UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Incidencia de la Velocidad de Avance, Profundidad de Corte y Velocidad de Husillo en la Rugosidad Superficial para Puntas de Ejes de Vehículos

Eli Benjamín Falcon Cárdenas

Nota del Autor
Eli Benjamín Falcon Cárdenas, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.
Director PhD. Edilberto LLanes
Codirector Ing. Julio Leguísamo, M.Sc,
Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
efalcon.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Eli Benjamín Falcon Cárdenas, con cédula de identidad 1709125064, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Eli Benjamín Falcon Cárdenas

CI: 1709125064

Índice de Contenido

Declaración Juramentada 2
Índice de Contenido 3
Índice de Tablas 5
Índice de Figuras 7
Índice de Anexos 11
Resumen 12
Abstract 13
Introducción 14
Antecedentes 14
Justificación 16
Estado del Arte 18
Mecanizado 23
Parámetros de Mecanizado 24
Parámetros predictivos a tener en cuenta en la herramienta de corte 30
Puntas de ejes de las ruedas 35
Método 41
Tipo de estudio 41
Método 41
Diseño de la geometría – Datos de entrada 42
Modelación 44
Análisis de la Punta de Eje 47

Mallado para Análisis MEF 51

Parámetros a utilizar: 55

Población y Muestra. 56

Selección de instrumentos de investigación. 57

Validez y confiabilidad de los instrumentos. 57

Resultados y Discusiones 66

Comparación de medidas con el modelo 82

Conclusiones. 88

Recomendaciones. 89

Referencias Bibliográficas 90

Anexos 94

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de corte adecuados según tipo de manufacturación 21

Tabla 2 Factores que influyen en las operaciones de maquinado 23

Tabla 3 Factores que afectan la 26

Tabla 4 Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140 normalizado y recocido 38

Tabla 5 Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140 Revenido 38

Tabla 6 Composición del Acero AISI 4140 43

Tabla 7 Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140 43

Tabla 8 Composición del Acero AISI 4340 43

Tabla 9 Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4340 44

Tabla 10 Especificaciones de Pesos de un Chevrolet Corsa 1.4 47

Tabla 11 Valores de Z_α 56

Tabla 12 Valores de Z_β 56

Tabla 13Inserto de carburo marca Mitsubishi 59

Tabla 14Datos del eje 60

Tabla 15Variables Dependientes 60

Tabla 16Velocidad de Avance del corte 60

Tabla 17 Profundidad del corte 61

Tabla 18 Combinaciones de Desbaste para Acero AISI 4140 61

Tabla 19 Combinaciones de Desbaste para Acero AISI 4340 62

Tabla 20 Detalles de la herramienta de corte 64

Tabla 21 Especificaciones rugosímetro 65

Tabla 22 Mediciones de rugosidad del acero AISI 4140 66

Tabla 23 Mediciones de rugosidad del acero AISI 4340 66

Tabla 24 Combinación de variables para encontrar el modelo matemático de la rugosidad..68

Tabla 25 73

Tabla 26 73

Tabla 27 Acero AISI 4340.....83

Tabla 28 Comparación de Ra. Experimental con Ra. De ecuación matemática e Ra. tica.....84

Índice de Figuras

Figura 1. Principales factores que afectan la vida útil de las herramientas de corte.....15

Figura 2. Principales factores que afectan la vida útil de las herramientas de corte.....16

Figura 3. Variables de influencia en el Acabado Superficial.....19

Figura 4. Conductividad térmica de materiales de herramienta de corte y de la pieza versus temperatura. Tomado de (Hernández, Pérez, Zambrano, Siller, & Toscano, 2013).....20

Figura 5. Conductividad térmica de materiales de herramienta de corte y de la pieza versus temperatura. Tomado de (Correa, Ramírez, Alique, & Rodríguez, 2013).....22

Figura 6. Proceso de Torneado a) Cilindrado, b) Refrentado. Tomado de (Pusey, 2013).....24

Figura 7. Operaciones principales ejecutadas en el torno. Tomado de (Pernía et al., 2018)...28

Figura 8. Partes principales de un torno. Tomado de (Argumedo, 2008).....29

Figura 9. Factores de desgaste: a) 1. Abrasión, 2. Difusión, 3. Oxidación, 4. Fatiga y 5. Adhesión y b) Factores de desgaste en función de °T. Tomado de (Díaz, 2013).....31

Figura 10. Componentes del Acabado Superficial. Tomado de (Vivarini, 2016) 32

Figura 11. Representación gráfica de la rugosidad promedio. Tomado de (Chávez & Rojas, 2015) 33

Figura 12. Parámetros que afectan la rugosidad superficial. Tomado de (Saá, 2015).....34

Figura 13. Punta de eje de ruedas 35

Figura 14. Clasificación de metales. Tomado de (Sánchez, 2015).....37

Figura 15. Dimensionamiento de Puntas de Eje 42

Figura 16. Selección de unidades.....44

Figura 17. Modelamiento de Puntas de Eje 45

Figura 18. Modelamiento de Puntas de Eje. Tomado de (SCYZORYK AUTOPARTES, 2018) 45

Figura 19. Material de la Punta de Eje - AISI 4140 o 1.7225(42CRMo4) 46

Figura 20. Material de la Punta de Eje - AISI 4340 46

Figura 21. Activación de la pestaña de Nuevo Estudio 47

Figura 22. Selección del Tipo de Estudio 48

Figura 23. Panel configurado 48

Figura 24. Ubicación de conexiones tipo tornillo y tuerca 49

Figura 25. Conexiones de Tornillos 49

Figura 26. Conexiones de Tuercas 50

Figura 27. Ubicación de Sujeciones Tipo Geometría Fija 50

Figura 28. Ubicación de Fuerzas en la Punta de Eje 51

Figura 29. Ubicación de Parámetros de Malla 52

Figura 30. Mallado de la Punta de Eje 52

Figura 31. Simulación MEF 53

Figura 32.Simulación MEF de esfuerzos 53

Figura 33. Simulación MEF de deformación 54

Figura 34. Simulación MEF de tensión 54

Figura 35. Mapa conceptual de elección del material 55

Figura 36. Probeta 58

Figura 37. Portaherramientas de doble fijación 59

Figura 38. Inserto ensamblado en el herramental 59

Figura 39 Torno CUMBRE C15 62

Figura 40. Instalación del inserto en el herramental. 63

Figura 41. Cilindrado aproximado a la medida 63

Figura 42. Verificación de medidas 63

Figura 43. Cilindrado final 64

Figura 44. Insertos usados.....64

Figura 45. Ejes torneados terminados.....65

Figura 46. Acero 4140 67

Figura 47. Ingreso de Datos de Velocidades de husillo, velocidades de avance y profundidad de corte.....67

Figura 48. Selección de Análisis estadístico ANOVA 68

Figura 49. Combinaciones de variables para hallar el modelo matemático de rugosidad.....69

Figura 50. Condiciones para hallar el modelo matemático de rugosidad 70

Figura 51. Ecuación Ra para acero AISI4140 71

Figura 52. Ecuación Ra para acero AISI4340 72

Figura 53. Rugosidad a Profundidad de corte de 0.3mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance 74

Figura 54. Rugosidad a Profundidad de corte de 0.6mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance 75

Figura 55. Rugosidad a Profundidad de corte de 1mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance 75

Figura 56. Rugosidad a mayor Velocidad de Avance.....76

Figura 57. Rugosidad comparada entre los aceros AISI 4140 y AISI 4340 con avance de 0.2mm/rev 77

Figura 58. Rugosidad comparada entre los aceros AISI 4140 y AISI 4340 con avance de 0.1mm/rev 77

Figura 59. Rugosidad Superficial a 450 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance 78

Figura 60. Rugosidad Superficial a 0.1mm/rev de avance entre Velocidad de Corte con Velocidad de Husillo.....78

Figura 61. Rugosidad Superficial a 645 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance. 79

Figura 62. Rugosidad Superficial a 450 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance 80

Figura 63. Rugosidad Superficial a 645 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance 80

Figura 64. Rugosidad comparada entre AISI4140 y AISI4340 a 450 rpm de velocidad de husillo..... 81

Figura 65. Rugosidad comparada entres Aceros AISI4140 y AISI 4340 a 650rpm..... 81

Figura 66. Diferencia de Ra. Del AISI 4340 entre profundidad de corte velocidad de avance y velocidad de husillo. 84

Figura 67. Rugosidad AISI 4140 85

Figura 68. Modelos de regresión para aceros AISI4140 y Acero AISI4340 86

Índice de Anexos

Anexo 1. Herramental de corte Mitsubishi UE6110 94

Anexo 2. Características del grado del inserto Mitsubishi 95

Anexo 3. Características del inserto Mitsubishi UE6110 96

Anexo 4. Torno CUMBRE C15 97

Anexo 5. Características del Torno CUMBRE C15 98

Anexo 6. Características medidor de rugosidad Mitutoyo SURFTEST SJ210 99

Anexo 7. Permiso de uso paquete Minitab 18 100

Anexo 8. Contorno de Rugosidad vs Velocidad de Avance, profundidad de corte 101

Anexo 9. Contorno de Rugosidad vs Velocidad de Avance, profundidad de corte 102

Anexo 10. Contorno de Rugosidad con variables Profundidad de Corte, Velocidad de avance. 103

Anexo 11. Contorno de Rugosidad con Variables Profundidad de Corte, Velocidad de Husillo. 104

Anexo 12. Contorno de Rugosidad con variables Velocidad de Avance, Velocidad de Husillo. 105

Anexo 13. Contorno de Rugosidad con variables Profundidad de Corte, Velocidad de Husillo. 106

Resumen

La presente investigación analiza y establece la mejor rugosidad media (Ra) y tipo de acero para puntas de eje de vehículos. Determina la incidencia de la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo en la rugosidad superficial en el proceso de torneado mediante la experimentación para la o las mejores variantes de los aceros AISI4140 y AISI4340, se manipulan una o más variables definidas que permitan controlar la investigación planteada y se observa como la variable dependiente (Ra) varía en función de las variables independientes (Velocidad de husillo, velocidad de avance y profundidad de corte). A partir de datos experimentales se define el tipo de acero óptimo y se deriva un modelo matemático para la rugosidad superficial, se compara el modelo matemático con otros modelos existentes ya en literatura.

Palabras claves: rugosidad, punta de ejes, velocidad de avance, profundidad de corte, velocidad de husillo, acero AISI 4140, acero AISI 4340

Abstract

This (research) work analyzes and then establishes the best average roughness (Ra) and steel for axle shaft in vehicles. It experimentally determines the contribution of feed rate, depth of cut and cutting speed on surface roughness during machining process based on experimental measurements for the most suitable types of steel AISI4140 and AISI4340. To better control the proposed research, one or more parameters are defined and then the dependency of the surface roughness (Ra) on the three independent variables (feed rate, depth of cut and cutting speed on surface) is observed. Based on experimental results, the optimum type of steel is defined and a mathematic model for surface roughness is derived, this model is then compared with others already available in scientific literature.

Keywords: roughness, axle, cutting speed, feed and depth of cut, AISI 4140 steel and AISI 4340 steel.

Introducción

Antecedentes

La demanda del material a nivel global en función de la calidad, la industria metalmecánica ha evolucionado notablemente, ejecutando operaciones de remoción de la materia prima como el torneado, donde las condiciones óptimas de maquinado permite obtener un buen acabado superficial, debido al alto grado de competitividad existente durante su fabricación, así como los procesos confiables de corte, expuestos sobre la aceptación de un producto elaborado mediante un fenómenos complejo que pueden determinarse parámetros estipulados indicados como herramientas de corte, velocidad de corte, la dureza del material, así como el uso de fluido para corte, que permita estudiar y profundizar el comportamiento del acero, frente a procesos útiles de transformación por arranque de viruta, con características de rugosidad, donde el conocimiento del análisis resulta de los procesos experimentales en base a parámetros de mecanizado.

La incidencia de parámetros establecidos como la profundidad de corte, el tiempo de torneado, las velocidades de avance y de husillo en la rugosidad superficial, permiten aumentar la productividad, aumentando la fiabilidad del proceso reduciendo costos de manufacturación centrándose en un procedimiento ejecutado de torneado, donde las características de la herramienta son los ángulos originados, la composición del material, los tratamientos deducidos, la dureza del material y el acabado superficial, debido a propiedades que afectan la vida útil de las herramientas, que demandan como la alta tenacidad, la resistencia a la oxidación, al desgaste abrasivo y adhesivo (rojo), al choque térmico y a la falta de afinidad con materiales a maquinar, como se detalla en la Figura 1, llegando a mejorar las técnicas de trabajo estipuladas por el profesional en base a propuestas que

permiten mejorar los niveles de rugosidad (Henández, Pérez, Zambrano, Guerrero, & Dumitrescu, 2012).

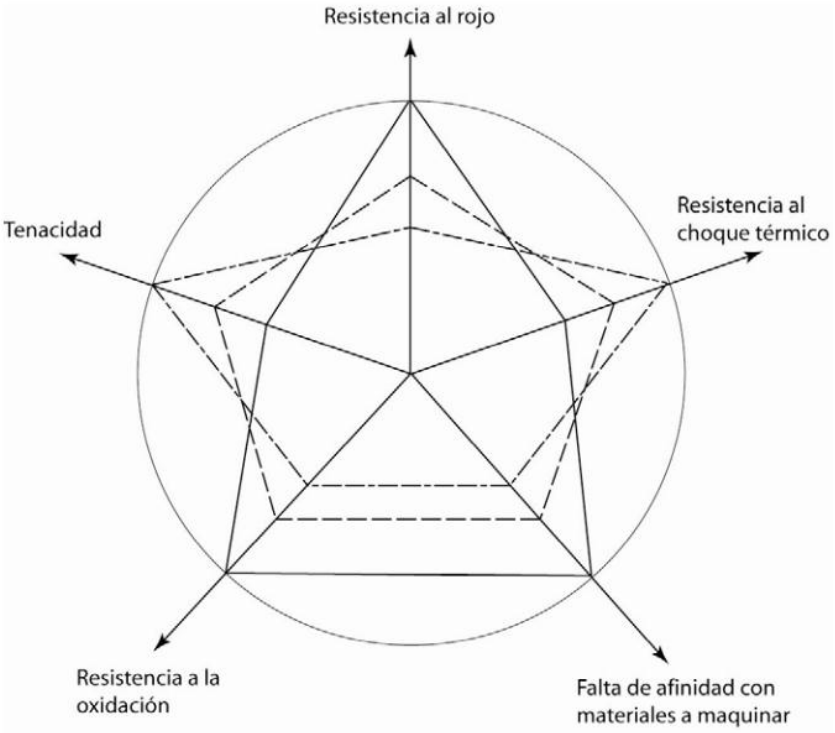


Figura 1. Principales factores que afectan la vida útil de las herramientas de corte. Tomado de *(*Hernández et al., 2012)

Las industrias dedicadas a la fabricación de componentes mecánicos, disminuyen costos aumentando la calidad de los elementos mecanizados, mejorando la precisión dimensional mediante el avance alcanzado donde las máquinas herramientas utilizan altas velocidades para la remoción del material, mejorado el acabado superficial, reduciendo tiempos de trabajo, evaluando el desgaste y prediciendo la vida útil de la herramienta; generando criterios insuficiente que permita evaluar el rendimiento y desempeño de las herramientas en el proceso de corte, disminuyendo la temperatura en la interface aplicando nuevas tecnologías, evolucionando el coeficiente en relación al volumen del metal cortado, para una velocidad de 400 m / min, como se indica en la Figura 2 (Morales, Zamora, Zambrano, & Beltrán, 2017).

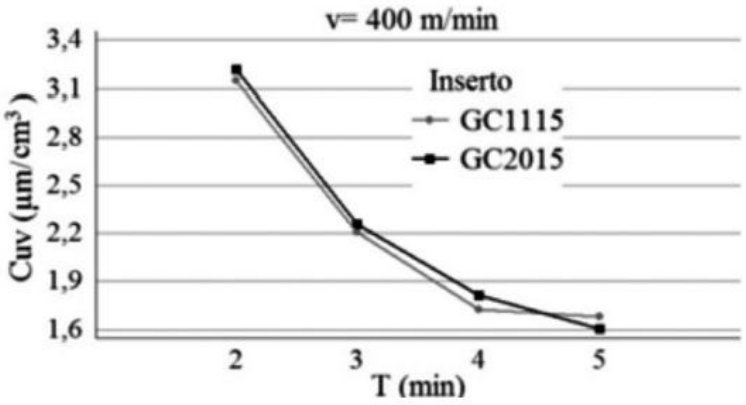


Figura 2. Principales factores que afectan la vida útil de las herramientas de corte. Tomado de (Morales et al., 2017)

Justificación

Con este estudio se pretende determinar, el comportamiento del material, donde los parámetros descritos como la profundidad de corte, las velocidades de avance y de husillo, son medidas definidas que influyen de manera directa en la rugosidad superficial y tiempo de torneado, donde la calidad superficial mide su topología, originando gran repercusión a alta velocidad en el proceso de mecanizado, determinando valores óptimos que afectan la calidad del material deseado.

La rugosidad superficial influye directamente en la fricción, fatiga y resistencia del material, donde se efectúan deformaciones elásticas y plásticas del material a mecanizar, endureciendo la superficie maquinada junto con la contracción de la viruta, originándose grandes variables de corte como son, el desgaste de la herramienta, las fuerzas de corte y la integridad superficial de la pieza mecanizada; discutidas en técnicas de diseño experimental con una rugosidad mínima pudiendo aumentar la calidad del producto, optimizando distintos factores para su aplicación.

El propósito del proyecto de investigación se origina en determinar, cómo los parámetros descritos anteriormente influyen de manera directa en el material y tiempo de torneado,

pudiendo predecir la topografía superficial originada, durante su mecanizado en materiales útiles para puntas de eje de vehículos, en función de características especiales como, la longitud de onda corta denominada como rugosidad, de onda media definida como ondulación y onda larga descrita como errores de forma.

En base a la justificación establecida se genera una hipótesis definida como:

¿La velocidad de avance, la profundidad de corte y la velocidad de husillo incidirán en la rugosidad superficial y en el tiempo de torneado para puntas de eje de vehículos?

El objetivo general de la investigación es:

Determinar la incidencia de la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo en la rugosidad superficial en el proceso de torneado mediante la experimentación para la o las mejores variantes de los aceros AISI4140 y AISI4340.

Los objetivos específicos constan de:

- Definir los niveles de las variables independientes (Velocidad de Avance, Profundidad de corte, Velocidad de husillo) a partir del estudio del arte para el establecimiento de los tratamientos.
- Definir el diseño experimental de acuerdo al análisis del objeto de investigación para el procesamiento estadístico.
- Realizar el análisis estadístico por medio del software MINITAB 18 para la obtención y propuesta de las mejores variantes.
- Determinar de forma experimental la rugosidad superficial del material por medio de un medidor de rugosidad (rugosímetro) para obtención de los valores de la rugosidad media (Ra).

- Comparar los diferentes parámetros de profundidad de corte, velocidades de avance y de husillo con la variación de la rugosidad superficial de materiales útiles para puntas de ejes de vehículos.
- Generar una expresión matemática útil para predecir la rugosidad del material a partir de un diseño factorial.

Estado del Arte

La velocidad de avance, la profundidad de corte y la velocidad de husillo en la rugosidad superficial, son factores de interés muy importantes para el profesional a cargo del proceso de mecanizado, siendo de gran importancia para generar sistemas eficientes, a través de investigaciones realizadas, como las detalladas a continuación.

Vargas Enriquez, Pedraza Yapez, Devia Acosta, & Martínez Marrugo (2014) en su artículo científico definido como: “Desarrollo de un Modelo Predictivo para la Calidad Superficial en un Proceso de Torneado sobre Aceros de Alta Resistencia”, concluyen que las revoluciones que brinda el torno (rpm) y el avance de la herramienta son factores de interés muy importantes que intervienen en la calidad de la superficie, en tanto que la profundidad de corte no radica mucha influencia en la rugosidad del material, en base a procesos de mecanizados determinados generando buenos resultados, siendo necesario controlar vibraciones que permitan mejorar la tolerancia, de las propiedades mecánicas y metalúrgicas, con un desgaste mínimo de la herramienta, la cual implica una variedad en las industrias, con parámetros críticos de mayor evaluación, esquematizándose las variables que influyen en el Acabado Superficial como se detalla en la Figura 3.

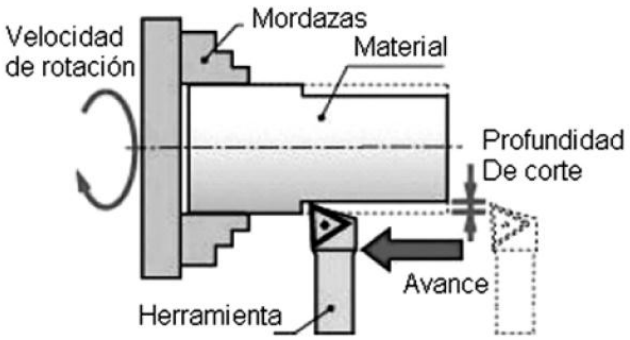


Figura 3. Variables de influencia en el Acabado Superficial.

Tomado de (Vargas, Pedraza, Devia, & Martínez, 2014)

Hernández, Pérez, Zambrano, Siller, & Toscano (2013) en su proyecto de investigación, titulado como "Estudio del rendimiento del torneado de alta velocidad utilizando el coeficiente de dimensión volumétrica de la fuerza de corte resultante", concluyen que el desarrollo integral de las máquinas herramientas, se da mediante la aplicación del corte con altas velocidades, siendo esta una forma de aumentar la eficiencia de los procesos productivos a través de la disminución de tiempos de producción, donde su influencia radica en el rendimiento del mecanizado generando un alto valor de metal eliminado y de buena calidad, implicando materiales de corte avanzados, donde los recubrimientos aumentan la dureza superficial, reduciendo el coeficiente de fricción, a través de factores descritos como la reducción de las fuerzas de corte y del calor originado por el deslizamiento de la viruta, disminuyendo la cantidad de la energía térmica que fluye a la herramienta, mejorando la calidad de la superficie mecanizada, determinando la conductividad térmica en función de la temperatura como se detalla en la Figura 4.

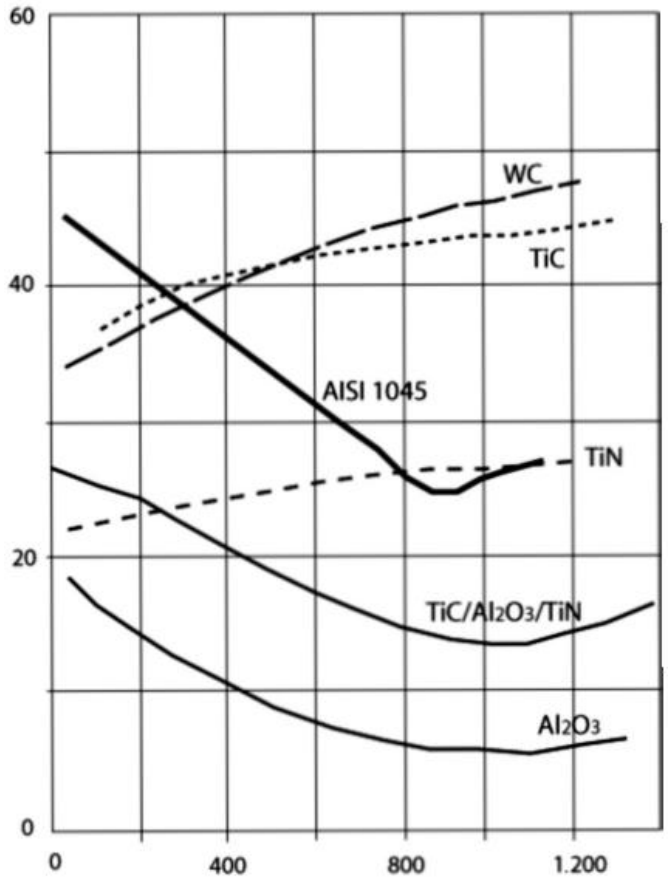


Figura 4. Conductividad térmica de materiales de herramienta de corte y de la pieza versus temperatura. Tomado de (Hernández, Pérez, Zambrano, Siller, & Toscano, 2013)

Hernández L. , Pérez, Dumitrescu, & Montero (2015) en su tema de investigación titulado, como “Estudio de la influencia de los parámetros de corte en la integridad superficial y las desviaciones durante el fresado del acero AISI 1010” detallan que, el corte de metales es un proceso complejo que involucra las deformaciones elásticas y plásticas del material, donde el corte originado por el fresado, no provoca cambios en la microestructura, creciendo el grano en un 100% con respecto al inicial, mientras que la maquinada a velocidades medias y máximas aumenta el grano en un 184%, originando un aumento de dureza en un 56% con respecto a la principal producida por el corte, registradas a una rugosidad aceptable descritas a mayor velocidad de corte como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.
Parámetros de corte adecuados según tipo de manufacturación

Tipos de Elaboración	*Tamaño del Grano*	*Dureza HB*	*Rugosidad Superficial (Ra)*	*Desviaciones*
Desbaste		f=160mm/min	f=160mm/min	f=160mm/min
	V=79.13m/min	V=79.13m/min	V=79.13m/min	V=79.13m/min
Acabado		f=12.5mm/min	f=50mm/min	f=12.5mm/min
	V=7.91m/min	V=7.91m/min	V=7.91m/min	V=7.91m/min

Nota: (Hernández L. , Pérez, Dumitrescu, & Montero, 2015)

Correa, Ramírez, Alique, & Rodríguez (2013) detallan en su proyecto de investigación titulado “Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado; técnicas de análisis y modelos”; que los factores del proceso que afectan de manera directa en la máquina herramienta son rigidez, sistemas de accionamiento entre otras; mientras que los indirectos son los que intervienen con el material, sujeción, geometría, desgaste y la alineación de los filos; donde los parámetros de rugosidad superficial se clasifican como se detalla en la Figura 5, como se detalla en la predicción de acabados superficiales, donde los aspectos más relevantes para el fresado y torneado se basan en las variables de avance, velocidad de giro y profundidad de corte, en base a su geometría y vibraciones originadas, mediante un método de pre proceso que asegura la calidad del producto durante el maquinado o mecanizado del elemento.

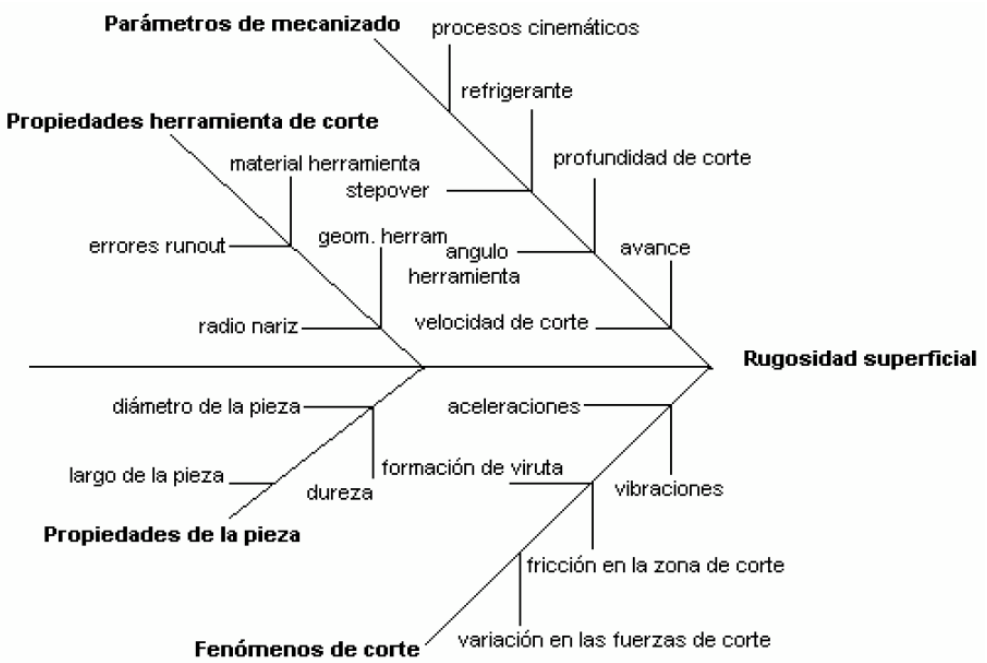


Figura 5. Conductividad térmica de materiales de herramienta de corte y de la pieza versus temperatura.

Tomado de (Correa, Ramírez, Alique, & Rodríguez, 2013)

Morales (2014) en su "Estudio experimental del desgaste del flanco y de la rugosidad superficial en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L" refiere que los parámetros más importantes y significativos en un 95% de confianza que resultan de un mecanizado en seco a velocidades intermedias y altas son: el avance de corte, el tiempo de maquinado, el avance del inserto y del tiempo; evaluando la evolución observada y analizada que a mayor velocidad de corte se origina una mejor rugosidad del material, generada por la resistencia al desgaste, la estabilidad térmica, resistencia al calor y un bajo coeficiente de fricción.

Gutierrez & López (2014) en su proyecto titulado "Estudio de rugosidad en maquinado por el proceso de torneado en Climet Ltda. basado en las normas ISO de rugosidad" concluyó que los parámetros de combinación que inciden en el acabado superficial son la velocidad de corte, avance, profundidad de corte y el fluido para el corte, resaltando los dos primeros factores indicados, incidiendo en las operaciones que influyen en el maquinado descritos en la Tabla 2.

Tabla 2
Factores que influyen en las operaciones de maquinado

Parámetro	Factores que influyen
Velocidad de Corte, Profundidad de Corte, Avance, Fluidos de Corte	Fuerza Potencia, Incremento de Temperatura, Vida Útil de la Herramienta, Acabado Superficial.
Viruta Continua	Acabado Superficial Aceptable, Fuerza de Corte Estables.
Viruta de Borde Acumulado o Recrecido	Acabado Superficial no Aceptable.
Viruta Discontinua	Facilita la Disposición de Viruta Fuerzas Fluctuantes de Corte Aceptables.
Elevación de la Temperatura	Inciden en la Vida útil de la Herramienta Caracterizando la Pieza de Trabajo
Desgaste de la Herramienta	Inciden de Manera Directa en el Acabado Superficial, así como la Precisión Dimensional.
Maquinabilidad	Relaciona la Vida útil de la Herramienta, en el Acabado Superficial, las fuerzas, la Potencia y el tipo de Viruta.

Nota: (Gutierrez & López, 2014)

Una vez establecido los trabajos previos se procede a definir la temática a investigar de la siguiente manera:

Mecanizado

El mecanizado, es un proceso de manufacturación, comprendido en un conjunto de operaciones de corte; con el fin de remover material de una determinada pieza, ya sea por arranque de viruta, la cual consisten en desprender material mediante procedimientos de desbaste donde se elimina bastante material originando poca precisión y de acabado donde ocurre lo contrario; sin arranque de viruta, que comprende en proceder a un amasado, laminado o conformado del material y por abrasión, la cual se origina por la eliminación de la materia prima desprendida en partículas (Roldán, 2016).

El mecanizado se clasifica en dos tipos:

- Cuando la herramienta de corte esta fija, mientras se mueve la pieza de trabajo.

- Cuando la herramienta de corte es movible, mientras la pieza de trabajo permanece fija.

Parámetros de Mecanizado

Los procesos de mecanizado debido al trabajo generado, están expuestos en la Figura 6, los mismos que son:

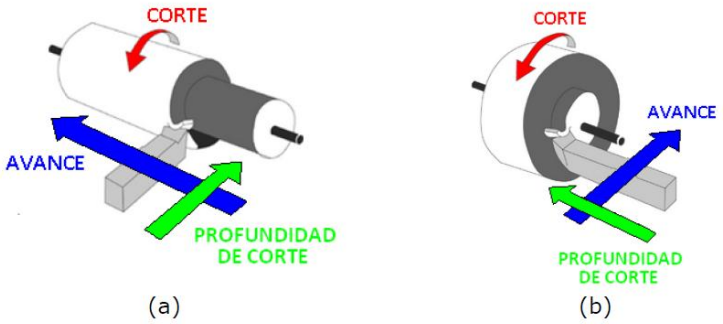


Figura 6. Proceso de Torneado a) Cilindrado, b) Refrentado. Tomado de (Pusey, 2013)

1. Velocidad de corte, se define como la velocidad lineal de una herramienta conectada a una máquina determinada, de un diámetro mayor de una pieza en contacto, expresada en m/min, donde se genera el desprendimiento de material (Lobos, 2017).

Pusey (2013) indica que la fórmula para aplicar las velocidades de corte según el Sistema Métrico es:

$$Vc = \frac{\pi n D}{1000} \tag{1}$$

Mientras que la fórmula para aplicar las velocidades de corte según el Sistema Inglés (Pusey, 2013).

$$Vc = \frac{\pi n D}{3.82} \tag{2}$$

Donde:

- n = Número de Revoluciones
- D = Diámetro del eje
- Vc = Velocidad de corte

2. Velocidad de avance, consiste en la velocidad relativa que tiene una herramienta al enfrentarse al material para ser eliminado, correspondiente al desplazamiento lineal, expresada en mm/revolución (Lobos, 2017).

3. Profundidad de corte, se define como el desplazamiento perpendicular que tiene la herramienta frente al material de trabajo, donde arranca la superficie de la pieza en un numero de pasadas definida en mm (Lobos, 2017).

4. Velocidad de giro o husillo, es la velocidad que es directamente proporcional a la velocidad de corte y diámetro de la herramienta (Montilla & Ríos, 2006).

La fórmula que se utiliza para determinar la velocidad del husillo es:

$$N = \frac{60*Vc}{\pi*D} \tag{3}$$

Donde:

- N = Velocidad del husillo en rpm
- D = Diámetro del eje
- Vc = Velocidad de corte

5. Tiempos de Mecanizado, es el tiempo necesario por pasada (Montilla & Ríos, 2006).

El tiempo de mecanizado se determina de la siguiente manera:

$$Tm = \frac{L*n}{Va} \tag{4}$$

Donde:

- Tm = Tiempo de mecanizado

- L = Longitud a mecanizar
- N = Número de pasadas
- Va = Velocidad de Avance

Maquinabilidad

La maquinabilidad es una propiedad que tienen los materiales de permitir comparar la facilidad que presenta el objeto a ser mecanizado por arranque de viruta, obteniendo valores en función de la vida útil de la herramienta de corte (Morales, 2014).

Los factores que afectan la maquinabilidad están estipulados en la Tabla 3.

Tabla 3
Factores que afectan la maquinabilidad.

Factores Afectados	Factores que Afectan
Máquinas Herramientas de Corte y Sujeción	• Tipo de Operación • Vibraciones • Rigidez • Sujeción de la Pieza • Potencia de la Máquina • Geometría de la Herramienta
Material de la Herramienta y de la Pieza	• Propiedades Mecánicas Físicas y Químicas • Microestructura • Tratamiento Térmico • Tamaño del Grano de la Herramienta • Acabado Superficial de la Pieza
Condiciones de Corte	• Velocidad de Corte • Avance de Corte • Profundidad de Corte • Ambiente • Fluido de Corte
Eficiencia de la Remoción de Viruta	• Potencia Requerida • Fuerza de Corte • Forma de Viruta
Calidad de la Pieza	• Rugosidad superficial • Integridad Superficial • Precisión Dimensional
Vida de la Herramienta	• Desgaste del Cráter • Desgaste del Flanco

Nota: (Morales, 2014)

Torno

Es una máquina que permite el mecanizado de piezas por revoluciones, provocando el desprendimiento de material de la pieza al estar en contacto con una herramienta de corte fija transversal (Argumedo, 2008).

El torneado se lo puede definir como una operación realizada por un torno, para poder obtener piezas cilíndricas que giran alrededor de un plato, donde la herramienta de corte se desplaza por la torreta en dirección paralela al eje, donde la profundidad de la herramienta se ubica antes de ponerlas en contacto con el material, a través de una herramienta dividida en una plaquita fabricada de material duro afilado y un mango soldado (Mustapha, 2017).

Argumedo (2008) indica, que las operaciones a realizarse en el torno son:

- Torneado cónico
- Refrentado
- Perfilado
- Tronzado
- Roscado
- Moleteado
- Mandrinado
- Ranurado
- Taladrado
- Escariado
- Cilindrado

Pernía, Blanco, Sierra, Azofra, & Martínez (2018) refieren que las operaciones más comunes a realizarse en el torno son:

- Cilindrado, es una operación ejecutada en el torno, que permite la reducción del diámetro de la barra del material, obteniendo una geometría cilíndrica requerida.
- Roscado exterior, consiste en una operación que permite describir una trayectoria helicoidal cilíndrica exteriormente alrededor de un eje, por ejemplo, tornillos.
- Roscado interior, consiste en una operación que permite describir una trayectoria helicoidal cilíndrica interiormente alrededor de un eje, por ejemplo, tuercas.
- Refrentado, es una operación determinada que permite aplanar una superficie de manera perpendicular al eje de rotación.
- Moleteado, consiste en el marcado que se le da a un eje determinado para facilitar el agarre manual.
- Ranurado, es un canal elaborado alrededor de un eje definido.

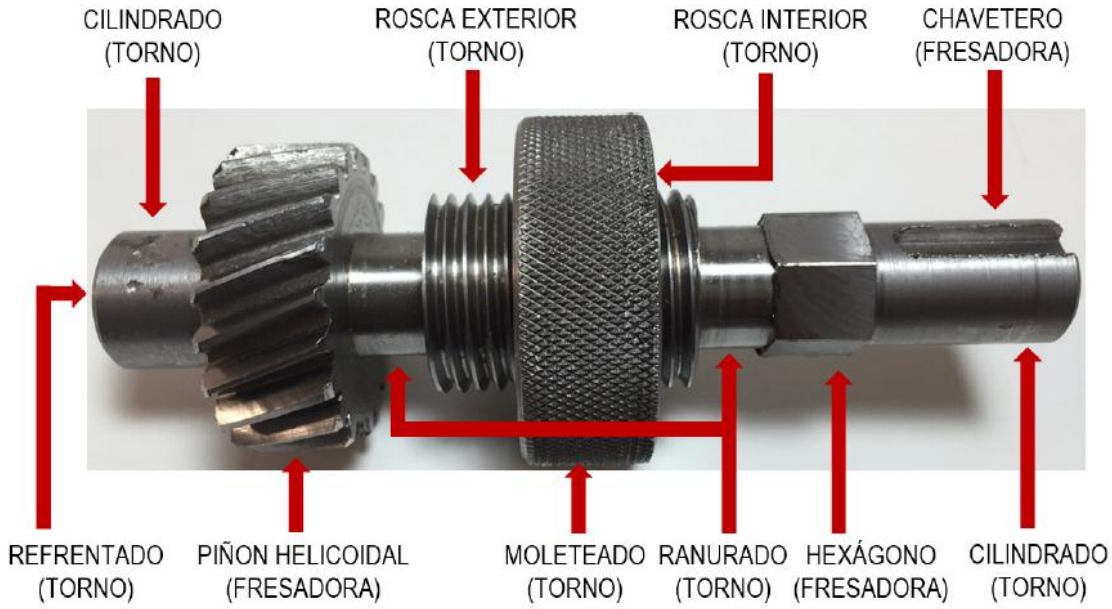


Figura 7. Operaciones principales ejecutadas en el torno. Tomado de (Pernía et al., 2018)

De igual manera Argumedo (2008) indica que las partes más comunes de un torno son:

- Bancada
- Selector de velocidad

- Cabezal móvil o contra cabezal
- Carro Transversal
- Carros porta herramientas
- Cabezal Fijo
- Portaherramientas

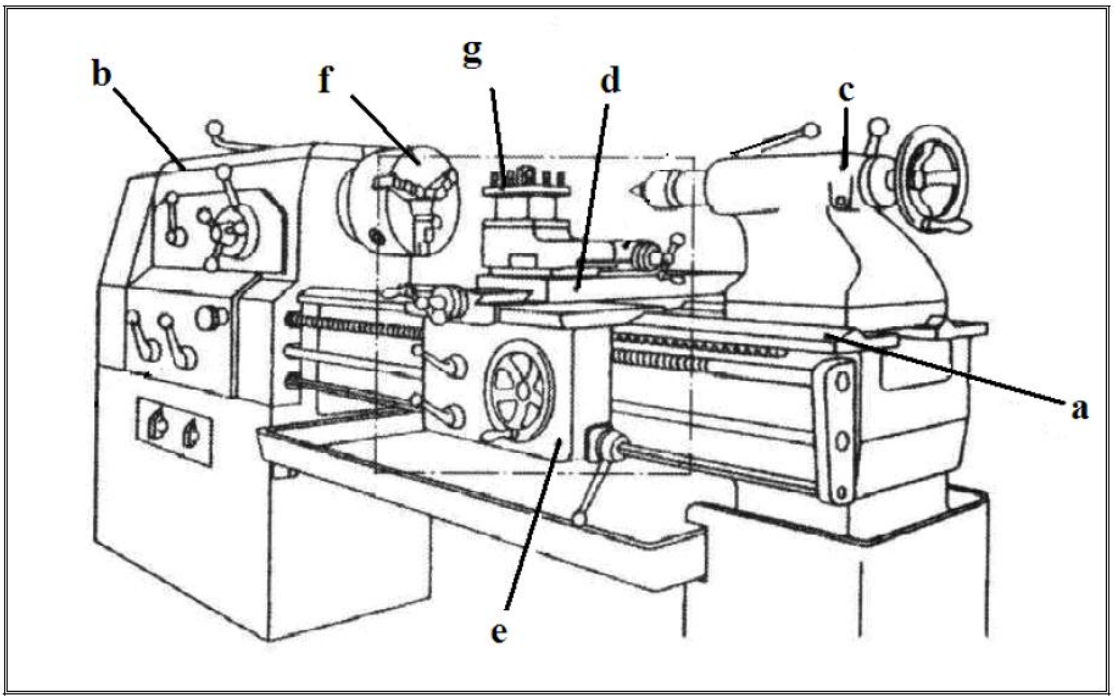


Figura 8. Partes principales de un torno. Tomado de (Argumedo, 2008)

Materiales de las herramientas de corte usadas en el torno

Pacheco & Espinosa (2016) dicen que los materiales de las herramientas pueden ser elaborados en:

- Acero al carbono, el cual presenta una resistencia térmica de 250 a 300°C a bajas velocidades.
- Acero rápido (HSS), son aleados con elementos ferrosos, presentan alta dureza, resistencia al desgaste y térmicamente.

- Metal duro o de carburo cementado, son aceros que presentan una resistencia de hasta 815°C.
- Cerámica, por poseer alta dureza en caliente y no reaccionan químicamente.
- Diamante policristalino (PCD), por poseer resistencia al desgaste y una baja conductividad térmica.

Según Minquiz (2017) las fallas más comunes de las herramientas de corte son:

- Falla por fractura, generada por una fuerza de corte en la punta de la herramienta excesiva.
- Falla por temperatura, originada cuando la temperatura de corte es muy alta para el material.
- Desgaste gradual, originada por una pérdida de la forma de la herramienta, reduciendo su eficiencia.

Parámetros predictivos a tener en cuenta en la herramienta de corte

El uso continuo de la herramienta de corte en cualquier proceso u operación de mecanizado, genera un desgaste sobre la herramienta a utilizar, el cual provoca un aumento de la fricción con el material a trabajar, generando un acrecentamiento en la fuerza de corte, así como de la potencia consumida, originando un desgaste excesivo que puede producir productos o elementos defectuosos; por lo que se debe tener en cuenta los parámetros predictivos que producen estos fenómenos como son: la velocidad de avance y corte, la longitud del mecanizado, así como la dureza y la geometría de la herramienta, donde las fuerzas de corte se parametrizan en el dominio de la frecuencia y del medio, incidiendo de manera directa en el acabado superficial (García, 2016).

Desgaste de herramientas de corte

Díaz (2013) indica que los factores principales de desgaste en herramientas de corte son:

- Por abrasión, generado por el rozamiento entre dos superficies, donde el material más duro degrada al blando.
- Por difusión, originado por un desgaste de cráter en la sección de deslizamiento.
- Por oxidación, generado por un desgate producido en las aristas de la herramienta.
- Por fatiga, de manera térmica y mecánica, originado por una robustez sensible de un conjunto máquina herramienta.
- Por adhesión, consiste en el apego al filo de la herramienta de corte, del material de la pieza provocado por altas temperaturas y presiones.

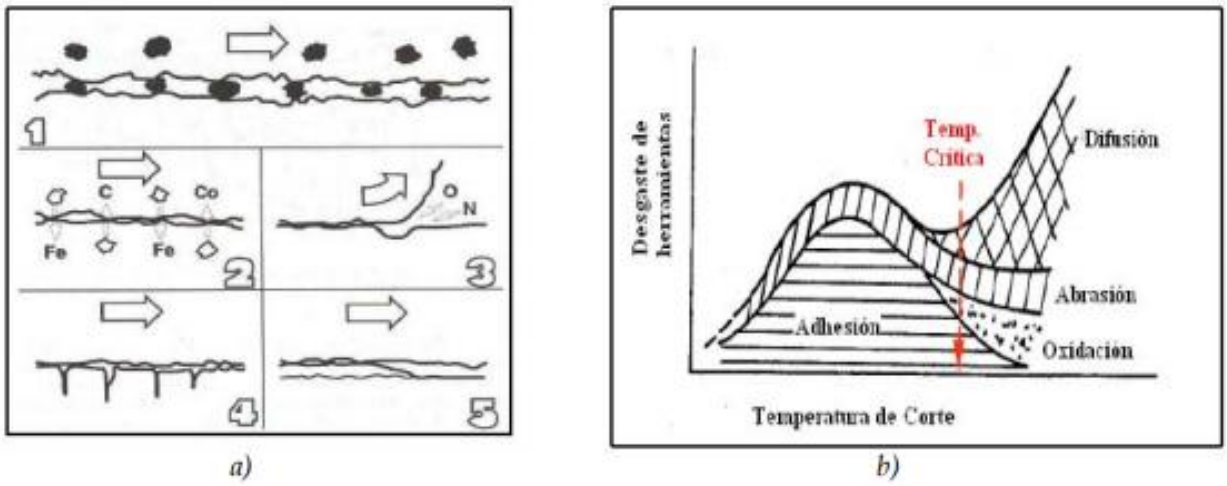


Figura 9. Factores de desgaste: a) 1. Abrasión, 2. Difusión, 3. Oxidación, 4. Fatiga y 5. Adhesión y b) Factores de desgaste en función de °T. Tomado de (Díaz, 2013)

Acabado Superficial

El acabado superficial es la representación tridimensional de las irregularidades presentes en la pieza, utilizada para definir la calidad del producto requerido, útil para determinar el

comportamiento de una pieza establecida inicialmente, como se observan en la Figura 10 (Vivarini, 2016).

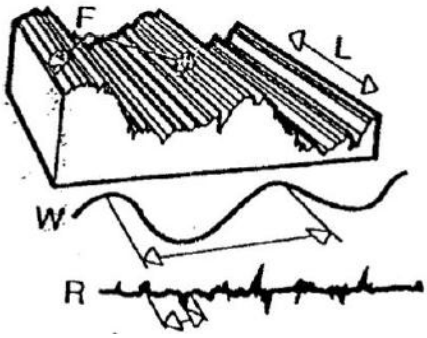


Figura 10. Componentes del Acabado Superficial. Tomado de (Vivarini, 2016)

Donde:

- L = Dirección de la superficie, definida como el contorno microscópico
- F = Errores de Forma de onda larga, son imperfecciones detalladas como estrías, agujeros, etc.
- W = Ondulación de onda media, son desviaciones recurrentes de la superficie con magnitudes mayores a 0.1 mm
- R = Rugosidad de longitud de onda corta, se tratan de irregularidad finas, espaciadas.

Mustapha (2017) indica que el acabado superficial depende de algunos factores agrupados en:

- Factores geométricos
- Factores de material de trabajo
- Factores de vibración
- Factores de la máquina herramienta

Rugosidad Superficial

Rugosidad Superficial, son irregularidades presentes en una superficie determinada, la cual mide las irregularidades verticales presentes, estableciendo la micro geometría válidas durante el proceso de mecanizado, basados en la media de su profundidad, horizontales o proporcionales, siendo elementos característicos del estado superficial de una pieza o elemento, pudiendo ser medidas por un rugosímetro., reflejándose en la siguiente fórmula (Chávez & Rojas, 2015).

$$Ra = \int_0^{lm} \frac{[y]}{lm}\, dx \tag{5}$$

Donde:

- Ra = Media aritmética de la rugosidad
- y = Desviación vertical
- Lm = Distancia medida

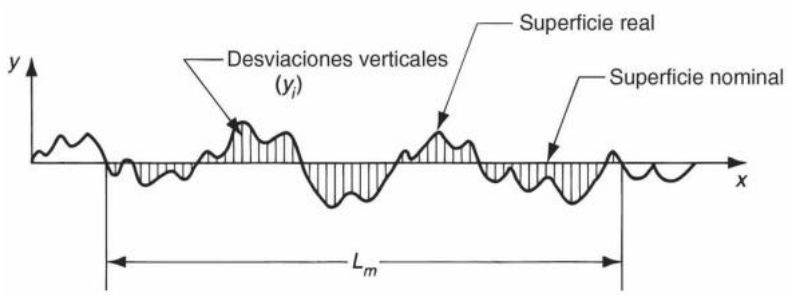


Figura 11. Representación gráfica de la rugosidad promedio. Tomado de (Chávez & Rojas, 2015)

Sullon & Vásquez (2017) indican que la rugosidad es una rama de la metrología que se encarga del análisis de irregularidades que se producen en el material durante su manufacturación, la cual se utiliza como un indicador de la calidad.

Los tipos e irregularidades presentes en una superficie se identifican como:

- Irregularidades mayores (macro geométricas), las asociadas con la variación en tamaño de la pieza, generando paralelismo entre superficies.
- Irregularidades menores (micro geométricas), son ondulaciones originadas por la flexión de la pieza durante el maquinado, falta de homogeneidad del material, entre las más principales y la rugosidad utilizada por herramientas de corte presentadas simultáneamente sobre superficies.

Sullon y Vásquez (2017) indica además que la rugosidad tiene influencia sobre:

- El desgaste de la pieza
- Características de fricción y deslizamiento
- Capacidad de adherencia al aceite
- Resistencia a la corrosión
- Características de ajustes

Los parámetros que afectan a la rugosidad superficial por procesos de corte, por mecanizado, propiedades de la herramienta de corte y propiedades de la pieza son:

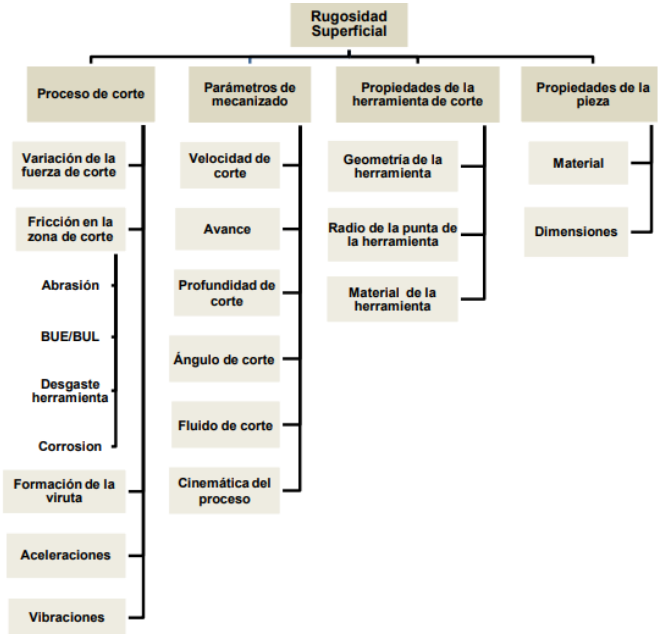


Figura 12. Parámetros que afectan la rugosidad superficial. Tomado de (Saá, 2015)

Puntas de ejes de las ruedas

Las puntas de ejes ubicados en las ruedas de los vehículos son las encargadas de alojar los rodamientos donde van montadas las llantas, como se indica en la Figura 13, conectándose al cubo de la ruedas, identificando el traqueteo cuando se gira a baja velocidad, generando vibraciones secas por falta de engrase, siendo componentes mecánicos sometidos a cargas cíclicas de flexión y torsión, generándose esfuerzos de cargas estáticas y dinámicas, mediante un análisis sometido a fallas, caracterizando al material de manera adecuada, debiendo ser este duro y resistente a golpes generados.

Figura 13. Punta de eje de ruedas

Según el Catálogo de Productos Ivan Bohman C.A. (2018) clasifica a los Aceros en:

- Aceros para trabajo en frío, es un acero al manganeso – cromo - tungsteno, con una buena mecanibilidad, gran dureza y tenacidad, útiles para herramientas de corte y conformado, se los clasifica en:
    - AISI 01
    - AISI D6
    - AISI D2

- Aceros para moldes plásticos, son aceros aleados al cromo – níquel – molibdeno, presenta buena mecanibilidad, dureza uniforme y resistencia al desgaste mayor, útil para moldes de inyección termoplásticos, de soplado, de extrusión entre otras, se los clasifica en:
    - AISI P20
    - AISI 420
- Aceros para trabajos en caliente, son aceros con aleación de cromo – molibdeno – vanadio, caracterizado por tener buena resistencia a la abrasión, alta tenacidad y ductilidad, empleada en moldes y herramientas de extrusión, por lo que se los clasifica en:
    - AISI H 13
- Aceros al carbono para maquinaria, son aceros sin alear, los cuales presentan buena tenacidad, son utilizados para la fabricación de personas, chavetas tuercas, entre otros, por lo que son:
    - AISI 1045
- Aceros bonificados para maquinaria, son aceros aleados con cromo – molibdeno y níquel, presentan buena tenacidad, altas exigencias a la resistencia, aplicadas en la industria automotriz, como son ejes, cardanes, cigüeñales, arboles de transmisión entre otras, los mismos se clasifican en:
    - AISI 4340
    - AISI 4337
    - AISI 4140
- Acero de maquinaria para cementación, con núcleo de alta resistencia, con buena tenacidad, útiles en piños, cigüeñales, ejes estriados, etc., las mismas que se clasifican en:

- AISI 5115

- Acero de transmisión, contiene bajo de carbono, aplicadas donde no se requiere cargas mecánicas no muy severas, se lo distingue como:
  - SAE 1018
- Aceros Inoxidables, son aleaciones de hierro y cromo, presentan resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica, es fácil de limpiar, estas se clasifican en:
  - AISI 304
  - AISI 316

Sánchez (2015) clasifica a los metales en:

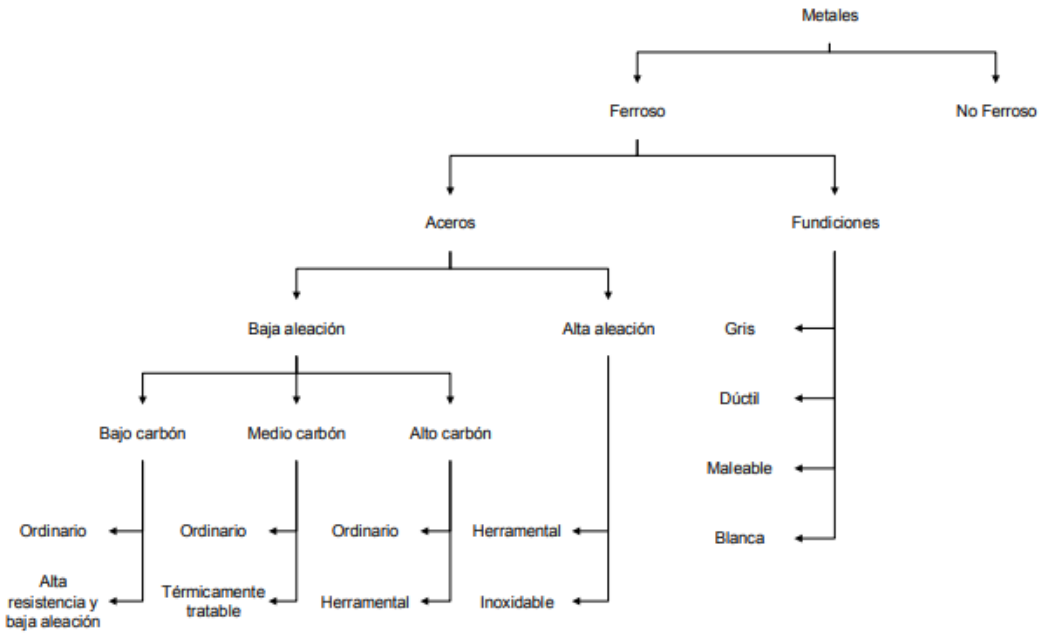


Figura 14. Clasificación de metales. Tomado de (Sánchez, 2015)

Acero AISI 4140

El acero AISI 4140, es una cero aleado de carbono medio, con una alta resistencia a la tensión, templabilidad, tenacidad la cual varia de 543 – 643 BHN y resistencia al desgaste, las

cuales varían en función de sus tratamientos térmicos realizados como los detallados en las Tablas 4 y 5 (Márquez, 2012).

Tabla 4

Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140 normalizado y recocido

AISI No.	Tratamiento	Punto de Cedencia (MPa)	Esfuerzo Último (MPa)	Elongaciòn %	Reducción en Área %	Dureza HBN	Resistencia al Impacto
4140	Normalizado	650	1020	17.7	46.8	302	2.3
	Recocido	420	650	25.7	56.9	197	5.5

Nota: (Márquez, 2012)

Tabla 5

Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140 Revenido

AISI No.	Temperatura Revenido ºC	Punto de Cedencia (MPa)	Esfuerzo Último (MPa)	Elongación %	Reducción en Área %	Dureza HBN
4140	200	1647	1771	8	38	510
	310	1434	1551	9	43	445
	420	1137	1247	13	49	370
	530	834	951	18	58	285
	650	655	758	22	63	230

Nota: (Márquez, 2012)

Sánchez (2015) indica que los componentes químicos de un acero AISI 4140, que ayudan a la dureza, tenacidad, disminución a la oxidación, entre otros es:

- Cr, permite que crezca la resistencia al desgaste, pudiendo trabajar a altas temperaturas
- C, aumenta la dureza y resistencia mecánica.
- Mn, brinda mejor tratamiento térmico, resistencia mecánica, abrasión y maquinado.
- Mo, origina mayor capacidad de endurecimiento, resistencia al degaste y a la tenacidad.

- Ni, aumenta la resistencia, tenacidad y oxidación.
- P, genera resistencia a la oxidación, templabilidad y maquinabilidad.
- S, mejora la maquinabilidad
- Si, aumenta la dureza, resistencia a la oxidación, reduciendo la maquinabilidad

Viloria y Bohórquez (2016) indica que las aplicaciones del Acero AISI 4140 se da en:

- Recipientes que trabajan a presión
- Partes estructurales de aviones
- Ejes de automóviles
- Piezas de transmisión
- Cigüeñales
- Coronas dentadas
- Pernos
- Columnas de prensas
- Vástagos
- Partes de maquinarias
- Varillas roscadas para la industria petrolera

Acero AISI 4340

Es un acero de medio carbono aleado con Cr-Ni-Mo, con una buena resistencia a la fatiga, alta templabilidad, excelente tenacidad, maquinabilidad regular, baja soldabilidad, menos susceptibles al fragilizado, debido al revenido, lo que permite recocerlo a altas temperaturas para eliminar tensiones, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión, útil para trabajo en caliente (T<400ºC) (Aceros Bravo, 2018).

Según Otero (2017) las aplicaciones que tiene el acero AISI 4340 se dan en la fabricación y reparación de:

- Cigüeñales
- Ejes de leva
- Arboles de transmisión
- Barras de torsión
- Ejes
- Vástago
- Componentes oleo hidráulicos
- Componentes de barras de perforación
- Disco de freno
- Pernos sometidos a grandes esfuerzos dinámicos
- Tuerca sometidos a grandes esfuerzos dinámicos

Método

Tipo de estudio

El proyecto, se encaminará a un estudio de nivel cuantitativo, por los datos estadísticos que se adjuntan de investigaciones similares, elaboradas para generar una base de datos que permita determinar la incidencia de los parámetros establecidos en la rugosidad superficial y tiempo de torneado, por lo que se iniciará con la siguiente investigación.

Investigación de tipo experimental, en vista que se manipularán una o más variables definidas, que permitan controlar la investigación planteada, dividiéndolas en:

Variables independientes, como la velocidad de avance, profundidad de corte y la velocidad de husillo.

Variables dependientes, como la rugosidad superficial y el tiempo de torneado

El objetivo de este tipo de investigación será observar como las variables dependientes varían en función de las independientes, donde la calidad será evaluada a través de la rugosidad superficial.

Método

El método utilizado es el:

Método Empírico, porque se recogerá una gran cantidad de datos estadísticos, a partir de un fenómeno originado como la incidencia de los parámetros definidos en la rugosidad superficial, para poder llegar a una conclusión deseada. En función del objeto de estudio será

explicativo debido a que se describirá paso a paso el proceso de preparación de probetas, recopilación y análisis de datos; en función de los datos la naturaleza será cuantitativa porque se analizará estadísticamente los datos obtenidos de la experimentación y procesamiento de datos para llegar a obtener una ecuación matemática factorial.

Diseño de la geometría – Datos de entrada

El dimensionamiento se da en base a medidas establecidas como se indica en la Figura 15, donde se exteriorizan las medidas deseadas.

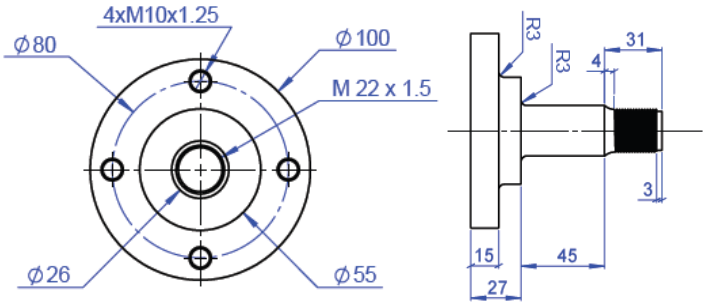


Figura 15. Dimensionamiento de Puntas de Eje

Los materiales más adecuados a usar son los Aceros: AISI 4140 y AISI 4340, los cuales se emplean en:

- La industria automotriz, en la fabricación de ejes, bielas, árboles de transmisión, cigüeñales, entre otras.

Acero AISI 4140

Es un acero aleado para construcción de maquinaria, con una alta resistencia, con tratamientos térmicos suministrados como el templado y revenido (Ivan Bohman C.A, 2018).

La composición del Acero AISI 4140 es:

Tabla 6
Composición del Acero AISI 4140

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 4140	0.38 – 0.43	0.15 – 0.35	0.75 – 1.00	0.030	0.040	0.80-1.10	0.15 – 0.25

Nota: (Ivan Bohman C.A, 2018)

Sus propiedades mecánicas son:

Tabla 7
Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4140

Resistencia a la tracción	**90 -105 kg/mm^2**
Esfuerzo de Cedencia	70 kg/mm^2
Elongación, A5	Min 12%
Reducción de área, Z	Min 50%
Resistencia al impacto, KU	Aprox. 25 J
Dureza	275 – 320 HB

Nota: (Ivan Bohman C.A, 2018)

Acero AISI 4340

Es un acero de baja aleación al Cromo, Níquel y Molibdeno, el cual posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga, con aplicaciones en piezas donde se demanda elevadas exigencias mecánicas (Otero, 2017).

La composición del Acero AISI 4340 es:

Tabla 8
Composición del Acero AISI 4340

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 4140	0.38 – 0.43	0.15 – 0.35	0.6 – 0.8	≤ 0.035	≤ 0.040	0.7-0.9	0.2 – 0.3	1.65 - 2

Nota: (Otero, 2017)

Sus propiedades mecánicas son:

Tabla 9

Propiedades Mecánicas del Acero AISI 4340

Resistencia a la tracción	**90 -105 kg/mm^2**
Esfuerzo de Fluencia	60 - 74 kg/mm^2
Elongación,	Min 10 – 18 %
Dureza	28 - 34 HRc

Nota: (Otero, 2017)

Modelación

La modelación trata de obtener una punta de eje similar al real, por tanto, los esquemas y dimensiones son muy importantes a tener en cuenta.

Por lo que se inicia con la selección de las unidades que se van a emplear, como se detalla en la Figura 16.

Figura 16. Selección de unidades

El siguiente paso es el modelamiento de la punta de eje, la cual tiene que ser similar a la real, como en las Figuras 17 y 18.

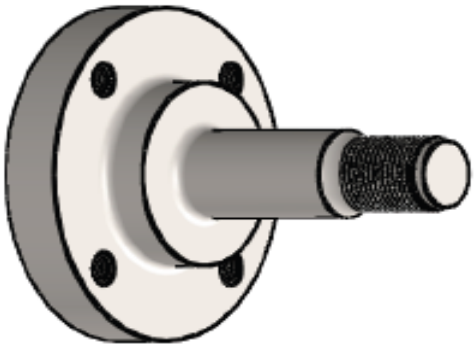


Figura 17. Modelamiento de Puntas de Eje

Figura 18. Modelamiento de Puntas de Eje. Tomado de (SCYZORYK AUTOPARTES, 2018)

Las dimensiones externas de la punta de eje son:

- Largo: 103 mm
- Diámetro del Plato de la Punta de eje: 100 mm
- Longitud del Plato de la Punta de eje: 15 mm
- Diámetro del Plato Secundario de la Punta de eje: 55 mm
- Longitud del Plato Secundario de la Punta de eje: 12 mm
- Diámetro del Eje: 26 mm
- Longitud del Eje: 45 mm
- Diámetro del Eje Roscado: 22 mm
- Longitud del Eje Roscado: 31 mm
- Rosca M 22 x 1.5

Una vez modelado la Punta de Eje, se procede asignar el material como se detalla en la Figura 19 y 20.

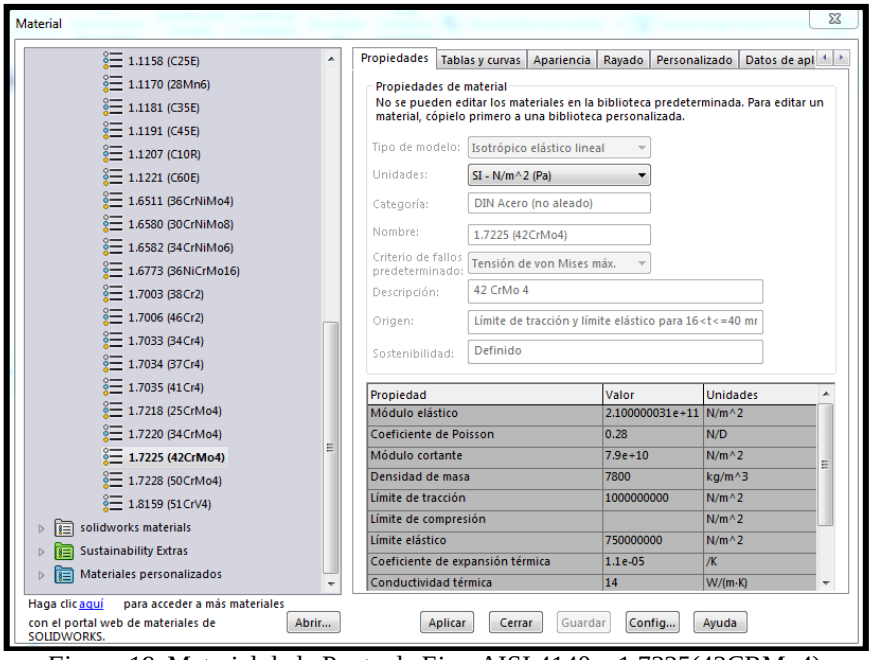


Figura 19. Material de la Punta de Eje - AISI 4140 o 1.7225(42CRMo4)

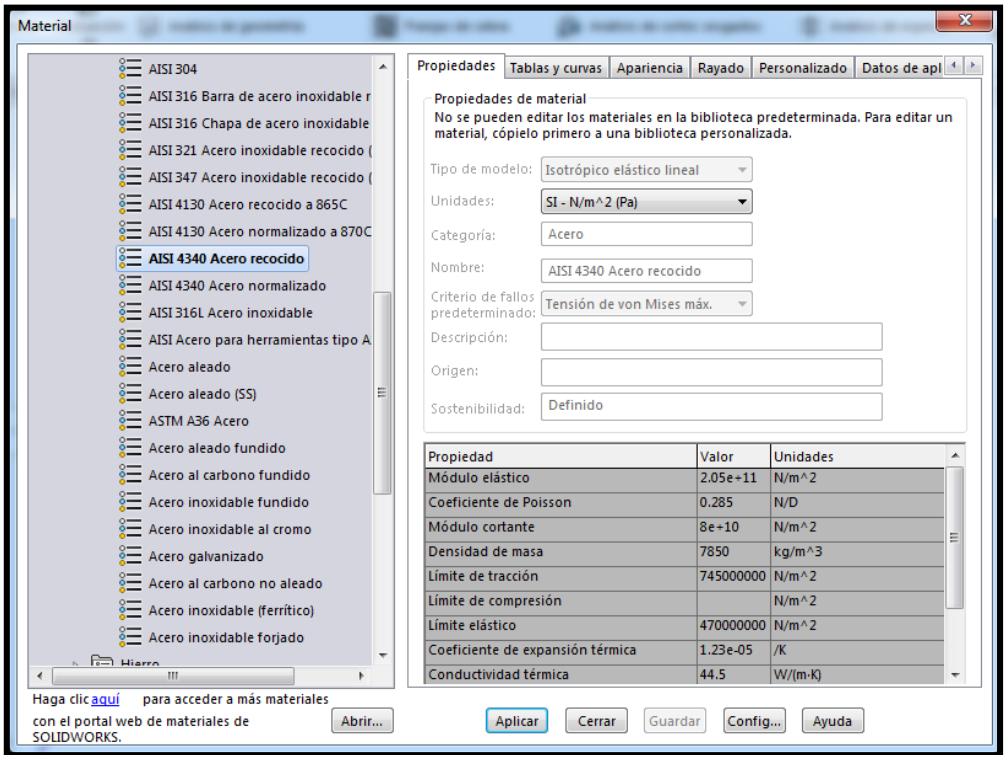


Figura 20. Material de la Punta de Eje - AISI 4340

El peso permisible a usar es de 705 Kg máximo como se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10
Especificaciones de Pesos de un Chevrolet Corsa 1.4

	ESPECIFICACIONES CHEVROLET CORSA 1.4 (1998-2007)	
Datos de Fabricación	Fabricante Ensamble Final en	GM Colmotores Bogotá, Colombia
Pesos	Bruto sin A/A (3P/4P/5P) Bruto con A/A(3PP/P)/ Permisible en eje Delantero sin A/A(3P/4P/5P) Permisible en eje Delantero con A/A(3P/4P/5P) Permisible en eje Trasero sin A/A(3P/4P/5P) Permisible en eje Trasero con A/A(3P/4P/5P)	1320 kg / 1320kg / 1320kg 1375kg / 1463kg / 1395kg 675kg /740 kg / 675kg 715kg / 770kg / 770 kg 660kg / 705kg / 680kg 660kg / 705kg / 680kg

Nota: General Motors Colombia (Cortés, 2012)

Análisis de la Punta de Eje

El análisis se inicia activando la pestaña de Nuevo Estudio como se indica en la Figura 21.

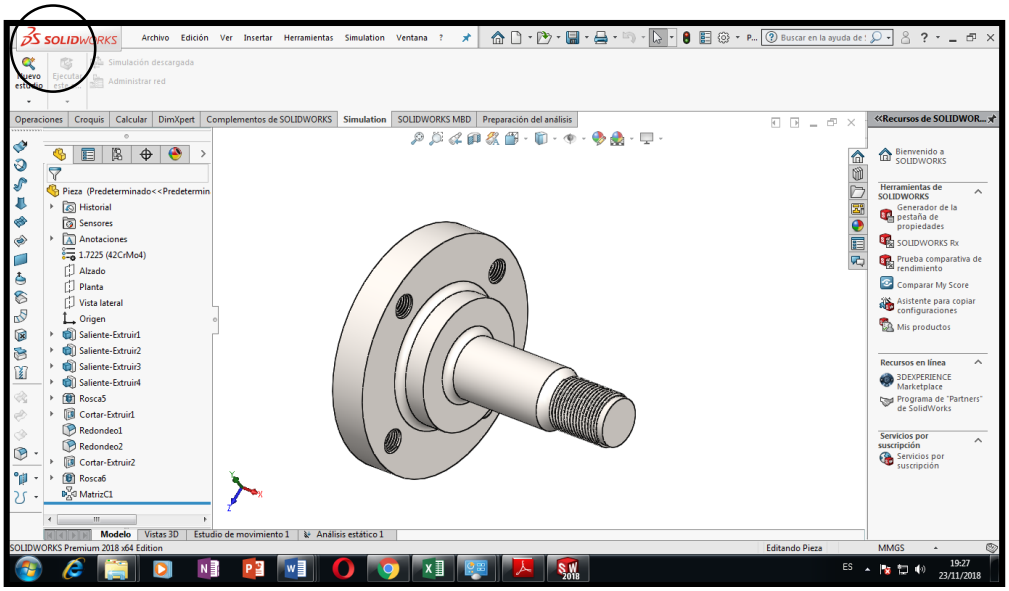


Figura 21. Activación de la pestaña de Nuevo Estudio

A continuación, se selecciona el tipo de estudio que se requiere realizar, como se detalla en la Figura 22.

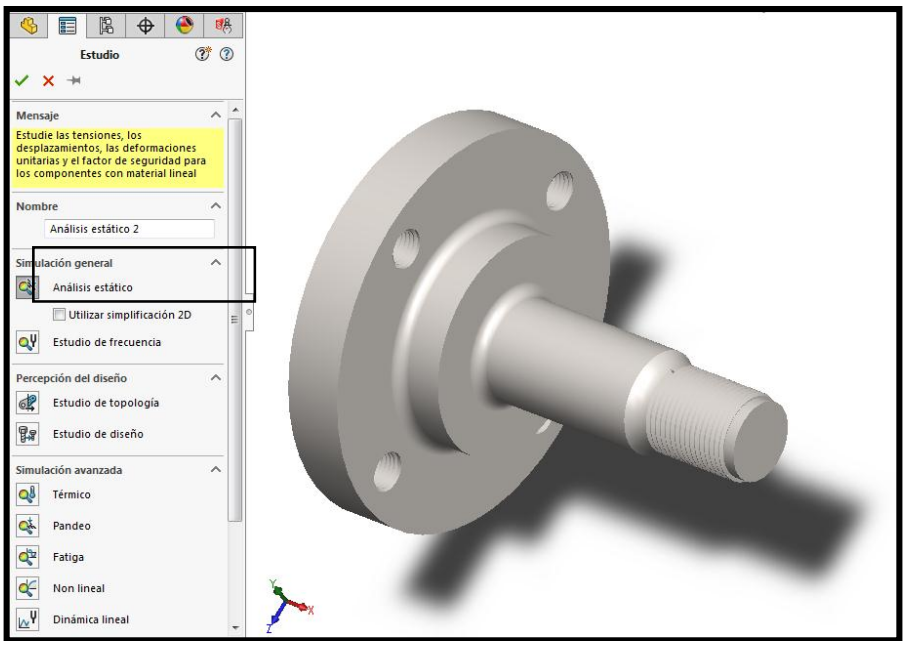


Figura 22. Selección del Tipo de Estudio

Teniendo la siguiente configuración como se detalla en la Figura 23.

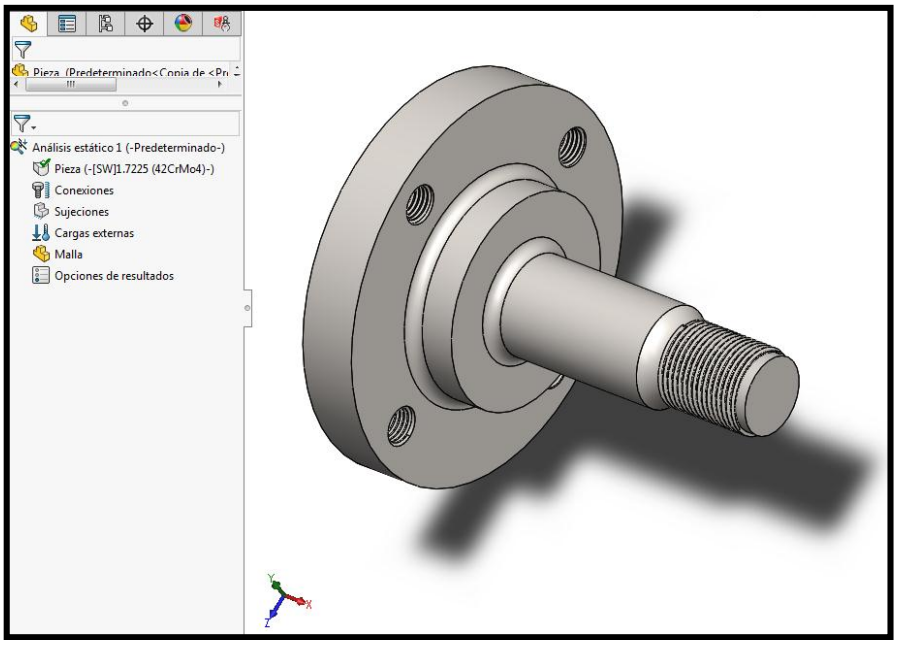


Figura 23. Panel configurado

A continuación, se detallan las conexiones, las cuales son seleccionadas como tornillos y tuercas ubicados en las roscas internas como se detalla en la Figura 24.

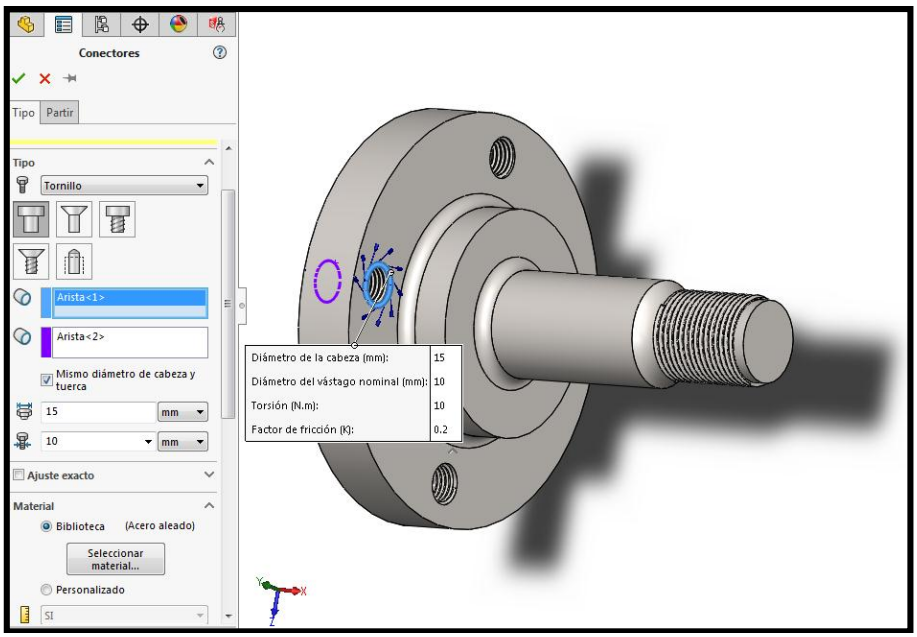


Figura 24. Ubicación de conexiones tipo tornillo y tuerca

Obteniendo los siguientes resultados de los tornillos y tuercas como se observan en las puntas de ejes para vehículos como se describe en las Figuras 25 y 26.

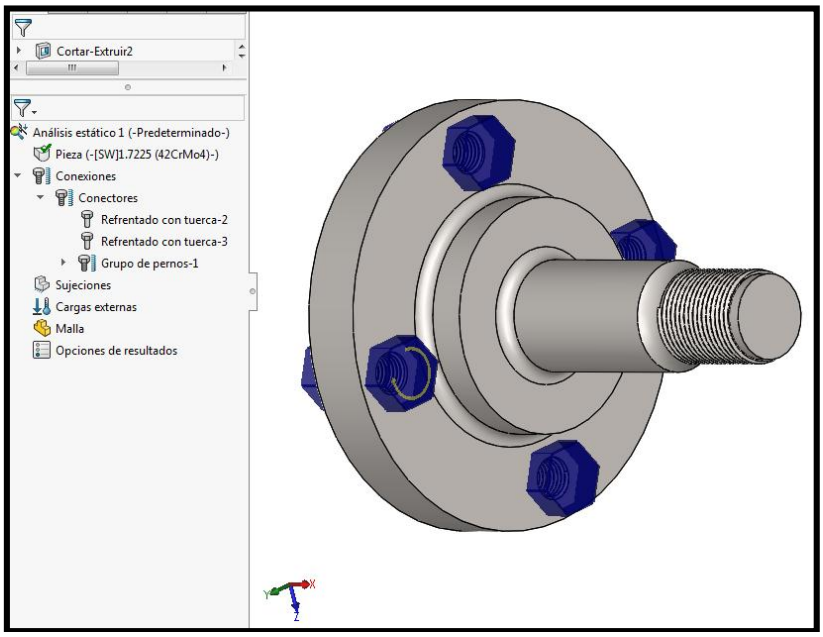


Figura 25. Conexiones de Tornillos

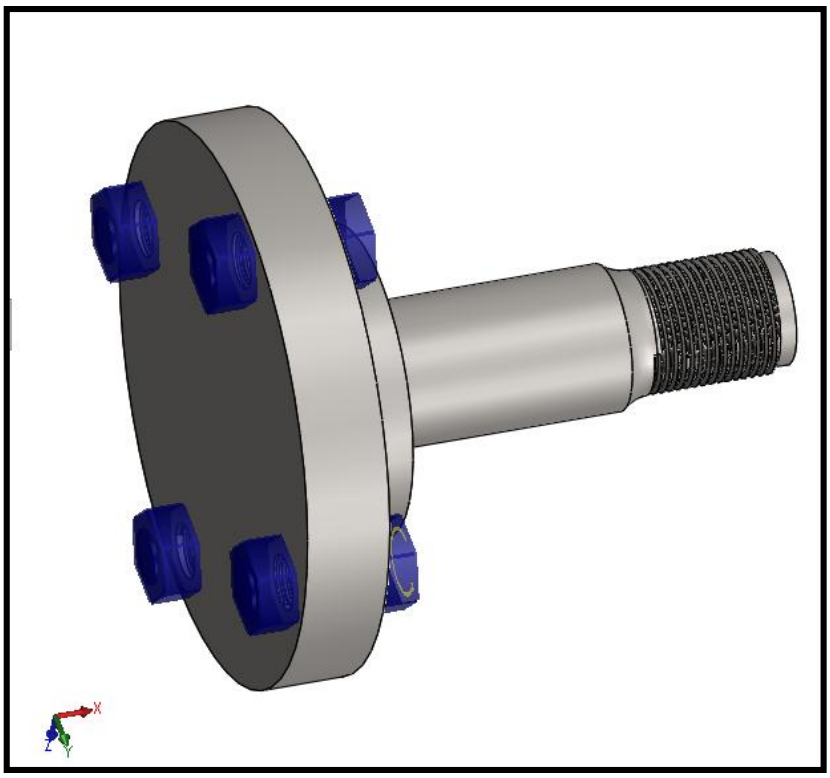


Figura 26. Conexiones de Tuercas

A continuación, se ubican las sujeciones, la cual es de tipo fija como se detalla en la Figura 27.

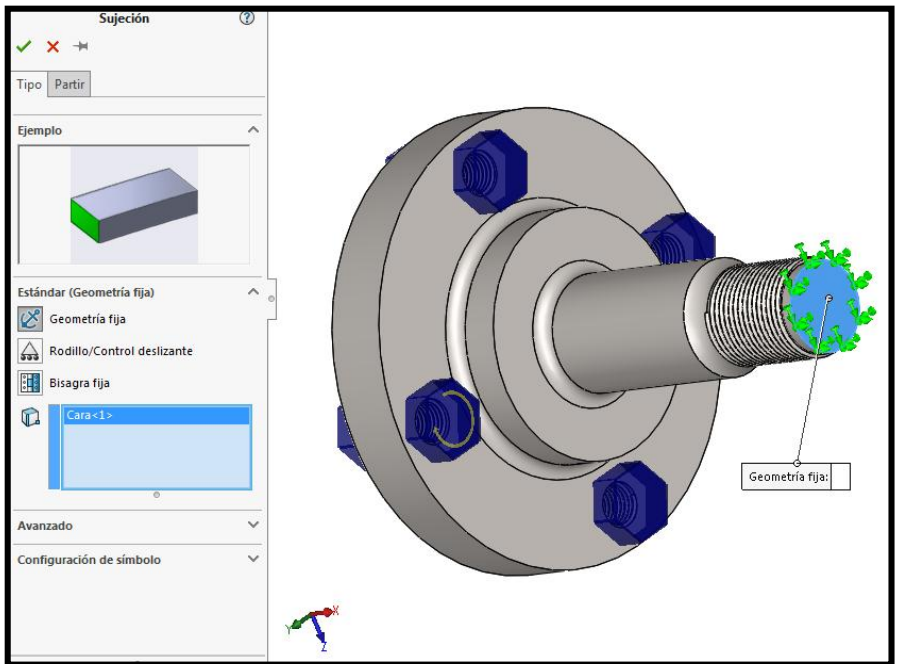


Figura 27. Ubicación de Sujeciones Tipo Geometría Fija

Finalmente se ubican las cargas o fuerzas que va a soportar dicha punta de eje, como se detalla en la Figura 28.

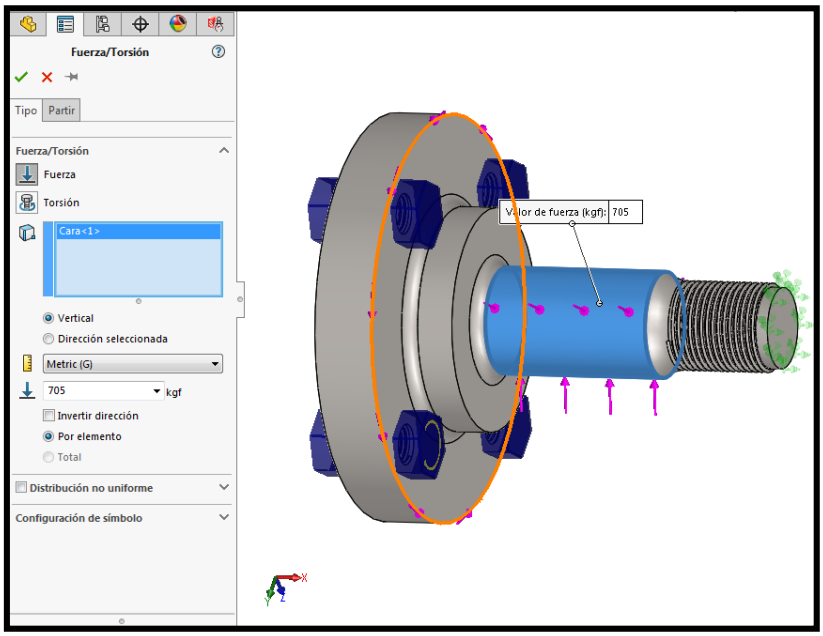


Figura 28. Ubicación de Fuerzas en la Punta de Eje

Mallado para Análisis MEF

El análisis por el Método de Elementos Finitos, ofrece técnicas confiables de análisis, iniciándose con el modelado geométricamente, continuándose con la subdivisión en pequeñas proporciones, prediciendo el comportamiento del material ante una fuerza determinada, donde el mallado genera elementos sólidos tetraédricos en 3D, triangulas en 2D y de viga en 1D, por estar compuesta de elementos sólidos apropiados que requieren de un análisis determinado, como se detalla en las Figuras 29 y 30.

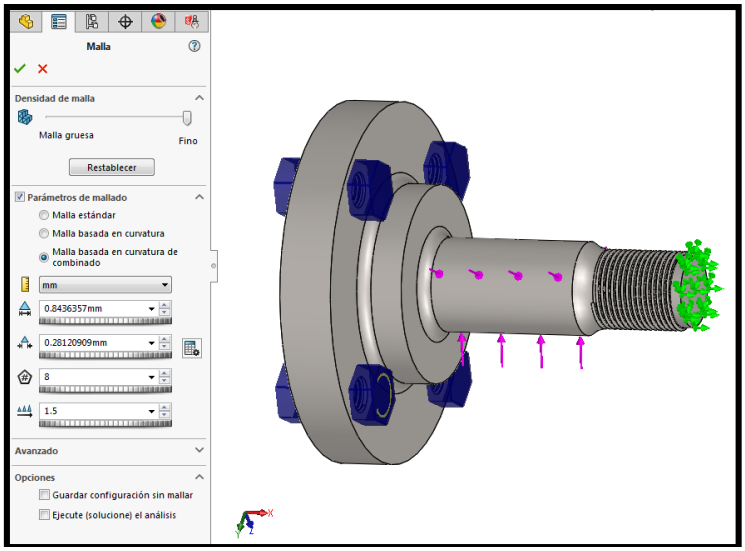


Figura 29. Ubicación de Parámetros de Malla

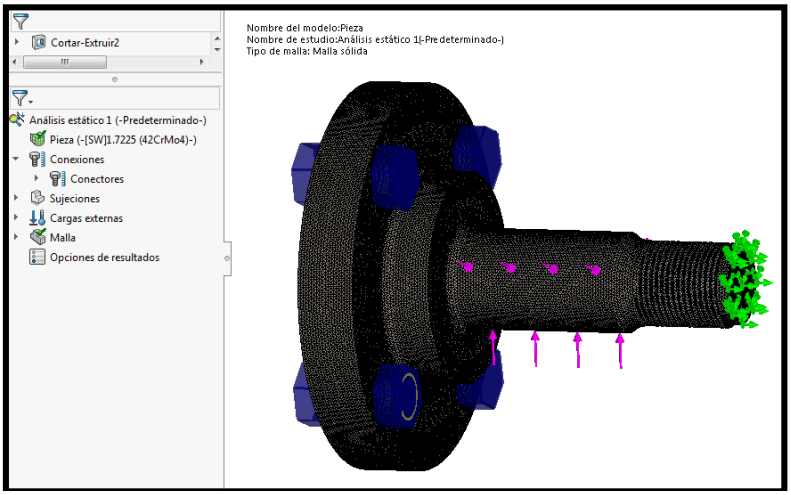


Figura 30. Mallado de la Punta de Eje

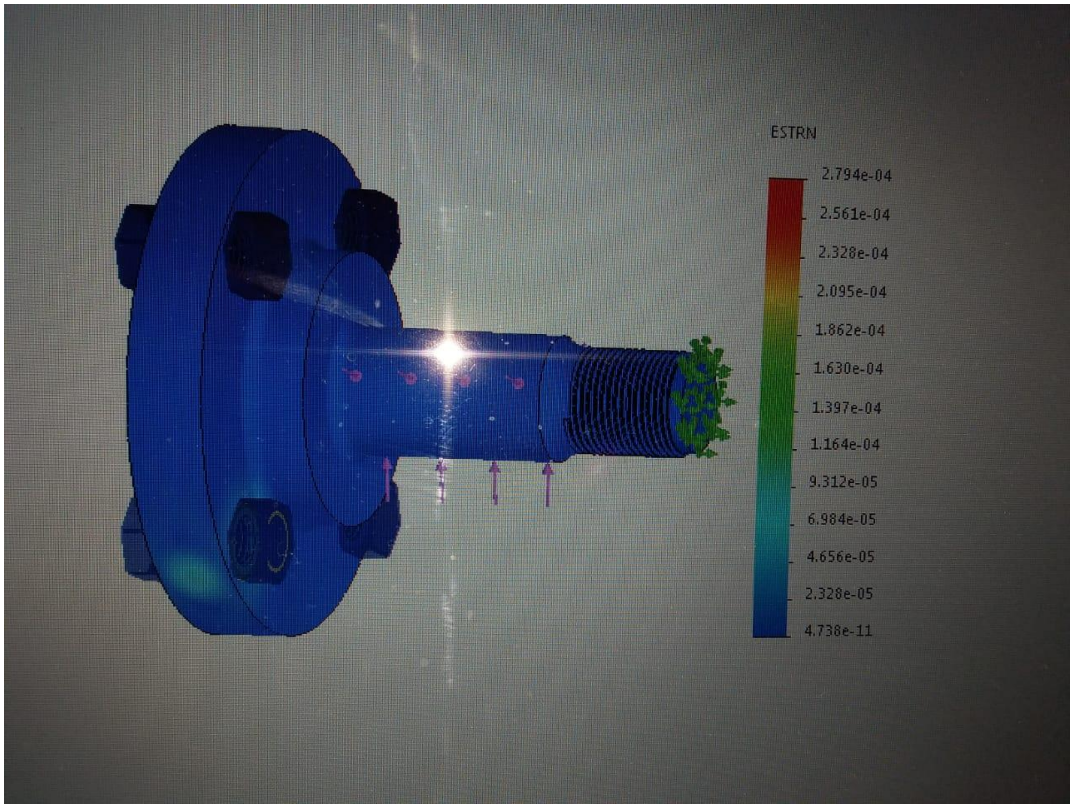


Figura 31. Simulación MEF

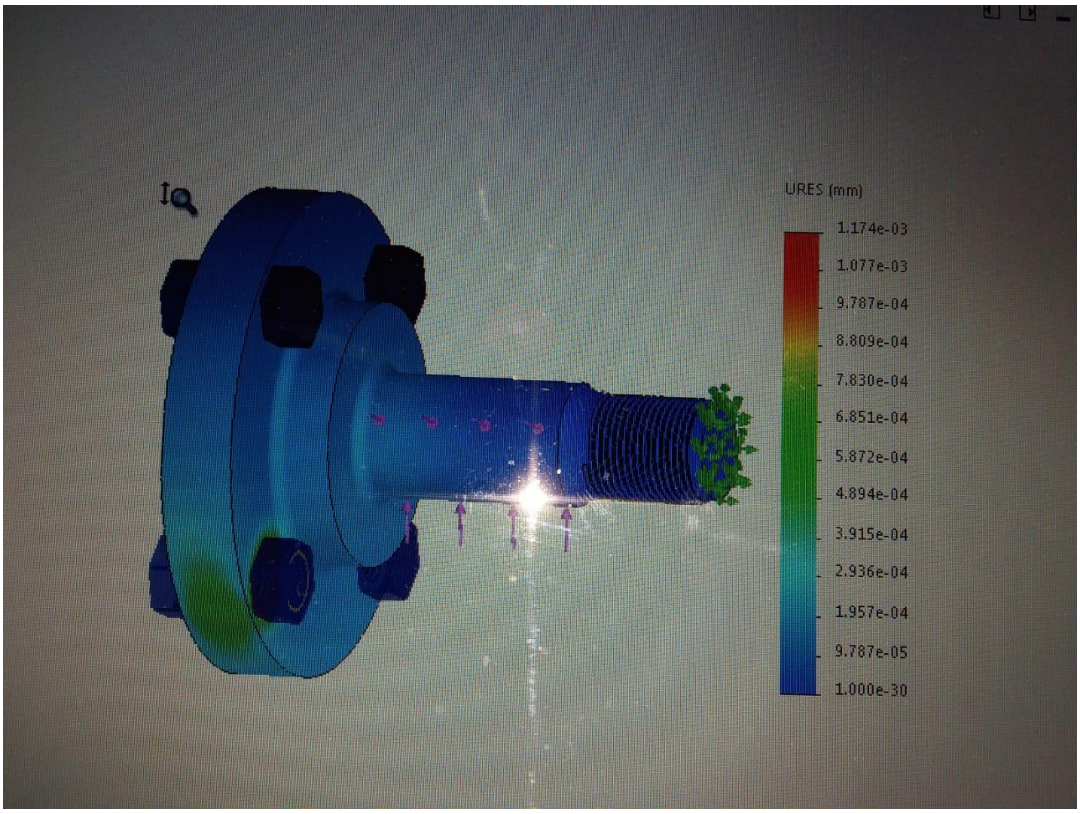


*Figura 32.*Simulación MEF de esfuerzos

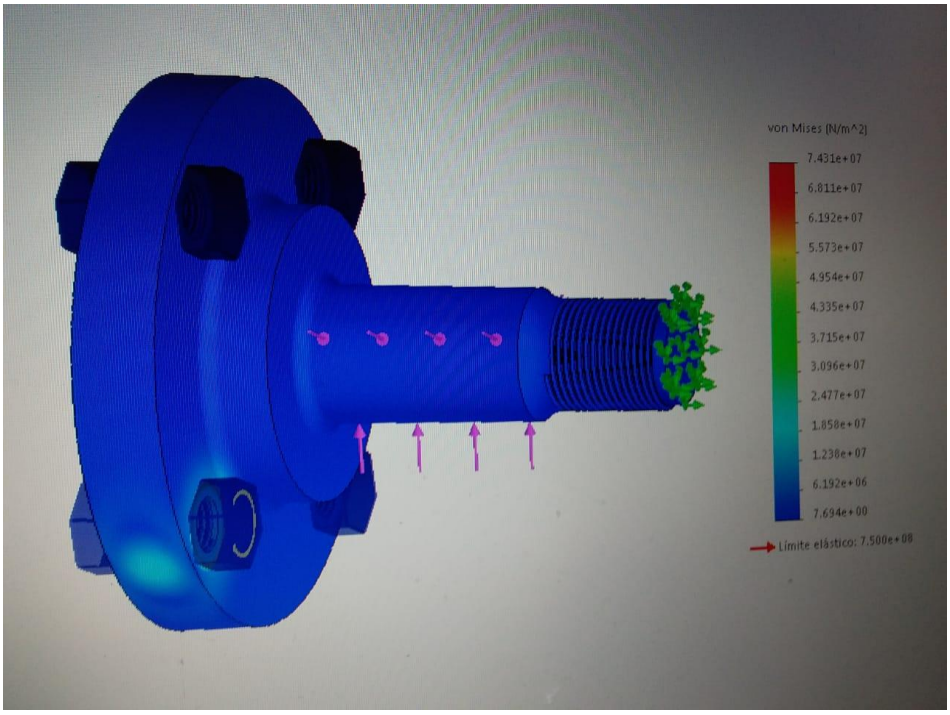


Figura 33. Simulación MEF de deformación

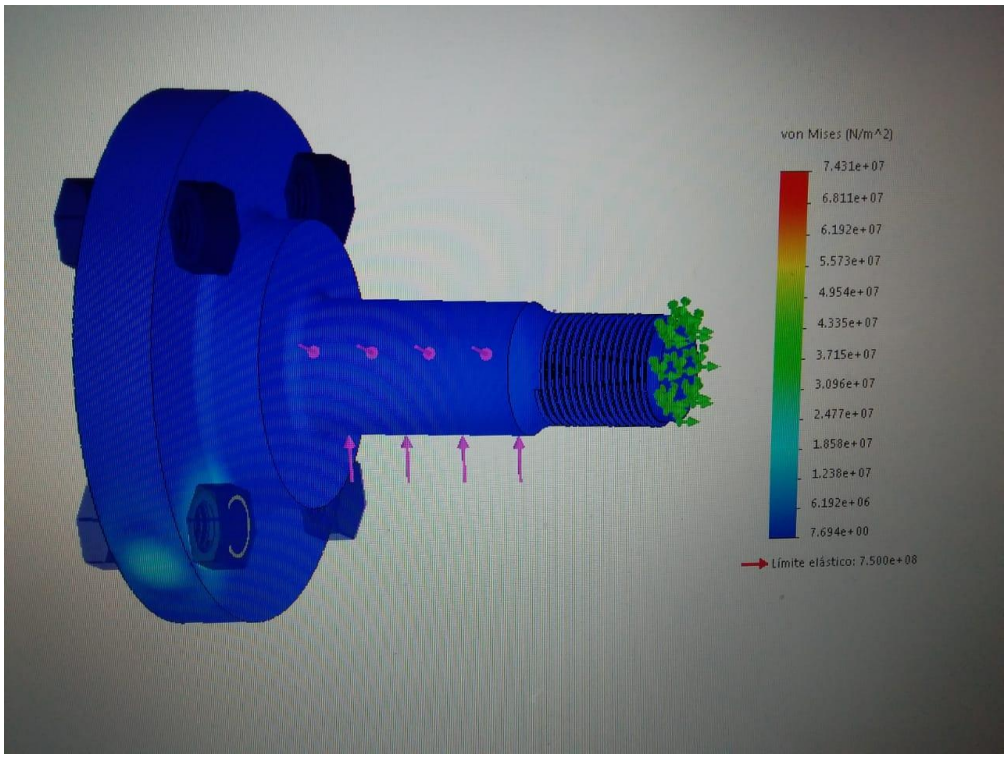


Figura 34. Simulación MEF de tensión

Parámetros a utilizar:

El equipo a utilizar es:

- Torno
- Herramienta de Corte
- Portaherramientas
- Computadora
- Calibrador
- Medidor de Rugosidad (Rugosímetro)

En las piezas obtenidas a través de las operaciones de mecanizado, se originarán superficies que inciden en los parámetros definidos de una pieza común, por lo que la rugosidad superficial se obtendrá de la siguiente manera:

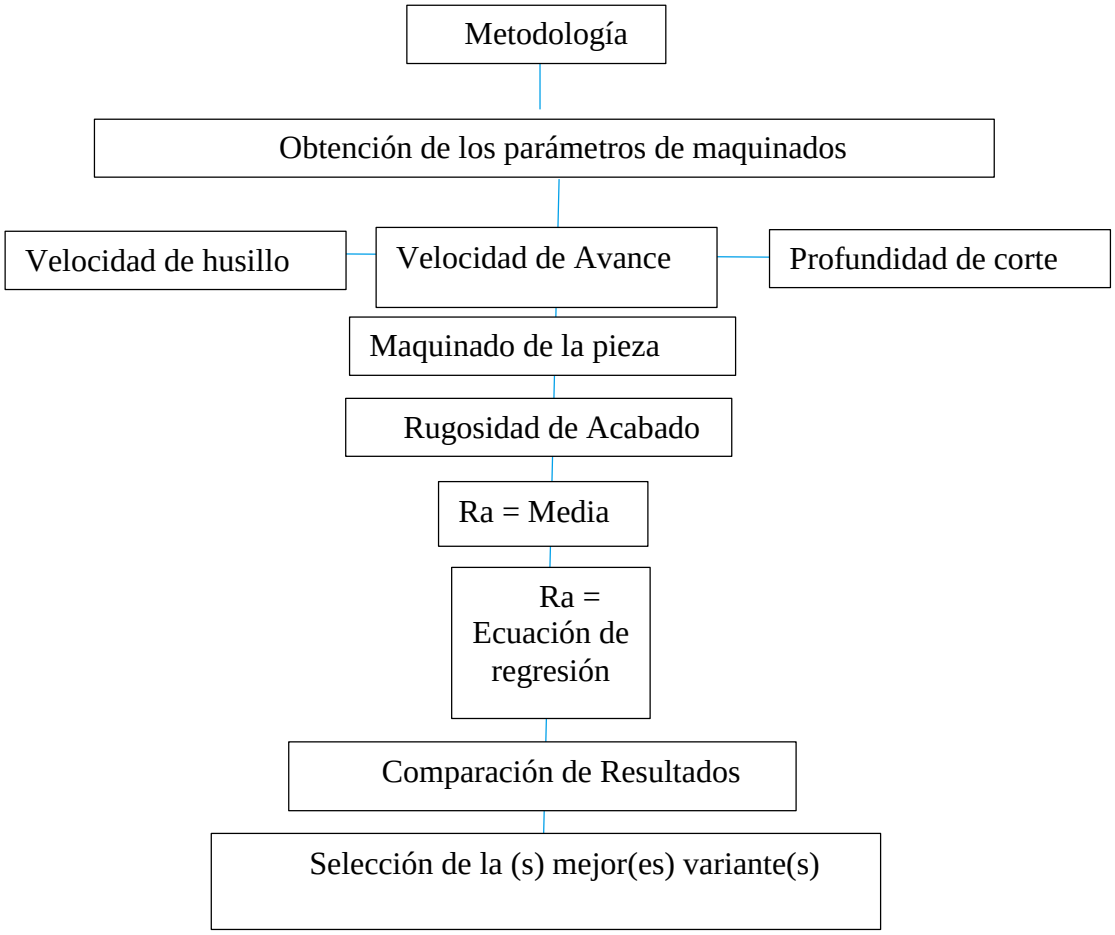


Figura 35. Mapa conceptual de elección del material

Una vez definido el material a usar en la Punta de Eje se procederá a modelar de la siguiente manera:

Población y Muestra.

Para determinar la muestra de una población no conocida, se utilizará una metodología que establezca el número mínimo de observaciones realizadas, para lo cual se recomienda utilizar la siguiente ecuación.

$$n = \frac{w - w^2 * Z_\beta + 1.4 * Z_\alpha^2}{w^2} \quad (6)$$

Donde:

- n = Número de muestras mínimas
- Z_α = Valor correspondiente al nivel de confianza = 1.96 (Tabla 11)
- Z_β = Valor correspondiente al poder estadístico = 0.15 (Tabla 12)
- W = Rendimiento mínimo esperado, basado en el nivel de confianza = 0.95

Tabla 11
Valores de Z_α

Nivel de Confianza (1-α)		
α	(%)	Z_α
0.050	95.0	1,960
0.025	97.5	2,240
0.010	99.0	2,576

Nota: (Lozano, 2011)

Tabla 12
Valores de Z_β

Poder Estadístico (1-β)		
B	(%)	Z_β
0.20	80.0	0.842
0.15	85.0	1.036
0.10	90.0	1.282

Nota: (Lozano, 2011)

Por lo que:

$$n = \frac{0.95 - 0.95^2 * 1.036 + 1.4 * 1.96^2}{0.95^2} = 5.47 \approx 5 \quad (7)$$

Selección de instrumentos de investigación.

Los instrumentos de investigación a usar durante el estudio son el registro originado por los resultados experimentales, a través de la técnica de operación como es la observación directa, en base al número de muestras establecidas.

Validez y confiabilidad de los instrumentos.

Las muestras establecidas, cumple con los requerimientos básicos determinados, en vista que los valores definidos de un nivel estadístico no son inferiores al 80%, y el número de muestras es superior a 3, lo que se recomienda por Lozano (2011) para obtener datos confiables y no erróneos, dando por válido los resultados obtenidos, así como los instrumentos utilizados.

Materiales.

Los parámetros a evaluar durante la investigación, de las diferentes formas son:

- Material
- Velocidad de avance, generado por el Torno
- Profundidad de corte, generado por el Torno
- Velocidad de husillo, generado por el Torno

- Rugosidad superficial, originado por el mecanizado del eje, para lo cual se utilizará un rugosímetro.
- Tiempo de torneado, originado por el Torno
- Desplazamientos, generados por el Método
- Deformaciones, generado por el Método
- Tensiones, originadas por el Método.
- Factor de Seguridad, obtenida por el MEF.

Experimento

Para realizar el experimento se eligen los dos materiales sujetos al estudio que son el Acero AISI4140 y el Acero AISI 4340. Son un total de ocho ejes, en cada uno se harán tres probetas, dando un total de veinte y cuatro probetas a ser maquinadas y medidas su rugosidad, doce probetas del acero AISI 4140 y doce probetas del Aero AISI 4340, las mismas que se maquinarán a una medida de 45mm de longitud por 26mm de diámetro, que es la medida del eje donde va a ir alojado el rodamiento, ver figura 36.

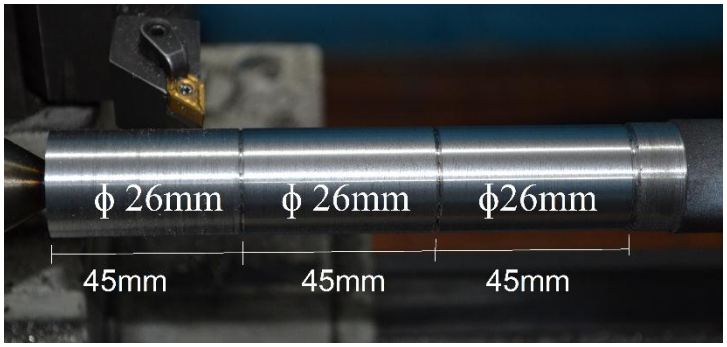


Figura 36. Probeta

Para el proceso de torneado se utilizará un portaherramientas de doble fijación para corte pesado, ver figura 37.

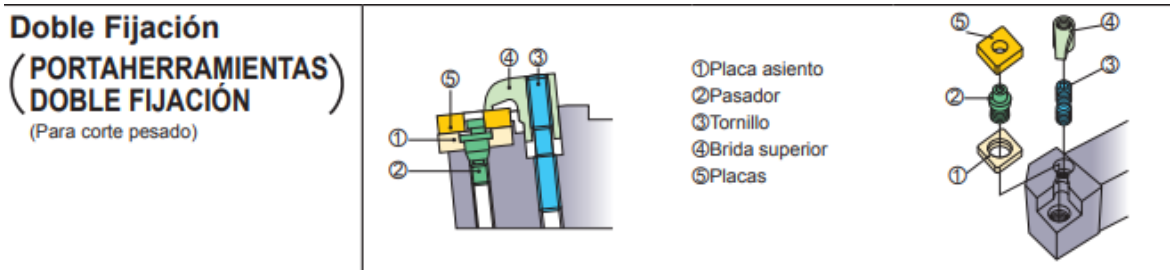


Figura 37. Portaherramientas de doble fijación

Los insertos serán de carburo, marca Mitsubishi de torneado DNMG 110408-MA UE6110 que se detalla a continuación en la tabla 13,más detalles Ver Anexos 1, 2 y 3.

Tabla 13
Inserto de carburo marca Mitsubishi

Especificaciones del inserto	
Nombre del grado	Carburo
Grado	UE6110
ANSI	DNMG
D1	5.16
IC	12.7
EPSR	55°
S	4.76
RE	0.8

Nota: (MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION, 2017)

El inserto en forma física se lo aprecia en la figura 38.

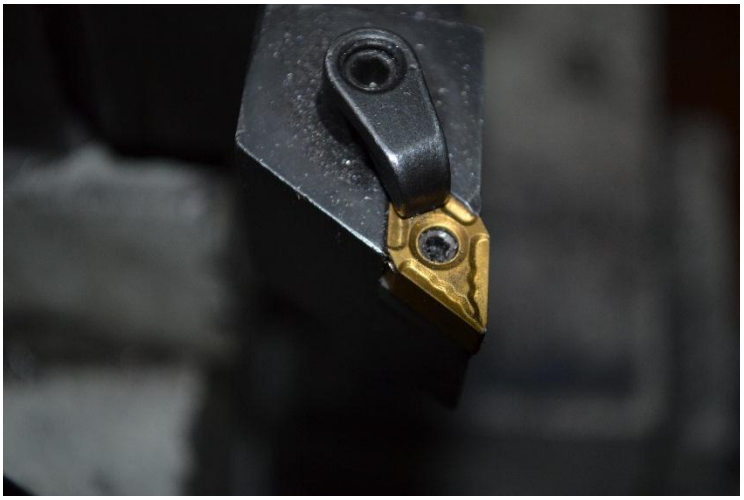


Figura 38. Inserto ensamblado en el herramental

El maquinado aproximando al diámetro final de 26mm se realizará el torneado de acabado utilizando un herramental nuevo para cada probeta.

Se realizarán todas las combinaciones útiles de las tres variables independientes como son velocidad de husillo, velocidad de avance y profundidad de corte, para lo cual se definirá los valores específicos a utilizar.

Se definirá la longitud y el diámetro del eje para el Acero AISI4140 y AISI4340, siendo la misma medida para los dos materiales, tal como se indica en la tabla 12.

Tabla 14
Datos del eje

Datos del Eje	**Mm**
Largo del eje	45
Diámetro del eje	26

A continuación, se definirá las velocidades del husillo a las que se va a maquinar los dos aceros tal cual se indica en la tabla 13.

Tabla 15
Variables Independientes

Velocidad de husillo	**Rpm**
V_1	450
V_2	645

La siguiente variable independiente es la velocidad de avance del corte, la cual viene definida en milímetros por cada revolución del husillo, para la cual se tomará tres distintas velocidades de avance, tal como indica la tabla 14.

Tabla 16
Velocidad de Avance del corte

Velocidad de Avance	**mm/revolución**
Avance1	0,1
Avance2	0,2

Por último, se definirá la profundidad del corte que viene dado en milímetros y es la tercera variable que va a determinar el acabado superficial del eje en estudio, las mismas que se determinan en la tabla 15.

Tabla 17
Profundidad del corte

Profundidad del Corte	**Mm**
Profundidad 1	0,3
Profundidad 2	0,6
Profundidad 3	1

Una vez definidas las variables independientes de velocidad de husillo, avance de corte y profundidad de corte, se realizarán las pruebas realizando diferentes combinaciones entre ellas, que serán las mismas bajo los mismos parámetros entre los aceros AISI 4140 y AISI 4340, como se indica en las siguientes tablas 15 y 16.

Tabla 18
Combinaciones de Desbaste para Acero AISI 4140

No.ejercicio	**Velocidad husillo**	**Velocidad avance**	**Penetración**
1	V1	Av1	P1
2	V1	Av1	P2
3	V1	Av1	P3
4	V1	Av2	P1
5	V1	Av2	P2
6	V1	Av2	P3
7	V2	Av1	P1
8	V 2	Av1	P2
9	V2	Av1	P3
10	V2	Av2	P1
11	V2	Av2	P2
12	V2	Av2	P3

De igual manera se realizará para el acero AISI 4340

Tabla 19

Combinaciones de Desbaste para Acero AISI 4340

No.ejercicio	Velocidad husillo	Velocidad avance	Penetración
13	V1	Av1	P1
14	V1	Av1	P2
15	V1	Av1	P3
16	V1	Av2	P1
17	V1	Av2	P2
18	V1	Av2	P3
19	V2	Av1	P1
20	V 2	Av1	P2
21	V2	Av1	P3
22	V2	Av2	P1
23	V2	Av2	P2
24	V2	Av2	P3

Una vez definido los parámetros del experimento, se procederá a realizarlos.

El torno a usar es un torno marca CUMBRE C15 como se indica en la figura 39 de origen español, ver las características del mismo en Anexos 4 y 5.

Figura 39 Torno CUMBRE C15

Primero se instala el inserto en el herramental como se indica en la figura 40.

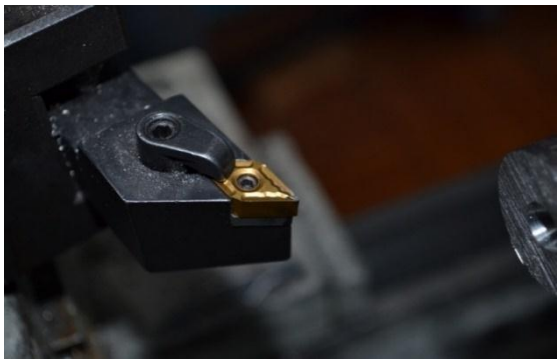


Figura 40. Instalación del inserto en el herramental.

A continuación, se asegura el eje de acero AISI4140 o AISI4340 en el torno y se da el desbaste aproximado tal como se indica en la figura 41.

Figura 41. Cilindrado aproximado a la medida

Se toman y corrigen las medidas exactas aproximadas para dar el acabado final, ver figura 42.

Figura 42. Verificación de medidas

Finalmente se dan los cilindrados finales con la combinación de las diferentes variables, ver figura 43.

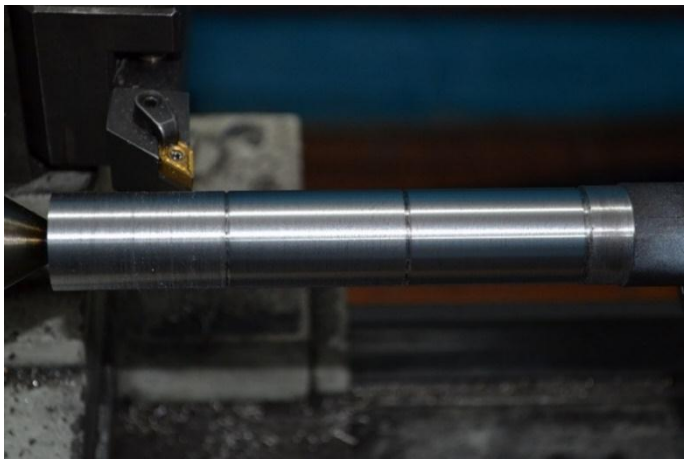


Figura 43. Cilindrado final

Se utilizará un inserto nuevo para cada uno de los cilindrados finales de modo que no cambie el ángulo de corte y no de diferente acabado, por lo tanto los datos de rugosidad serán más fiables y con menor margen de error.

Tabla 20

Detalles de la herramienta de corte

Detalle herramienta de corte		
Geometría de la herramienta	Radio de Ataque	55º
	Radio del inserto	0.8
Especificaciones del inserto	DNMG110408-MA	UE6110
Recubrimientos	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	

Nota: (MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION, 2017)

Ver figura 44 de los insertos utilizados.

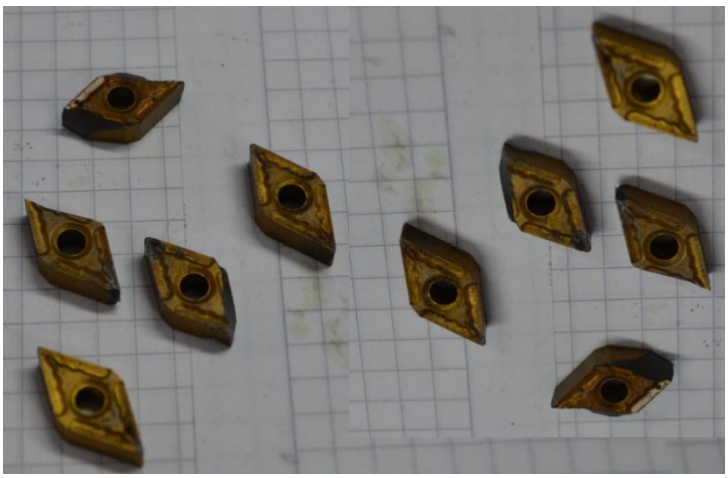


Figura 44. Insertos usados

Una vez terminado los torneados de los ejes de acero AISI4340 y AISI4140, bajo los mismos parámetros y variables, como indica la figura 45, se pueden tomar las diferentes medidas de rugosidad.

Figura 45. Ejes torneados terminados.

Como se mencionó anteriormente, para realizar la toma de las medidas de rugosidad se utiliza un medidor de rugosidad marca Mitutoyo SURFTEST SJ-210 (Ver Anexo 6) con las siguientes especificaciones.

Tabla 21
Especificaciones rugosímetro Mitutoyo SJ-210

Medidor de Rugosidad Mitutoyo SJ210	
Rango de medición	17.5mm
Velocidad de medición	0.25, 0.5, 0.75 mm/s 1mm/s (vuelta)
Unidad de control	Estándar
Rango detector	360um (-200micrómetros a 160 micras)
Medición de fuerza	0.75mN
Palpador con radio de punta	2 micras
Detector	Ángulo cónico 60º

Se realizaron 5 mediciones por cada probeta usando la norma en ISO 4287-1997 (ISO 4288-1996), se obtuvo una rugosidad por cada medición para luego hallar la rugosidad media (Ra) y dichos valores obtenidos sirvieron para hallar la ecuación de regresión de la Ra.

Resultados y Discusiones.

Una vez mecanizadas las probetas se procedió a realizar el procesamiento y análisis de los datos de rugosidad superficial obtenidos, los mismos que se lo hicieron cinco mediciones por cada probeta con un medidor de rugosidad marca Mitutoyo SJ210 para obtener una rugosidad superficial media (Ra). Los valores de rugosidad tomadas de cada probeta se tabularon, obteniendo una rugosidad media Ra, tanto para el acero AISI4140 como para el Acero AISI4340, los mismos que se indican en las Tablas 22 y 23 respectivamente.

Tabla 22
Mediciones de rugosidad del acero AISI 4140

No. Ejercicio	Velocidad de husillo rpm	Velocidad de avance mm/rev	Profundidad de corte mm	Rugosidad 1	Rugosidad 2	Rugosidad 3	Rugosidad 4	Rugosidad5	Ra
1	450	0,1	0,3	3.912	4.360	4.440	4.660	4.310	4.336
2	450	0,1	0,6	2.177	2.329	2.301	2.012	2.076	2.179
3	450	0,1	1	1.617	1.583	1.613	1.645	1.632	1.618
4	450	0,1	0,3	3.565	3.608	3.873	3.455	3.448	3.590
5	450	0,1	0,6	3.428	3.320	3.223	3.483	3.240	3.339
6	450	0,1	1	3.698	3.857	3.855	3.690	3.901	3.800
7	645	0,2	0,3	2.179	2.183	2.142	2.151	1.926	2.116
8	645	0,2	0.6	1.219	1.175	1.319	1.386	1.197	1.259
9	645	0,2	1	1.169	1.268	1.217	1.224	1.194	1.214
10	645	0,2	0,3	2.134	1.943	1.970	1.956	2.049	2.010
11	645	0,2	0,6	1.784	1.911	1.831	1.772	2.013	1.862
12	645	0,2	1	3.493	3.959	3.886	3.621	3.689	3.730

Tabla 23
Mediciones de rugosidad del acero AISI 4340

No. Ejercicio	Velocidad de husillo rpm	Velocidad de avance mm/rev	Profundidad de corte mm	Rugosidad 1	Rugosidad 2	Rugosidad 3	Rugosidad 4	Rugosidad5	Ra
13	450	0,1	0,3	3.393	4.636	4.862	4.249	3.935	4.215
14	450	0.1	0.6	2.279	2.268	2.144	2.347	2.142	2.236
15	450	0.1	1	1.637	1.714	2.295	1.636	1.515	1.759
16	450	0.2	0.3	3.938	3.491	3.682	3.944	3.626	3.736
17	450	0.2	0.6	3.542	3.631	3.608	3.237	3.415	3.487
18	450	0.2	1	4.020	3.793	3.527	3.912	3.701	3.791
19	645	0.1	0.3	2.244	2.427	2.385	2.769	2.519	2.469
20	645	0.1	0.6	1.498	1.697	1.800	1.657	1.834	1.697
21	645	0.1	1	1.560	1.347	1.186	1.151	1.570	1.363
22	645	0.2	0.3	2.737	2.456	2.603	2.449	2.161	2.481
23	645	0.2	0.6	2.542	2.561	2.469	2.436	2.447	2.491
24	645	0.2	1	3.930	3.840	3.722	3.896	3.728	3.823

Con ésta información obtenida se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos experimentalmente, utilizando el paquete MINITAB 18 (ver anexo 7), en el cual se ingresaron todos los datos de Ra de cada material de los que se realizaron la experimentación del presente estudio y las variables independientes que se utilizaron, para así poder alcanzar el objetivo planteado que es hallar una ecuación de predicción de rugosidad media (Ra).

Primero se ejecutó para el acero AISI 4140 de la siguiente manera.

Se abrió el programa y se ingresaron los datos como se indican en las figuras 46 y 47.

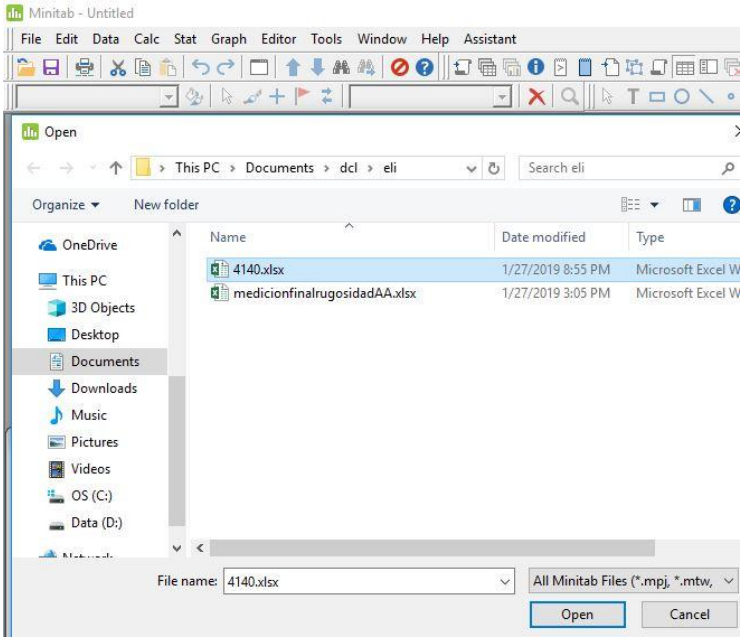
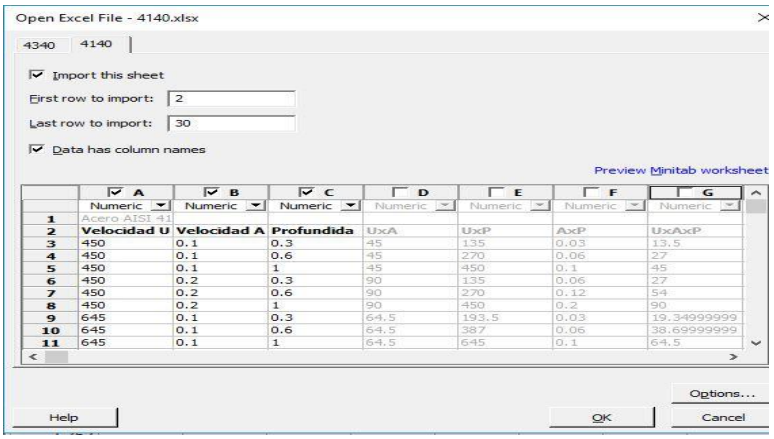


Figura 46. Acero 4140



	A	B	C	D	E	F	G
	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric
1	Acero AISI 41						
2	Velocidad U	Velocidad A	Profundida	UxA	UxP	AxP	UxAxP
3	450	0.1	0.3	45	135	0.03	13.5
4	450	0.1	0.6	45	270	0.06	27
5	450	0.1	1	45	450	0.1	45
6	450	0.2	0.3	90	135	0.06	27
7	450	0.2	0.6	90	270	0.12	54
8	450	0.2	1	90	450	0.2	90
9	645	0.1	0.3	64.5	193.5	0.03	19.34999999
10	645	0.1	0.6	64.5	387	0.06	38.69999999
11	645	0.1	1	64.5	645	0.1	64.5

Figura 47. Ingreso de Datos de Velocidades de husillo, velocidades de avance y profundidad de corte

Se indica al programa (figura 48) para que realice el análisis de varianza ANOVA para encontrar un modelo lineal general, que relacione entre uno o más factores y encuentre un modelo matemático.

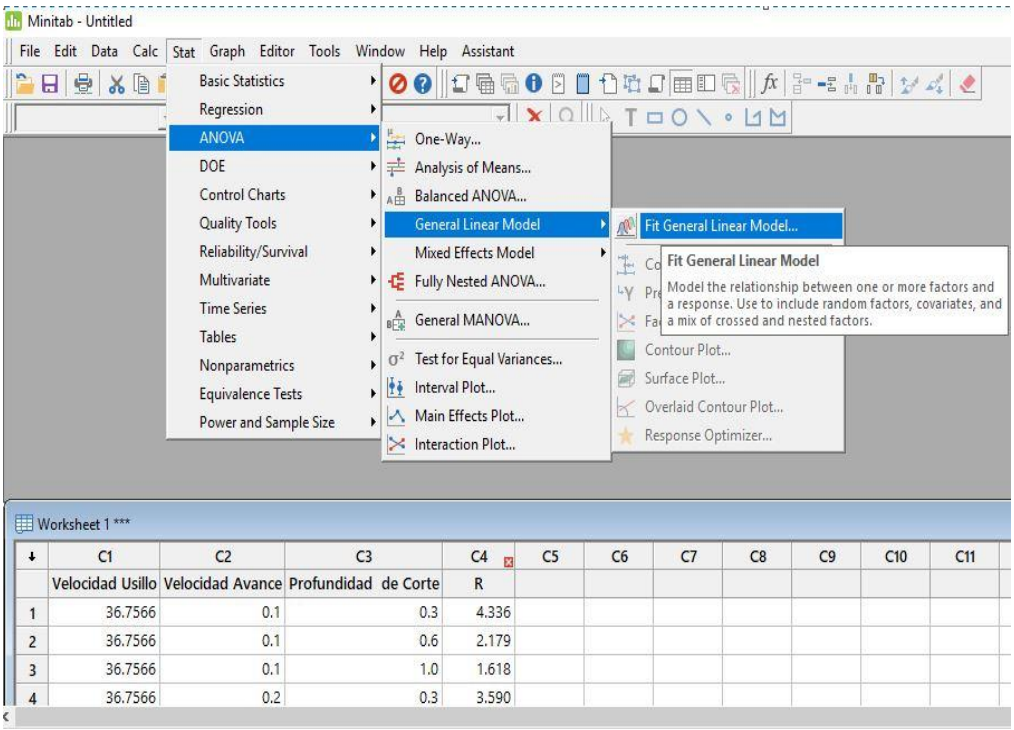


Figura 48. Selección de Análisis estadístico ANOVA

Para que el programa MINITAB 18 encuentre el modelo matemático se determinaron todas las variables como velocidad de husillo, velocidad de avance y profundidad de corte, además todas las combinaciones entre sí como se detalla en la siguiente tabla 24.

Tabla 24

Combinación de variables para encontrar el modelo matemático de la rugosidad

Velocidad de husillo V	**Velocidad de avance Av**	**Profundidad de corte P**	**Veloidad*avance*profundidad**
V	Av	P	V*Av*P
V *Av			
	Av*P		
V*P			
V*V	Av*Av	P*P	

Todas los factores que intervinieron en el experimento de torneado y todas las combinaciones posibles se ingresaron (figura 49) en el programa de MINITAB 18 , para que éste pueda encontrar una ecuación acertada de predicción de rugosidad media (Ra).

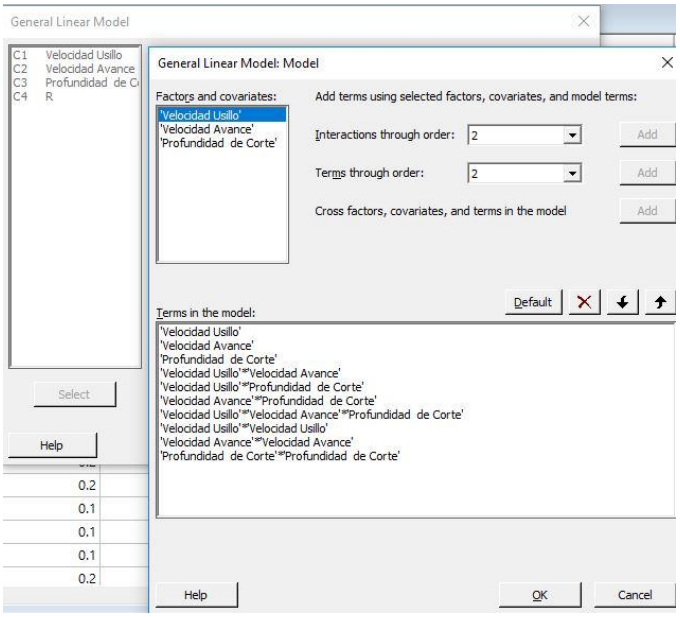


Figura 49. Combinaciones de variables para hallar el modelo matemático de rugosidad

Para que el programa MINITAB 18 encuentre el modelo matemático satisfactorio, una vez ya ingresado todas las combinaciones de las variables, se le indicó que incluya y realice la exclusión de las combinaciones que considere no relevantes para realizar el cálculo (figura 50).

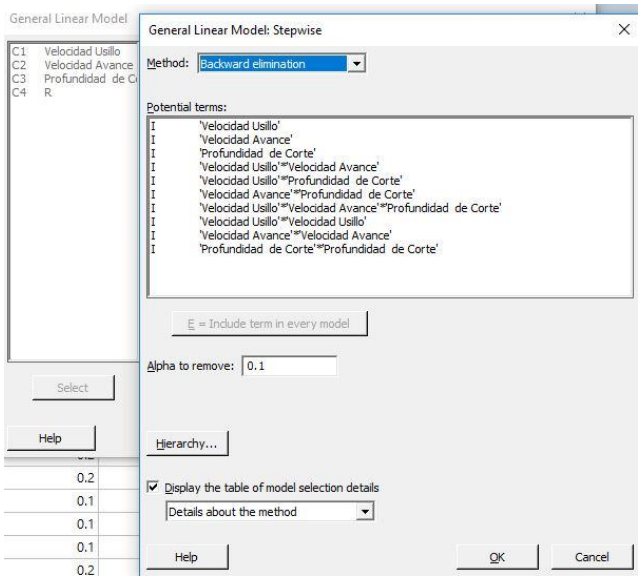


Figura 50. Condiciones para hallar el modelo matemático de rugosidad

La ecuación matemática encontrada por el programa MINITAB 18 (figura 51) que predice la rugosidad de torneado para el acero AISI 4140 es la siguiente:

$$Ra_{4140} = 14.57 - 0.1643V - 15.66Av - 20.48P + 0.1492V * P + 39.49Av * P + 5.60P * P \quad (8)$$

Donde:

Ra_{4140} = Rugosidad media

V = Velocidad del husillo

Av = Avance de torneado

P = Profundidad de corte

Regression Equation

R = 14.57 - 0.1643 Velocidad Usillo - 15.66 Velocidad Avance - 20.48 Profundidad de Corte
+ 0.1492 Velocidad Usillo*Profundidad de Corte
+ 39.49 Velocidad Avance*Profundidad de Corte
+ 5.60 Profundidad de Corte*Profundidad de Corte

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Velocidad Usillo	Velocidad Avance	Profundidad de Corte	R			
6	36.7566	0.2	1.0	3.800			
7	52.6845	0.1	0.3	2.116			
8	52.6845	0.1	0.6	1.259			
9	52.6845	0.1	1.0	1.214			
10	52.6845	0.2	0.3	2.010			
11	52.6845	0.2	0.6	1.862			
12	52.6845	0.2	1.0	3.730			
13							
14							

Figura 51. Ecuación Ra para acero AISI4140

Se realizó el mismo proceso para el acero AISI4340, y se obtuvo la siguiente ecuación matemática (figura 52) de Ra para este material.

$$Ra_{4340} = 12.171 - 0.1253V - 12.15Av - 16.86P + 0.1168V * P + 35.16Av * P + 4.30P * P \quad (9)$$

Donde:

Ra4140 = Rugosidad media

V = Velocidad del husillo

Av = Avance de torneado

P = Profundidad de corte

Regression Equation

R = 12.171 - 0.1253 Velocidad Usillo - 12.15 Velocidad Avance - 16.86 Profundidad de Corte
+ 0.1168 Velocidad Usillo*Profundidad de Corte
+ 35.16 Velocidad Avance*Profundidad de Corte
+ 4.30 Profundidad de Corte*Profundidad de Corte

Worksheet 1 ***

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Velocidad Usillo	Velocidad Avance	Profundidad de Corte	R				
2	36.7566	0.1	0.6	2.236				
3	36.7566	0.1	1.0	1.759				
4	36.7566	0.2	0.3	3.736				
5	36.7566	0.2	0.6	3.487				
6	36.7566	0.2	1.0	3.791				
7	52.6845	0.1	0.3	2.469				
8	52.6845	0.1	0.6	1.697				
9	52.6845	0.1	1.0	1.363				
10	52.6845	0.2	0.3	2.481				

Figura 52. Ecuación Ra para acero AISI4340

Éste trabajo tiene como objetivo evaluar la rugosidad superficial en el proceso de torneado en seco con una cuchilla de carburo para corte, de la marca Mitsubishi (Tabla 13) para los aceros bonificados AISI 4140 y AISI4340 respecto a tres profundidades de corte variando dos velocidades de husillo y dos velocidades de avance (Tablas 18-19).

La rugosidad media (Ra) para estos dos aceros varía desde valores tan altos alrededor de 4.33µm hasta mínimos ligeramente sobre el 1.2µm (Tabla 25-26) para todas las combinaciones realizadas.

Los resultados obtenidos se muestran por separado a 450 y 645 rpm de velocidad de husillo respectivamente.

Tabla 25

Valores de la Rugosidad Media del Acero AISI 4140

No.Probeta	Velocidad de husillo rpm	Velocidad de avance mm/rev	Profundidad de corte mm	Ra
1	450	0,1	0,3	4.336
2	450	0,1	0,6	2.179
3	450	0,1	1	1.618
4	450	0,1	0,3	3.590
5	450	0,1	0,6	3.339
6	450	0,1	1	3.800
7	645	0,2	0,3	2.116
8	645	0,2	0.6	1.259
9	645	0,2	1	1.214
10	645	0,2	0,3	2.010
11	645	0,2	0,6	1.862
12	645	0,2	1	3.730

Tabla 26

Valores de rugosidad Media del acero AISI 4340

No. Probeta	Velocidad de husillo rpm	Velocidad de avance mm/rev	Profundidad de corte mm	Ra
13	450	0,1	0,3	4.215
14	450	0.1	0.6	2.236
15	450	0.1	1	1.759
16	450	0.2	0.3	3.736
17	450	0.2	0.6	3.487
18	450	0.2	1	3.791
19	645	0.1	0.3	2.469
20	645	0.1	0.6	1.697
21	645	0.1	1	1.363
22	645	0.2	0.3	2.481
23	645	0.2	0.6	2.491
24	645	0.2	1	3.823

En primer lugar, la rugosidad del material AISI 4340 es mayor a la del AISI 4140 en términos generales, con excepción de un punto en condiciones extremas (menor velocidad de husillo, mínima velocidad de avance y mínima profundidad de corte) esto es en las probetas 1 del AISI4140 (4.336 µm) y probeta 13 del AISI 4340 (4.215µm), en el cual incluso existe una diferencia despreciable que puede ser atribuida al comportamiento estadístico y cuya rugosidad es en cualquier caso elevada (Tablas 25 y 26).

Esta rugosidad mayor del AISI 4340, era sin duda de esperarse ya sea de la experiencia como de la composición de estos aceros, el AISI 4340 es un acero bonificado más duro que el

acero AISI 4140, esto se aprecia mejor en las Tablas 25 y 26 donde se compara la rugosidad de los dos materiales.

Claramente, los valores de mayor rugosidad se obtuvieron en los puntos extremos del ejercicio, es decir a las mínimas o bien a las máximas condiciones de las variables usadas. Esto sugiere que dichas condiciones siempre deberán ser evitadas.

Curiosamente, como se aprecia en las figuras 53, 54 y 55, para cualquiera de los aceros AISI4140 y AISI 4340 y a cualquier velocidad de husillo, a velocidad de avance menor (0.1 mm/min) la rugosidad decrece (aunque no linealmente) a medida que la profundidad de corte se incremente

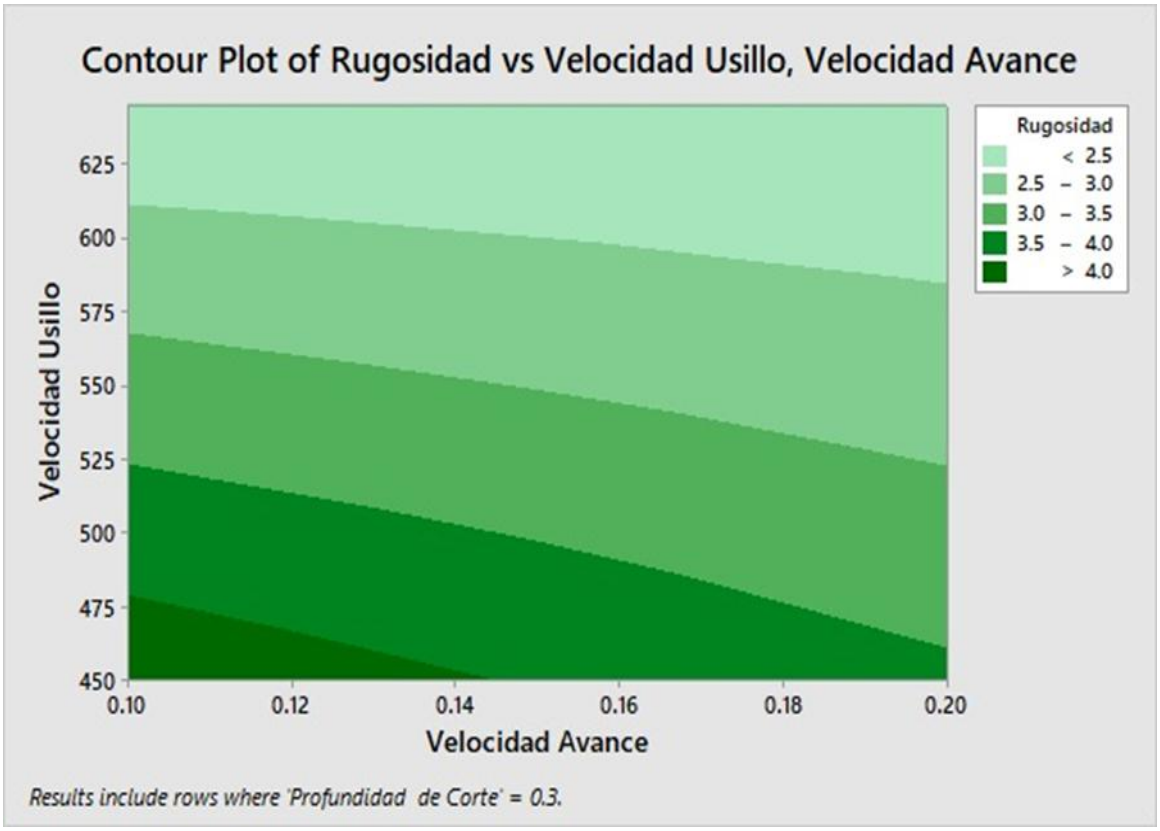


Figura 53. Rugosidad a Profundidad de corte de 0.3mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance

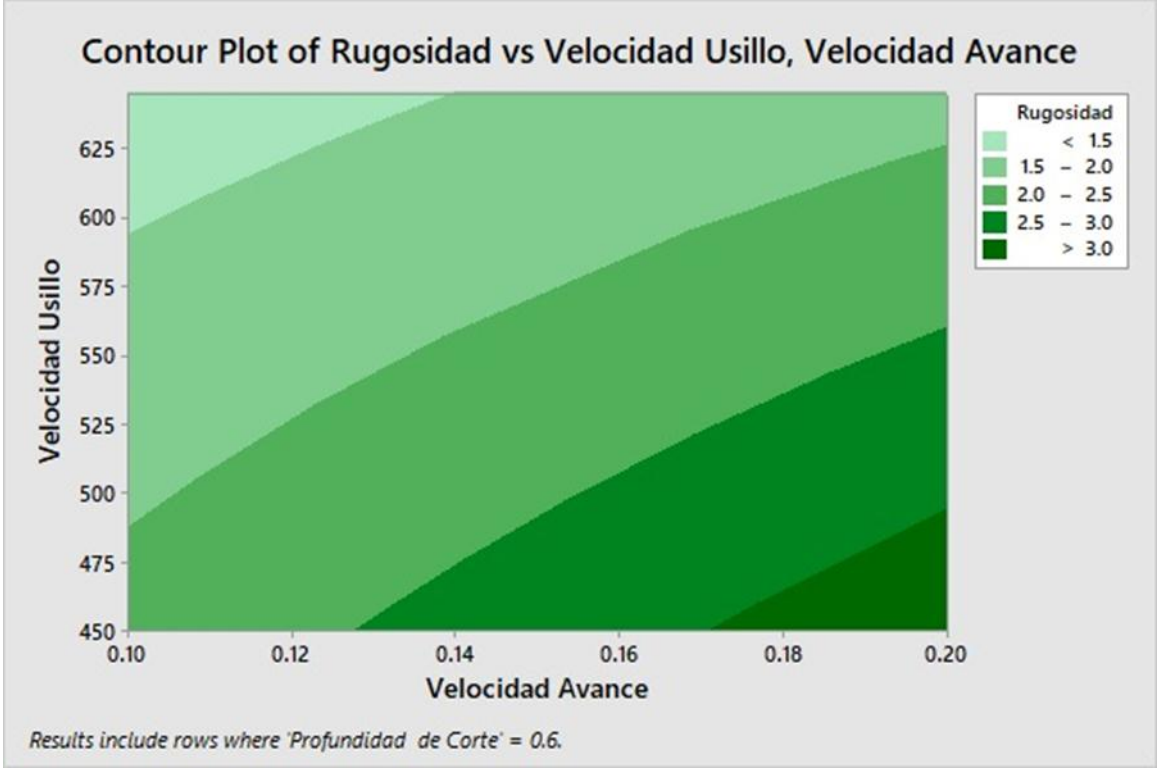


Figura 54. Rugosidad a Profundidad de corte de 0.6mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance

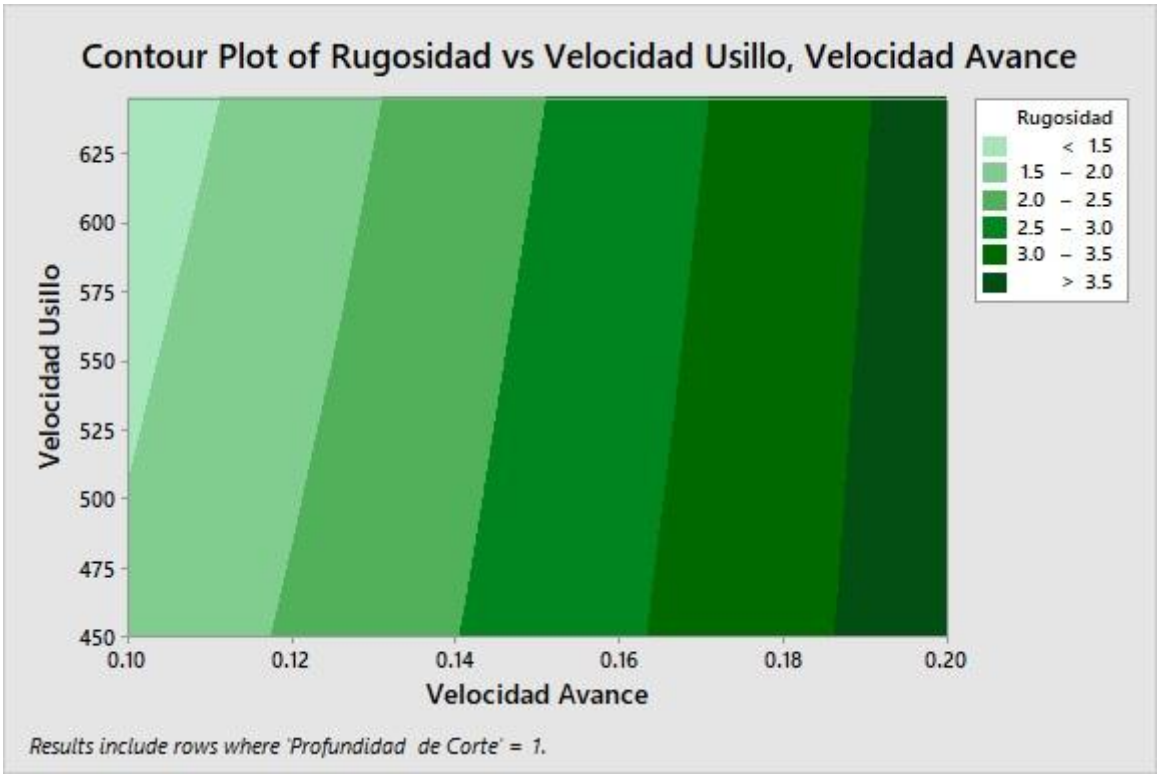


Figura 55. Rugosidad a Profundidad de corte de 1mm comparada entres Velocidad de Husillo y Velocidad de Avance

Mientras que a velocidad de avance mayor (0.2mm/min) figuras 56, 57 y 58, el comportamiento es “cóncavo”, es decir, la rugosidad comienza a decrecer con la velocidad de avance, pero a medida que ésta sigue incrementándose la rugosidad incrementa nuevamente. Lógicamente, en el caso de velocidad de avance alta (0.2mm/min), esto sugiere dos cosas:

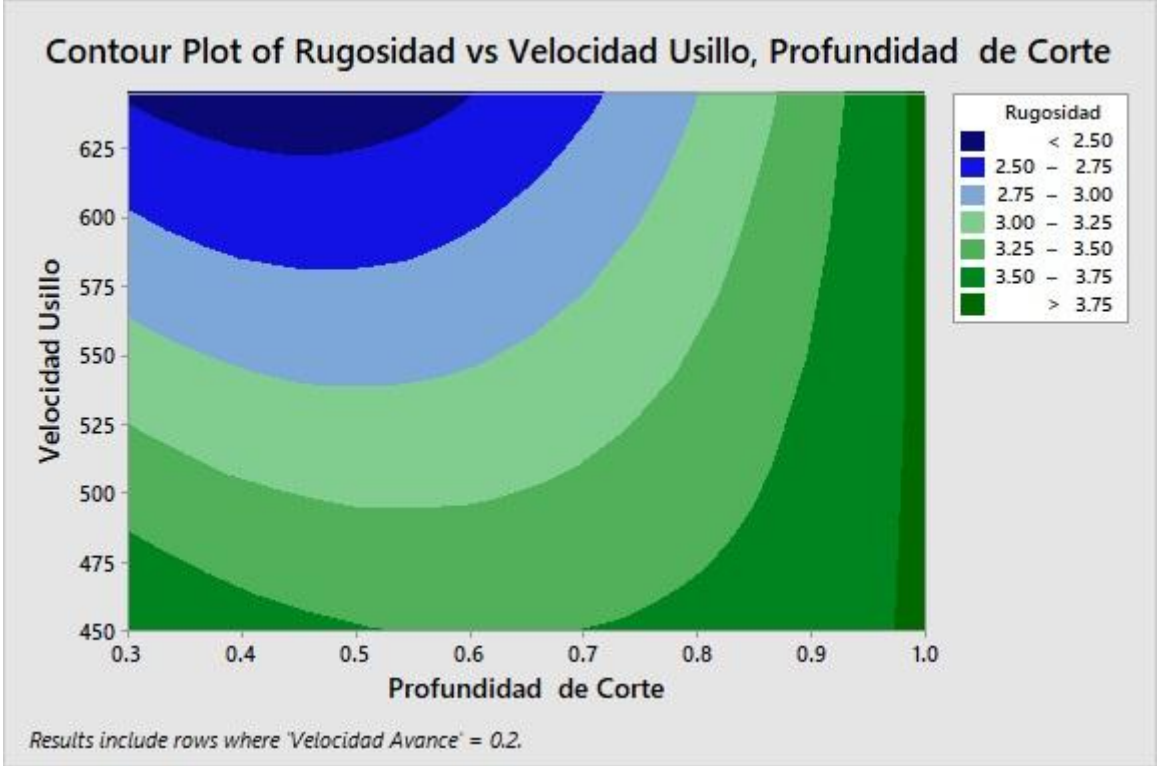


Figura 56. Rugosidad a mayor Velocidad de Avance.

- Existe un valor de profundidad de corte que provee un mínimo valor de rugosidad, lo cual es precisamente un objetivo de esta investigación, aunque no es el mínimo absoluto obtenido.
- Se debe evitar profundidades de corte elevadas a velocidades de corte también elevadas, como lo sugiere también el sentido común y ya se ha mencionado anteriormente (ver Anexo 8).

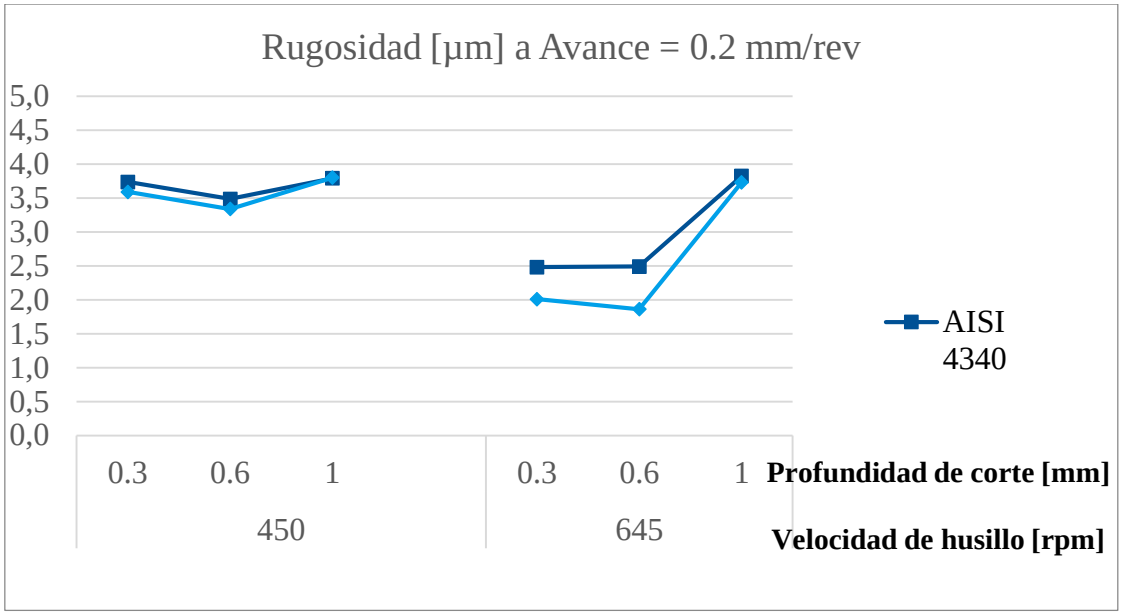


Figura 57. Rugosidad comparada entre los aceros AISI 4140 y AISI 4340 con avance de 0.2mm/rev

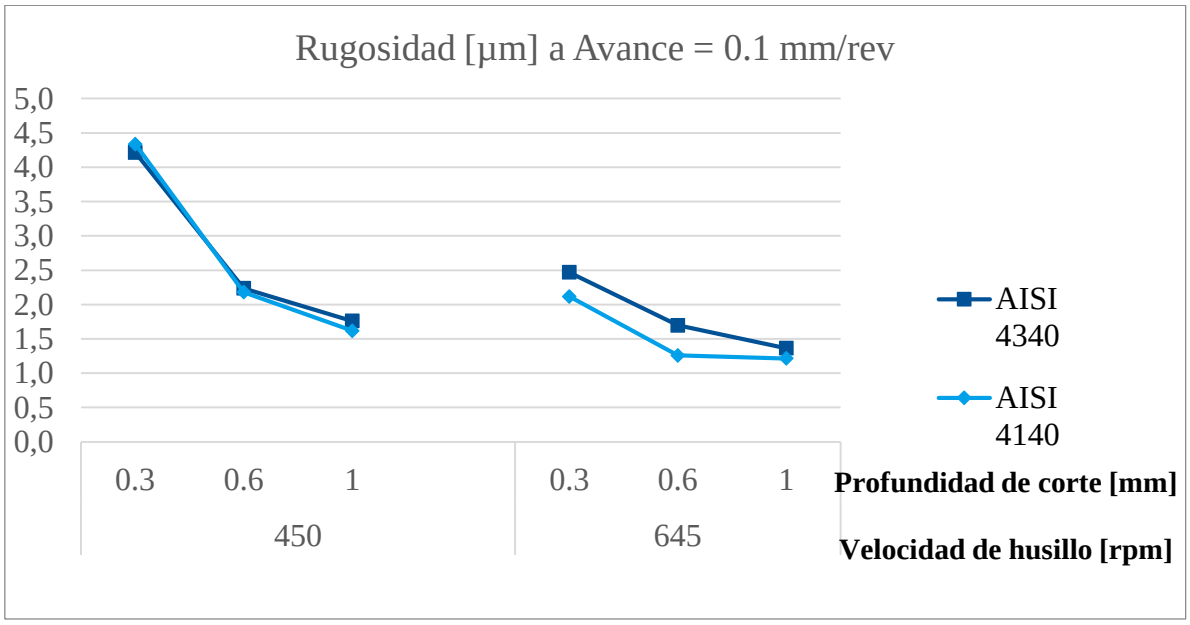


Figura 58. Rugosidad comparada entre los aceros AISI 4140 y AISI 4340 con avance de 0.1mm/rev

Los resultados indican también que, a menor velocidad de husillo empleada en este proyecto, figuras 59 y 60, la rugosidad es siempre mayor, independientemente de las otras condiciones.

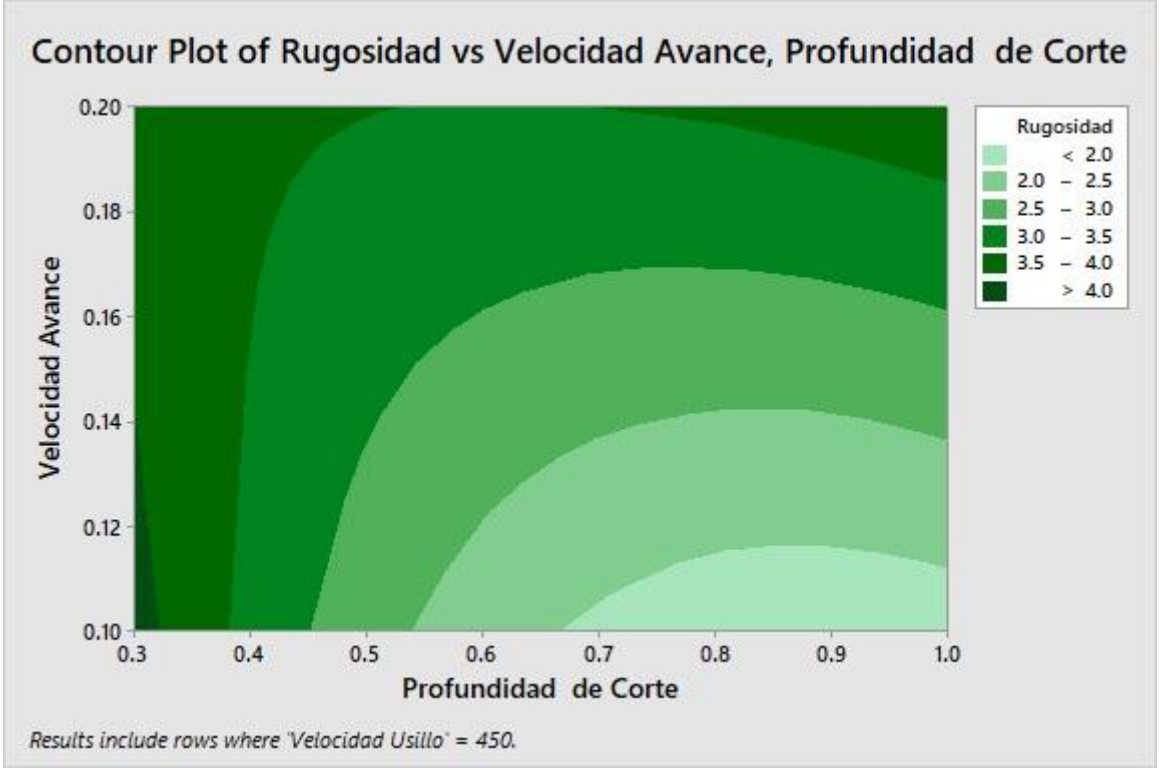


Figura 59. Rugosidad Superficial a 450 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance

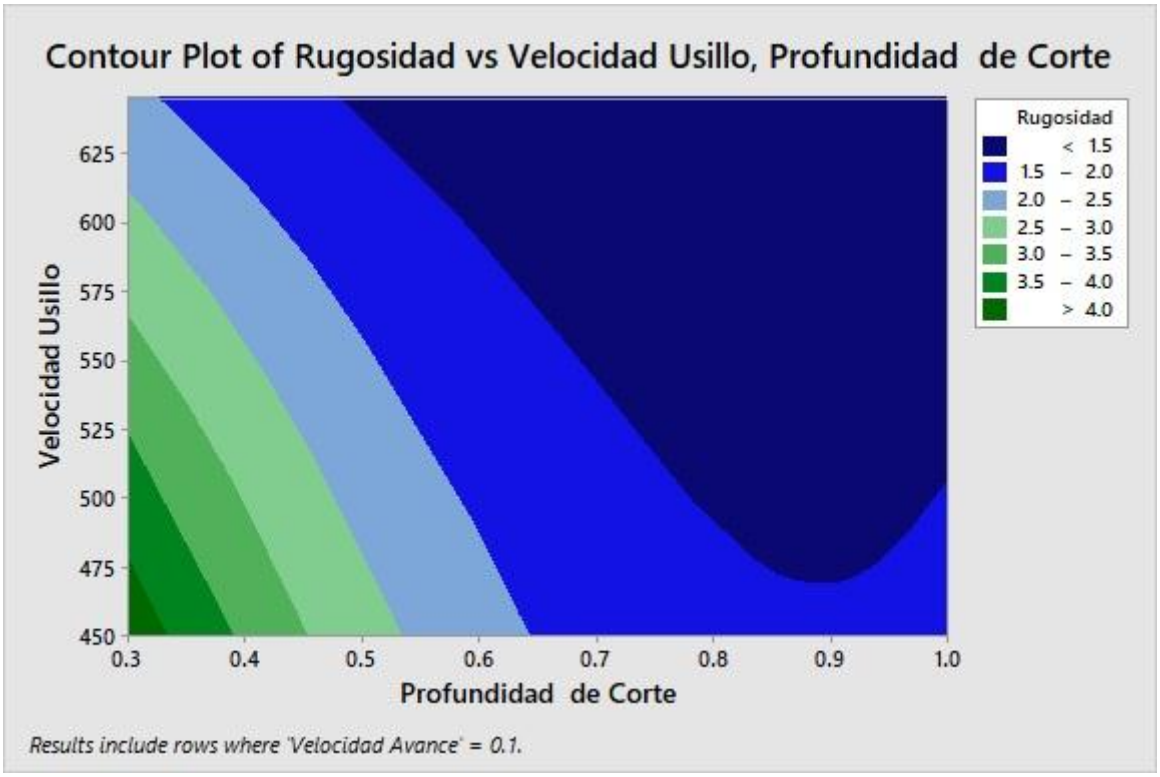


Figura 60. Rugosidad Superficial a 0.1mm/rev de avance entre Velocidad de Corte con Velocidad de Husillo

Es decir, las mejores (más bajas) rugosidades fueron obtenidas con la velocidad de 645 rpm de husillo figura 61.

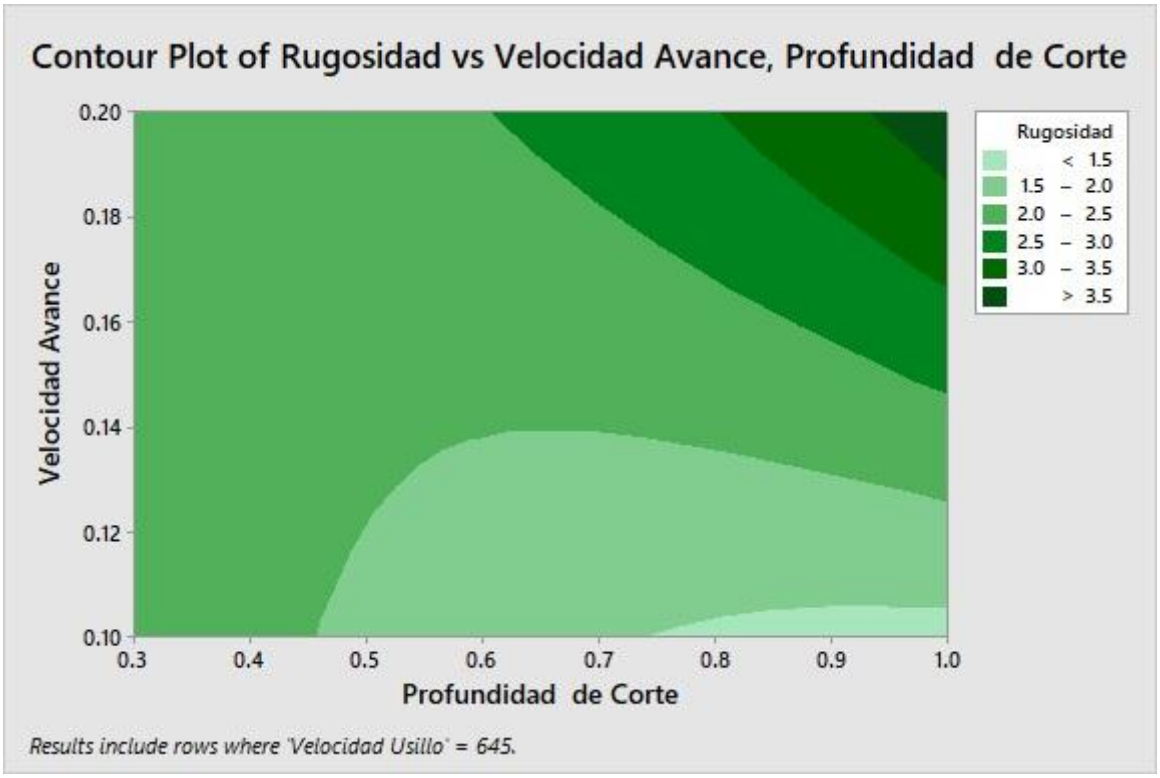


Figura 61. Rugosidad Superficial a 645 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance.

Se observa, sin embargo, rugosidades aceptables aún pueden ser obtenidas a velocidades de husillo menor. De modo que, evitando puntos extremos como se ha dicho, la dependencia de la rugosidad con la velocidad de husillo no será tan primordial para obtener una buena rugosidad, y esto es coherente con las ecuaciones (8 y 9) de predicción de rugosidad encontradas.

Por el contrario, la rugosidad se ve mayormente afectada con las otras dos variables, velocidad de avance y profundidad de corte, como lo muestran en especial las figuras 62 y 63.

.

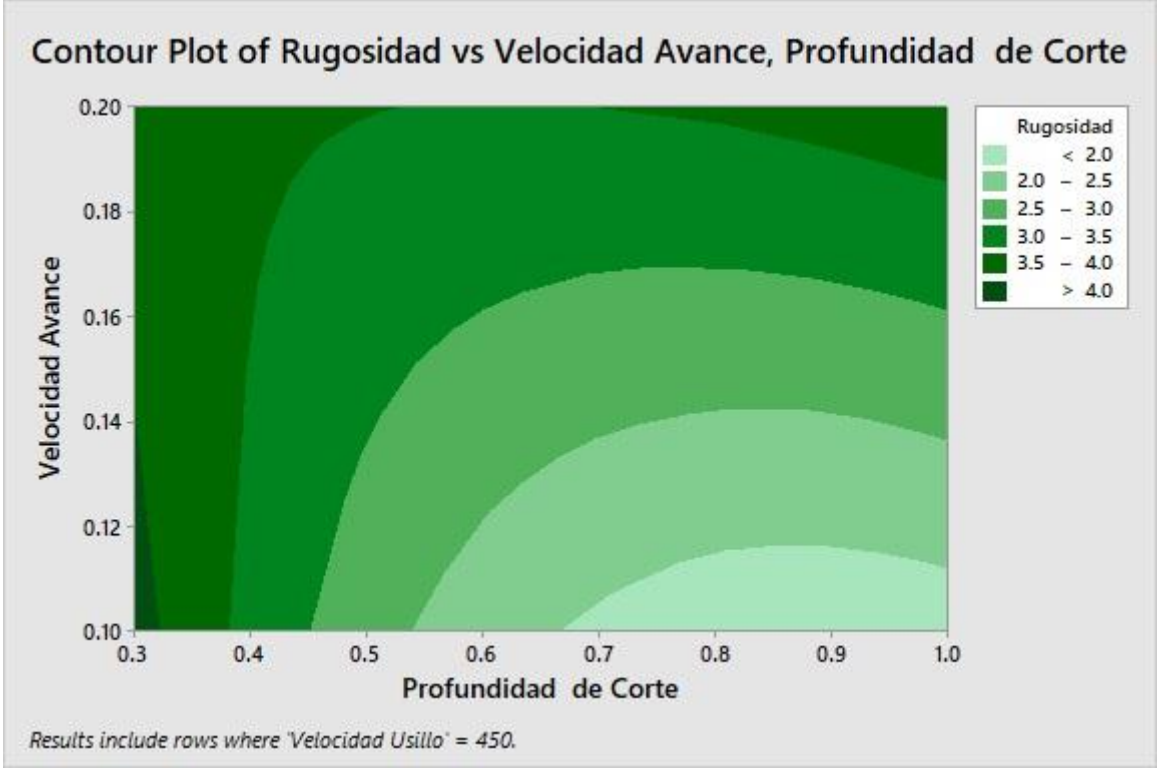


Figura 62. Rugosidad Superficial a 450 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance

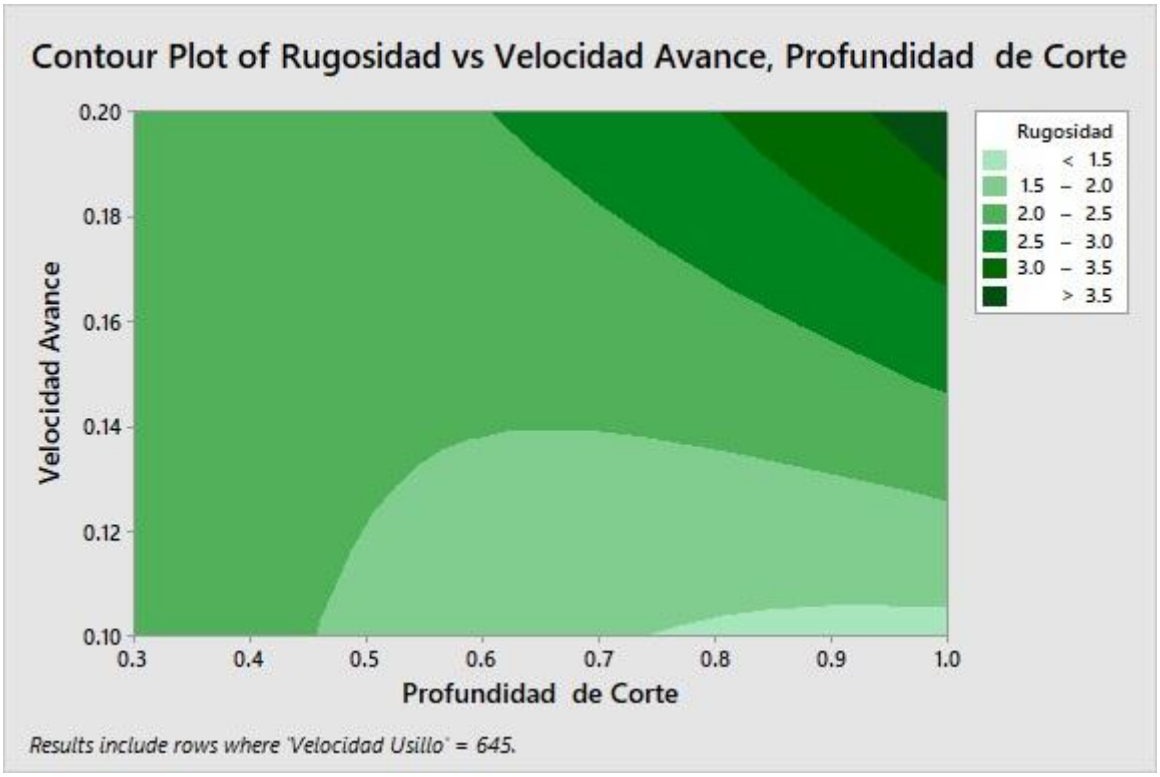


Figura 63. Rugosidad Superficial a 645 rpm entre Velocidad de Corte con Velocidad de Avance

Claramente, la velocidad de avance define la rugosidad en dos mayores regiones como se aprecia en las figuras 64 y 65; para un avance de 0.2mm/rev se tienen rugosidades mayores a

2.5 µm para el acero AISI4340 o mayores a 2µm para el acero AISI 4140, mientras que para un avance menor (0.1mm/rev), se tienen rugosidades inferiores a estos valores (en conjunto con la profundidad de corte y en especial a 645 rpm).

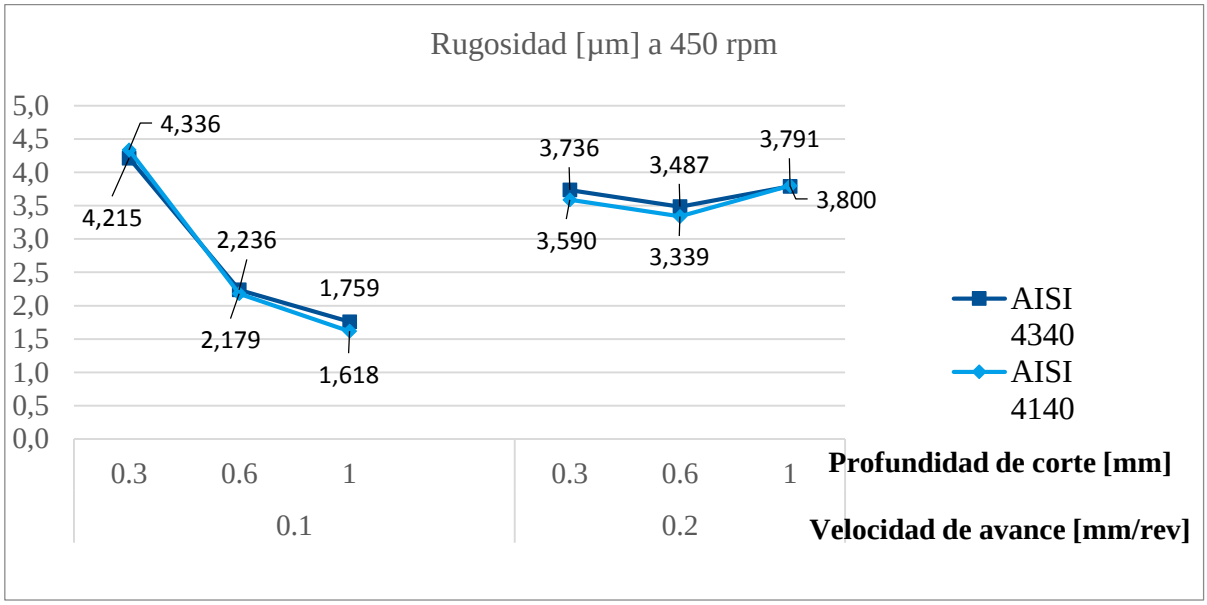


Figura 64. Rugosidad comparada entre AISI4140 y AISI4340 a 450 rpm de velocidad de husillo

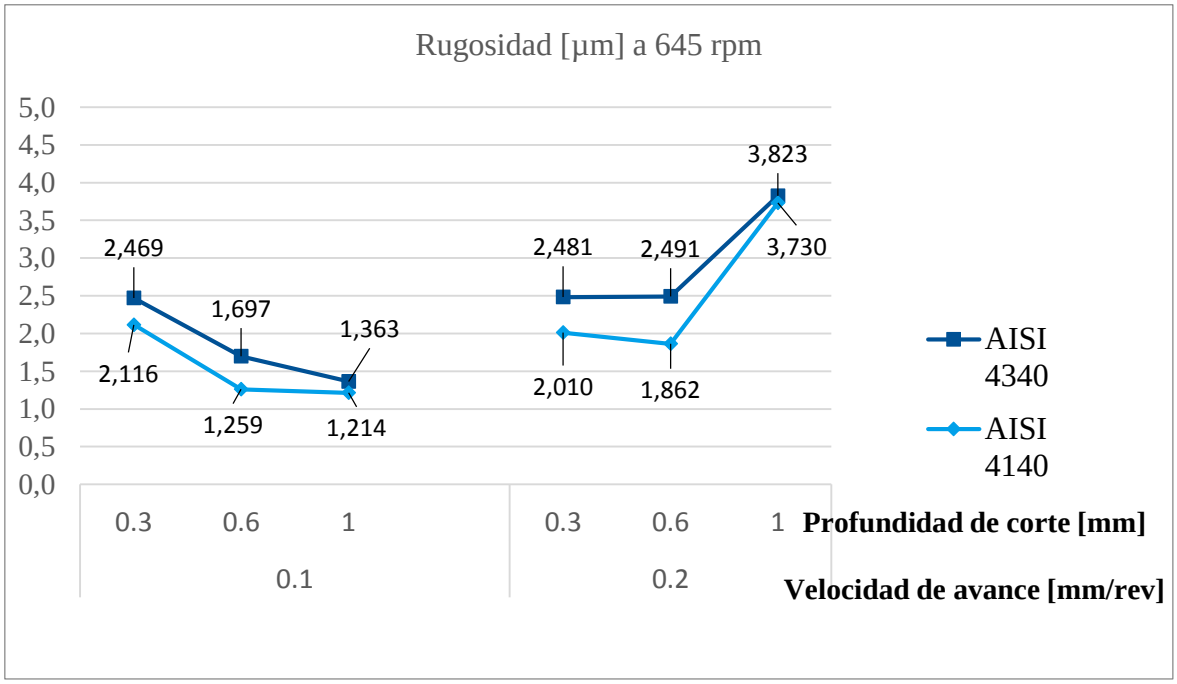


Figura 65. Rugosidad comparada entres Aceros AISI4140 y AISI 4340 a 650rpm.

Cabe señalar que con un avance de 0.1mm/rev, la rugosidad decrece no linealmente con la profundidad de corte, de hecho, la mínima rugosidad ha sido obtenida con este avance incrementando la profundidad de corte. Por otro lado, para un avance de 0.2mm/rev se presenta un comportamiento “cóncavo” como se describió anteriormente pero no muy pronunciado; en este caso, la rugosidad es más o menos estable independientemente de la profundidad de corte para cualquier caso de la velocidad de husillo.

Adicionalmente, las figuras 64 y 65 muestran más claramente cómo la velocidad de husillo afecta también la rugosidad para cada caso de la velocidad de avance. Rugosidades más bajas se obtienen a una velocidad de husillo superior como ya se ha mencionado.

Comparación de medidas con el modelo

Los modelos encontrados para cada uno de los aceros bajo prueba son semejantes. Los mismos involucran varios (no todos) de los términos de regresión lineal, es decir, se tiene en cuenta el efecto de cada una de las variables por separado y de las multiplicaciones entre dichas variables. Adicionalmente, el modelo depende también de un término de segundo orden sobre la variable profundidad de corte. Como se ha visto, el modelo fue obtenido luego de probar varias otras aproximaciones y da una mayor relevancia a la profundidad de corte y a la velocidad de avance, algo que fue evidente de las figuras anteriores de los resultados experimentales.

Las medidas de rugosidad varían en un rango de un -20% a 30% [referencia Mitutoyo página 6], (ver Anexo 6) no es de extrañarse que un modelo basado en un promedio de éstas pueda diferir de futuras medidas en un porcentaje similar. De todas formas, a continuación, se compara el modelo obtenido con el promedio de las medidas tomadas y se observa que en el peor de los casos se tiene una diferencia de un 10%.

En las tablas 27 y 28 y en las figuras 66 y 67 se recogen y están graficados los valores medidos de la rugosidad media (Ra) obtenida experimentalmente, así como resultados esperados por el modelo matemático encontrado y la diferencia del modelo con respecto a cada muestra (en porcentaje) para los dos materiales considerados, el acero AISI 4340 y el AISI 4140, respectivamente.

Tabla 27
Acero AISI 4340

Velocidad husillo [rpm]	**Velocidad de Avance [mm/rev]**	**Profundidad de Corte [mm]**	**AISI 4340**		
			Experimental	Modelo	Diferencia [%]
450	0.1	0.3	4.215	4.022	4.6
		0.6	2.236	2.468	-10.4
		1	1.759	1.600	9.1
	0.2	0.3	3.736	3.862	-3.4
		0.6	3.487	3.362	3.6
		1	3.791	3.901	-2.9
645	0.1	0.3	2.469	2.584	-4.7
		0.6	1.697	1.588	6.4
		1	1.363	1.464	-7.4
	0.2	0.3	2.481	2.424	2.3
		0.6	2.491	2.483	0.3
		1	3.823	3.765	1.5

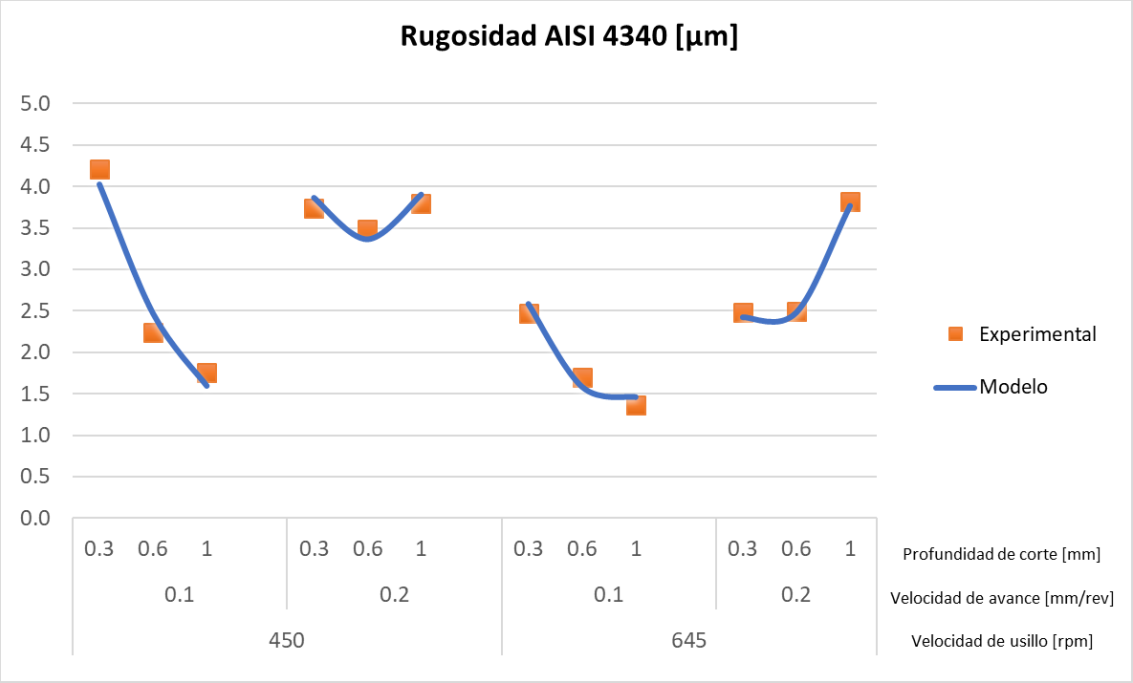


Figura 66. Diferencia de Ra. Del AISI 4340 entre profundidad de corte velocidad de avance y velocidad de husillo.

Tabla 28

Comparación de Ra. Experimental con Ra. De ecuación matemática.

Velocidad husillo [rpm]	**Velocidad de Avance [mm/rev]**	**Profundidad de Corte [mm]**	**AISI 4140**		
			Experimental	Modelo	Diferencia [%]
450	0.1	0.3	4.336	4.155	4.2
		0.6	2.179	2.353	-8.0
		1	1.618	1.518	6.2
	0.2	0.3	3.590	3.774	-5.1
		0.6	3.339	3.156	5.5
		1	3.800	3.901	-2.7
645	0.1	0.3	2.116	2.251	-6.4
		0.6	1.259	1.162	7.7
		1	1.214	1.277	-5.2
	0.2	0.3	2.010	1.869	7.0
		0.6	1.862	1.965	-5.5
		1	3.730	3.660	1.9

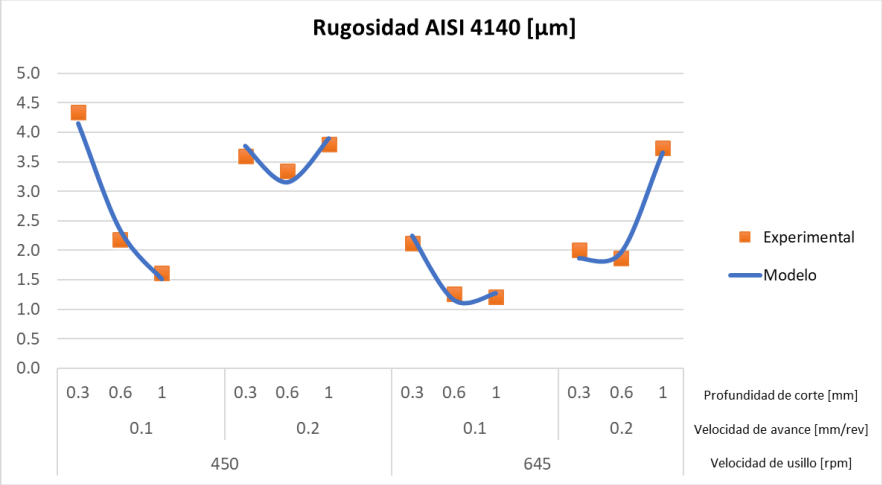


Figura 67. Rugosidad AISI 4140

El trabajo de Kumart, Singh, & Kalsi (2016) si bien encuentra también una fórmula experimental de la rugosidad, analiza principalmente los beneficios de incluir lubricación cuando se realiza el torneado mientras que en la presente investigación no se utiliza ningún tipo de lubricación. Dichos beneficios no se limitan solamente al mejoramiento de la rugosidad sino también a una vida útil más larga de las herramientas usadas, pero en nuestro caso no se analiza el desgaste de la herramienta.

Sin embargo, el principal problema de la lubricación consiste en el manejo de los desechos, los lubricantes para corte deben obedecer legislaciones ambientales sea locales o internacionales. En el caso del Ecuador, se conoce hasta el momento, que la legislación es bastante escueta en este sentido; de todas formas, en un mundo cada vez más globalizado y cambiante, la tendencia de abrazar métodos cada vez más amigables con el ambiente siempre se abre paso.

Adicionalmente, la adquisición, manejo, transporte y desecho de estos fluidos involucra obviamente mayores costos, aun cuando se utiliza la técnica de lubricación de mínima cantidad (MQL por sus siglas en inglés, minimum quantity lubrication) que Kumart, Singh, & Kalsi (2016) consideraron.

En cuanto a los ejercicios experimentales, la tendencia de las curvas de rugosidad (bajo las mismas condiciones), coinciden con la del presente trabajo. Se observa que la rugosidad decrece con la velocidad de husillo; o bien, la rugosidad presenta una curva cóncava con mayor velocidad de avance, es decir, a medida que la velocidad de avance aumenta, la rugosidad inicialmente disminuye ligeramente, pero luego vuelve a incrementarse. (Ver Anexo 9)

Cabe resaltar que Kumart, Singh, & Kalsi (2016) mantienen constante la profundidad de corte mientras que en el presente trabajo es variable, por tanto, no se puede comparar el impacto de esta variable. Además, como se mencionó antes, Kumart, Singh, & Kalsi (2016) concentraron sus esfuerzos en lograr una menor rugosidad cuando se utiliza lubricación, mientras que en el presente trabajo no se la utilizó, Kumart, Singh, & Kalsi (2016) realizaron los ensayos utilizando materiales de diferente dureza, antes que cambiar todas las variables del torneado en el mismo material como se realizó en el presente trabajo. La fórmula obtenida contiene obviamente otras variables (además de ser del segundo orden) y lógicamente una comparación directa no es posible.

El modelo de regresión para el acero 4140 (y también del 4340) obtenido de datos experimentales muestra similitud con el modelo presentado por Pedraza Yepes, Gonzales Corneo, Vargas, Reyes Carreño, & López Alzate (2011), realizado para el 4140.

Regression Equation Acero AISI 4140

R = 14.57 - 0.1643 Velocidad Usillo - 15.66 Velocidad Avance - 20.48 Profundidad de Corte
+ 0.1492 Velocidad Usillo*Profundidad de Corte
+ 39.49 Velocidad Avance*Profundidad de Corte
+ 5.60 Profundidad de Corte*Profundidad de Corte

C1	C2	C3	C4	C5	C6
Velocidad Usillo	Velocidad Avance	Profundidad de Corte	R		
36.7566	0.2	1.0	3.800		
52.6845	0.1	0.3	2.116		
52.6845	0.1	0.6	1.259		
52.6845	0.1	1.0	1.214		
52.6845	0.2	0.3	2.010		
52.6845	0.2	0.6	1.862		
52.6845	0.2	1.0	3.730		

Regression Equation Acero AISI 4340

R = 12.171 - 0.1253 Velocidad Usillo - 12.15 Velocidad Avance - 16.86 Profundidad de Corte
+ 0.1168 Velocidad Usillo*Profundidad de Corte
+ 35.16 Velocidad Avance*Profundidad de Corte
+ 4.30 Profundidad de Corte*Profundidad de Corte

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C
Velocidad Usillo	Velocidad Avance	Profundidad de Corte	R			
36.7566	0.1	0.6	2.236			
36.7566	0.1	1.0	1.759			
36.7566	0.2	0.3	3.736			
36.7566	0.2	0.6	3.487			
36.7566	0.2	1.0	3.791			
52.6845	0.1	0.3	2.469			
52.6845	0.1	0.6	1.697			
52.6845	0.1	1.0	1.363			
52.6845	0.2	0.3	2.481			

Figura 68. Modelos de regresión para aceros AISI4140 y Acero AISI4340

Los signos de los coeficientes coinciden y se tiene el “peso” (o coeficiente) más significativo para la variable “Velocidad de avance x Profundidad de corte” y luego también para cada una de ellas por sí solas.

Sin embargo, cabe notar que en el presente trabajo se nota una mayor dependencia de la variable “Profundidad de Corte”, de hecho, se tiene una corrección proporcional al cuadrado de ésta, mientras que en el trabajo de Pedraza Yepes, Gonzales Corneo, Vargas, Reyes Carreño, & López Alzate (2011) se tiene una pequeña corrección proporcional a la multiplicación de las tres variables en juego en este trabajo (modelo puramente lineal).

Adicionalmente, Pedraza Yepes, Gonzales Corneo, Vargas, Reyes Carreño, & López Alzate (2011) consideran lubricación, y por ende dicha variable es incluida en la fórmula. El presente trabajo no considera lubricación por las razones ya expuestas.

Un ulterior trabajo de Vargas Enriquez, Pedraza Yapez, Devia Acosta, & Martínez Marrugo (2014), y Pedraza Yepes, Gonzales Corneo, Vargas, Reyes Carreño, & López Alzate (2011) para el mismo acero AISI 4140 permite establecer las similares conclusiones a las ya mencionadas, es decir, bajo parámetros similares, generalmente la rugosidad decrece con la velocidad de husillo, y presenta una curva cóncava con la velocidad de avance, coincidiendo con el presente trabajo.

Lamentablemente no existe una comparación directa, pero el análisis cualitativo permite las observaciones ya señaladas.

Las condiciones de trabajo de Vargas, Pedraza, Devia, & Martínez (2014) y Pedraza Yepes, Gonzales Corneo, Vargas, Reyes Carreño, & López Alzate (2011), determinaron un factor correspondiente al cuadrado de la velocidad de husillo mientras que los datos experimentales en este trabajo sugieren un término cuadrático de la profundidad de corte. Esto puede ser explicado debido a que las profundidades de corte consideradas en aquel

trabajo (2, 3, 4 mm) son mucho mayores que las consideradas en el presente trabajo (< 1mm), y las velocidades de corte de aquel trabajo (400 rpm) son menores a las consideradas aquí (>450 rpm).

Das, Kumar, Dhupal, & Mohapatra (2013), consideran las mismas variables (velocidad de husillo, profundidad de corte, avance de corte) que se usaron en este proyecto, pero en su trabajo, aunque se enfocan en insertar otro material para el torneado, mientras que en el presente trabajo se utiliza el mismo herramental para todas la pruebas. El modelo sugerido entonces es enteramente del segundo orden, es decir, contiene todas las variables y también el cuadrado de ellas, a diferencia del modelo aquí encontrado que sólo considera la profundidad de corte para el segundo orden. A pesar de estas diferencias, sobre todo en el material del torneado, el parámetro más significativo es también el avance como se ha demostrado experimentalmente en este proyecto.

Conclusiones.

Para encontrar la Ra se consideraron la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo; en el modelo matemático (9) se aprecia que las velocidades de avance y profundidades de corte de la herramienta respecto a la pieza, manifiestan claramente ser dos factores importantes en la calidad del acabado superficial.

La ecuación de regresión lineal (9) de predicción de rugosidad (Ra) encontrada utilizando el Software MINITAB 18, es una ecuación de segundo orden en la que, la profundidad de corte es la variable que influye cuadráticamente en la rugosidad superficial, siendo el término de ésta variable la que influye de manera significativa en la rugosidad superficial (Ra).

Se concluye que a menor velocidad de avance y a medida que se aumentó la profundidad del corte, disminuyó la rugosidad superficial, pero teniendo un comportamiento cóncavo, es decir, que la rugosidad empieza a aumentar nuevamente si la profundidad de corte aumenta demasiado.

Para los aceros AISI 4140 y AISI 4340, las rugosidades superficiales óptimas se dieron con velocidades de husillo de 640 rpm, con un avance de 0.1 mm/rev y profundidades de corte de 0.6 y 1 mm; determinando que éstas serían las ideales para la fabricación de las puntas de eje utilizando un torno convencional y torneado en seco.

El mejor acero para la fabricación de puntas de eje es el AISI 4340, ya que es un acero bonificado de mayor dureza que el acero AISI4140, y no necesita ningún tratamiento térmico por sus características y recomendaciones de los fabricantes de aceros. Ver Anexo 21.

Recomendaciones.

Queda abierta una investigación futura para encontrar una ecuación de predicción de rugosidad (Ra) utilizando algún tipo de lubricante en el momento de torneado del acero.

Sería de mucho interés trabajar con distintos tipos de herramentales para ver cómo inciden en la rugosidad (Ra).

Al realizar otro trabajo de investigación con un torno de control numérico CNC, se podría ver de qué manera incidirían las variables de velocidad de husillo, profundidad de corte y velocidad de avance en la rugosidad superficial (Ra).

Referencias Bibliográficas

Aceros Bravo. (2018). *Catálogo de Productos*. Obtenido de http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/116.pdf

Argumedo, P. (2008). *Programación del torno didáctico con control numérico computacional BOXFORD 250.* México D.F.: Autor - Editor.

Chávez, R., & Rojas, M. (2015). *Caracterización del acabado superficial utilizando el VMC del ICN de la UNAM.* México D.F.: Autor - Editor.

Correa, Ramírez, Alique, & Rodríguez. (2013). *Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: técnicas de análisis y modelos.* Nuevo León: Autor - Editor.

Cortés, J. (08 de Noviembre de 2012). *Chevrolet Corsa 1.4 - Especificaciones para los modelos colombianos desde 1998 hasta 2007*. Obtenido de es.scribd.com: https://es.scribd.com/doc/112540164/Chevrolet-Corsa-1-4-Especificaciones-para-los-modelos-colombianos-desde-1998-hasta-2007

Das, S., Kumar, A., Dhupal, D., & Mohapatra, S. (2013). Optimization of Surface Roughness in Hard Turning of AISI 4340 Steel using Coated Carbide Inserts. *International Journal of Information and Computation Techonology*, 871-880.

Díaz, J. (2013). *Análisis Numérico Experimental del Desgaste de Herramienta e Integridad Superficial en los procesos de Torneado de INCONEL 718.* Leganés: Autor - Editor.

García, E. (2016). *Estudio de técnicas predictivas aplicadas a la monitorización del acabado superficial en procesos de torneado automatizado.* Toledo: Autor - Editor.

Gutierrez, Y., & López, K. (2014). *Estudio de rugosidad en maquinado por el proceso de torneado en CLIMET ltda. Basado en las normas ISO de rugosidad.* Barranquilla: Autor - Editor.

Henández, L., Pérez, R., Zambrano, P., Guerrero, M., & Dumitrescu, L. (2012). Análisis experimental del torneado de alta velocidad del acero AISI 1045. *Ingeniería Mecánica*, 10-11.

Hernández, L., Pérez, R., Dumitrescu, L., & Montero, R. (2015). Estudio de la influencia de los parámetros de corte en la integridad superficial y las desviaciones durante el fresado del acero AISI 1010. *Tecnología en Marcha*, 38 - 40.

Hernández, Pérez, Zambrano, Siller, & Toscano. (2013). Estudio del rendimeinto del torneado de alta velocidad utilizando el coeficiente de dimensión volumétrica de la fuerza de corte resultante. *Revista de Metalurgia*, 245 - 247.

Ivan Bohman C.A. (2018). *Catálogo de productos III Edición*. Obtenido de http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2018/10/Catalogo-general-IBCA-2018-.pdf

Kumart, S., Singh, D., & Kalsi, N. (2016). Analysis of Surface Roughness during Machining of Hardened AISI 4340 Steel using Minimum Quantity lubrication. *Science Direct*, 9.

Lobos, N. (2017). *Ensayo de arranque de viruta para la obtención de parámetros de mecanizado del TECHNYL.* Viña del Mar: Autor - Editor.

Lozano, W. (2011). Determinación del número mínimo de observaciones en investigación, obviando las estimaciones de la varianza de datos. *Revista de Didáctica Ambiental*, 55-59.

Márquez, C. (2012). *Tratamiento Térmicos de Anillos de Acero AISI 4140.* San Nicolás de los Garza: Autor - Editor.

Minquiz, G. (2017). *Consumo de energía en el proceso de maquinado.* México.

MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION. (2017). *New insert grade provides outstanding durability*. Tokyo.

Montilla, & Ríos. (2006). Caracterización de regímenes de corte del torno Spectralight 0400 de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia Et Technica*, 210 - 213.

Morales, Y. (2014). *Estudio experimental del desgaste del flanco y de la rugosidad superficial en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Morales, Y., Zamora, Y., Zambrano, P., & Beltrán, R. (2017). Análisis del rendimiento del torneado utilizando coeficiente de vida útil en relación al volumen de metal cortado. *Ingeniare*, 501-503.

Mustapha, E. (2017). *Diseño y fabricación de una herramienta de torno asistida por vibración.* Barcelona: Autor - Editor.

Otero. (2017). *Catálogo 2017*. Obtenido de acerosotero: http://www.acerosotero.cl/pdf/catalogo_aceros_otero.pdf

Pacheco, J., & Espinosa, A. (2016). *Aplicación de la tecnología CNC en la modelación y fabricación de portaherramientas utilizados en los tornos convencionales del taller básico de la ESPOCH.* Riobamba: ESPOCH.

Pedraza Yepes, C., Gonzales Corneo, J., Vargas, L., Reyes Carreño, J., & López Alzate, J. (2011). Determinación de los factores que influyen en la rugosidad superficial en un proceso de mecanizado para el acero AISI 4140: cilindrado. *Scientia et Technica*, 37-44.

Pernía, A., Blanco, J., Sierra, J., Azofra, J., & Martínez, F. (2018). *Prácticas de mecanizado en torno y fresadora.* Universidad de la Rioja.

Pusey, L. (2013). *Guía teórica y práctica del curso de procesos de manufactura 1.* Guatemala: Autor - Editor.

Roldán, D. (2016). *Análisis experimental de las fuerzas de corte en operaciones de cilindrado.* México D.F.: Autor - Editor.

Saá, A. (2015). *Estudio Experimental Basado en la Rugosidad Superficial para la Selección de Herramientas y Condiciones de Corte en Operaciones de Refrentado en Seco a Baja Velocidad de Piezas de Magnesio.* Madrid: Autor - Editor.

Sánchez, D. (2015). *Estudio y formación de capas duras sobre un acero AISI 4140 utilizado en la manufactura.* Tultitlán: Autor - Editor.

SCYZORYK AUTOPARTES. (2018). *Punta eje trasera CORSA II MERIVA.* Obtenido de http://www.scyzoryk.com.ar: http://www.scyzoryk.com.ar/productos.php?producto=928585

Sullon, T., & Vásquez, J. (2017). *Efecto del fluido de corte y la velocidad deavance sobre la rugosidad, fuerza de corte y potencia específica decorte para el mecanizado del aluminio 6061-T6.* Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.

Vargas Enriquez, L., Pedraza Yapez, C., Devia Acosta, C., & Martínez Marrugo, C. (2014). Desarrollo de un Modelo Predictivo para la Calidad Superficial en un Proceso de Torneado sobre Aceros de Alta Resistencia. *Prospect Vol 12*, 55-63.

Vargas, L., Pedraza, C., Devia, C., & Martínez, C. (2014). *Desarrollo de un Modelo Predictivo para la Calidad Superficial en un Proceso de Torneado sobre Aceros de Alta Resistencia.* Barranquilla: Autor - Editor.

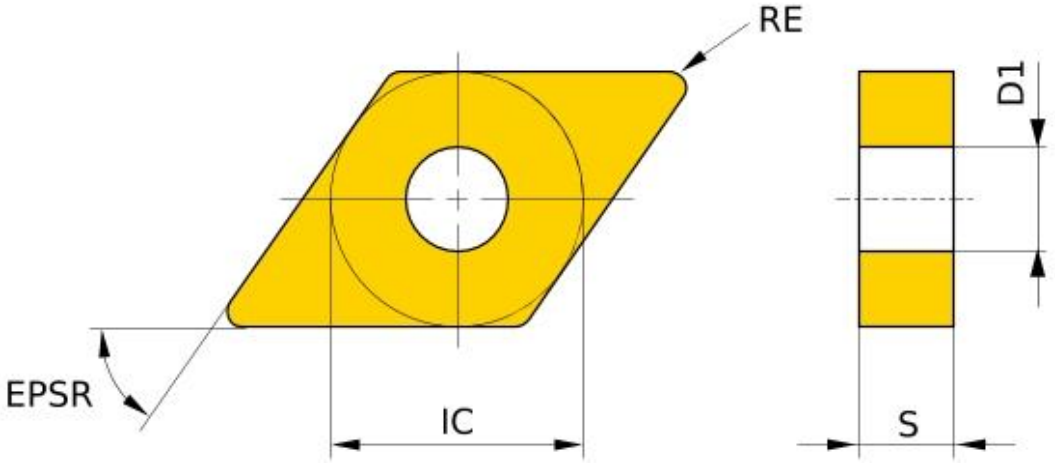
Viloria, L., & Bohórquez, L. (2016). *Efecto de la temperatura de revenido en la microestructura y en las propiedades del acero AISI 4140.* Córdoba: Universidad de Córdoba.

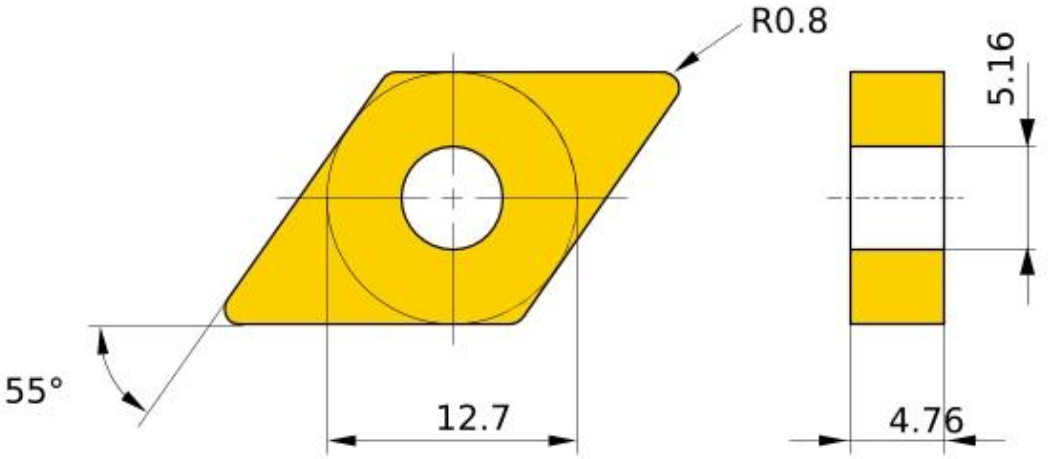
Vivarini, S. (2016). *Efecto de las variables del proceso de mecanizado en el acabado superficial de polímeros termoplásticos.* Sartenejas: Autor - Editor.

Anexos

Anexo 1.

Herramental de corte Mitsubishi UE6110





Anexo 2.

Características del grado del inserto Mitsubishi

Caracteristicas del Grado

Grado	Sustrato			Capa de Recubrimiento	
	Dureza (HRA)	T.R.S (GPa)	Superficial	Composicion	Espesor
UC5105	92.2	2.0	–	TiCN-Al_2O_3	Grueso
NEW MC5005	91.0	2.2	–	TiCN-Al_2O_3	Grueso
UC5115	91.0	2.2	–	TiCN-Al_2O_3	Grueso
NEW MC5015	91.0	2.2	–	TiCN-Al_2O_3	Grueso
UE6105	90.8	1.8	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
UE6110	90.3	2.0	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
UE6020	90.0	2.2	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
NEW MC6015	90.2	2.2	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
MC6025	90.2	2.2	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
UE6035	89.5	2.3	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-TiN	Grueso
UH6400	89.5	2.3	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-Ti Compuesto	Grueso
MC7015	90.7	2.0	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-TiN	Delgado
US7020	90.5	2.0	Tenaz	TiCN-Al_2O_3-TiN	Delgado
MC7025	89.4	2.4	–	TiCN-Al_2O_3-TiN	Delgado
US735	89.0	2.6	–	Ti Compuesto	Delgado
US905	92.2	2.0	–	TiCN-Al_2O_3	Delgado
MY5015	91.2	2.4	–	TiCN-Al_2O_3-TiN	Delgado

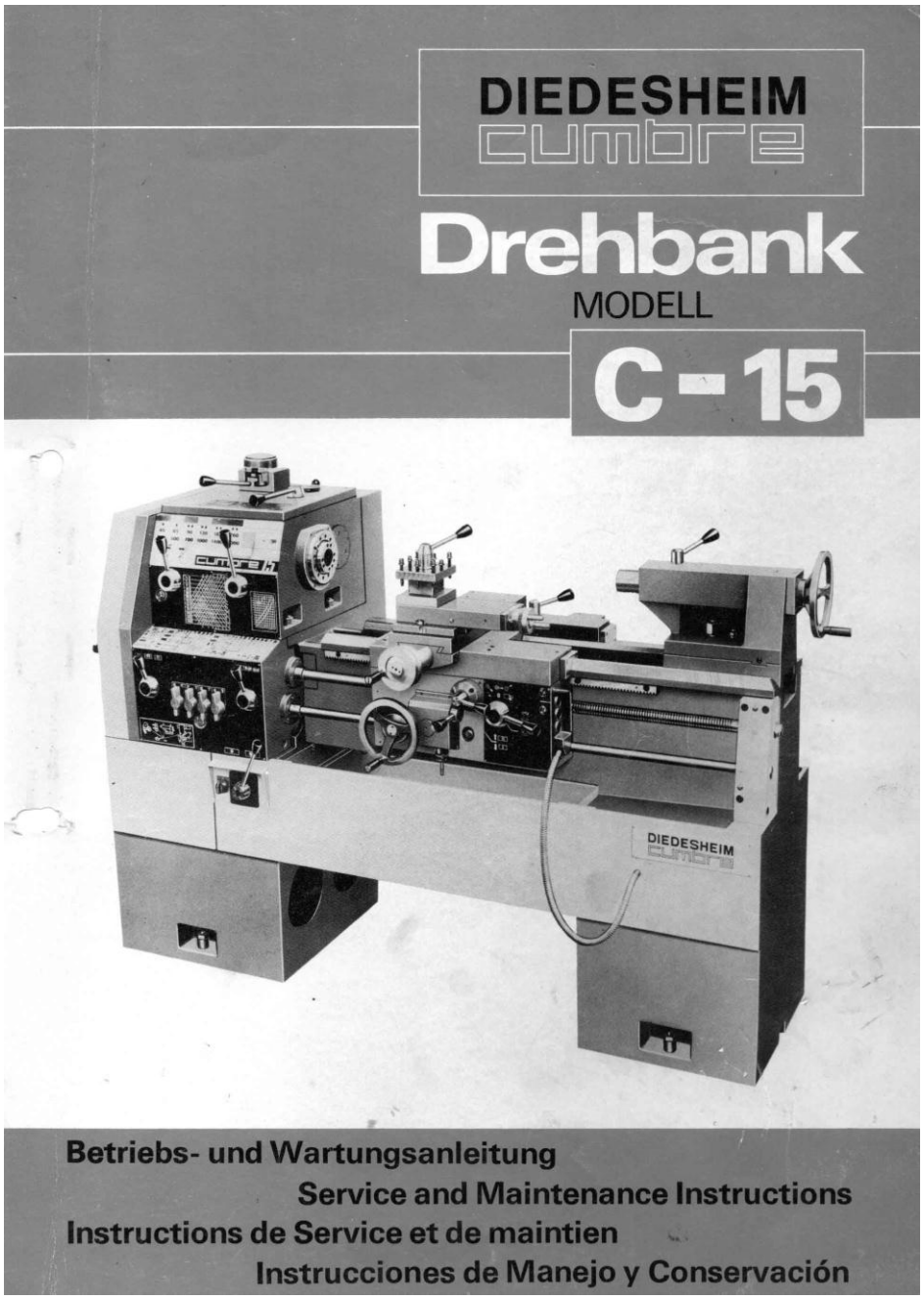
*1GPa=102kg/mm^2

Anexo 3.

Características del inserto Mitsubishi UE6110

Anexo 4.

Torno CUMBRE C15



Anexo 5.

Características del Torno CUMBRE C15

DIEDESHEIM
CUMBRE

CARACTERISTICAS

TORNO 15

PAG. 4

CAPACIDAD

Altura de puntos	180 mm.
Distancia entre puntos	750 y 1250 mm.
Diámetro maximo admisible sobre la bancada	365 mm.
Diámetro maximo admisible sobre el carro	195 mm.
Diámetro maximo adm. sobre la concha escote	395 mm.
Longitud de la concha escote delante del plato	190 mm.

MODELO PROVISTO DE PUENTE DESMONTABLE

Diámetro maximo adm. sobre el escote sin puente	555 mm.
Longitud del escote delante del plato fijaciones	190 mm.

BANCADA

Ancho de la bancada	280 mm.

CABEZAL

Diámetro del agujero del eje	46 mm.
Punto del eje	Tipo Morse Nº 4
Nariz del eje cabezal	DIN 55 022 tamaño 5
12 velocidades del eje	45-2000rpm

CONTRAPUNTO

Diámetro del vastago	55 mm.
Cono del contrapunto	Tipo Morse Nº 4
Maxima carrera del vastago	170 mm.

CAJA ROSCAS Y AVANCES

Se obtienen 35 pasos de roscas sin cambio de ruedas auxiliares.

Roscas Whitworth	de 2 a 60 h. pulgada
Roscas Metricas	de 0,5 a 15 mm.
Roscas Módulo	de 0,5 a 7,5 módulo
Avances de cilindrar	de 0,05 a 1,5 mm./rev.
Avances de refrentar	de 0,02 a 0,6 mm./rev.
Paso del husillo guiador	6,35 mm.= 4h. pulgada

C A R R O

Maxima carrera del carro transversal	235 mm.
Longitud total del carro	480 mm.
Torreta semi-revolver (cuadrada)	110 mm.
Tamaño de las herramientas	22 mm.

M O T O R

Potencia del motor principal	4,3/5,5 C.V.
Motobomba de refrigeración	0,12 C.V.

P E S O

Peso neto aproximado modelo de 750 mm. e.p.	1.250 Kg.
Peso neto aproximado modelo de 1.250 mm. e. p.	1.450 Kg.

Anexo 6.

Características medidor de rugosidad Mitutoyo SURFTEST SJ210

Mitutoyo

PORTABLE SURFACE ROUGHNESS TESTER
SURFTEST SJ-210 SERIES

This is it! A small, lightweight, and extremely easy to use surface roughness measurement instrument that lets you view surface roughness waveforms right on the color LCD screen.

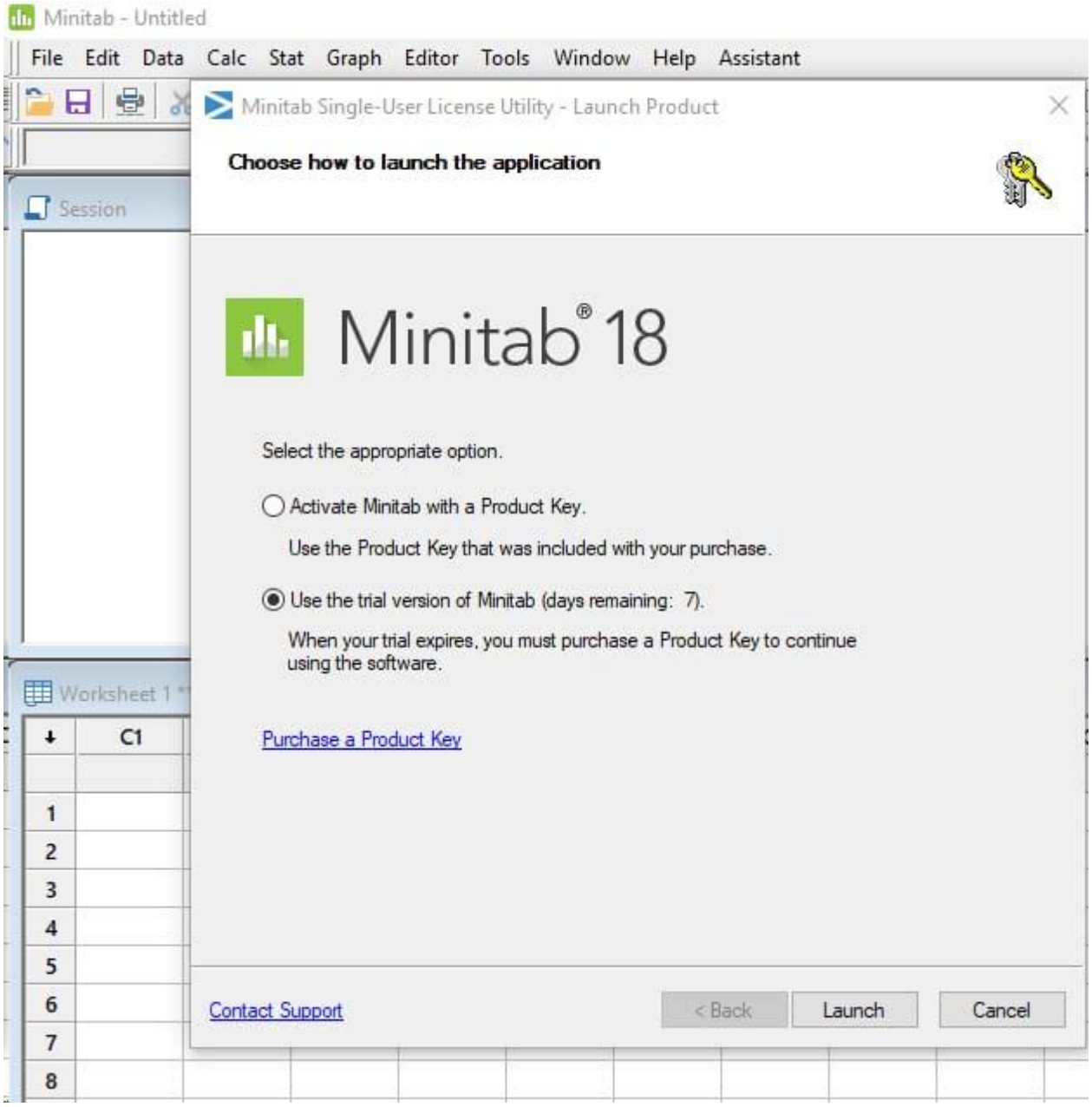
Mitutoyo Quality

- Registered design in Japan, China, and the European Union.
- Design registration pending in the United States of America.

Type of detector			Standard drive unit type		Retractable drive unit type	Transverse tracing drive unit type
Model No.			SJ-210 (0.75mN type)	SJ-210 (4mN type)	SJ-210 (4mN type)	SJ-210 (4mN type)
Order No.		inch/mm	178-561-01A	178-561-02A	178-563-02A	178-565-02A
Measuring range	X axis		.69" (17.5mm)			.22" (5.6mm)
	Z axis (Detector)	Range	14200 µin (-7900µin~+6300µin) / 360µm (-200µm ~ +160µm)			
		Range / Resolution	14170µin / .8µin (360µm / 0.02µm), 4000µin / .2µin (100µm / 0.006µm), 1000µin / .08µin (25µm / 0.002µm)			
Measuring speed			Measuring: 0.01, 0.02, 0.03 in/s (0.25mm/s, 0.5mm/s, 0.75mm/s) Returning: 1mm/s			
Measuring force / Stylus tip			0.75mN type: 0.75mN / 2µmR 60°, 4mN type: 4mN / 5µmR 90°			
Skid force			Less than 400mN			
Applicable standards			JIS '82 / JIS '94 / JIS '01 / ISO '97 / ANSI / VDA			
Assessed profiles			Primary profile / Roughness profile / DF profile / Roughness profile-Motif			
Evaluation parameters			Ra, Rc, Ry, Rz, Rq, Rt, Rmax, Rp, Rv, R3z, Rsk, Rku, RPc, Rsm, Rmax, Rz1max, S, HSC, RzJIS, Rppi, RΔa, RΔq, Rlr, Rmr, Rmr(c), R δ c, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rpm, tp, Htp, R, Rx, AR, Possible Customize			
Analysis graphs			Bearing area curve / Amplitude distribution curve			
Filters			Gaussian, 2CR75, PC75			
Cut off length	λ c		0.003, 0.01, 0.03, 0.1" (0.08 , 0.25 , 0.8 , 2.5mm)			
	λ s		100, 300µin (2.5 , 8µm) or none			
Sampling length			0.003, 0.01, 0.03, .1 " (0.08 , 0.25 , 0.8 , 2.5mm)			
Number of Sampling lengths (xn)			x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10, Arbitrary 0.01~.63" (.0001"interval) [(0.3~16.0mm: 0.01mm interval)]			x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x1(Arbitrary .0118 ~ .22"(.0001" Interval) [(0.3 ~ 5.6mm: 0.01mm Interval)]
LCD dimensions			1.45 x 1.93" (36.7x48.9 mm)			
Display languages			Japanese, English, German, French, Italian, Spanish, Portuguese, Korean, Traditional Chinese, Simplified Chinese, Czech, Polish, Hungarian, Turkish, Swedish, Dutch			
Calculation result display			Vertical display: 1 parameter / 3 parameter / trace to measurements Horizontal display: 1 parameter / 4 parameter / trace to measurements (Horizontal display is invertable)			
Printing function *1 (Dedicated printer is required separately.)			Measurement conditions / Calculation results / Calculation results for each sampling length / Assessed profile / Bearing area curve / Amplitude distribution curve / Environment setting information			
External I/O			USB I/F, Digimatic Output, Printer Output, RS-232C I/F, Foot SW I/F			
Functions	Customization		Desired parameters can be selected for calculation and display			
	GO / NG judgment *2		By max value / 16% / Standard deviation			
	Storage of measurement condition		Save the conditions at power OFF			
	Storage		Internal memory: Measurement condition (10sets), Measured profile (1set) Memory card (Option): 500 measurement conditions, 10000 measured profiles, 500 display images Text file (Measurement conditions / Measured profile / Assessed profile / Bearing area curve / Amplitude distribution curve)			
	Calibration		Saves last inputted nominal value of specimen / Average calibration with multiple measurement (Max.5 times) is available			
Power-saving function			Autoclean off function (10~600sec) *3			

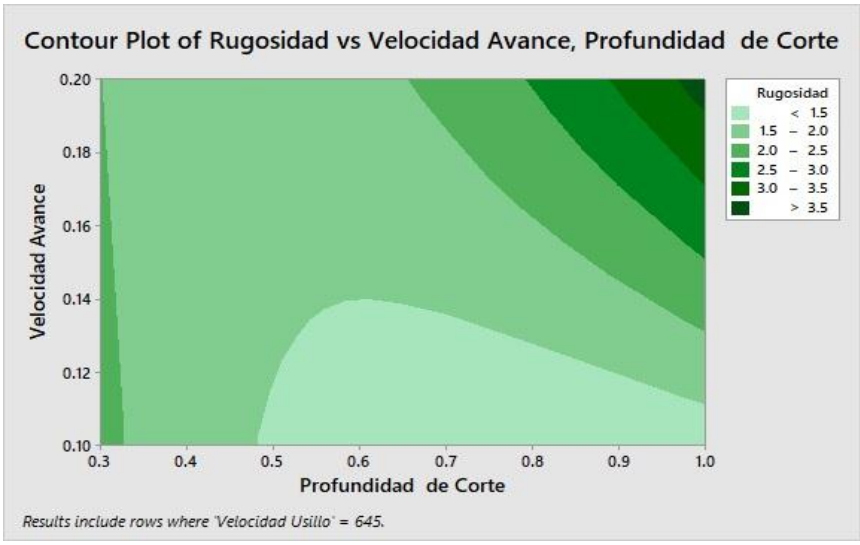
Anexo 7.

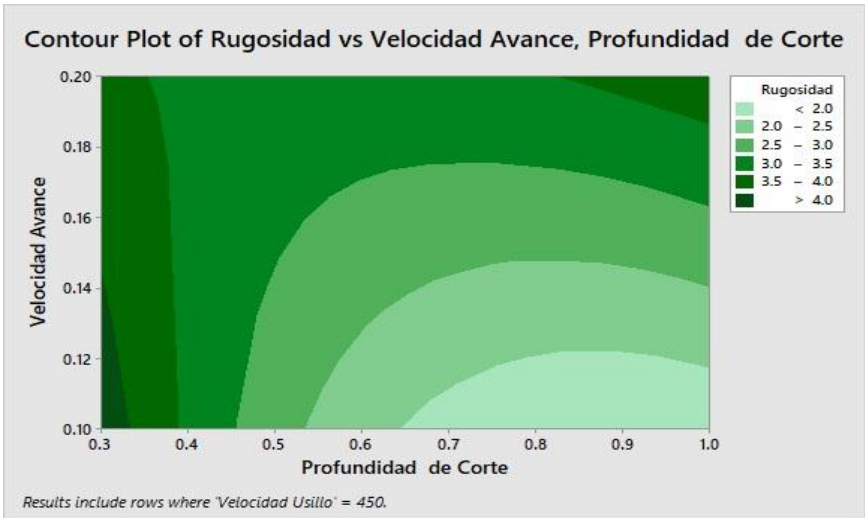
Permiso de uso paquete Minitab 18

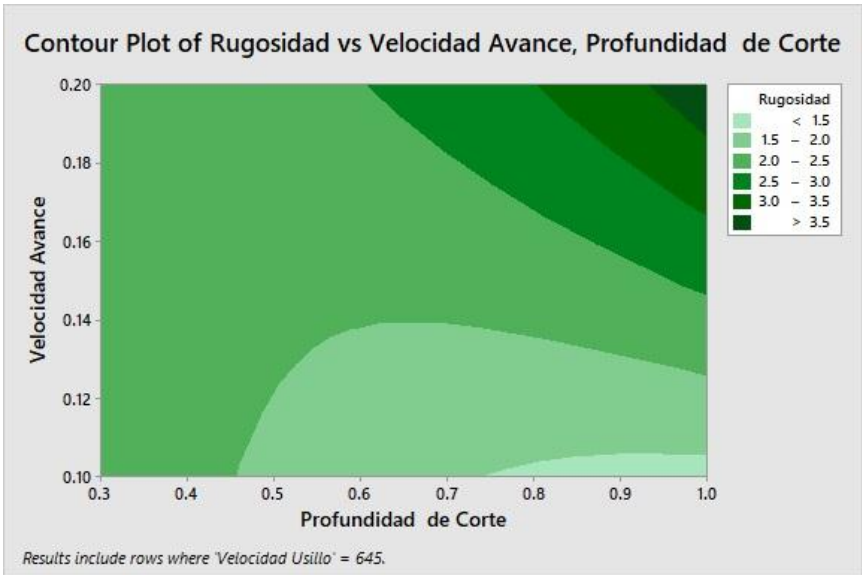


Anexo 8.

Contorno de Rugosidad vs Velocidad de Avance, profundidad de corte.

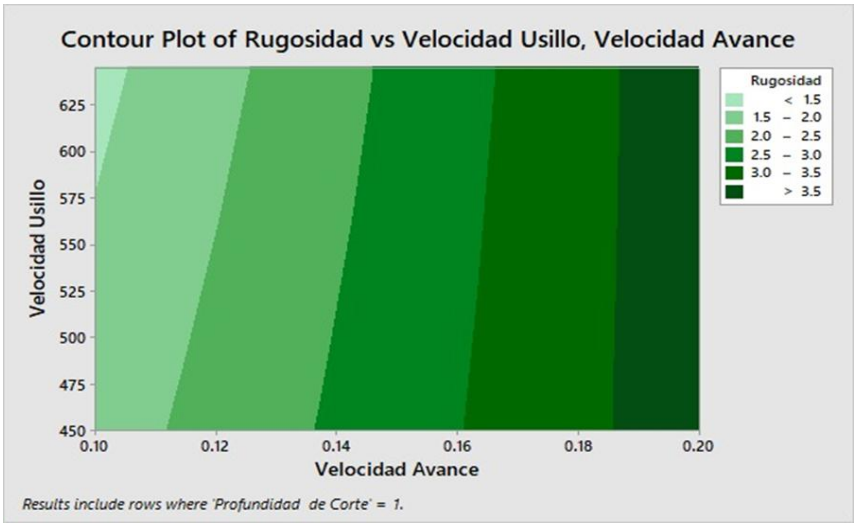


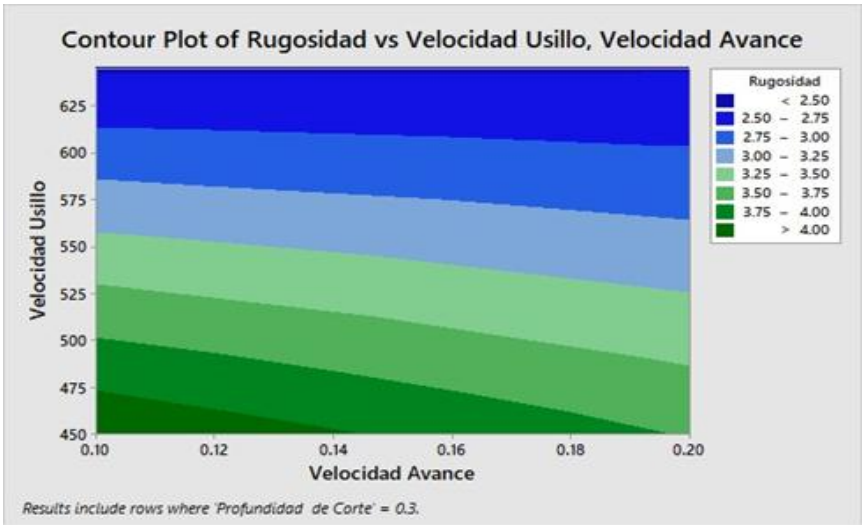


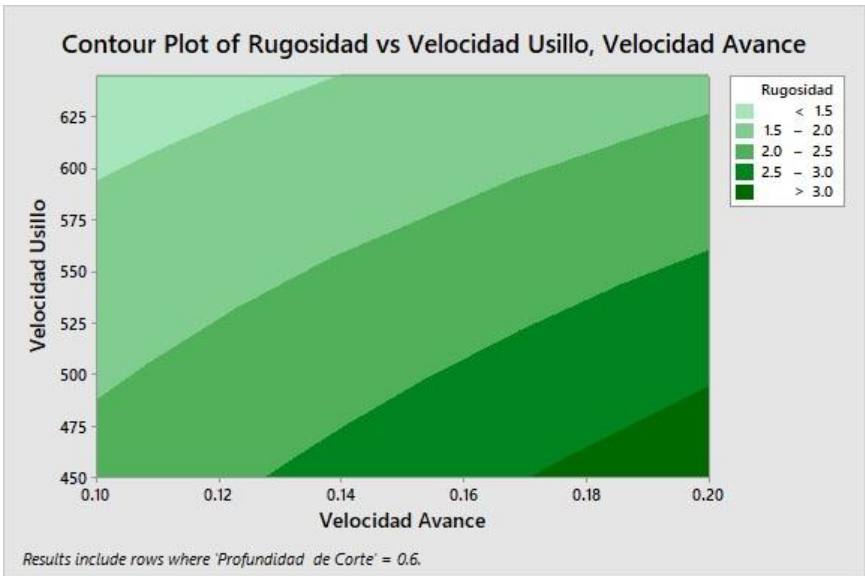


Anexo 9.

Contorno de Rugosidad vs Velocidad de Avance, profundidad de corte.

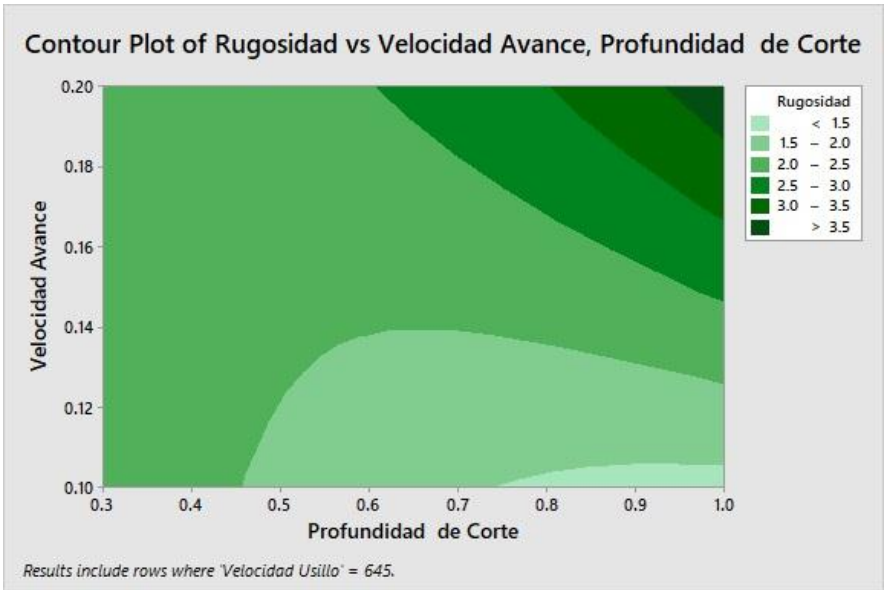


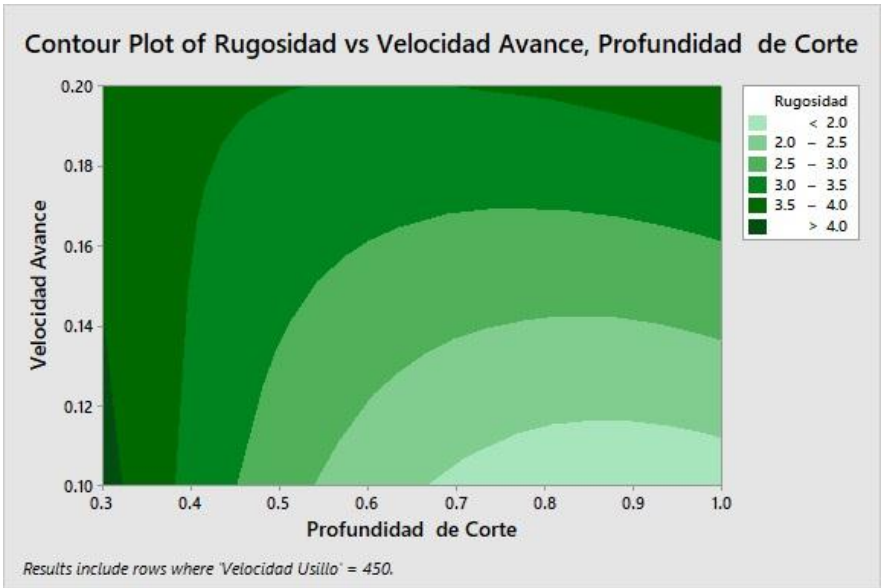




Anexo 10.

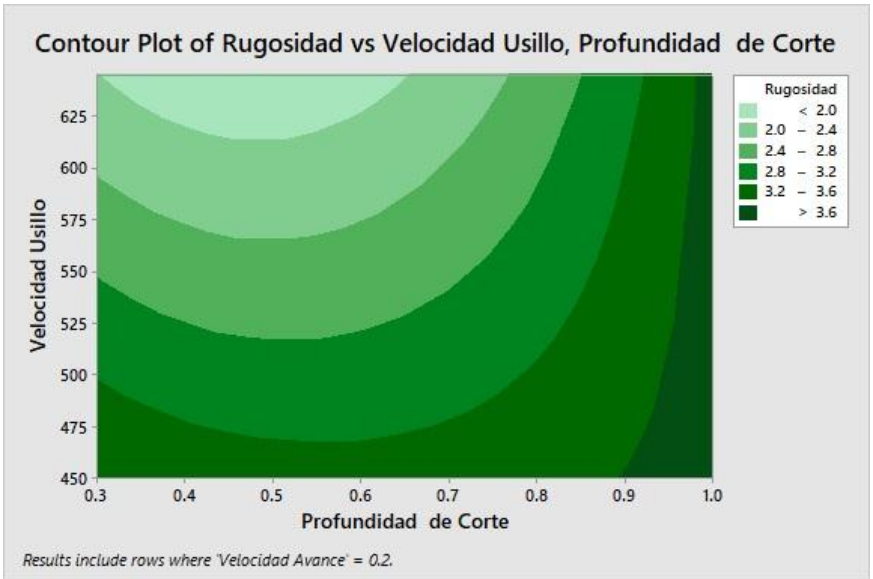
Contorno de Rugosidad con variables Profundidad de Corte, Velocidad de avance.

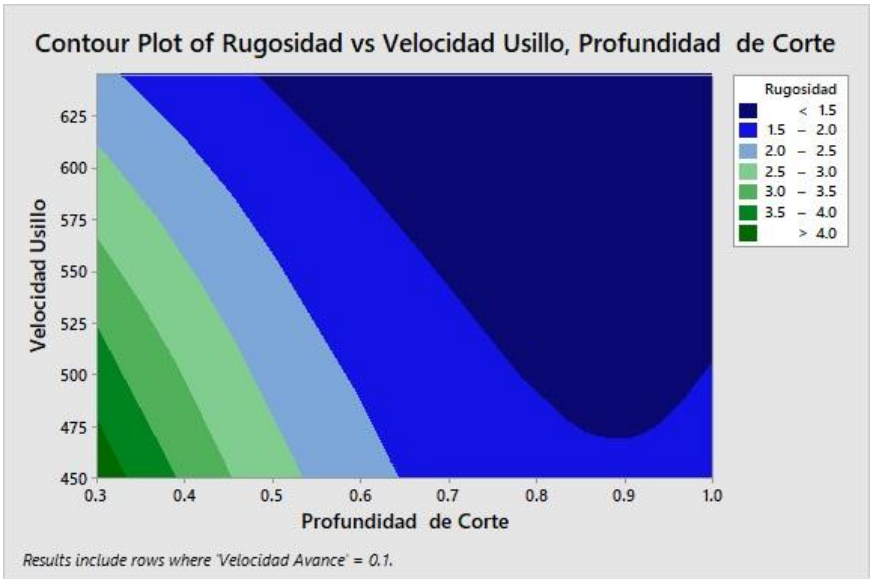




Anexo 11.

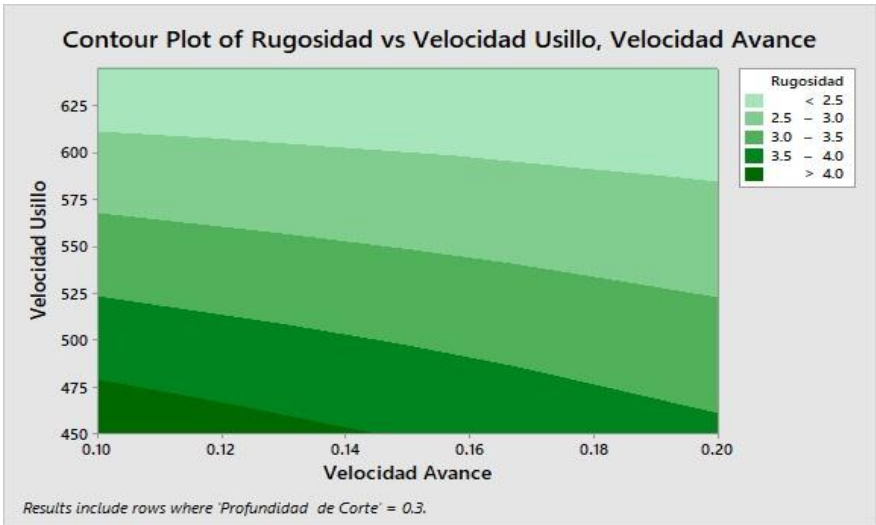
Contorno de Rugosidad con Variables Profundidad de Corte, Velocidad de Husillo.

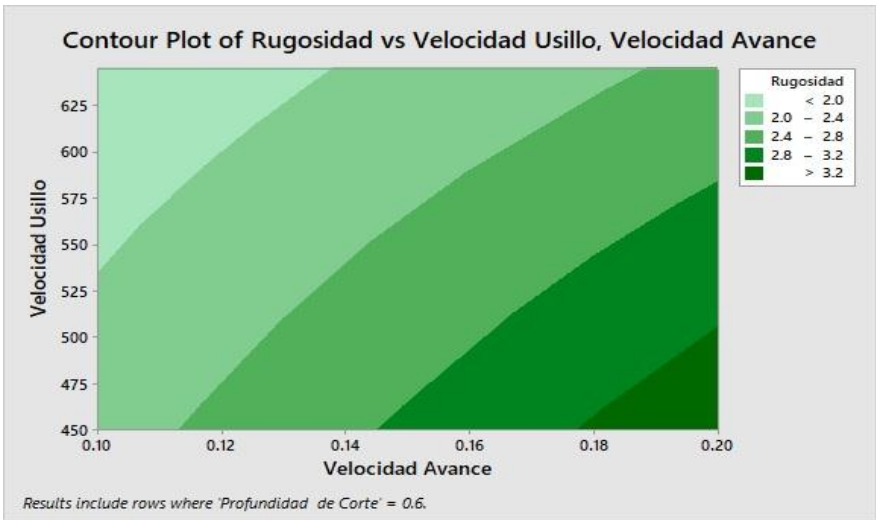


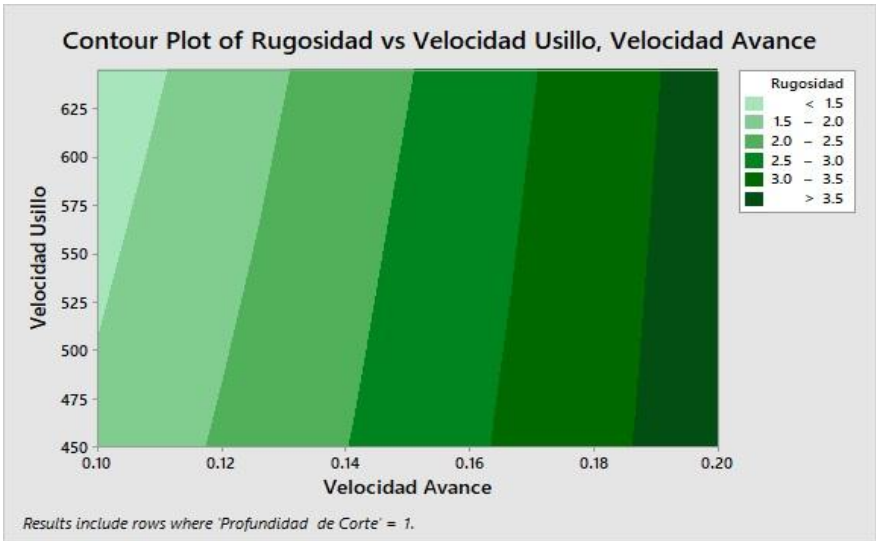


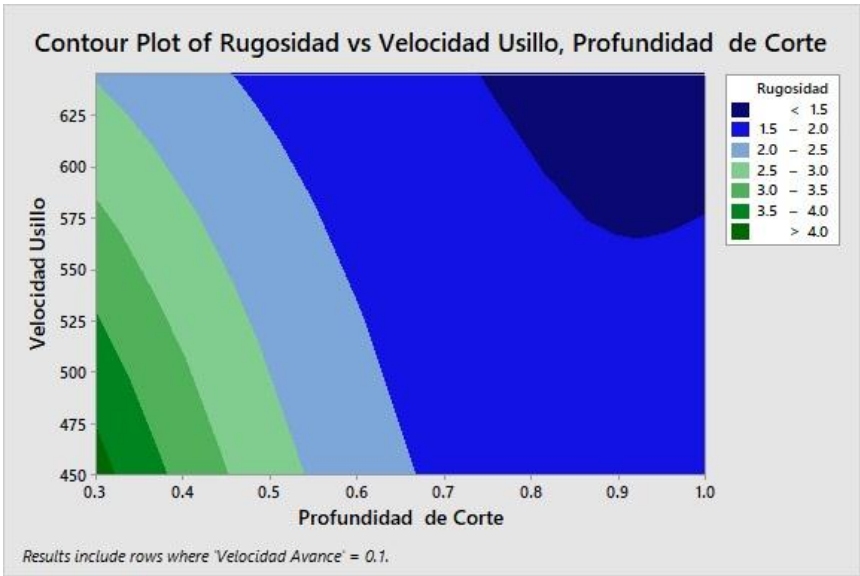
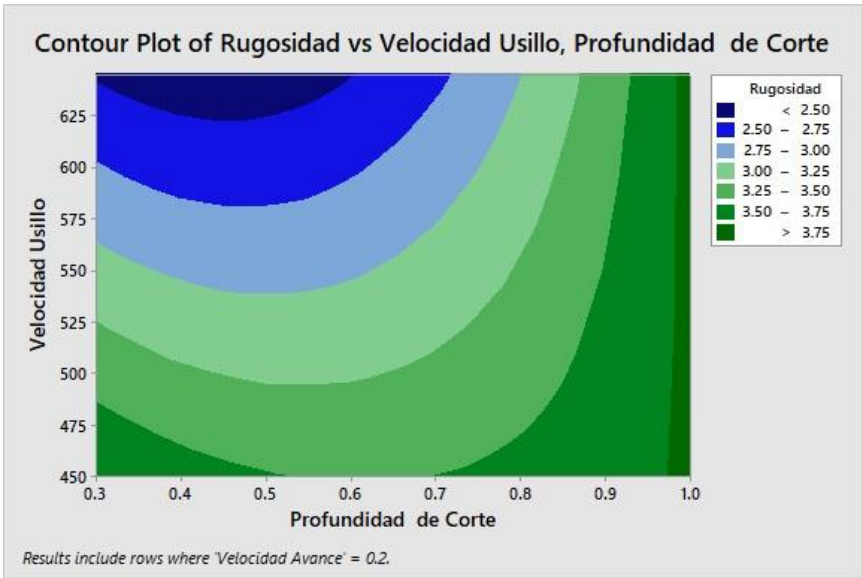
Anexo 12.

Contorno de Rugosidad con variables Velocidad de Avance, Velocidad de Husillo.







Anexo 13.

Contorno de Rugosidad con variables Profundidad de Corte, Velocidad de Husillo.