

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	JEISON FELIPE	
Apellido (s):	CARDENAS SAAVEDRA	
Código:	20172375029	
E-mail:	jasonc_04@hotmail.com	
Teléfono fijo:	2239273	
Celular:	3138591603	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Optimización de los parámetros tecnológicos en el proceso de fresado para obtener la mínima rugosidad en el Acero AISI/SAE 1045	
Duración (estimada):	10 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Taller 3, metrología dimensional, estadística, probabilidad, optimización, diseño experimental	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Jonny Ricardo Dueñas (firma miércoles 2 de septiembre de 2018)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

TABLA DE CONTENIDO

0. Introducción	3
1. Planteamiento del problema	3
<u>1.1. Estado del arte</u>	4
<u>1.2. Justificación</u>	6
2. Objetivos	7
<u>2.1. Objetivo principal</u>	7
<u>2.2. Objetivos específicos</u>	7
3. Marco teórico	8
<u>3.1. Rugosidad</u>	8
<u>3.2. Parámetros tecnológicos de mecanizado</u>	8
<u>3.2.1. Velocidad de corte</u>	8
<u>3.2.2. Velocidad del husillo</u>	9
<u>3.2.3. Velocidad de avance</u>	9
<u>3.2.4. Profundidad de pasada</u>	9
<u>3.3. Diseño Taguchi y arreglo ortogonal</u>	9
<u>3.4. Análisis de la varianza (ANOVA)</u>	10
<u>3.5. Regresión lineal múltiple (MRA)</u>	11
<u>3.6. Red neuronal artificial (ANN)</u>	12
4. Metodología	12
5. Cronograma	13
6. Presupuesto	14
7. Bibliografía	15

0. Introducción

Actualmente se busca mejorar las propiedades de los materiales para prolongar la vida útil de las herramientas o piezas que se deban ensamblar, una variable que se puede mejorar es el acabado superficial de las piezas, en la actualidad, existen procesos para optimizarlo, pero estos tienden a demandar mucho tiempo o a ser procesos de alto costo. Sin embargo, para mejorar el acabado superficial, se puede reducir la rugosidad de las piezas que han sido mecanizadas, en consecuencia, el presente estudio se centra en la rugosidad de las piezas, dejando claro que entre menor sea la rugosidad de la superficie mejor será el acabado superficial de la misma.

En el presente documento se presenta una propuesta para mejorar el acabado superficial en las piezas mecanizadas en Acero AISI/SAE 1045, analizando la rugosidad obtenida en el material luego del proceso de planeado en el centro de mecanizado (CNC) que posee la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la facultad tecnológica. El análisis se llevará a cabo realizando un experimento basado en redes neuronales y en regresión lineal para obtener el valor exacto de las variables: velocidad de corte (V_c), velocidad de avance (V_f) y la profundidad de pasada (P), en la operación de planeado para obtener el valor de rugosidad mínima en las piezas fabricadas en Acero AISI/SAE 1045.

1. Planteamiento del problema

Un mal acabado superficial de las piezas o elementos de máquinas como engranajes, ejes, árboles de levas, pistones, casquetes, entre otros; puede traer bastantes consecuencias negativas en el mundo industrial, estas consecuencias pueden ser económicas, ya que se hace muy frecuente el cambio de las piezas y mantenimiento de estas que presentan fallas y esto puede llevar a parar una línea de producción por completo y ninguna de estas situaciones son deseables, ya que esto puede dar un incumplimiento a los clientes. Para disminuir estos riesgos o efectos negativos de un mal acabado superficial se han desarrollado técnicas de mecanizado para disminuir la rugosidad y así mejorar el acabado superficial, algunas de estas técnicas son la rectificación de las piezas o un planeado al final del mecanizado.

El acabado superficial de cualquier pieza fabricada en cualquier material tiene gran incidencia en las propiedades mecánicas y estéticas de dicho elemento, por ejemplo, una pieza que presenta una rugosidad alta es más propenso a fallar por fatiga debido a las grietas que se forman en la superficie por su mal acabado superficial, o puede ser más propenso a la corrosión y esto trae consecuencias negativas en la estética de las piezas. Por estas razones y muchas más es que siempre se está en búsqueda de mejorar el acabado superficial de cualquier elemento, y para ello se han desarrollado bastantes técnicas como por ejemplo, un tratamiento químico, un recubrimiento, rectificación de las piezas, entre otros. El problema de estos métodos es que retardan la producción del elemento o pieza ya que demandan de

mucho tiempo, además, suelen ser muy costosos o simplemente no convienen debido a que pueden alterar el funcionamiento de la pieza que se está fabricando.

Además de esto, es deseable obtener el mejor acabado superficial de las piezas en el mismo proceso de mecanizado, es por eso que se plantea que se realice un planeado al final del proceso con el valor mínimo posible de rugosidad, cuando se obtiene este valor es porque se ha encontrado los valores de los parámetros tecnológicos más adecuados para esta operación. Encontrar los parámetros tecnológicos adecuados trae consecuencias positivas ya que, adicional al mejor acabado superficial de las piezas, se prolonga la vida útil de la herramienta de corte, lo que hace que la calidad de la producción de las piezas sea mucho más alta que la que se puede conseguir con parámetros menos eficientes y con herramientas que presentan desgaste, adicional a esto, económicamente, es más favorable porque se reduce el reemplazo de la herramienta de corte.

1.1. Estado del arte

Hasta el momento se han realizado varios estudios en búsqueda de mejorar el acabado superficial en distintos materiales y en operaciones tanto de torneado como de fresado; Uma, Harish y Suresh [1] realizaron un experimento empleando el diseño de Taguchi, la regresión lineal y las redes neuronales artificiales para optimizar el acabado superficial en Acero AISI 52100 después de la operación de torneado, ellos analizaron las variables de velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada, cada una con tres niveles, con el diseño Taguchi optimizaron la cantidad de pruebas a realizar, estas fueron 27, y a los datos obtenidos les realizaron la regresión lineal (RA) y emplearon la red neuronal artificial (ANN por sus siglas en inglés). Mediante la regresión lineal obtuvieron la siguiente expresión matemática $Ra = 2.5422 - 0.0041*A + 8.0111*B + 3.4222*C + 25.5B^2 - 8C^2 - 0.001A*B + 0.036A*C + 7B*C$, donde A corresponde a la velocidad de corte, B a la velocidad de avance y C a la profundidad de la pasada. La red neuronal que emplearon fue de 3 entradas (velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada), con 6 capas ocultas y una salida (la rugosidad), la realizaron con MATLAB. Concluyeron que el modelo de la red neuronal es más confiable que la regresión lineal, ya que el máximo error obtenido mediante ANN fue de 7,17%, mientras que, con RA fue de 14,74% y con la herramienta ANOVA obtuvieron que la menor rugosidad se obtiene a mayores velocidades de corte y menores profundidades de pasada, mientras que la velocidad de avance no tiene una incidencia significativa sobre el acabado superficial.

Chakradhar, Bharatkumar, Dhananjay y Kundan [2] desarrollaron una investigación con el objetivo de estimar la rugosidad en una aleación de titanio (grado 5), en la operación de micro fresado de alta velocidad, empleando las siguientes técnicas de optimización: red neuronal artificial (ANN), manejo de grupo de datos (GMDH) y análisis de regresión múltiple (MRA). Las variables que ellos consideraron fueron profundidad de corte, velocidad del husillo y velocidad de avance, como variables de entrada y la rugosidad como variable de salida; el experimento lo desarrollaron llevando a cabo 27 pruebas y tomando la rugosidad en el

material, la rugosidad la midieron por la técnica de interferometría. Ellos concluyeron que el factor que tiene más influencia sobre la rugosidad es la velocidad de avance seguido por la profundidad de corte y por último la velocidad del husillo, ya que si la velocidad de avance y la profundidad de corte se mantienen constante y se incrementa la velocidad del husillo la rugosidad disminuye. Además que la herramienta ANN es más confiable ya que con ella se obtuvo un error de 3,76%, mientras que con GMDH el error fue de 3,87% y con MRA el error fue de 3,99%.

Ílhan y Mehmet [3] desarrollaron un estudio para optimizar la rugosidad en un acero AISI 1040 después de la operación de torneado, empleando una red neuronal artificial (ANN) y un análisis de regresión múltiple (MRA); también emplearon el análisis de varianza (ANOVA) para determinar que variable tiene mayor incidencia en el acabado superficial de este material. Las variables que tuvieron en consideración fueron: profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte, cada una con tres niveles. La red neuronal que emplearon la entrenaron por dos métodos distintos: gradiente conjugado escalado (SCG) y Levenberg-Marquardt (LM). En la fase experimental se llevaron a cabo 27 mediciones de rugosidad con el rugosímetro. Concluyeron que la velocidad de avance es la que mayor incidencia tiene sobre la rugosidad seguida de la profundidad de corte y la velocidad de corte. Gracias al análisis MRA obtuvieron la siguiente expresión matemática $Ra = 0.130 + 0.00088V + 3.54f - 0.011a + 0.000005V^2 + 14.4f^2 + 0.0174a^2 + 0.00848V*f + 0.000059V*a - 0.194f*a$, donde V es velocidad de corte, f velocidad de avance y a la profundidad de pasada. Además determinaron que para la red neuronal es mejor emplear el método SCG para entrenarla ya que este método da un error mínimo. Y por último determinaron que el modelo de la red neuronal es mejor que el análisis de regresión múltiple ya que brinda un 99,8% de fiabilidad en la predicción de los datos mientras que el MRA da un 98,9% de fiabilidad.

Girish y Kuldip [4] llevaron a cabo un estudio para optimizar y predecir la rugosidad en un Acero AISI 1060 en operación de planeado en una fresa vertical, con ayuda de una red neuronal artificial (ANN) y buscaron obtener los valores óptimos de los parámetros incorporando un algoritmo genético (GA), los parámetros que ellos tuvieron en cuenta fueron velocidad de corte, velocidad de alimentación, profundidad de corte y el desgaste de flanco de la herramienta. Para la parte experimental realizaron 30 mediciones, la medición del desgaste del flanco de la herramienta la realizaron con un microscopio y la medición de la rugosidad en la pieza la realizaron con un rugosímetro. Concluyeron que el arreglo de la red neuronal que arrojó los datos más próximos a los datos experimentales fue el de 4 neuronas de entrada, que corresponde a los 4 parámetros analizados, una capa oculta con 9 neuronas y una capa de salida que corresponde a la rugosidad; con este arreglo de la ANN obtuvieron un error del 4,91%. Por otro lado al integrar el algoritmo genético a la red neuronal artificial obtuvieron que los valores óptimos de los parámetros son 4,65 m/s para la velocidad de corte, 0,142 mm/diente para la velocidad de avance, 0,67 mm para la profundidad de corte y 0,08 mm de desgaste de flanco; con estos valores obtuvieron un valor promedio de la rugosidad de 0,0998 μm y un valor de rugosidad mínimo de 0,0992 μm , con esto concluyeron que el

método se hace más fiable y óptimo con la incorporación del algoritmo a la red neuronal artificial.

Anuja, Kirubakaran, Ranjit y Leo [5] realizaron un estudio para predecir la rugosidad superficial en una pieza de Acero AISI H13, durante el torneado, empleando la menor cantidad posible de refrigerante. Empleando una red neuronal artificial (ANN). Los parámetros que ellos analizaron fueron velocidad de avance, velocidad de corte y profundidad de corte, cada uno con 3 niveles, para la parte experimental realizaron 27 pruebas, midiendo la rugosidad con un rugosímetro Mitutoyo, y emplearon la menor cantidad posible de refrigerante durante el mecanizado. Para emplear la red neuronal artificial la entrenaron con 60 arquitecturas diferentes para encontrar la que les diera un error mínimo. Encontraron que la arquitectura que es más fiable es la de una capa de entrada con 3 neuronas (correspondiente a los 3 parámetros estudiados), 2 capas ocultas cada uno con 7 neuronas y una capa de salida con una neurona (que corresponde a la rugosidad superficial), es decir, una ANN con estructura 3-7-7-1. Concluyeron que empleando esta arquitectura obtenían un error promedio menor al 7%, y además, que se podía emplear esta mínima cantidad de líquido refrigerante para así reducir costos y contribuir al medio ambiente.

Venkatesh y Suresh [6] realizaron un estudio para obtener la menor rugosidad en operaciones de fresado vertical, analizando los parámetros de la máquina y las dimensiones de la herramienta, los parámetros que estudiaron fueron velocidad de corte y velocidad de alimentación y las dimensiones de la herramienta fueron ángulo de ataque y radio de contacto. Empleando una red neuronal artificial (ANN) y un algoritmo de simulación (SAA). Para las pruebas experimentales cada parámetro y dimensión tenían 3 niveles y se llevaron a cabo 81 pruebas. Pudieron concluir que el parámetro que tiene más incidencia sobre el valor de la rugosidad es la velocidad de avance seguido por la velocidad de corte, y que la dimensión que más incide en el valor final de la rugosidad es el ángulo de ataque seguido por el radio de contacto. Para optimizar la red neuronal artificial se le incorporo el algoritmo SAA, con esto pudieron concluir que el uso de velocidades de corte mayores va a arrojar valores menores de rugosidad, emplear velocidades de avance altas hace que la rugosidad sea bastante alta, por esto es recomendable manejar velocidades de avance bajas; entre más alto sea el valor de ataque mayor será el valor de la rugosidad, se debe mantener un ángulo de ataque no muy elevado y el radio de la nariz no influye significativamente en la rugosidad superficial.

1.2. Justificación

Minimizando el acabado superficial de las piezas que se fabrican para el mundo industrial se pueden obtener bastantes beneficios, no solo para la compañía que fabrica sino que también para el cliente final del producto, pero hay que elegir con mucha cautela el método para mejorar el acabado superficial ya que algunos métodos son muy costosos o no se pueden aplicar a la pieza que se está trabajando, es por eso que se propone un estudio para obtener los valores óptimos de los parámetros tecnológicos de corte para reducir costos por

mantenimientos, o reemplazo de herramienta de corte y con esto prolongar las etapas de producción y en última instancia prolongar la vida del elemento mecanizado. Además de esto minimizando la rugosidad que a su vez es mejorar el acabado superficial sobre cualquier material, se obtienen grandes beneficios que son: la mejora, quizá la más importante, de las propiedades mecánicas del material, ya que durante el proceso de mecanizado se generan esfuerzos debido a las herramientas de corte y las fuerzas que estas generan en la superficie que se está procesando, al realizar la operación de planeado que aquí se propone, se estarían eliminando estos esfuerzos; además, cada vez que se mecaniza y no se tiene en cuenta el acabado superficial, la superficie puede presentar agrietamientos, que a su vez funcionan como concentradores de esfuerzo y es por allí por donde puede fracturarse la pieza, disminuyendo la rugosidad del material se aumenta la resistencia a la fatiga y se eliminan esos posibles puntos de agrietamientos; por último con un buen acabado superficial se pueden obtener piezas con dimensiones más exactas lo que lleva a mejorar el nivel de las tolerancias.

Por otro lado, mejorando el acabado superficial también se mejoran aspectos estéticos de las piezas, disminuyendo la rugosidad se eliminan los puntos con grietas, y es por allí donde el material tiende a corroerse y esto genera un mal aspecto en las piezas, además del costo elevado que tiene el tratamiento contra la corrosión en los metales; al tener un mejor acabado superficial existe una mayor limpieza y esterilidad en los elementos mecanizados lo que lleva a ahorrar costos de mantenimiento y, además, la lubricación entre piezas o elementos será mucho mejor, lo que lleva a que la vida útil del lubricante se extienda de forma considerable.

2. Objetivos

2.1. Objetivo principal

Obtener los valores óptimos de los parámetros tecnológicos de velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada, para la operación de planeado en CNC a un Acero AISI/SAE 1045, que minimicen el valor de la rugosidad final.

2.2. Objetivos específicos

- Diseñar el experimento mediante la herramienta arreglo ortogonal de Taguchi para obtener la cantidad de pruebas necesarias que se deben realizar en la parte experimental del estudio y obtener los niveles de los factores (velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada) para el material y la herramienta a mecanizar.
- Con el análisis estadístico de varianza (ANOVA) determinar la influencia de los parámetros tecnológicos en la rugosidad superficial del Acero AISI/SAE 1045.

- Obtener un modelo matemático, con la velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada como variables independientes, para predecir el valor de la rugosidad superficial, como variable dependiente, en el Acero AISI/SAE 1045 después de la operación de planeado, mediante el análisis de regresión lineal múltiple (MRA).
- Optimizar el acabado superficial del Acero AISI/SAE 1045, obteniendo los valores indicados de los parámetros tecnológicos, mediante una red neuronal artificial (ANN).
- Comparar el modelo de regresión lineal (RA) y la red neuronal artificial (ANN) para indicar cuál es el método más eficiente.

3. Marco teórico

3.1. Rugosidad

El acabado superficial de una pieza puede poseer errores de dos tipos: macro geométricos y micro geométricos, la rugosidad es un error de tipo geométrico y se puede definir como el conjunto de irregularidades que presenta una pieza, generalmente estas imperfecciones son generadas por las herramientas de corte durante la producción de dicho elemento. Para medir la rugosidad existe un aparato que nos da una lectura digital llamado el rugosímetro y la unidad en el sistema internacional de la rugosidad es el μm , mientras que en el sistema inglés la unidad de medición de rugosidad es μinch [7].

3.2. Parámetros tecnológicos de mecanizado

Los parámetros de corte son el conjunto de condiciones con las que se realizaran una operación de mecanizado, por lo general el fabricante nos brinda algunos datos de estos, a partir de los cuales podemos calcular los que nos hagan falta para realizar la operación deseada [8].

3.2.1. Velocidad de corte

La velocidad de corte se puede definir como el espacio en metros recorrido en un minuto ya sea por el material si es el caso de un torno, o por la herramienta si es el caso de una fresa y se puede calcular así:

$$V_c = \frac{D * \pi * n}{1000} \quad (1)$$

Donde, V_c es la velocidad de corte expresada en m/min, n es la velocidad del husillo expresada en rev/min y D el diámetro exterior de la herramienta expresado en mm. 1000 es el factor de conversión para que nos dé m/min.

3.2.2. Velocidad del husillo

La velocidad del husillo es la velocidad del cabezal a la cual girará durante la operación de mecanizado, es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la herramienta, se puede calcular así:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_c} \quad (2)$$

Donde n es la velocidad del husillo expresada en rpm, D es el diámetro exterior de la herramienta y 1000 el factor de conversión.

3.2.3. Velocidad de avance

La velocidad de avance es la velocidad relativa entre la pieza que se está maquinando y la herramienta que está efectuando el corte, es decir la velocidad con la que progresa el corte, para calcularla empleamos:

$$F = n * F_n \quad (3)$$

Donde F es la velocidad de avance expresada en mm/minuto, n la velocidad del husillo expresada en rpm y F_n es el avance por revolución de la herramienta que no lo brinda el fabricante, de no ser así lo podemos calcular mediante:

$$F_n = F_z * z \quad (4)$$

Donde F_n es el avance por revolución expresado en mm/rev, F_z es el avance por diente de la herramienta expresado en mm/diente y no lo brinda el fabricante y Z es el número de dientes de la herramienta.

3.2.4. Profundidad de pasada

La profundidad de corte se puede definir como la profundidad de la capa que le arranca la herramienta al material en una pasada y el fabricante nos da unos valores recomendados para la herramienta y el tipo de inserto.

3.3. Diseño Taguchi y arreglo ortogonal

El diseño de Taguchi es una metodología ideada por el japonés G. Taguchi la cual busca optimizar productos y procesos, mejorando la calidad y bajando costos. Taguchi nos plantea que hay factores que podemos controlar, como la velocidad de corte en una fresa, y variables que no podemos controlar, como el clima, a estas últimas les designo el nombre de factores de ruido. En su metodología, Taguchi, expuso que se debían tener en cuenta los factores medio-ambientales, para lo cual se propuso que se debía poner una lista de restricciones acompañando cada proceso o funcionamiento de un producto, pero Taguchi dijo que esto no

era aconsejable porque existen factores de estos que no se podían controlar como la temperatura del lugar en donde se está llevando a cabo un proceso, a estos son los que se conocen como factores de ruido. Para realizar el estudio se sigue el procedimiento que se describe a continuación.

El diseño de Taguchi consiste en seleccionar un arreglo ortogonal por medio de:

$$L_{a(b)^c} \quad (5)$$

Donde a representa el número de pruebas o experimentos que se deben realizar, b representa los niveles que puede tener cada factor y c es el número de efectos que se pueden analizar. Taguchi además dejó planteados distintos arreglos ortogonales, esto con el fin de optimizar los procesos y reducir tiempos y costos, en el presente estudio solo se tendrán en cuenta la velocidad de corte, la velocidad de avance y la profundidad de la pasada, es decir, solo 3 factores controlables [9][10].

La filosofía de la calidad de Taguchi se puede resumir en los siguientes puntos:

1. Para hacer competitivo un producto o proceso se debe mejorar la calidad y al mismo tiempo reducir costos de fabricación u operación.
2. La calidad del costo final de un producto o proceso dependen fundamentalmente del diseño efectuado para el proceso o el producto.
3. Con la aplicación de la metodología de diseño de Taguchi se busca principalmente identificar el conjunto de parámetros que reduzcan la variación en un proceso o en un producto, con esto, se mejora la calidad y se disminuyen costos al existir menos errores.

3.4. Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una herramienta estadística con varias aplicaciones como por ejemplo, en la industria ayuda a controlar los procesos o en los laboratorios ayuda a controlar los métodos analíticos. Las dos formas en que se puede usar son: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.

Para emplear esta técnica se toman muestras de k poblaciones, el tamaño de estas muestras debe ser n . Las poblaciones se clasifican en tratamientos o grupos distintos, empleando tratamiento para designar las distintas clasificaciones como por ejemplo, diferentes analistas o regiones del país. Para emplear el ANOVA se parte de unos supuestos o hipótesis: se supone que las k poblaciones son independientes y se distribuyen de forma normal, y que las varianzas deben ser comunes.

La resolución de un modelo aplicando ANOVA consiste en la separación de la suma de cuadrados en componentes relativos a los factores estudiados en el modelo. Entonces para lo cual se consideran tres medidas importantes que son: suma total de cuadrados, suma de los

cuadrados del tratamiento y suma de los cuadrados del error. Estas tres medidas se incorporan en:

$$STC = SCT + SCE \quad (6)$$

Donde: STC es la suma total de cuadrados, SCT es la suma de los cuadrados del tratamiento y SCE es la suma de los cuadrados del error.

Por otro lado, los grados de libertad también se pueden separar de forma similar:

$$nk - 1 = k - 1 + k(n - 1) \quad (7)$$

Donde: nk-1 es el grado de libertad total, k-1 es el grado de libertad de los tratamientos y k(n-1) es el grado de libertad del error.

Por último los cálculos se integran en las tablas ANOVA, donde se muestra el resumen de lo que se hizo con cierto experimento [11].

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	SCT	k - 1	$s_1^2 = \frac{SCT}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s^2}$
Error	SCE	k(n - 1)	$s^2 = \frac{SCE}{k(n - 1)}$	
Total	STC	kn - 1		

Tabla 1. Tabla ANOVA para el análisis de varianza de un solo factor.

3.5. Regresión lineal múltiple (MRA)

A nivel industrial y científico es muy común encontrarse con problemas que contienen grupos de variables que tienen relación entre sí, conocidas como variables independientes o regresores, y variables que dependen de estos grupos de variables, conocidas como variables dependientes o respuesta; entonces se hace necesario desarrollar un método que sirva para pronosticar el comportamiento de la respuesta según la variabilidad de los regresores, para desarrollar esa estimación se emplea la regresión lineal. La regresión lineal consiste en encontrar la mejor relación entre la variable dependiente y las variables independientes. Matemáticamente esto se puede expresar mediante la siguiente expresión:

$$Y = \alpha + \beta x \quad (8)$$

Donde α es la intersección, β es la pendiente, x el regresor y Y la respuesta. El anterior modelo corresponde a la regresión lineal simple, pero en la realidad se encuentran grupos

con múltiples variables independientes, al modelo que satisface esta condición se le conoce como regresión lineal múltiple y se representa matemáticamente mediante:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2^2 + \dots + \beta_r^r \quad (9)$$

Para darle solución a esta ecuación se puede emplear el método de descomposición de cuadrados, pero en la actualidad existen Software que nos simplifican los cálculos y adicional a esto nos brindan más información como pueden ser gráficas, algunos de estos software son Excel o MiniTab. En el presente estudio los regresores corresponden a la velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada y la rugosidad será la variable de respuesta [12].

3.6. Red neuronal artificial (ANN)

Una red neuronal artificial es un sistema de inteligencia artificial que funciona buscando interconectar redes, simulando el funcionamiento del cerebro biológico. La primer red neuronal se conoció en el año de 1951 gracias a dos estudiantes de Harvard, Minsky y Edmonds, fue una red de aproximadamente 40 neuronas artificiales y buscaban asemejar esto al cerebro de una rata. Las redes neuronales artificiales tienen distintos modos de operación, algunos son: aprendizaje adaptivo, consiste en entrenar la red para que aprenda a realizar distintas actividades; auto-organización, por medio del entrenamiento la red es capaz de organizar automáticamente la información que se le brinda; pueden operar en tiempo real, algunos software permiten que se pueda usar en paralelo, a medida que se le brinda la información. La salida de las redes neuronales puede ser de tipo real o binaria.

Una red neuronal se compone por una capa de entrada, capas ocultas y capas de salida; por la primer capa es donde entran los datos, se procesan en la o las capas ocultas y la salida se da en la última capa. Además cada neurona tiene tres funciones, la función de entrada es la que se ocupa de transformar todos los datos en un solo conjunto de datos, luego aparece la función de activación, existen tres tipos: función lineal, función sigmoidea y función hiperbólica. Por último se encuentra la función de salida que es la que se encarga de brindar la información a las neuronas próximas. Actualmente existen varios software para trabajar las redes neuronales, por ejemplo, NeuralTools o MATLAB [13].

4. Metodología

Para la realización de este proyecto se seguirá la siguiente metodología:

- Investigación preliminar: es el proceso de consulta en el que se hará la revisión de los estudios que se han llevado a cabo por otras personas o instituciones sobre el tema a tratar en este proyecto.

- Selección de los parámetros según el fabricante: en esta etapa se estudiarán los catálogos del fabricante de las herramientas de corte para determinar los parámetros de corte iniciales.
- Selección del arreglo ortogonal: en esta etapa se llevara a cabo el diseño del experimento con las técnicas de Taguchi.
- Realización de pruebas: esta es la etapa en que se mecanizará la pieza según los arreglos que tenga el experimento, y las pruebas se llevarán a cabo en el CNC de la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Análisis de resultados: es la etapa de coger los resultados obtenidos de las pruebas y aplicar los métodos de ANOVA, ANN y MRA para analizar dichos resultados.
- Comprobación: en esta etapa se mecanizará la pieza de acero con los parámetros obtenidos del experimento para revisar si son estos los óptimos.
- Conclusiones: se realizarán las conclusiones del proyecto en base al estudio realizado y con las expectativas que se tenían hacia el proyecto.

5. Cronograma

ACTIVIDAD	SEMANAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVESTIGACION PRELIMINAR	X	X								
SELECCIÓN DE PARAMETROS			X							
SELECCIÓN ARREGLO ORTOGONAL				X						
REALZACION DE PRUEBAS					X	X				
ANALISIS DE RESULTADOS							X	X		
COMPROBACION									X	
CONCLUSIONES									X	X

6. Presupuesto

A continuación se hará una estimación de los gastos que se tendrán durante la realización de este proyecto, dejando en claro que la fuente de financiamiento es el mismo ejecutor y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

GASTO	HORAS/UNIDADES	VALOR UNITARIO U HORAS	VALOR TOTAL
MECANIZADO EN CNC	15	180000	2700000
INSERTOS PARA FRESA	5	24000	120000
MATERIAL A MECANIZAR	1	10000	10000
HORAS DE TRABAJO PROFESOR	20	40000	800000
HORAS DE TRABAJO LABORATORISTA	15	20000	300000
TRANSPORTES	20	1500	30000
		VALOR TOTAL	3960000

7. Bibliografía

- [1] Uma Reddy, Harish Devarasetti, Suresh Reddy, *Application of regression and artificial neural network analysis in modelling of surface roughness in hard turning of AISI 52100 steel*, Mangalpalli, India, 2017, Universidad de Vastunagar, Colegio de ingeniería.
- [2] Chakradhar Bandapallia, Bharatkumar Sutariab, Dhananjay Bhattc, Kundan Singhd, *experimental investigation and estimation of surface roughness using ANN, GMDH & MRA models in high speed micro end milling of titanium alloy (Grade-5)*, Surat, India, 2017, Instituto Nacional de Tecnología Sardar Vallabhbai.
- [3] İlhan Asiltürk, Mehmet Cunkas, *Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method*, Konya, Turquía, 2011, Universidad de Selcuk, Departamento de mecánica.
- [4] Girish Kanta, Kuldip Sangwanb, *Predictive modelling and optimization of machining parameters to minimize surface roughness using artificial neural network coupled with genetic algorithm*, Pilani, India, 2015, Instituto de tecnología y ciencia Birla, Departamento de ingeniería mecánica.
- [5] Anuja Beatricea, E. Kirubakaranb, P. Ranjit Jeba Thangaiahc, Leo Dev Winsd, *Surface roughness prediction using artificial neural network in hard turning of AISI H13 Steel with minimal cutting fluid Application*, Coimbatore, India, 2014, Universidad Karunya.
- [6] Venkatesh Mundadaa, Suresh Reddy, *Optimization of milling operations using artificial neural networks (ANN) and simulated annealing algorithm (SAA)*, Hyderabad, India, 2017, Universidad BITS Pilani, Departamento de ingeniería mecánica.
- [7] Todo ingeniería industrial, Rugosidad, <https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/rugosidad/>
- [8] Tercero Mecanizado, Miguel Barreno, <http://jjc3mecanizado nocturno.blogspot.com.co/p/velocidad-de-corte.html> , 2012.
- [9] Soporte miniTab, Diseños Taguchi, <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/doe/taguchi-designs/what-is-the-signal-to-noise-ratio/> 2015.
- [10] Dehnad, K. *Quality control, Robust desing, and Taguchi Method*: Wadsworth and Brroks / Cole Statistics / Probability series. 1989.
- [11] Walpole. Myers. Myers. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*: 9° edición, cap.9, PEARSON EDUCACIÓN, México. 2012.
- [12] Walpole. Myers. Myers. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*: 8° edición, cap. 12, PEARSON EDUCACIÓN, México. 2007.
- [13] Damián Matich, *Redes neuronales: conceptos básicos y aplicaciones*. Rosario, Argentina, 2001, Universidad Tecnológica Nacional, Departamento de ingeniería química.