de los aceros**

Tradicionalmente la (SAE) denominan los aceros al carbono utilizando cuatro dígitos. Los dos primeros dígitos indican los elementos aleantes y sus porcentajes; y los dos últimos indican el contenido de carbono en peso.

Entre los aceros al carbono denominados por SAE se encuentra el acero SAE 1020, el cual es uno de los aceros que predomina entre los aceros en bajo carbono, y, también llamado acero dulce, en este grupo los aceros tienen menos

de 0.30% de C. En la siguiente Figura 20, se muestra la composición química en % del peso de manera general del acero SAE1020.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18	0.3	0.04	0.05	0.15
	0.23	0.6			0.3

**Figura 20.** Composición química del acero SAE 1020.

*Fuente:*

#### 2.2.11.4 Características y propiedades el acero SAE 1020

El acero SAE 1020 constituye una proporción importante de los aceros más utilizados en la fabricación y diseños de elementos de máquinas o piezas mecánicas. Como se observa en la Tabla1, su composición es compleja aparte del hierro y el carbono que por lo general no llega al 1%, se encuentran otros elementos necesarios para su producción, tales como el silicio y el manganeso; los cuales se les puede someter fácilmente a tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades mecánicas. En la Figura 21, se muestran algunos tratamientos térmicos que se le puede aplicar al acero SAE1020.

TRATAMIENTO TÉRMICO		
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	ENFRIAMIENTO
Forja	1000-1200°C	Arena seca
Normalizado	890-920°C	Aire
Recocido Subcrítico	860-720°C	Horno
Cementación	900-930°C	Horno/Agua
Temple Capa Cementada	760-800°C	Agua
Revenido Capa Cementada	150-200°C	Aire

**Figura 21.** Tratamientos térmicos aplicado en el acero SAE 1020.

*Fuente:*

Este tipo de acero suele utilizarse comúnmente en estado laminado en caliente, posee una buena tenacidad, junto con una dureza no muy alta, una buena ductilidad y con una gran capacidad de maquinabilidad. En la Figura 22, se

ilustran las propiedades mecánicas del acero SAE. Es necesario acotar que los valores son aproximados.

PROPIEDADES MECÁNICAS					
Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	40	31	25	41	40/180

**Figura 22.** Propiedades mecánicas laminado en caliente.

*Fuente:*

Por otra parte, como bien se sabe, el acero SAE 1020 es un acero al carbono por esta razón se presentan en la Figura 23, las propiedades físicas del mismo, ya que, son propiedades que puede tener una amplia variedad de funciones dentro de cualquier proceso.

Material	Módulo de elasticidad Gpa	Módulo de rigidez Gpa	Razón de Poisson v	Densidad de masa p lb/in <sup>3</sup>	Peso específico Y Mg/in <sup>3</sup>
Acero al carbono	206.8	80.8	0.28	0.28	7.8

**Figura 23.** Propiedades físicas del acero al carbono.

*Fuente:*

## 2.2.12 Fundamentos generales del proceso de mecanizado

### 2.2.12.1 Proceso de mecanizado

El mecanizado es un proceso de manufactura en el cual se utiliza una herramienta de corte para remover el material de una pieza de trabajo formando una viruta y una máquina herramienta.

Este proceso se realiza con la finalidad de obtener una geometría deseada en la forma de la pieza, el mecanizado por lo general se les aplica a los metales, aunque también se le pudiera realizar a otros tipos de materiales y es uno de los procesos que más predominan en la manufactura.

Existen una variedad de procesos que se califican como un proceso de mecanizado y la característica común es el uso de la herramienta de corte. Para realizarse la operación se requiere movimiento relativo entre la herramienta y el material. Este movimiento relativo se logra por medio de un movimiento

primario denominado velocidad y un movimiento secundario denominado avance.

**Herramientas de corte:** Por lo general las características específicas de las herramientas de corte varían según el proceso, pero existen algunas básicas que logran ser comunes en todos los procesos. En el mecanizado es muy importante la herramienta de corte ya que además de permitir la eliminación más rápida del material, también facilita el progreso en el diseño y en el control de las máquinas de herramienta. Es importante que la herramienta de corte tenga propiedades opuestas a la pieza de trabajo. Algunas características generales a considerar son:

- 1) La herramienta debe tener una mayor dureza que el material de la pieza de trabajo, tanto a temperatura ambiente como a la temperatura de operación. Ya que, la alta dureza en caliente evita la deformación plástica y de esta manera asegura que la geometría de la herramienta se mantenga y resista al desgaste.
- 2) La herramienta debe poseer una buena tenacidad ya que es necesaria para permanecer con vida útil después de algunos choques mecánicos o cargas por impacto en los cortes interrumpidos. Los choques pueden ocurrir aun cuando el proceso de formación de viruta sea continuo, debido a que la herramienta puede encontrar zonas duras localizadas.
- 3) La resistencia al impacto térmico, debido a que se requiere cuando ocurren calentamiento y enfriamientos rápidos en cortes interrumpidos.

### **2.2.13 Proceso de torneado**

El torneado es una operación de mecanizado en el cual una herramienta de punta sencilla remueve material de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación. Este proceso se lleva a cabo en una máquina herramienta llamada torno, la cual suministra la potencia necesaria para tornear la pieza a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta y profundidad de corte especificada. El torneado produce piezas de trabajos rectas, cónicas, curvadas o ranuradas, posee una diversidad de operaciones de corte.

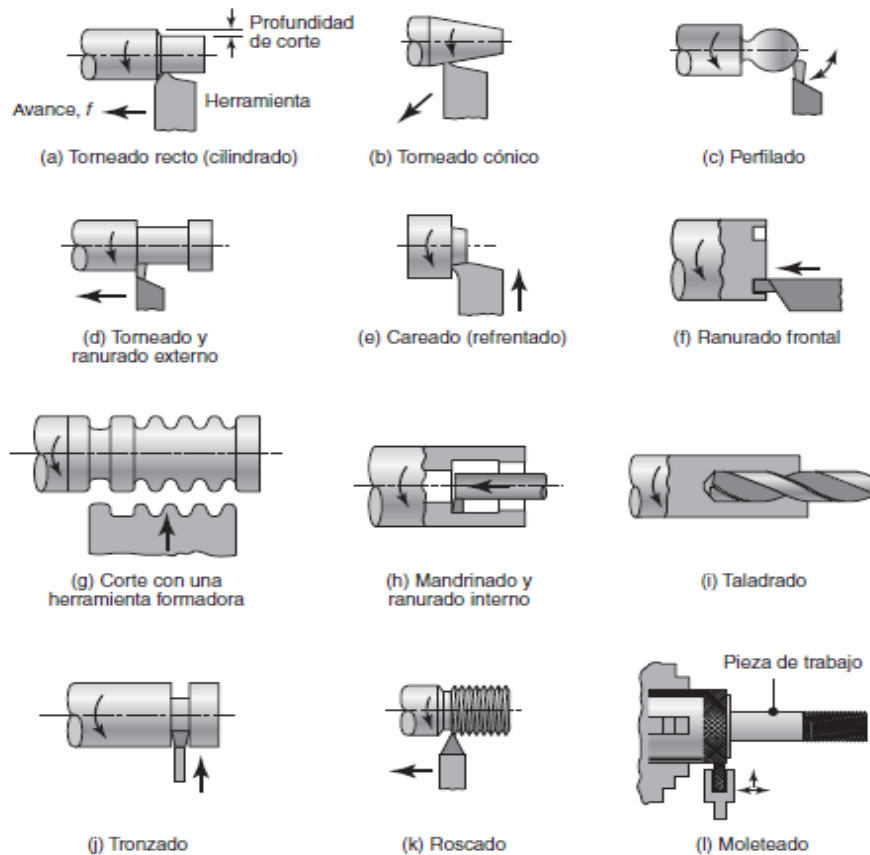
### 2.2.13.1 Operaciones de torneado

Como antes ya mencionado, en el proceso de torneado existe una gran variedad de operaciones de torneado entre las más comunes se tiene:

- 1) **Cilindrado o torneado recto:** Es el más común de todos, solo se basa en la remoción del material para obtener una geometría cilíndrica reduciendo el diámetro de la pieza de trabajo. Se puede generar una gran variedad de superficies utilizando diferentes tipos de herramientas
- 2) **Torneado cónico:** Esta operación consta del movimiento de la herramienta con cierto ángulo en línea recta, más no paralela a la superficie y así poder generar la forma cónica.
- 3) **Torneado perfilado o de contornos:** La herramienta se mueve siguiendo un contorno diferente a una línea recta, para crear una forma contorneada.
- 4) **Refrantado:** La herramienta se mueve de manera radial sobre el extremo de la pieza de trabajo con la finalidad de generar una superficie plana
- 5) **Ranurado frontal:** En esta operación la herramienta crea ranuras para aplicaciones en piezas que sean en forma de anillo o otros.
- 6) **Torneado de formas:** Produce diversas formas más simétricas respecto del eje para efectos funcionales o estéticos.
- 7) **Perforado:** Esta operación también es conocida como mandrinado, permite agrandar un agujero u orificio utilizando una herramienta de corte especial que avanza en línea recta paralela al eje de rotación, dentro del agujero inicial.
- 8) **Taladrado:** Esta operación se realiza colocando un mandril en el cabezal de móvil de la máquina de herramienta y ajustando una broca en el mandril, se perfora la broca en el material generándose de esa manera el agujero concéntrico al eje de rotación del material.
- 9) **Tronzado:** Esta operación se utiliza para cortar el material en dos partes, se le da movimiento a la herramienta especial para seleccionar e extremo de la pieza de trabajo.
- 10) **Roscado:** Es una operación que produce rosas externas o internas.

11) **Moletado:** Es una operación que genera rugosidad con una forma regular sobre las superficies cilíndricas, como la fabricación de manillas o perillas.

En la siguiente Figura 24, se ilustran las diferentes operaciones del torneado mostrando los movimientos de avance.



**Figura 24.** Operaciones de cortes.

*Fuente:*

### 2.2.13.2 Herramientas de cortes para torno:

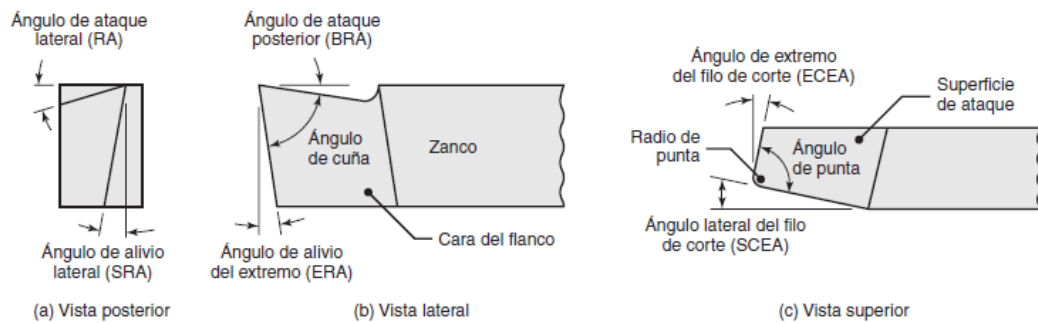
Existe una amplia variedad de herramientas de corte con respecto al tipo de material que se utiliza para el mismo. La elección del material de la herramienta depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del material a mecanizar y de los requerimientos de la operación a realizar,

previamente cumpliendo con las características generales de las herramientas de corte anteriormente mencionadas. Entre los materiales a utilizar en las herramientas se encuentran: Aceros al carbono de baja aleación, aceros rápidos, aleaciones duras, carburos y hasta materiales cerámicos. Dichas herramientas se describen mediante una nomenclatura estandarizada.

**Geometría de las herramientas de corte para tornos:** Las herramientas de corte deben tener una forma apropiada para las aplicaciones de mecanizado, la más utilizada es la de punta sencilla y los ángulos que la componen son los siguientes:

1. **Angulo de ataque:** Es importante para controlar la dirección del flujo de las virutas y la resistencia de la punta de la herramienta.
2. **Angulo de ataque lateral:** Es importante para maquinar el metal y utilizar insertos, comúnmente son ángulos que van de  $-5^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ .
3. **Angulo de filo de corte:** Afecta de manera directa la formación de virutas, la resistencia de la herramienta y las fuerzas de corte en varios grados. Generalmente es de  $15^{\circ}$
4. **Angulo de alivio:** Controla la interferencia y fricción en la interfaz de la herramienta y la pieza de trabajo.
5. **El radio de punta:** afecta el acabado superficial y la resistencia de la punta de la herramienta. Mientras más filosa es la punta, el acabado superficial de la pieza de trabajo será más rugoso y la resistencia de la herramienta inferior.

En la figura 25, se muestran los ángulos de una herramienta de corte para torno estandarizada vista desde la parte posterior, lateral y superior respectivamente.



**Figura 25.** Ángulos de una herramienta de corte para torno.

**Fuente:**

**Insertos de corte:** Los insertos de corte se encuentran en el área de las herramientas de corte específicamente compuestas de material carburo, bien sea de tungsteno, titanio, tántalo, niobio o metal duro. La finalidad de los insertos en las herramientas es permitir tener una mayor resistencia al desgaste de la misma.

**Selección de inserto de corte:** Se debe tener en cuenta muchos parámetros a la hora de seleccionar el inserto de torneado, es importante que se seleccione cuidadosamente la geometría, la calidad, la forma (ángulo de punta), el tamaño, el radio de punta o de nariz y el ángulo de posición (inclinación) del inserto. Para así, alcanzar un buen control de virutas y rendimiento del mecanizado, la geometría se debe seleccionar en función de la operación elegida, como puede ser el acabado, desbaste o medio. En cuanto al ángulo de punta debe ser lo más grande posible si se desea obtener una mayor resistencia y rentabilidad, el tamaño del inserto va en función de la profundidad de corte y la selección del radio de punta o de nariz va en función de si se desea un inserto más resistente o si existe tendencia a la vibración, que en este caso debe ser un radio más reducido.

El radio de la nariz afecta el acabado superficial de la pieza, para operaciones de acabado se usan los valores de radio más bajos, capaces de realizar cortes más finos, mientras que para desbaste y desbaste pesado se emplean los valores más altos, que ofrecen un filo fuerte y resistente a avances

importantes. En la figura 26, se observa el tamaño del inserto(l), el radio de punta (RE) y el ángulo del mismo.



**Figura 26.** Características del inserto

**Fuente:** <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general-turning/pages/how-to-choose-correct-turning-insert.aspx>

Es también importante tomar en cuenta la calidad del inserto, el cual se selecciona en función de material de la pieza de trabajo, el tipo de operación a utilizar (acabado, mecanizado medio, desbaste) y las condiciones del mismo, bien sea buenas, intermedias o difíciles. Es necesario acotar que todas estas características del inserto mencionadas se identifican a través de letras y números, siendo de esta manera normalizadas por ISO 1832. En cuanto a la estandarización del portaherramientas para el inserto se realiza de acuerdo con diferentes modos de mecanizado, como lo es el torneado exterior, frontal y copiado. A tal efecto, el sistema de sujeción del inserto al portaherramientas también es normalizado por ISO, el cual se identifica también a través de letras y sus principales categorías son: fijado por medio de una palanca, brida, tornillo o cuña.

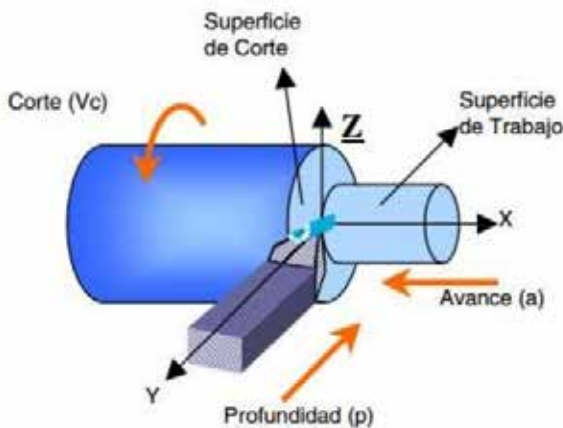
### 2.2.13.3 Parámetros de corte en torneado

**Velocidad de corte:** Es el movimiento principal y representa la velocidad tangencial del material.

**Avance:** Es la velocidad lineal de la herramienta de corte, es un movimiento más lento que la velocidad de corte.

**Profundidad de corte:** Es la profundidad de perforación de la herramienta dentro del material y además indica la cantidad de material removido en la operación de mecanizado.

En la figura 27, se ilustra un esquema de los parámetros de corte en el torneado y el sentido de las velocidades mencionadas.



**Figura 27.** Parámetros de corte en el torneado

*Fuente:*

Estos parámetros de corte básicamente dependen del material de la herramienta de corte a utilizar, del material a ser mecanizado y de la operación a realizar.

En todo proceso de mecanizado existen dos categorías: el mecanizado de desbaste primario en donde se mueven grandes cantidades de material tan rápido como sea posible, con la finalidad de obtener una forma cercana a la requerida, pero dejando material en la pieza de trabajo para una operación posterior de acabado. El mecanizado de acabado es en el cual se completa la forma requerida y se alcanzan las dimensiones finales, las tolerancias y el acabado superficial.

Por lo general en esta parte del mecanizado se utilizan bajos avances y velocidades de corte altas.

Los parámetros de corte recomendados se muestran en las tablas siguientes, por lo general son obtenidos de ensayos experimentales donde se analiza el comportamiento de la herramienta y el material a mecanizar con diferentes profundidades de corte, avances y velocidades de corte.

En la Figura 28, se muestran los parámetros de corte recomendados para diferentes tipos de herramientas con los que se puede mecanizar aceros, donde la velocidad de corte viene expresada como  $V_c$  (m/min); el avance como  $f$ (mm/rev) y la profundidad de corte como  $d$ (mm).

Material	Herramienta	Desbaste			Acabado		
		$V_c$	$f$	$d$	$V_c$	$f$	$d$
Acero (hasta 50kg/mm <sup>2</sup> )	Aceros al carbono	14	0.5	4	20	0.2	1
	Aceros rápidos	22	1	10	30	0.5	1
	Carburos sinterizados	150	2.5	15	250	0.25	1.5
Acero(50-70kg/mm <sup>2</sup> )	Aceros al carbono	10	0.5	4	15	0.2	1
	Aceros rápidos	20	1	10	24	0.5	1
	Carburos sinterizados	120	2.5	15	200	0.25	1.5
Acero (70-85kg/mm <sup>2</sup> )	Aceros al carbono	8	0.5	4	12	0.2	1
	Aceros rápidos	15	1	10	20	0.5	1
	Carburos sinterizados	80	2	15	140	0.2	1
Acero( 85-100kg/mm <sup>2</sup> )	Aceros al carbono	6	0.5	3	9	0.2	1
	Aceros rápidos	12	1	8	16	0.15	1
	Carburos sinterizados	30	0.6	5	50	0.15	1

**Figura 28.** Parámetros de corte para diferentes tipos de herramientas  
Fuente:

En la Figura 29, se muestran los avances recomendables con herramientas de acero rápido respecto a la operación y aplicaciones.

Operación	Avance (mm/rev)	Aplicación
Desbaste a gran pesada	1.0-1.5	Piezas con grandes aumentos de material procedente de forjado y fundición
Desbaste con pasada corriente	0.6-0.8	Piezas con aumentos prudentiales de material
Pasada Única	0.4-0.6	Piezas que serán rectificadas (sin afinado)
Desbaste con pasada ligera	0.25-0.4	Piezas pequeñas
Acabado	0.05-0.2	Piezas afinadas con cuchilla

**Figura 29.** Avances recomendados con herramientas de acero rápido.

*Fuente:*

#### 2.2.13.4 Ecuaciones básicas en el torneado

Las ecuaciones básicas del proceso de torneado, vienen dadas por las siguientes expresiones.

##### a) Velocidad de corte

$$V_c = \frac{\pi D N}{1000} \quad \text{Ec.8}$$

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi D} \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

Vc: Velocidad de corte (m/min)

N: Velocidad angular (rpm)

D: Diámetro (mm)

##### b) Numero de pasadas

$$N_p = \frac{i \cdot f}{2d} \quad \text{Ec.10}$$

$$d = \frac{i \cdot f}{2N_p} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

$i$ : Diámetro inicial (mm)

$f$ : Diámetro final (mm)

$d$  : Profundidad de corte(mm)

$N_p$ : Numero de pasadas

**c) Área de corte (sección de viruta)**

$$A = f \cdot d \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

$f$ : Avance (mm)

$d$ : Profundidad de corte (mm)

$A$ : Área de corte (mm<sup>2</sup>)

d) Tasa de remoción de material

$$V = f d V_c \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$f$ : Avance (mm)

$d$ : Profundidad de corte (mm)

$V_c$ : Velocidad de corte (mm/min)

$V$ : Velocidad de remoción de material (mm<sup>3</sup>/min)

**e) Velocidad de avance lineal**

$$f_r = N f \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$f$

$N$ : Velocidad de rotación (rpm)

: Velocidad de avance lineal (mm/min)

**f) Fuerza de corte**

$$F_c = K_s f d \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

$K_s$ : Presión específica de corte (kg/mm<sup>2</sup>)

$f$ : Avance (mm)

$d$ : Profundidad de corte (mm)

$F_c$ : Fuerza de corte (kg)

**g) Potencia consumida**

$$Pot = \frac{F_c V_c}{\eta} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$F_c$ : Fuerza de corte (kg)

$V_c$ : Velocidad de corte (mm/min)

$\eta$ : Eficiencia Mecánica y eléctrica

El factor  $K_s$  denominado presión específica de corte, por lo general se encuentra tabulado, en la siguiente Figura 30, se muestran algunas presiones específicas para algunos aceros.

Material	Avance (mm/rev)			
	0.1	0.20	0.4	0.8
Acero 50-60 kg/mm <sup>2</sup>	400	290	120	112
Acero 60-70 kg/mm <sup>2</sup>	420	300	220	15
Acero 70-85 kg/mm <sup>2</sup>	440	315	230	164
Acero 85-100 kg/mm <sup>2</sup>	460	330	240	172

**Figura 30.** Presión específica de corte  $K_s$ (Kg/ (mm)<sup>2</sup>)

Fuente:

### 2.2.13.5 Componentes del torno

Por lo general los tornos están equipados con varios componentes y accesorios, como se muestra en la Figura 31. Y como se describen a continuación:

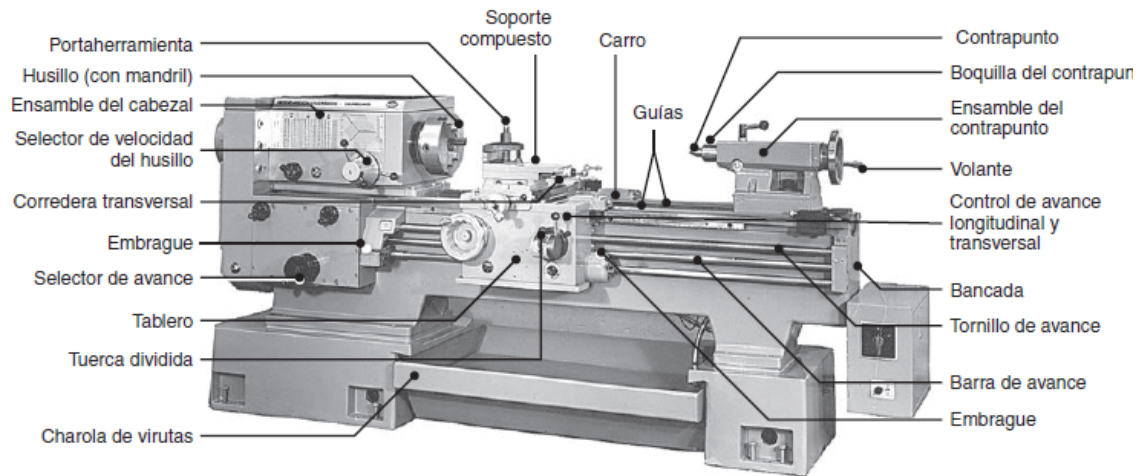
**Bancada:** La bancada soporta los componentes principales del torno, la parte superior posee dos guías o correderas con diversas secciones transversales que se endurecen y maquinan para mejorar la resistencia al desgaste y la precisión dimensional durante el torneado.

**Carro:** El carro es el ensamblaje que se desliza a lo largo de las guías y consta de una corredera transversal, portaherramientas y tablero.

**Cabezal:** El cabezal se fija en la bancada y está equipado con motores, poleas y correas en V que suministran energía a un husillo a diversas velocidades de giro o rotación.

**Carro de contrapunto:** Este se puede deslizar a lo largo de las guías y sujetarse en cualquier posición, soporta el otro extremo de la pieza de trabajo. Está equipado con un centro que se puede fijar llamado contrapunto fijo o quedar libre para rotar la pieza de trabajo, denominado contrapunto vivo.

**Barra de avance y tornillo guía:** Estas barras se accionan mediante una familia de engranes a través del cabezal. La barra gira durante la operación del torno y proporciona movimiento al carro y a la corredera transversal por medio de dichos engranes.



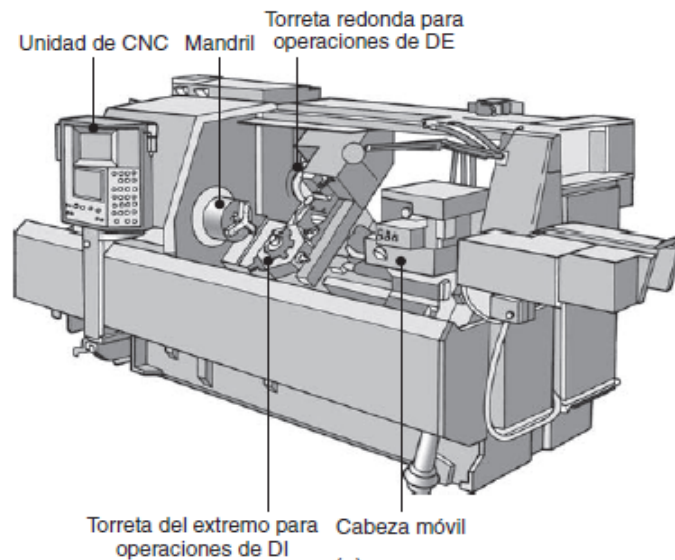
**Figura 31.** Partes de un torno convencional.

*Fuente:*

### 2.2.13.6 Tipos de tornos

Los tornos se clasifican de acuerdo a su construcción en diferentes tipos, se encuentra el torno de puntas; el torno Vertical; el torno Horizontal; el Revolver y el más utilizado hoy en día, los tornos controlados numéricamente(CNC). Un torno CNC difiere en un torno convencional, en que una computadora es la que controla de manera automática la posición y velocidad de cada uno de los motores que accionan los ejes para realizar el proceso de mecanizado, con esta facilidad se puede realizar movimientos que manualmente es imposible realizar.

La terminología de control numérico se debe a que la máquina CNC recibe órdenes mediante una codificación alfanumérica estandarizada para ejecutar una gran variedad de movimientos. El torno es equipado con un cambiador de herramientas y enlazado a dispositivos de movimiento de materiales (cargadores automáticos), lo que lo hace convertirse en el centro de una manufactura flexible, en la Figura 32, se ilustra un modelo de torno con tecnología CNC.



**Figura 32.** Modelo de torno CNC

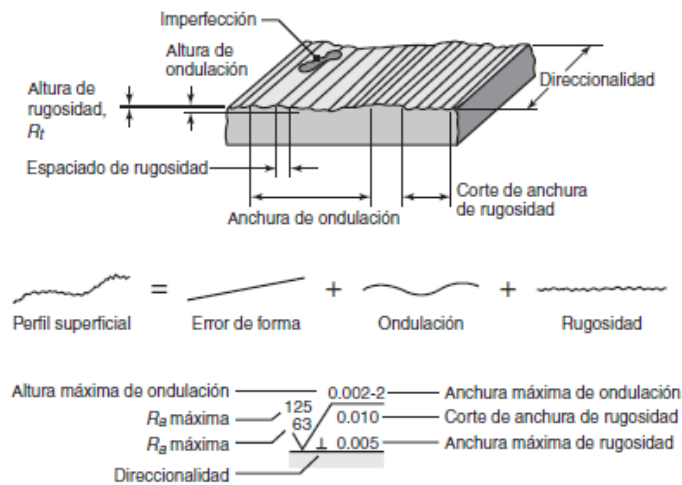
**Fuente:**

Los tornos controlados por computadora han sido diseñados para operar más rápido y tienen mayor potencia disponible en comparación con otros tornos. Y, además precisa de mejor manera la elaboración de las piezas mecánicas.

Es importante saber que en la operación de mecanizado se debe tomar en cuenta la calidad de operación, es decir, en este punto se toma en consideración la tolerancia y el acabado superficial (menor rugosidad de la superficie).

#### **2.2.14 Acabado superficial**

El acabado superficial influye no solo en la precisión dimensional de las partes mecanizadas, sino también en sus propiedades y en su desempeño durante el servicio. El acabado superficial es un factor que debe considerarse en las operaciones de manufactura, debido a que también influye en muchas propiedades como resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión y la vida útil. Se han establecido ciertos términos y símbolos estándar para describir el acabado superficial los cuales se muestran en la Figura 33.



**Figura 33.** Términos y símbolos estandarizados.

*Fuente:*

### 2.2.14.1 Rugosidad superficial

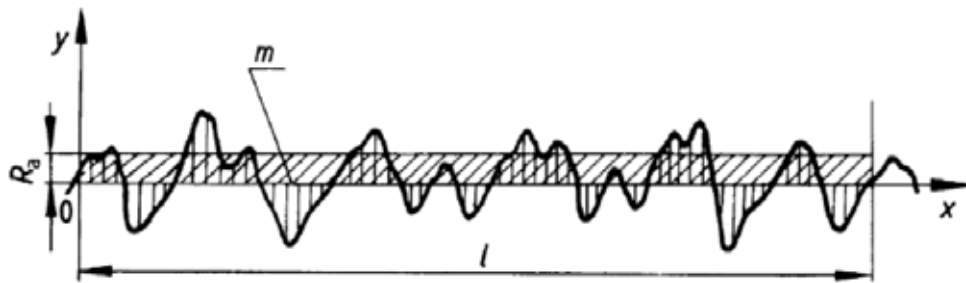
#### Definición de irregularidades superficiales

Luego de realizar el proceso de mecanizado se genera una nueva textura en la superficie de la pieza, la textura de una superficie consiste en desviaciones repetitivas y aleatorias con respecto a la superficie nominal de un objeto, comúnmente a estas desviaciones se les llama irregularidades superficiales y están compuestas por cuatro elementos: La rugosidad, ondulación, orientación y fallas. La rugosidad se refiere a desviaciones pequeñas con respecto a la superficie nominal finamente espaciadas que viene determinadas por las características del material y los procesos que formaron la superficie. La ondulación se define como una desviación mucho más espaciada que ocurre debido a la deflexión del material de trabajo, vibración, tratamiento térmico y factores similares, es importante mencionar que la rugosidad se sobrepone a la ondulación.

Por otra parte, la orientación es la dirección predominante o patrón de la textura superficial y está determinado por los métodos de manufactura usados para crear la superficie, generalmente debida a la acción de las herramientas de corte. Finalmente, las fallas son irregularidades que ocurren ocasionalmente en

la superficie y comprenden grietas, rayas, inclusiones y defectos similares en la superficie.

La textura influye en el funcionamiento y apariencia de las piezas manufacturadas por lo que es de gran importancia conocer cuales procesos de fabricación son los más adecuados o conocer cuáles son los parámetros que influyen en la generación de una mala calidad superficial. El parámetro más ampliamente usado para determinar la textura superficial de un elemento es la rugosidad promedio o la media aritmética de la rugosidad  $R_a$ , que es el promedio de las irregularidades presentes en una superficie como se muestra en la Figura 34.



**Figura 34.** Rugosidad aritmética  $R_a$

*Fuente:* Aldana, 2011

La rugosidad promedio se puede determinar como:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad \text{Ec.17}$$

Donde  $l$ : es la longitud de medición;  $y$  es la distancia entre dos puntos del perfil.

### **Factores que influyen en la rugosidad del torneado**

En el torneado existen muchos factores que afectan la rugosidad superficial como son la herramienta de corte, el material de trabajo y los parámetros de corte. Los factores relacionados con las herramientas son el

material, el radio de la punta, el ángulo de ataque, la geometría de la arista de corte, la vibración de la herramienta.

Mientras que entre las variables relacionadas con el material de la pieza de trabajo se tiene la dureza, las propiedades físicas y mecánicas, desde la línea central a lo largo de la medición como también se puede observar en la Figura 34.

La relación entre la rugosidad superficial y las variables de mecanizado se puede definir como:

$$R_a = C \cdot V^n f^m d^p r^l \quad \text{Ec.18}$$

Donde,  $R_a$  es la rugosidad su velocidades de corte (m/min), avance (mm/rev), profundidad (mm), radio de la punta de la herramienta (mm), respectivamente.  $C$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $l$  son constantes y  $\epsilon$  es el error aleatorio.

La Ec. 17 puede ser vista como la Ec. 19 para facilitar la representación de las constantes y los parámetros. La rugosidad media aritmética  $R_a$  y la altura de pico máximo  $R_t$  de las superficies torneadas pueden ser determinadas por las siguientes ecuaciones:

$$R_a = \frac{f^2}{32 \cdot r} \quad \text{Ec. 19}$$

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde  $r$ , es el radio de la punta (mm) y  $f$ , es el avance de corte (mm/rev). Las ecuaciones anteriormente definidas muestran que la rugosidad superficial incrementa proporcionalmente con el avance y, además, el aumento del radio de la punta de la herramienta de corte reduce la rugosidad superficial en el torneado.

También existe otra característica de la rugosidad superficial denominada rugosidad media cuadrática o  $R_q$ , que no es más que el promedio de la raíz

cuadrada entre cada una de las alturas o profundidades del perfil, y se determina mediante la siguiente expresión:

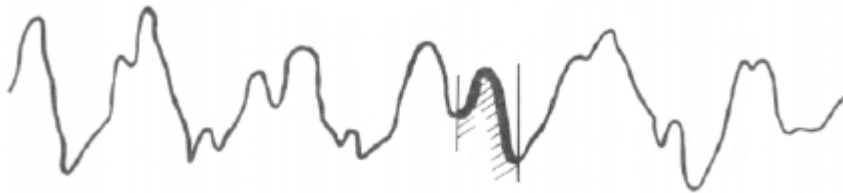
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Y^2 dx} \quad \text{Ec.21}$$

Otra característica de rugosidad superficial es la profundidad media de la rugosidad, o Rz que representa el valor aritmético de las profundidades de rugosidad, en la longitud de evaluación; y se representa a través de:

$$R_z = \frac{1}{n} (R_{y1} + R_{y2} + \dots + R_{yn}) \quad \text{Ec.22}$$

Donde  $R_{yi}$  representa el valor de la altura entre la cresta más alta, y el valle más profundo para cada longitud d muestra, y n es la cantidad de longitudes de muestra. En las siguientes ilustraciones se ejemplifica lo que es una cresta y valle en la rugosidad.

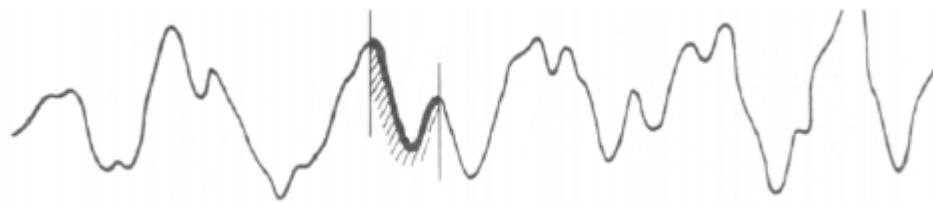
En la Figura 35, se muestra la cresta o pico local de perfil, la cual es la parte del perfil comprendida entre dos mínimos adyacentes del perfil.



**Figura 35.** Cresta local de perfil

*Fuente:*

Por otra parte, se muestra el valle local de perfil en la Figura 36. Es la parte comprendida del perfil entre dos máximos adyacentes.



**Figura 36.** Valle local de perfil.

*Fuente:*

También es importante dar a conocer los factores que pueden generar la rugosidad superficial y vienen dados por:

**Factores geométricos:** Son todos los factores que determinan la geometría de la pieza a mecanizar entre ellos, se tiene el tipo de operación de mecanizada, el tipo de herramienta de corte, avance de la herramienta o del material.

**Factores del material de trabajo:** Son aquellos factores que surgen de la interacción entre el material y la herramienta de corte, estos vienen dados por: efectos de acumulación en el filo, debido a que se forma una acumulación en el filo que se rompe de manera cíclica, las partículas se depositan en la superficie recién creada produciendo una textura como una lija. El daño causado a la superficie por la viruta enredada en el trabajo, el desgarramiento de la superficie cuando se trabaja metales dúctiles, grietas por deformación discontinua de la viruta y la fricción también son otros factores a considerar.

**Factores de vibración y de la máquina de herramienta:** Estos factores están relacionados directamente con la máquina de herramienta, como el juego en el mecanismo de avance, la deflexión de los montajes o la sujeción de la herramienta.

Una excesiva rugosidad puede ocasionar la falla del material que se está mecanizando. Ya que un factor importante para que ocurra una fractura es la presencia de defectos, como rayas, imperfecciones y grietas preexistentes, internas o externas, debido a que el material comienza a tener muy poca capacidad para disipar energía.

### **2.3 Definición de términos básicos**

**Aleación:** a la combinación de dos o más elementos metálicos, para constituir un nuevo material que tenga las propiedades de dichos elementos.

**Arrabio:** Producto obtenido de la primera fusión del hierro en los altos hornos que contiene más carbono que el acero o que el hierro forjado.

**Binario:** Que está en un sistema de numeración de base dos.

**Carbón:** Sustancia sólida, ligera, negra y combustible, que resulta de la destilación o de la combustión incompleta de la leña o de otros cuerpos orgánicos.

**Coque:** Combustible obtenido de la calcinación o destilación seca de carbón mineral; está compuesto de carbono y tiene un alto poder calorífico.

**Dendritas:** Son las prolongaciones ramificadas que salen del cuerpo de una neurona y por las que recibe los impulsos nerviosos de otras neuronas a través de las sinapsis.

**Escoria:** Sustancia vítrea proveniente de los metales que se funden, la cual se une a los fundentes y a otros elementos.

**Manufactura:** Es el proceso de convertir materias primas en productos. También comprende las actividades en que el propio producto fabricado se utiliza para elaborar otros productos.

**Maquinabilidad:** Es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con la que pueden ser mecanizados por arranque de viruta.

**Sinapsis:** Región de comunicación entre la neurita o prolongación citoplasmática de una neurona y las dendritas o el cuerpo de otra.

**Superficie nominal:** Es la superficie definida en el diseño, sin tener en cuenta las tolerancias dimensionales, los errores de forma ni la rugosidad de la superficie.

**Tolerancia dimensional:** La cantidad total que se permite variar en la fabricación de una pieza respecto de lo indicado en el plano.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación que define al presente trabajo es una investigación de tipo documental. Y, se establece de la siguiente manera:

Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (Arias, 2012, p. 27).

Dicha investigación se basará en la recolección de datos con respecto al proceso a estudiar y el efecto que causa en el material y de esta forma, facilitar el diseño de las redes neuronales y analizar los resultados de dicho diseño.

#### **3.2 Nivel de investigación**

Ya que el siguiente trabajo de investigación define como objetivo, desarrollar un modelo de redes neuronales artificiales que permita predecir las fallas del acero sometido a un proceso de torneado con CNC. Lo que conlleva a definir el nivel de investigación como descriptivo. Y, Arias (2012) establece que:

La investigación descriptiva 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.

Esta investigación se lleva a cabo bajo un nivel de investigación descriptiva ya que de esa manera se permite estudiar los efectos del proceso de torneado en el acero SAE1020 y predecir la falla por medio de las redes neuronales artificiales.

#### **3.3 Diseño de investigación**

El diseño de investigación está basado en un diseño experimental y se refiere a: Un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos

consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (Sampieri, 2014, p. 129)

Se emplea a nivel metodológico un diseño experimental debido a que, se manipulan diversas variables e información obtenidas de diferentes fuentes para así poder realizar una base de datos que permitan el desarrollo de las redes neuronales artificiales.

### **3.4 Población y Muestra**

Según Arias (2012), define que la población 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” (p. 81). Por otra parte, Sampieri (2014), define como muestra “un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p. 175). Por lo que en esta investigación se define como población a los aceros y como muestra al acero SAE1020.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Según Tamayo y Tamayo (2003), define que “La recolección de los datos dependen en gran parte del tipo de investigación y del problema planteado para la misma, y puede efectuarse desde la simple ficha bibliográfica, observación, entrevista, cuestionarios o encuestas y aun mediante ejecución de investigaciones para este fin” (p. 182). Por otra parte, Arias (2012) define como técnica e instrumentos de recolección de datos como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p. 67).

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta investigación con las de tipo análisis documental y de contenido, tomando, así como medio de instrumentos las fichas, computadora y sus unidades de almacenaje.

### **3.6 Fases de la investigación**

**Fase I: Analizar los criterios de fallas que pueden estar involucrados en el proceso de torneado.**

En esta primera fase, se desea analizar los criterios de fallas que pueden estar involucrados en el proceso de torneado con respecto a las variables y parámetros que envuelven dicho proceso.

**Fase II: Diseñar las estructuras neuronales para modelar cada variable del proceso.**

En esta fase se tiene como objetivo diseñar las estructuras neuronales, esto respecta a la cantidad de capas necesarias que se utilizaran, el tipo de neurona artificial a implementar, el tipo de función a utilizar, el modo de entrenamiento, basándose en las variables previamente analizadas en la primera fase.

**Fase III: Generar las relaciones necesarias implementando las redes neuronales artificiales para la predicción de la falla.**

En esta fase, se procede a realizar las relaciones competentes para la simulación basándose en diseño estructural de las neuronas anteriormente realizado.

**Fase IV: Establecer comparación entre datos ya existentes y el valor obtenido mediante el uso de la herramienta de redes neuronales artificiales.**

En esta última fase se procede a comparar los resultados arrojados por la herramienta computacional con los resultados ya existentes que arrojan los métodos convencionales utilizados a lo largo del tiempo.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### **4.1 Analizar los criterios de fallas que pueden estar involucrados en el torneado**

En el torneado, uno de los criterios más importantes relacionados con la calidad del proceso y de la pieza trabajada es el acabado superficial obtenido, esto depende mayormente de los parámetros de corte, las propiedades de la herramienta, el recubrimiento, el filo y la forma. Otros factores importantes que se deben tomar en cuenta para evitar un mal acabado el cual pueda ocasionar grietas o fractura, es el fluido de corte, las características de la máquina herramienta y las del material a trabajar, la interacción entre todos estos factores es sumamente importante para generar un proceso óptimo. En la industria mundial los procesos de torneado requieren altas velocidades y profundidad de corte muy elevadas, ocasionando desgaste adhesivo superficial de la herramienta y a su vez reduciendo su vida útil, lo cual puede influir en la calidad de la pieza generando grietas y hasta fracturas.

Habitualmente la velocidad de corte es un dato que por lo general se puede obtener de los catálogos de herramientas de los fabricantes, en función del material a trabajar, la potencia y rigidez de la máquina, el portaherramientas y la calidad que se quiera lograr, las velocidades de corte suelen ser mayor en los procesos de torneados, pero aumentar en exceso reduce la vida de la herramienta. En cuanto al avance, para obtener una buena calidad, el valor debe ser menor que el radio de la punta de la herramienta, y un avance demasiado reducido puede fracturar la viruta provocando problemas de calidad en la superficie, este parámetro está limitado por las fuerzas que se generan durante el proceso de corte, dichas fuerzas pueden originar la rotura de la herramienta cortante o una deformación de la pieza de trabajo. Para determinar los avances, es necesario consultar ciertas tablas de las herramientas de corte en donde el fabricante

especifica los parámetros bajo cuales opera su herramienta. Por otra parte, la profundidad de pasada debe tener un valor máximo admisible, si se desea en el proceso torneado profundidades mayores, se debe hacer varias pasadas repetitivas sobre la misma superficie en diferentes profundidades, el valor debe ser mayor que el radio de la punta de la herramienta, otro parámetro que se desprende de la profundidad y es empleado en el desarrollo de los cálculos es la sección de viruta o área de corte y la potencia ya que es necesaria para seleccionar la maquina a utilizar. En el Cuadro 1, se ilustran los parámetros de corte empleados en el mecanizado de probetas del Acero SAE 1020 recomendados por y por Machining Data Handbook 3rd edition.

**Cuadro 1.** Parámetros de corte empleados en el mecanizado del Acero SAE 1020

<b>Parametros</b>	<b>SANDVIK</b>			<b>Machining Data 3rd edition</b>	
<b>Velocidad de corte (m/min)</b>	<b>396</b>	<b>259</b>	<b>192</b>	<b>170</b>	<b>320</b>
<b>Avance (rev/min)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.8</b>	<b>0.18</b>	<b>0.5</b>
<b>Profundidad (mm)</b>	<b>Profundidad 1-2</b>			<b>Profundidad 1-16</b>	

*Fuente:*

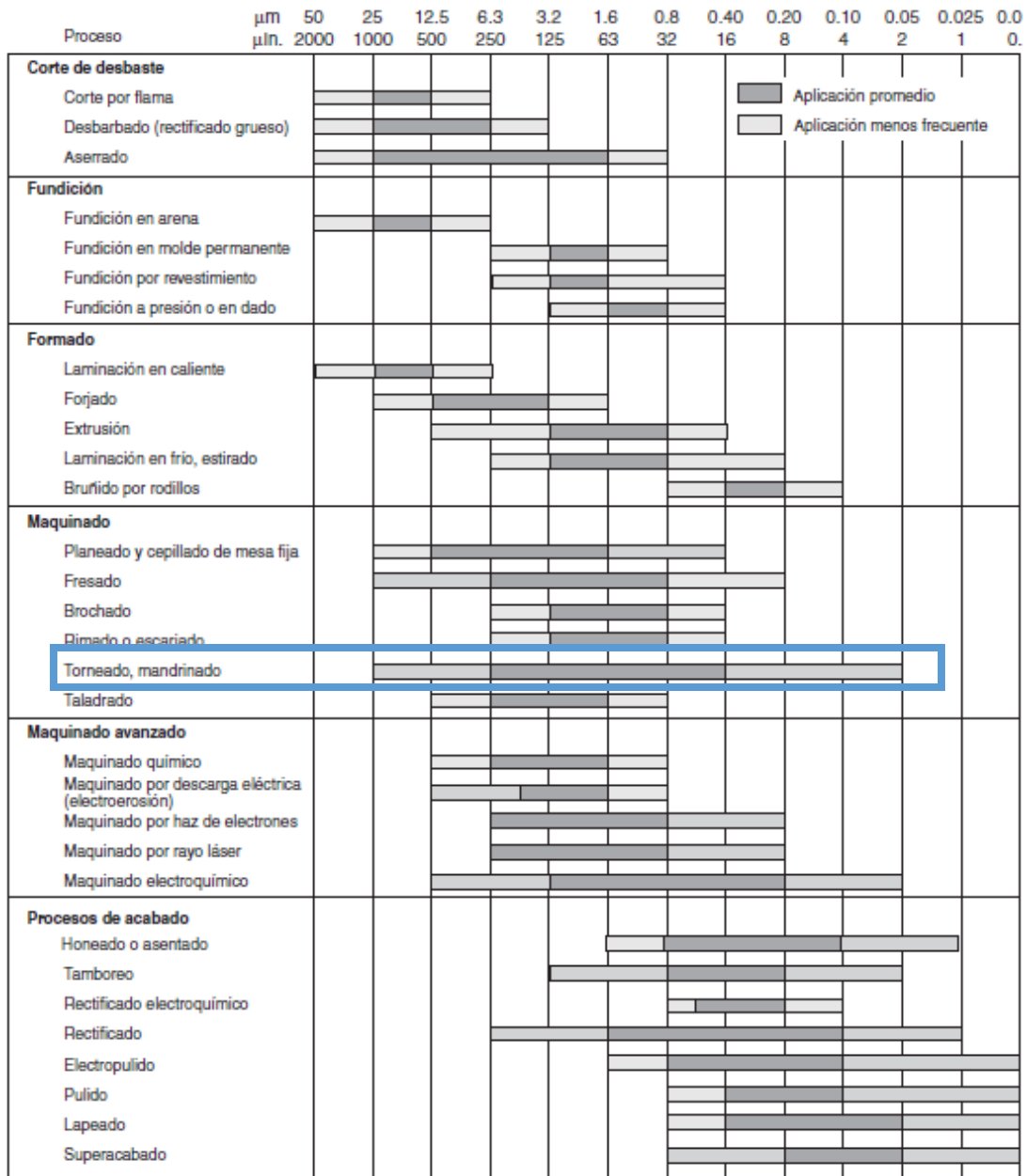
Por otra parte, a las herramientas de acero de alta velocidad se les da forma en una sola pieza y se rectifican para proporcionarles diversas características geométricas; dichas herramientas incluyen por lo general insertos, lo cual también es una herramienta de corte individual con varias puntas, el propósito de la misma es controlar el flujo de la viruta durante el proceso, eliminar las virutas largas y reducir la vibración y el calor generado. Existen insertos comerciales con una amplia variedad y complejidad, como se muestran en la Figura 37.



**Figura 37.** Inserto para tornos CNC

*Fuente*

Para la selección de insertos se deben tomar en cuenta factores como el material de trabajo, la forma que se requiere y el acabado superficial que se necesita, datos que pueden ser suministrados también por sus fabricantes. En cuanto al acabado es necesario tomar en cuenta el rango de valores de rugosidad óptimos dentro del proceso de torneado, los cuales se muestran en la Figura 38, y el valor promedio frecuente entre 0,40 y 6,3

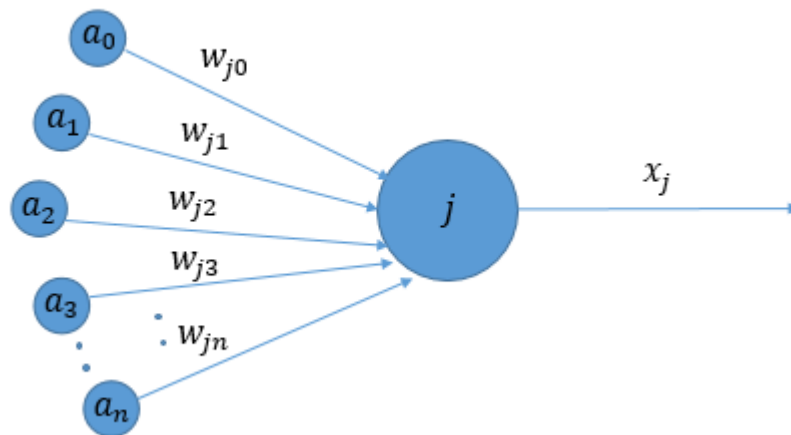


**Figura 38.** Rugosidad promedio en procesos de mecanizado

*Fuente:*

## 4.2 Diseñar las estructuras neuronales para modelar cada variable del proceso

Existen una gran multitud de modelos de redes neuronales, para elegir la estructura adecuada no se cuenta con alguna regla en especial, por eso de manera conveniente se eligió una de las más utilizadas en la actualidad, el Perceptron multicapa, también llamado mapeo de patrones, la cual aprende a clasificar modelos mediante un aprendizaje supervisado. Los modelos que clasifica suelen ser generalmente vectores con valores binarios (0,1) y las categorías de la clasificación se expresa mediante vectores binarios. El Perceptron presenta capas de unidades procesadoras y solo una de ellas presenta la capacidad de adaptar o modificar los pesos de las conexiones. La Figura 39, muestra la unidad procesadora básica del perceptron. Las entradas  $a_i$ , que en este caso son las variables de corte que se ven involucradas en el proceso de torneado como lo es la velocidad de corte, el avance y la profundidad de pasada, llegan por la parte izquierda, y cada conexión con la neurona  $j$  tiene asignado un peso de valor  $W_{ij}$ .



**Figura 39.** Unidad procesadora Básica del Perceptron

*Fuente:*

La unidad procesadora del Perceptron realiza la suma ponderada de las entradas según la siguiente ecuación.

$$S_j = \sum a_i w_{ji} \quad \text{Ec. 23}$$

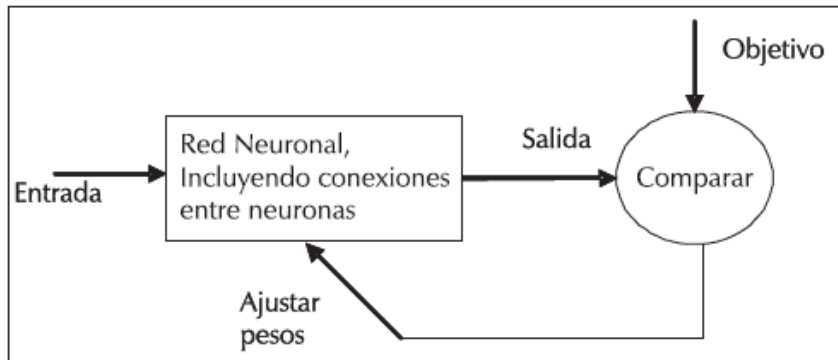
Un aspecto común en muchas de las RNA es la entrada, la cual está representada en la parte superior izquierda (entrada  $a_0$ ) de la Figura 39. Esta entrada siempre representa un valor fijo, +1 y funciona como una masa en un circuito eléctrico donde no varía de valor. El perceptron comprueba si la suma de las entradas ponderadas es mayor o menor que un cierto valor umbral y genera la salida  $x_j$ , según la siguiente ecuación.

$$\text{Si } S_j > 0 \text{ entonces } x_j = 1 \quad \text{Ec. 24}$$

La salida  $x_j$  es transmitida a lo largo de la línea de salida y constituye uno de los componentes del vector de salida de la red. El entrenamiento del Perceptron consiste en presentarle a la red todos los elementos del conjunto de entrenamiento constituido por parejas de vectores de la entrada y salida deseada de forma secuencial. El objetivo del entrenamiento es llegar a un conjunto de valores de los pesos de la red de forma que responda correctamente a todo el conjunto de entrenamiento. La adaptación de los pesos se puede realizar mediante diferentes reglas. Una de las más simples del aprendizaje del perceptron se indica en la siguiente ecuación.

$$W_{jinuevo} = W_{jiviejo} + C(t_j - x_j) a_i \quad \text{Ec. 25}$$

Siendo  $t_j$  el valor de la salida deseada,  $x_j$  el valor de la salida producida por la unidad procesadora,  $a_i$  el valor de la entrada  $i$  y  $C$  el coeficiente de aprendizaje. Este tipo de entrenamiento utilizado es llamado entrenamiento supervisado, es un proceso bastante controlado y se maneja desde lo externo de la red, el cual es muy característico de las redes del Perceptron, en la Figura 40, se ilustra el entrenamiento de una neurona de manera general.



**Figura 40.** Entrenamiento de una neurona

*Fuente:*

El algoritmo utilizado para dicha estructura de redes es el de Backpropagation, debido a su versatilidad y la posibilidad de permitir que los pesos sobre las conexiones de las neuronas en las capas ocultas cambien durante el entrenamiento hasta minimizar lo más posible el error, lo que también es llamado como un diseño de redes neuronales recurrentes. Se utilizará la propagación hacia atrás, lo cual es una fase de corrección. Los cálculos de las modificaciones de todos los pesos de las conexiones empiezan por la capa de salida y continua hacia atrás a través de todas las capas de la red hasta la capa de entrada. El ajuste de peso será en la capa de salida, debido a que existe y se conoce el valor deseado para cada una de las unidades de la capa de salida. Cada unidad de la capa de salida produce un número real como salida y se compara con el valor deseado específico en el patrón del conjunto de entrenamiento. A partir del resultado de la comparac siguiente ecuación para la unidad de la capa de salida.

$$\delta_j = (t_j - a_j) f'(S_j) \quad \text{Ec. 25}$$

Siendo  $t_j$  el valor de salida deseado y  $f'$  la derivada de la función umbral  $f$ , la cual es una función umbral genérica, que en este caso será la

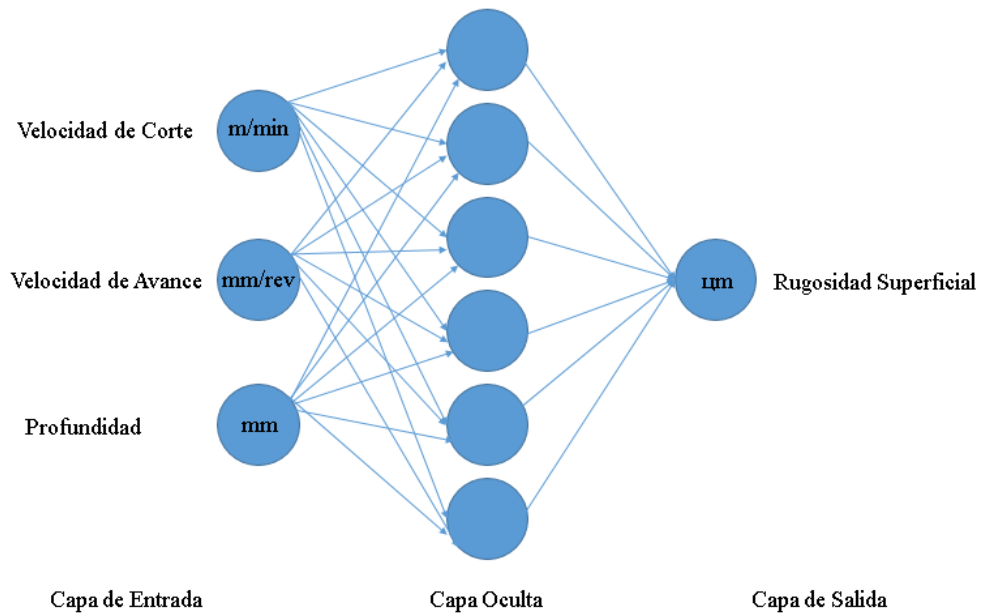
Sigmoidea debido a que su comportamiento es similar a las curvas que representan la rugosidad superficial.

Anteriormente se analizaron las variables que se encuentran involucradas dentro del proceso de torneado, las cuales principalmente son tres, por tal razón se definió que la red neuronal artificial constara de, 3 capas, donde la primera capa corresponde a la entrada y contiene 3 neuronas las cuales equivalen a las tres variables de corte analizadas, posterior a eso se encuentra la capa oculta aproximadamente con 6 neuronas y la capa de salida de 1 neurona con el resultado final el cual corresponde a la rugosidad superficial, en el Cuadro 2, se adjuntan las variables correspondientes a la capa de entrada y a la capa de salida, posterior a eso se ilustra el esquema de la red neuronal propuesta en la Figura 41.

**Cuadro 2.** Variables a la entrada y salida de la red propuesta.

<b>Entrada A</b>		
<b>A1</b>	<b>Velocidad de corte (Vc)</b>	<b>(m/min)</b>
<b>A2</b>	<b>Velocidad de avance (f)</b>	<b>(mm/rev)</b>
<b>A3</b>	<b>Profundidad de pasada (d)</b>	<b>(mm)</b>
<b>Salida B</b>		
<b>B</b>	<b>Rugosidad (Ra)</b>	<b>(<math>\mu</math>m)</b>

*Fuente:*



**Figura 41.** Arquitectura de la red neuronal propuesta

*Fuente:*

Por último y no menos importante, la realización o diseño de las neuronas es a través del software comercial el cual proviene de un entorno de trabajo o un conjunto dedicado al reconocimiento de patrones y respaldado por algoritmos matemáticos complejos, lo cual cumple un papel importante en el desarrollo de aplicaciones que ayudan a la predicción y su atención se centra en las redes neuronales basadas en backpropagation (Propagación hacia atrás).

### **4.3 Generar las relaciones necesarias implementando las redes neuronales artificiales para la predicción de la falla**

#### **4.3.1 Recopilación de datos**

En esta sección de la fase se analiza el comportamiento de los parámetros previamente seleccionados como valores de entrada para el diseño de la red neuronal, los cuales son velocidad de corte, velocidad de avance, profundidad y la salida de la red que viene dada por la rugosidad, como se describió anteriormente. Es importante mencionar que los datos utilizados para dicho

diseño provienen del autor Gama, J. (2005), en su trabajo de investigación titulado “**Estudio comparativo de acabados superficiales de probetas de aluminio 6061-T6, cobre UNS C11000 y Acero AISI 1020 a través del análisis de virutas obtenidas en el proceso de torneado, utilizando diferentes parámetros de corte y diferentes insertos SANDVIK**”. De esta información se logra originar una base de datos con valores reales, los cuales provienen de un acero 1020 que es sometido a un proceso de torneado en seco un torno CNC, utilizando insertos rómbicos de diferentes radios de corte y un portainsero neutro, en el siguiente Cuadro .3, se especifica con más profundidad dichas características.

**Cuadro 3.** Características y tipo de portainsero

<b>Características de inserto DCMT 11T304 04 UF</b>	
Calidad de inserto	GC4035
Forma de la plaquita	55°
Radio de nariz (mm)	0.4
<b>Características de inserto DCMT 11T304 08 UF</b>	
Calidad de inserto	GC4035
Forma de la plaquita	55°
Radio de nariz (mm)	0.8
<b>Especificaciones del Portainsero</b>	
Serie	SANDVIK SDPCN12 3B

Fuente:

Seguidamente se pueden observar en la Tabla.1-2, los valores arrojados por dicha investigación donde los parámetros de corte oscilan dentro del intervalo recomendado por , la primera tabla corresponde al inserto con radio de nariz 0.4mm y seguidamente se reflejan los valores de rugosidad utilizando el inserto con radio de nariz 0.8 mm.

**Tabla 2.**

Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )
280	0.1	0.25	3.13
370	0.05	0.25	0.78
280	0.05	0.25	0.78
280	0.1	0.5	3.13
370	0.1	0.5	3.13
370	0.1	0.5	3.13
280	0.1	0.5	3.13
370	0.05	0.5	0.78
280	0.05	0.5	0.78
370	0.1	0.25	3.13
370	0.1	0.25	3.13
370	0.05	0.25	0.78
280	0.1	0.25	3.13
280	0.05	0.25	0.78
370	0.05	0.5	0.78
280	0.05	0.5	0.78

Fuente: Gómez,2020

**Tabla 1.** Rugosidad Superficial utilizando el inserto DCMT 11T304 08 UF

Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )
280	0.1	0.25	1.56
370	0.05	0.25	0.39
280	0.05	0.25	0.39
280	0.1	0.5	1.56
370	0.1	0.5	1.56
370	0.1	0.5	1.56
280	0.1	0.5	1.56
370	0.05	0.5	0.39
280	0.05	0.5	0.39
370	0.1	0.25	1.56
370	0.1	0.25	1.56
370	0.05	0.25	0.39
280	0.1	0.25	1.56
280	0.05	0.25	0.39
370	0.05	0.5	0.39
280	0.05	0.5	0.39

Fuente: Gómez, 2020

### 4.3.2 Preparación de los datos

De esta manera se procedió a tabular las variables de entradas, velocidad de corte, avance, profundidad y la salida que en este caso es la rugosidad superficial, en ese mismo orden se muestran en las tablas 3-4.

**Tabla 3.** Datos de entrada de la red neuronal

<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Avance (mm/rev)</b>	<b>Profundidad (mm)</b>
280	0.1	0.25
370	0.05	0.25
280	0.05	0.25
280	0.1	0.5
370	0.1	0.5
370	0.1	0.5
280	0.1	0.5
370	0.05	0.5
280	0.05	0.5
370	0.1	0.25
370	0.1	0.25
370	0.05	0.25
280	0.1	0.25
280	0.05	0.25
370	0.05	0.5
280	0.05	0.5
280	0.1	0.25
370	0.05	0.25
280	0.05	0.25
280	0.1	0.5
370	0.1	0.5
370	0.1	0.5
280	0.1	0.5
370	0.05	0.5
280	0.05	0.5
370	0.1	0.25
370	0.1	0.25
370	0.05	0.25
280	0.1	0.25
280	0.05	0.25
370	0.05	0.5
280	0.05	0.5

Fuente: Gómez, 2020

**Tabla 4.** Datos de salida de la red neuronal

<b>Rugosidad</b>
<b>3.13</b>
<b>0.78</b>
<b>0.78</b>
<b>3.13</b>
<b>3.13</b>
<b>3.13</b>
<b>3.13</b>
<b>0.78</b>
<b>0.78</b>
<b>3.13</b>
<b>3.13</b>
<b>0.78</b>
<b>3.13</b>
<b>0.78</b>
<b>0.78</b>
<b>0.78</b>
<b>1.56</b>
<b>0.39</b>
<b>0.39</b>
<b>1.56</b>
<b>1.56</b>
<b>1.56</b>
<b>1.56</b>
<b>0.39</b>
<b>0.39</b>
<b>1.56</b>
<b>1.56</b>
<b>0.39</b>
<b>1.56</b>
<b>0.39</b>
<b>0.39</b>
<b>0.39</b>

**Fuente:** G6mez,2020

### 4.3.3 Normalización de datos

En esta oportunidad se procedió a la normalización de los datos, esto se debe a que la red las capas debidamente definidas con función de transferencias sigmoidea, restringen los valores de salida entre 0 y 1. Además de eso, se normalizan debido a que es necesario tener la entrada y la salida de la red en un mismo rango de valores, ya que los mismos se encuentran en escalas diferentes, esto se realiza con la finalidad de que la red logre hacer predicciones bastante precisas. La normalización se define con la siguiente expresión:

$$D_N = \frac{D_i}{M_D} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

$D_N$  es el dato normalizado,

$D_i$  es el dato de la variable de entrada o de salida respectivamente y

$M_D$  el máximo valor de las variables.

Los datos resultantes de dicha normalización se muestran en las siguientes Tabla 5-6, donde en la primera reflejan los valores normalizados que corresponden a la entrada de la red neuronal y en la segunda se reflejan los valores normalizados que correspondientes a la capa de salida de la misma, es importante mencionar que en esta parte de la fase ya se manejan los valores como una base de datos en forma general, tomando como valores máximo a 370 a la velocidad de corte, avance, profundidad y rugosidad.

**Tabla 5.** Valores de entrada de la red normalizados

<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Avance (mm/rev)</b>	<b>Profundidad (mm)</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0,5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>0.756756757</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>

Fuente: Gómez, 2020

**Tabla 6.** Valores de la salida de la red normalizados

<b>Rugosidad</b>
1
0.249301278
0.249301278
1
1
1
1
0.249301278
0.249301278
1
1
0.249301278
1
0.249301278
0.249301278
0.249301278
0.4980025559
0.124600639
0.124600639
0.4980025559
0.4980025559
0.4980025559
0.4980025559
0.124600639
0.124600639
0.4980025559
0.4980025559
0.124600639
0.4980025559
0.124600639
0.124600639
0.124600639

*Fuente:*

#### 4.3.4 Datos entrenados

Seguidamente se procedió a entrenar a la red con la base de datos previamente formada, donde se entrenó por 20.000 épocas, arrojando un error medio cuadrático, definido en el software como (RMSE) de 0,0012 siendo un porcentaje de error bastante mínimo, posterior a eso, se tomó el resultado arrojado por la red el cual fue 0,998166603 y se realizó lo inverso a la normalización y de esta manera conseguir los valores correspondientes, que se reflejan en las tablas 7-8.

**Tabla 7.** Valores entrenados con el inserto DCMT 11T304 04 UF

3.124261468
0.778882377
0.778882377
3.124261468
3.124261468
3.124261468
3.124261468
0.778882377
0.778882377
3.124261468
3.124261468
0.778882377
3.124261468
0.778882377
0.778882377
0.778882377

*Fuente:* Gómez, 2020

**Tabla 8.** Valores entrenados con el inserto DCMT 11T304 08

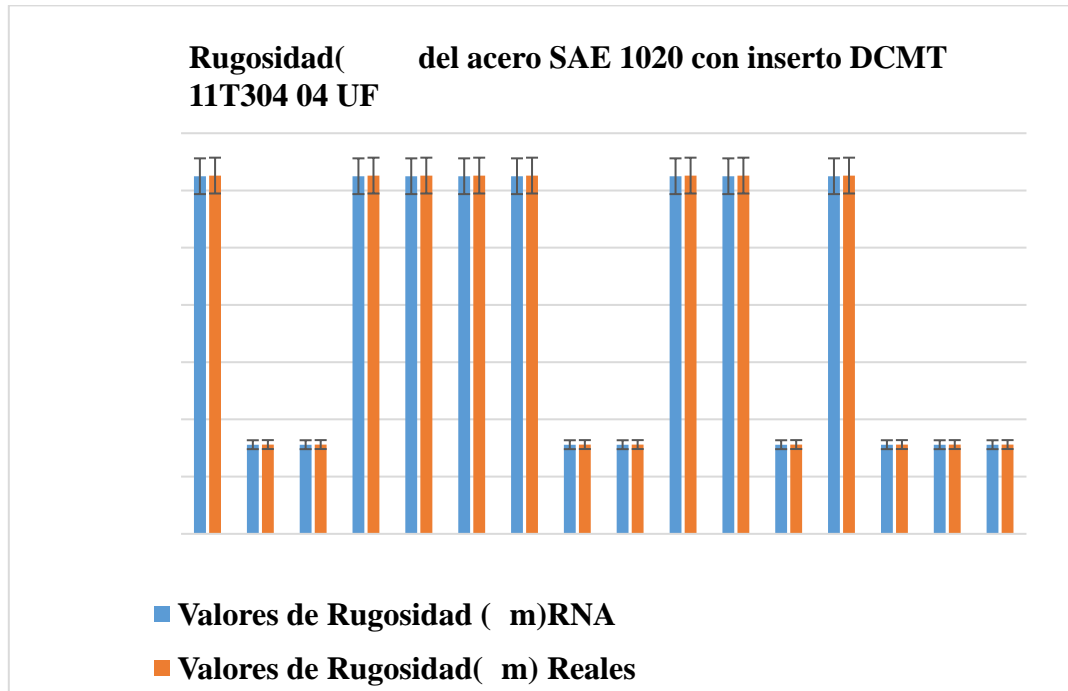
1.555890197
0.389284975
0.389284975
1.555890197
1.555890197
1.555890197
1.555890197
0.389284975
0.389284975
1.555890197
1.555890197
0.389284975
1.555890197
0.389284975
0.389284975
0.389284975

Fuente: Gómez, 2020

#### **4.4 Establecer comparación entre datos ya existentes y el valor obtenido mediante el uso de la herramienta de redes neuronales artificiales.**

En esta fase, la cual corresponde a la IV del presente trabajo de investigación se analizarán los valores obtenidos de manera experimental y los resultados calculados por la red neuronal con el fin de comparar dichos valores y de esta manera demostrar si la red es una herramienta útil para obtener valores precisos de rugosidad, los cuales nos dan un conocimiento previo si la pieza de trabajo puede fallar o no. Mencionada comparación se ilustra de manera gráfica.

##### **4.4.1 Resultados de la rugosidad del acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado con el inserto DCMT 11T304 04 UF**



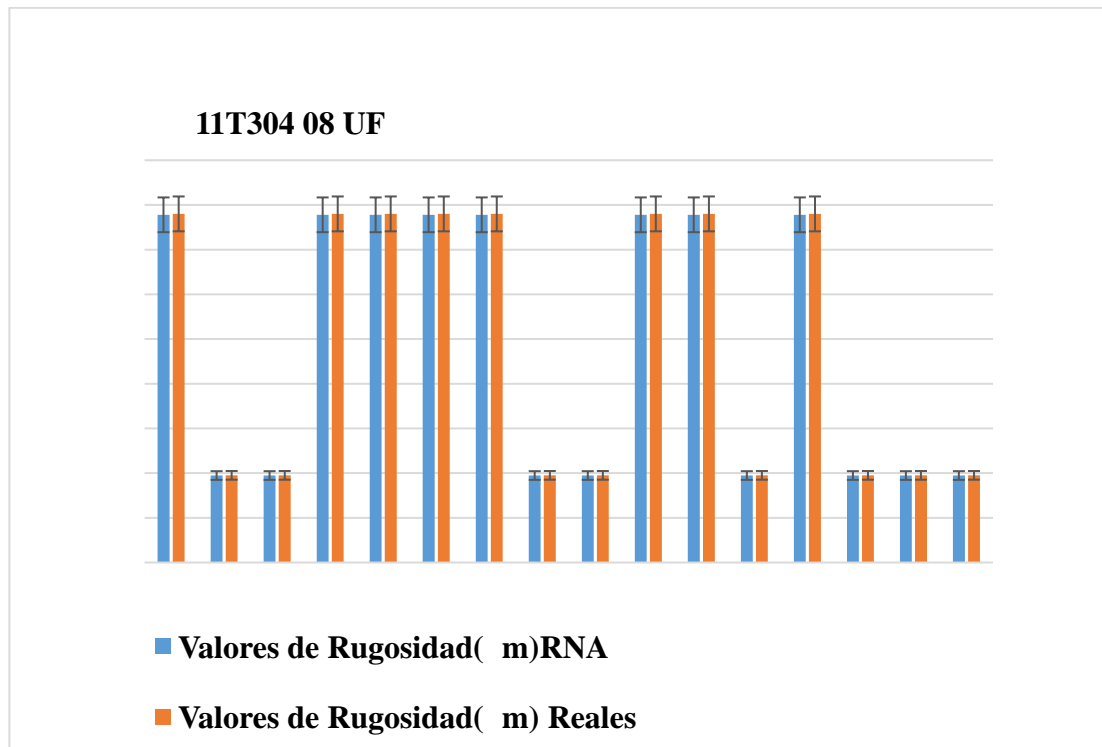
**Figura 42.** Representación gráfica de los valores reales y los obtenidos por RNA, utilizando inserto DCMT 11T304 04 UF  
Fuente: Gómez, 2020

En esta representación gráfica se puede observar los valores de rugosidad y los obtenidos a través de la de la red neuronal mediante el software Donde se puede apreciar que los valores obtenidos por la red son bastante precisos y con bajo porcentaje de error, aproximadamente el 5% con respecto al valor experimental que se utilizó como base de datos, siendo esta representación equivalente al uso del inserto de radio de nariz de 0.4mm.

Además de eso, se puede observar que los valores de rugosidad se dentro del rango de rugosidad promedio de un proceso de torneado, estando a su vez dentro del rango de la aplicación promedio, es decir, son resultados bastante congruentes dentro de los márgenes establecidos y dentro de los parámetros utilizados, pudiéndose tomar los resultados para comprender que el material de trabajo se mantuvo en condiciones favorables luego de ser sometido a un proceso

de torneado en seco , y por consecuente la vida útil del material acero SAE 1020 como pieza de trabajo, puede ser visto de manera positiva, considerando así que no existirá una grieta pronunciada que lleve a la pieza de trabajo a una fractura prematura.

#### 4.4.2 Resultados de la rugosidad del acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado con el inserto DCMT 11T304 08 UF



**Figura 43.** Representación gráfica de los valores reales y los obtenidos por RNA utilizando inserto DCMT 11T304 08 UF

Fuente: Gómez, 2020

En esta representación gráfica también se obtuvo el mismo margen de error de 5% del valor real con respecto al obtenido por la red neuronal, utilizando el inserto DCMT 11T304 08 UF el cual es el equivalente al radio de nariz de 0.8mm. Además de eso, en esta oportunidad se pudo observar que los valores de rugosidad estimados por la red neuronal se encuentran por debajo de los valores de rugosidad donde se utilizó el inserto con radio de punta de 0.4mm, siendo los  $\mu\text{m}$ , encontrándose ambos dentro del

rango promedio de rugosidad superficial de una pieza de trabajo sometida a torneado, encuentra dentro del margen de un valor promedio frecuente y el enos frecuente. Es importante recalcar que para ambos estudios de inserto se utilizó los mismos parámetros de corte, los valores arrojado en este caso también son aún más representativos como valores favorables dentro de un proceso de torneado, demostrando así que la pieza de trabajo del material acero SAE 1020, está en condiciones óptimas en cuanto a lo que se refiere a la rugosidad luego de someterse al torneado, pudiendo así ser una pieza mecanizada que no presentara fallas prematuras por consecuencia de un mal acabado superficial.

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros más importantes a la hora de realizar un proceso de torneado son la velocidad de corte, la velocidad de avance y la profundidad de pasada, como también el material de la herramienta de corte, debido a que son las que se involucran de manera directa con el resultado de un buen acabado superficial, siendo este un buen índice para predecir si una pieza de acero SAE 1020 sometido a un proceso de torneado pueda presentar fallas.
2. Mediante la comparación de datos arrojados por la red neuronal con respecto a los valores reales, se puede observar que uno de los factores que pueden mejorar el acabado superficial es el tipo de herramienta de corte e inserto que se utilice, en especial el tamaño de radio de punta del mismo, concluyendo de esta manera que mientras mayor sea el radio de punta, mejor será el acabado superficial de la pieza, también se observó que es necesario que la profundidad de pasada sea menor al tamaño del radio de punta, es por ello que el valor más bajo de rugosidad superficial ocurrió con una profundidad de pasada de 0,25mm y con el mayor radio de punta que se estudió(0.8mm) arrojando una rugosidad  
valores arrojados por la red neuronal son bastante similares con respecto a los valores reales siendo el margen de error aproximadamente de 5%, demostrando de esta manera que la herramienta computacional es factible.
3. También podemos concluir que los valores de rugosidad y los parámetros de corte no cambiarían con respecto al tipo de geometría del inserto, pues el mismo se selecciona basándose en el tipo de operación que se desea realizar.
4. Se logró diseñar y construir de manera favorable la red neuronal, demostrando así, ser un método práctico para analizar y predecir la posible falla de un material sometido a un proceso de torneado por medio de interacciones entre la posible salida (respuestas), siempre y cuando se

suministre cierta cantidad de factores de entrada y se tengan definidos de manera correcta.

5. En el entrenamiento de la red por medio del método arrojo resultados bastante exactos y con mucha precisión, debido a la poca iteración de valores de entrada los cuales hicieron generar poca oscilación con respecto a la variable de la respuesta deseada y a su vez tomando en cuenta que la base de datos de la red fue generada con valores reales.

6. Un mayor número de neuronas en la capa oculta no significa una mejor predicción en la red, las mismas podrían complicar la estructura e incrementar el número de iteraciones para disminuir el error, pues las características de la red repercutieron en el tiempo de entrenamiento y precisión.

## **RECOMENDACIONES**

1. Proponer diseños de redes neuronales donde se tomen en cuenta factores que afectan el proceso de torneado, como lo puede ser la lubricación a la hora de realizar el corte, con el fin de evaluar la condición final de la rugosidad superficial.
2. Diseñar y crear redes neuronales en otra herramienta computacional, para la comparación de datos y comprobar la veracidad del programa actualmente utilizado.
3. Se recomienda conocer con exactitud los factores a utilizar en la capa de entrada como en la de salida para así obtener resultados bastante óptimos.
4. Realizar estudios basados en redes neuronales artificiales que involucren otros aspectos además de la rugosidad superficial, que puedan generar fallas en el acero SAE 1020 cuando es sometido a un proceso de torneado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Fuentes Bibliográficas

- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**, Caracas: Episteme.
- A'skeland D. Pradeep P. & Wendelin J. (2013). **Ciencia e Ingeniería de Materiales, sexta edición**, Mexico: Cengage learning Editores, S.A
- Flórez R. & Fernández J. (2008). **Las Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos teóricos y aplicaciones teóricas**, España: Netbiblo, S.L
- Gonzales B. (2004). **Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de maquinado de Control Numérico Computarizado**. Trabajo de Doctorado. Universidad Autónoma Nuevo León. México.
- Groover M. (1997). **Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas. 1era Edición**, Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericano, S. A.
- Hilera J. & Martinez V. (1994). **Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones**, España: RA-MA.
- Kalpakjian S. (2008). **Manufactura, Ingeniería y Tecnología**. Quinta edición, México: Pearson Educacion.
- Ospina R.; Parra H. & Aguirre H. (2007). **Diseño de una Red Neuronal Artificial para asistir la automatización en un taller de mecanizado**. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Rivas W. & Mazón O. (2018). **Redes Neuronales Artificiales Aplicadas al Reconocimiento de Patrones**. Ecuador: UTMACH.
- Sampieri, H. (2014). **Metodología de la investigación**. México: MacGraW-Hill/interamericana Editores, S.A
- Schey J. (2002). **Procesos de Manufactura. Tercera Edición**, México: McGraW- Hill/ Interamericana Editores, S.A.
- Sthory E. (2019). **Sistema de Redes Neuronales para la evaluación de programas de Postgrados**. Trabajo de Postgrado. Universidad de Carabobo. Bárbula.
- Tamayo y Tamayo M. (2003). **El Proceso de la Investigación Científica**, México: Editorial Limusa S.A.

Vasquez H. (2017): **Diseño de un sistema para medir la fuerza de corte en el acero SAE 1020 utilizando galgas extensométricas.** Trabajo de Pregrado. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

### **Fuentes Electrónicas**

Jonh H.; Willian A. & Delgado A. (2017). **Mecanizado de Acero AISI1020, Utilizando Buriles con Recubrimiento Monocapa de Nitruro de Vanadio.**

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642017000100008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000100008) consultado el 19 de abril del 2020.

Matich D. (2001). **Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones.**

[https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/orientadora1/monograis/matich-redesneuronales.pdf](https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograis/matich-redesneuronales.pdf) consultado el 5 de mayo del 2020.

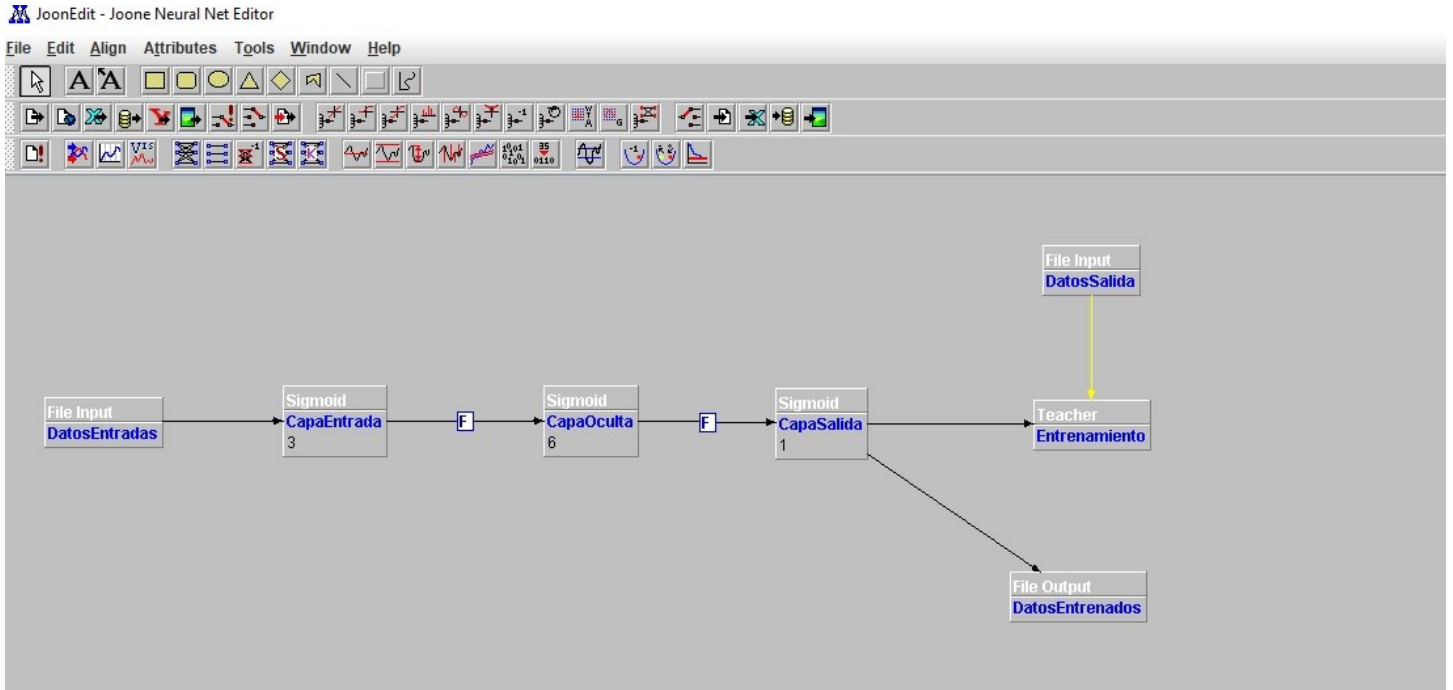
Salas R. (2014). **Redes Neuronales Artificiales.**

[https://www.academia.edu/24633757/Redes\\_Neuronales\\_Artificial](https://www.academia.edu/24633757/Redes_Neuronales_Artificial) es consultado el 20 de abril del 2020.

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Estructura de la red Neuronal artificial

Fuente: G6mez,2020



## ANEXO B. Tablas y nomenclaturas de selección de Insertos SANDVIK

Fuente: Sandvik Coromant , Turning tools.

### NOMECLATURA DE INSERTOS

ANSI, T-MAX P

<b>C</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>			-	<b>PF</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

ISO, T-MAX P

<b>C</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>12</b>	<b>04</b>	<b>08</b>			-	<b>PF</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

ANSI, CoroTurn 107

<b>C</b>	<b>C</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>3</b>	<b>2.5</b>	<b>2</b>			-	<b>PF</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

ANSI, Ceramic

<b>C</b>	<b>N</b>	<b>G</b>	<b>A</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>T</b>	<b>03</b>	<b>20</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ISO, Ceramic

<b>C</b>	<b>N</b>	<b>G</b>	<b>A</b>	<b>12</b>	<b>04</b>	<b>08</b>	<b>T</b>	<b>010</b>	<b>20</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1	2	3	4																																																																																																																																																													
Insert shape	Insert clearance angle	Tolerances, inch	Tolerances, metric																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr> <td><b>C</b> 80°</td> <td></td> <td><b>D</b> 55°</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>K</b> 55°</td> <td></td> <td><b>R</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>S</b> 90°</td> <td></td> <td><b>T</b> 60°</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>V</b> 35°</td> <td></td> <td><b>W</b> 80°</td> <td></td> </tr> </table>	<b>C</b> 80°		<b>D</b> 55°		<b>K</b> 55°		<b>R</b>		<b>S</b> 90°		<b>T</b> 60°		<b>V</b> 35°		<b>W</b> 80°		<table border="1"> <tr> <td><b>B</b></td> <td></td> <td><b>C</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>E</b></td> <td></td> <td><b>N</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>P</b></td> <td></td> <td><b>O</b></td> <td>Special description</td> </tr> </table>	<b>B</b>		<b>C</b>		<b>E</b>		<b>N</b>		<b>P</b>		<b>O</b>	Special description	<p>A: Theoretical diameter of the insert inscribed circle. T: Thickness of the insert. B: See figures.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>B:</th> <th>A:</th> <th>T:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>±.0002</td> <td>±.001</td> <td>±.001</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>.0002</td> <td>.001</td> <td>.006</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>.0005</td> <td>.001</td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>.0003</td> <td>.001</td> <td>.006</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>.001</td> <td>.001</td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>.0002</td> <td>.0005</td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>.001</td> <td>.001</td> <td>.006</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>.0005</td> <td>.0005</td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>.0002</td> <td>.002 - .005<sup>1)</sup></td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>.0005</td> <td>.002 - .005<sup>1)</sup></td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>.001</td> <td>.002 - .005<sup>1)</sup></td> <td>.001</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>.002 - .005<sup>1)</sup></td> <td>.002 - .005<sup>1)</sup></td> <td>.005</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>.005 - .010<sup>1)</sup></td> <td>.005 - .010<sup>1)</sup></td> <td>.005</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>.002 - .010<sup>1)</sup></td> <td>.002 - .004<sup>1)</sup></td> <td>.001</td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>1)</sup> The tolerance depends on the size and shape of the insert, see page A 379 for specific references.</p>	Class	B:	A:	T:	A	±.0002	±.001	±.001	B	.0002	.001	.006	C	.0005	.001	.001	D	.0003	.001	.006	E	.001	.001	.001	F	.0002	.0005	.001	G	.001	.001	.006	H	.0005	.0005	.001	J	.0002	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001	K	.0005	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001	L	.001	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001	M	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.005	U	.005 - .010 <sup>1)</sup>	.005 - .010 <sup>1)</sup>	.005	N	.002 - .010 <sup>1)</sup>	.002 - .004 <sup>1)</sup>	.001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tolerance class</th> <th>s</th> <th>IC / RW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td></td> <td>±0.025</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>±0.13</td> <td>±0.05 - ±0.15<sup>1)</sup></td> </tr> <tr> <td>U</td> <td></td> <td>±0.08 - ±0.25<sup>1)</sup></td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>1)</sup> Varies depending on the size of IC. See below.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Inscribed circle IC mm</th> <th>Tolerance class M</th> <th>Tolerance class U</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.97</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5.98</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.0</td> <td>±0.05</td> <td>±0.08</td> </tr> <tr> <td>6.35</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9.525</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12.0</td> <td>±0.08</td> <td>±0.13</td> </tr> <tr> <td>12.7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15.875</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16.0</td> <td>±0.10</td> <td>±0.16</td> </tr> <tr> <td>19.05</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>±0.13</td> <td>±0.25</td> </tr> <tr> <td>35.4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31.75</td> <td>±0.15</td> <td>±0.25</td> </tr> <tr> <td>32.0</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tolerance class	s	IC / RW	G		±0.025	M	±0.13	±0.05 - ±0.15 <sup>1)</sup>	U		±0.08 - ±0.25 <sup>1)</sup>	Inscribed circle IC mm	Tolerance class M	Tolerance class U	3.97			5.0			5.98			6.0	±0.05	±0.08	6.35			8.0			9.525			10.0			12.0	±0.08	±0.13	12.7			15.875			16.0	±0.10	±0.16	19.05			20.0			25.0	±0.13	±0.25	35.4			31.75	±0.15	±0.25	32.0		
<b>C</b> 80°		<b>D</b> 55°																																																																																																																																																														
<b>K</b> 55°		<b>R</b>																																																																																																																																																														
<b>S</b> 90°		<b>T</b> 60°																																																																																																																																																														
<b>V</b> 35°		<b>W</b> 80°																																																																																																																																																														
<b>B</b>		<b>C</b>																																																																																																																																																														
<b>E</b>		<b>N</b>																																																																																																																																																														
<b>P</b>		<b>O</b>	Special description																																																																																																																																																													
Class	B:	A:	T:																																																																																																																																																													
A	±.0002	±.001	±.001																																																																																																																																																													
B	.0002	.001	.006																																																																																																																																																													
C	.0005	.001	.001																																																																																																																																																													
D	.0003	.001	.006																																																																																																																																																													
E	.001	.001	.001																																																																																																																																																													
F	.0002	.0005	.001																																																																																																																																																													
G	.001	.001	.006																																																																																																																																																													
H	.0005	.0005	.001																																																																																																																																																													
J	.0002	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001																																																																																																																																																													
K	.0005	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001																																																																																																																																																													
L	.001	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.001																																																																																																																																																													
M	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.002 - .005 <sup>1)</sup>	.005																																																																																																																																																													
U	.005 - .010 <sup>1)</sup>	.005 - .010 <sup>1)</sup>	.005																																																																																																																																																													
N	.002 - .010 <sup>1)</sup>	.002 - .004 <sup>1)</sup>	.001																																																																																																																																																													
Tolerance class	s	IC / RW																																																																																																																																																														
G		±0.025																																																																																																																																																														
M	±0.13	±0.05 - ±0.15 <sup>1)</sup>																																																																																																																																																														
U		±0.08 - ±0.25 <sup>1)</sup>																																																																																																																																																														
Inscribed circle IC mm	Tolerance class M	Tolerance class U																																																																																																																																																														
3.97																																																																																																																																																																
5.0																																																																																																																																																																
5.98																																																																																																																																																																
6.0	±0.05	±0.08																																																																																																																																																														
6.35																																																																																																																																																																
8.0																																																																																																																																																																
9.525																																																																																																																																																																
10.0																																																																																																																																																																
12.0	±0.08	±0.13																																																																																																																																																														
12.7																																																																																																																																																																
15.875																																																																																																																																																																
16.0	±0.10	±0.16																																																																																																																																																														
19.05																																																																																																																																																																
20.0																																																																																																																																																																
25.0	±0.13	±0.25																																																																																																																																																														
35.4																																																																																																																																																																
31.75	±0.15	±0.25																																																																																																																																																														
32.0																																																																																																																																																																



**NOMENCLATURA DE PORTAINSERTOS**

**C4 - D C L N R - 27 050 - 12 -**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Shank tools, inch








































































































**D C L N R 16 4 D -**

2 3 4 5 6 7-8 11 10 12

Shank tools, metric

**D C L N R 25 25 M 12 - -**

2 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13

<p><b>1 Coupling size</b></p>  <p><math>D_{100}</math> = Coupling size</p> <p>Size: inch mm</p> <table border="0"> <tr> <td>C3</td> <td><math>D_{100}</math> = 1,290</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td><math>D_{100}</math> = 1,575</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>C5</td> <td><math>D_{100}</math> = 1,909</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>C6</td> <td><math>D_{100}</math> = 2,480</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>C8</td> <td><math>D_{100}</math> = 3,150</td> <td>80</td> </tr> </table>	C3	$D_{100}$ = 1,290	32	C4	$D_{100}$ = 1,575	40	C5	$D_{100}$ = 1,909	50	C6	$D_{100}$ = 2,480	63	C8	$D_{100}$ = 3,150	80	<p><b>2 Method of insert holding</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>C</b> Top clamping </td> <td><b>D</b> Top and hole clamping (HC) </td> </tr> <tr> <td><b>M, W</b> Top and hole clamping </td> <td><b>P</b> Hole clamping </td> </tr> <tr> <td><b>S</b> Screw clamping </td> <td></td> </tr> </table>	<b>C</b> Top clamping 	<b>D</b> Top and hole clamping (HC) 	<b>M, W</b> Top and hole clamping 	<b>P</b> Hole clamping 	<b>S</b> Screw clamping 		<p><b>3 Insert shape</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>C</b> 60° </td> <td><b>D</b> 55° </td> </tr> <tr> <td><b>K</b> 55° </td> <td><b>R</b> </td> </tr> <tr> <td><b>e</b> </td> <td><b>T</b> </td> </tr> <tr> <td><b>V</b> 35° </td> <td><b>W</b> 60° </td> </tr> </table>	<b>C</b> 60° 	<b>D</b> 55° 	<b>K</b> 55° 	<b>R</b> 	<b>e</b> 	<b>T</b> 	<b>V</b> 35° 	<b>W</b> 60° 
C3	$D_{100}$ = 1,290	32																													
C4	$D_{100}$ = 1,575	40																													
C5	$D_{100}$ = 1,909	50																													
C6	$D_{100}$ = 2,480	63																													
C8	$D_{100}$ = 3,150	80																													
<b>C</b> Top clamping 	<b>D</b> Top and hole clamping (HC) 																														
<b>M, W</b> Top and hole clamping 	<b>P</b> Hole clamping 																														
<b>S</b> Screw clamping 																															
<b>C</b> 60° 	<b>D</b> 55° 																														
<b>K</b> 55° 	<b>R</b> 																														
<b>e</b> 	<b>T</b> 																														
<b>V</b> 35° 	<b>W</b> 60° 																														
<p><b>4 Holder style</b>      lead = lead angle      <math>\alpha</math> = ending angle</p> <table border="0"> <tr> <td><b>A</b> lead 7° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>B</b> lead 15° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>D</b> lead 45° <math>\alpha</math> 45° </td> <td><b>E</b> lead 20° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>F</b> lead -1° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>G</b> lead -1° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>H</b> lead -17.5° <math>\alpha</math> 37.5° </td> </tr> <tr> <td><b>Q</b> lead -17.5° <math>\alpha</math> 37.5° </td> <td><b>J</b> lead -7° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>K</b> lead 15° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>L</b> lead -2° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>M</b> lead 40° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>N</b> lead 27.5° <math>\alpha</math> 60° </td> <td><b>P</b> lead 37.5° <math>\alpha</math> 60° </td> </tr> <tr> <td><b>R</b> lead 15° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>S</b> lead 45° <math>\alpha</math> 45° </td> <td><b>T</b> lead 20° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>U</b> lead -1° <math>\alpha</math> 30° </td> <td><b>V</b> lead 17.5° <math>\alpha</math> 72.5° </td> <td><b>Y(X)</b> lead 0° <math>\alpha</math> 60° </td> <td><b>Y(Z)</b> lead 0° <math>\alpha</math> 60° </td> </tr> </table>			<b>A</b> lead 7° $\alpha$ 30° 	<b>B</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>D</b> lead 45° $\alpha$ 45° 	<b>E</b> lead 20° $\alpha$ 30° 	<b>F</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>G</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>H</b> lead -17.5° $\alpha$ 37.5° 	<b>Q</b> lead -17.5° $\alpha$ 37.5° 	<b>J</b> lead -7° $\alpha$ 30° 	<b>K</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>L</b> lead -2° $\alpha$ 30° 	<b>M</b> lead 40° $\alpha$ 30° 	<b>N</b> lead 27.5° $\alpha$ 60° 	<b>P</b> lead 37.5° $\alpha$ 60° 	<b>R</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>S</b> lead 45° $\alpha$ 45° 	<b>T</b> lead 20° $\alpha$ 30° 	<b>U</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>V</b> lead 17.5° $\alpha$ 72.5° 	<b>Y(X)</b> lead 0° $\alpha$ 60° 	<b>Y(Z)</b> lead 0° $\alpha$ 60° 								
<b>A</b> lead 7° $\alpha$ 30° 	<b>B</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>D</b> lead 45° $\alpha$ 45° 	<b>E</b> lead 20° $\alpha$ 30° 	<b>F</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>G</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>H</b> lead -17.5° $\alpha$ 37.5° 																									
<b>Q</b> lead -17.5° $\alpha$ 37.5° 	<b>J</b> lead -7° $\alpha$ 30° 	<b>K</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>L</b> lead -2° $\alpha$ 30° 	<b>M</b> lead 40° $\alpha$ 30° 	<b>N</b> lead 27.5° $\alpha$ 60° 	<b>P</b> lead 37.5° $\alpha$ 60° 																									
<b>R</b> lead 15° $\alpha$ 30° 	<b>S</b> lead 45° $\alpha$ 45° 	<b>T</b> lead 20° $\alpha$ 30° 	<b>U</b> lead -1° $\alpha$ 30° 	<b>V</b> lead 17.5° $\alpha$ 72.5° 	<b>Y(X)</b> lead 0° $\alpha$ 60° 	<b>Y(Z)</b> lead 0° $\alpha$ 60° 																									

<p><b>5 Clearance angle</b></p> <p><b>B</b> <b>C</b> </p> <p><b>D</b> <b>E</b> </p> <p><b>N</b> <b>P</b> </p>	<p><b>6 Hand of tool</b></p> <p><b>R</b> Right hand </p> <p><b>L</b> Left hand </p> <p><b>N</b> Neutral </p>	<p><b>7 &amp; 8 Shank size (width and height), inch</b></p> <p><b>05</b> = 5/16 × 5/16      <b>85</b> = 1 × 1 1/4  <b>06</b> = 3/8 × 3/8      <b>06</b> = 1 × 1 1/2  <b>08</b> = 1/2 × 1/2      <b>20</b> = 1 1/4 × 1 1/4  <b>10</b> = 5/8 × 5/8      <b>24</b> = 1 1/2 × 1 1/2  <b>12</b> = 3/4 × 3/4      <b>32</b> = 2 × 2  <b>16</b> = 1 × 1</p> <p>The seventh and eighth position shall be a single significant two digit number which indicates the holder's cross section. For shanks 1/8" square and over the number will represent the number of sixteenths inch of width and height. For shanks under 1/8" square the number of sixteenths inch of cross section will be preceded by a zero.</p> <p>For rectangular holders the first digit represents the number of eighths inch width, and the second digit the number of quarters inch of height.</p>																																												
<p><b>7 and 8 Shank size (width and height), metric</b></p> <p><b>7</b> Shank height  *Integers to be preceded by 0, e.g. h = 8 indicated by 08</p> <p><b>8</b> Shank width  *Integers to be preceded by 0, e.g. b = 8 indicated by 08</p>	<p><b>9 Coromant Capto <math>f_1</math>-dimension, metric</b></p> <p><math>f_1</math>-dimension in mm (2 digits)</p>	<p><b>10 Tool length and width, inch</b></p> <p><math>l_1</math> qualified to <math>\pm 0.003</math></p> <p><b>A</b> <math>l_1 = 4"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>B</b> <math>l_1 = 4.5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>C</b> <math>l_1 = 5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>D</b> <math>l_1 = 6"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>E</b> <math>l_1 = 7"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>F</b> <math>l_1 = 8"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>M</b> <math>l_1 = 4"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>N</b> <math>l_1 = 4.5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>P</b> <math>l_1 = 5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>R</b> <math>l_1 = 6"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>S</b> <math>l_1 = 7"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>T</b> <math>l_1 = 8"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math></p> <p><b>SANDVIK standard</b></p> <p><b>G</b> <math>l_1 = 5.5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>U</b> <math>l_1 = 5.5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>V</b> <math>l_1 = 3.5"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math>  <b>K</b> <math>l_1 = 14"</math> qualified <math>f_1</math> and <math>l_1</math></p>																																												
<p><b>10 Shank tool length, metric</b></p> <table border="0"> <tr><td><b>A</b> = 32</td><td><b>N</b> = 150</td></tr> <tr><td><b>B</b> = 40</td><td><b>P</b> = 170</td></tr> <tr><td><b>C</b> = 50</td><td><b>Q</b> = 180</td></tr> <tr><td><b>D</b> = 60</td><td><b>R</b> = 200</td></tr> <tr><td><b>E</b> = 70</td><td><b>S</b> = 250</td></tr> <tr><td><b>G</b> = 80</td><td><b>T</b> = 300</td></tr> <tr><td><b>H</b> = 100</td><td><b>U</b> = 350</td></tr> <tr><td><b>J</b> = 110</td><td><b>V</b> = 400</td></tr> <tr><td><b>K</b> = 125</td><td><b>W</b> = 400</td></tr> <tr><td><b>L</b> = 140</td><td><b>X</b> = Special</td></tr> <tr><td><b>M</b> = 150</td><td></td></tr> </table>	<b>A</b> = 32	<b>N</b> = 150	<b>B</b> = 40	<b>P</b> = 170	<b>C</b> = 50	<b>Q</b> = 180	<b>D</b> = 60	<b>R</b> = 200	<b>E</b> = 70	<b>S</b> = 250	<b>G</b> = 80	<b>T</b> = 300	<b>H</b> = 100	<b>U</b> = 350	<b>J</b> = 110	<b>V</b> = 400	<b>K</b> = 125	<b>W</b> = 400	<b>L</b> = 140	<b>X</b> = Special	<b>M</b> = 150		<p><b>10 Coromant Capto tool length, metric</b></p> <p><math>l_1</math>-dimension in mm (3 digits)</p>	<p><b>12 Manufacturer's option</b></p> <p>When required a supplementary symbol of max. 3 letters may be added to the code, separated by a dash, e.g. W for wedge design.</p>																						
<b>A</b> = 32	<b>N</b> = 150																																													
<b>B</b> = 40	<b>P</b> = 170																																													
<b>C</b> = 50	<b>Q</b> = 180																																													
<b>D</b> = 60	<b>R</b> = 200																																													
<b>E</b> = 70	<b>S</b> = 250																																													
<b>G</b> = 80	<b>T</b> = 300																																													
<b>H</b> = 100	<b>U</b> = 350																																													
<b>J</b> = 110	<b>V</b> = 400																																													
<b>K</b> = 125	<b>W</b> = 400																																													
<b>L</b> = 140	<b>X</b> = Special																																													
<b>M</b> = 150																																														
<p><b>11 Insert size</b></p> <p><b>Inch</b> inscribed circle is indicated in 1/8".</p> <table border="0"> <tr><td><b>C</b> </td><td><b>R</b> </td><td><b>1.2</b> = 5/32</td></tr> <tr><td><b>D</b> </td><td></td><td><b>1.5</b> = 3/16</td></tr> <tr><td><b>V</b> </td><td></td><td><b>1.8</b> = 7/32</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>2</b> = 1/4</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>2.5</b> = 5/16</td></tr> <tr><td><b>S</b> </td><td><b>T</b> </td><td><b>3</b> = 3/8</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>4</b> = 1/2</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>5</b> = 5/8</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>6</b> = 3/4</td></tr> <tr><td><b>W</b> </td><td></td><td><b>8</b> = 1</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><b>10</b> = 1 1/8</td></tr> </table>	<b>C</b>	<b>R</b>	<b>1.2</b> = 5/32	<b>D</b>		<b>1.5</b> = 3/16	<b>V</b>		<b>1.8</b> = 7/32			<b>2</b> = 1/4			<b>2.5</b> = 5/16	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>3</b> = 3/8			<b>4</b> = 1/2			<b>5</b> = 5/8			<b>6</b> = 3/4	<b>W</b>		<b>8</b> = 1			<b>10</b> = 1 1/8	<p><b>Metric</b> Cutting edge length</p> <table border="0"> <tr><td><b>C</b> </td><td><b>K</b> </td><td rowspan="2">Cutting edge length is indicated in mm. Integer (not rounded off).</td></tr> <tr><td><b>D</b> </td><td><b>V</b> </td></tr> <tr><td><b>R</b> </td><td><b>S</b> </td><td></td></tr> <tr><td><b>T</b> </td><td><b>W</b> </td><td></td></tr> </table>	<b>C</b>	<b>K</b>	Cutting edge length is indicated in mm. Integer (not rounded off).	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>R</b>	<b>S</b>		<b>T</b>	<b>W</b>		<p><b>13 Clamping system, ceramics</b></p> <p><b>Top clamp design</b></p> <p><b>IC</b> = Clamp with chipbreaker  <b>ID</b> = Clamp with pressure plate  <b>IP</b> = Center pin for hole clamping, only as option</p> <p><b>-2</b> = CoroTurn RC holders for inserts with hole  <b>-4</b> = CoroTurn RC holders for inserts without hole</p>
<b>C</b>	<b>R</b>	<b>1.2</b> = 5/32																																												
<b>D</b>		<b>1.5</b> = 3/16																																												
<b>V</b>		<b>1.8</b> = 7/32																																												
		<b>2</b> = 1/4																																												
		<b>2.5</b> = 5/16																																												
<b>S</b>	<b>T</b>	<b>3</b> = 3/8																																												
		<b>4</b> = 1/2																																												
		<b>5</b> = 5/8																																												
		<b>6</b> = 3/4																																												
<b>W</b>		<b>8</b> = 1																																												
		<b>10</b> = 1 1/8																																												
<b>C</b>	<b>K</b>	Cutting edge length is indicated in mm. Integer (not rounded off).																																												
<b>D</b>	<b>V</b>																																													
<b>R</b>	<b>S</b>																																													
<b>T</b>	<b>W</b>																																													

