UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

DESARROLLO DE UNA INTERFACE GRAFICA DE USUARIO GUI`S PARA OBTENER LOS PARÁMETROS DE PERFORMANCE EN LOS PROCESOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA EN EMPRESA RECTIFICADORA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTOR:

BACH. GAVILANO BARÓN MERLIN RANDOLL

ASESOR:

DR. OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INGENIERÍA DE PROCESOS PRODUCTIVOS

PIMENTEL - PERÚ

2019

Presento a la escuela de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Señor de Sipán para optar el título profesional de ingeniero mecánico electricistas

APROBADO POR:

Presidente del jurado de Tesis.
Mg. ALVARADO SILVA CARLOS ALEXIS

Secretaria del jurado de Tesis.
Mg. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS

Vocal de jurado de Tesis.
Mg. ROJAS CORONEL ÁNGEL MARCELO

DEDICATORIA

Con amor,

a mi madre LuzMelia Barón

mi padre Miguel Gavilano

mis hermanos Miguel, Forlucy

de forma especial a la persona

que me impulso a dar un paso

adelante para terminar la tesis

y no rendirme sin importar

lo difícil que se ponía,

fue un pilar y apoyo para

seguir hasta el final y continuar.

A mis familiares

Por prestarme siempre

Su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Por brindarme su conocimiento, apoyo, paciencia y consejos, para concluir de forma exitosa mi proyecto de tesis al Dr. Jorge A. Olortegui Yume, mi más sincero agradecimiento. Sobre todo, mi más grande agradecimiento a Jesucristo, mi dios, señor y salvador de nuestras vidas, que a pesar de mis defectos y virtudes me ha guiado por este camino y no me ha permitido desfallecer. Mi agradecimiento a la Ing. Serrepe Ranno, Ing. Rojas Coronel docentes de la universidad por brindarme sus conocimientos y apoyo durante mi formación y los momentos difíciles durante este proceso.

Unas gracias de manera profunda a mi madre Lucy, mi padre Miguel, mi hermana Forlucy, Miguel, Omar, Corina y Yenny, quienes han sido un ejemplo en mi vida para fortalecer y mejorar mi carácter.

De forma particular agradezco a mi madre y a Yessenia, porque sin su apoyo incondicional no hubiera podido llegar a este punto, que gracias a la confianza que puso en mi pude seguir adelante, y aunque muchas veces falle no dejo de creer que lo podría lograr, porque sin importar cuán difícil se ponía los obstáculos me dio ánimo de luchar.

Debido al tiempo que me ha tomado mi formación académica para poder llegar a este punto agradezco a mis amigos y compañeros, que me han brindado su apoyo y consejo para concluir de forma exitosa mi tesis con el objetivo principal de obtener mi título profesional.

PREDICCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN EN OPERACIONES DE MECANIZADO MEDIANTE UNA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO ESTUDIANTIL EN PLANTAS RECTIFICADORAS

Merlin Randoll Gavilano Baron

Resumen

El uso de modelos predictivos en las industrias metalmecánicas se viene implementado de forma exitosa en planta industrial, las casas rectificadoras que se desempeña en este rubro, en la fabricación y rectificación de piezas en serie con parámetros de producción calculados para cada uno de los productos fabricados, para la obtención de una producción estables del mecanizado con la cual reducir costos de producción, mejorar las condiciones de mecanizado, y maximizar la producción.

La investigación está centrada en el área de procesos de mecanizado, siendo más exactos en los procesos a través de arranque de viruta, con la cual se busca predecir los parámetros de performance para estos procesos. El modelo de predicción permite poder trabajar con una herramienta virtual, con la que podremos calcular los parámetros de la forma más exacta y mínimo tiempo, además de proporcionarle un estudio económico de costo del proceso de mecanizado exacto de acuerdo a las características de mecanizado que se le apliquen para llegar a la pieza final, obteniendo además el tiempo de mecanizado por pieza de acuerdo a las características iniciales y finales, tanto para un mecanizado en el menor tiempo posible como con un costo mínimo del proceso de mecanizado. Con el análisis de desgaste de la herramienta podemos conocer el tiempo promedio de vida de la herramienta de acuerdo a las condiciones de mecanizado que se esté realizando como el máximo de piezas que se puede obtener con cada filo de la herramienta.

El modelo predictivo desarrollado en la Interface Gráfica de Usuario permite poder hacer el análisis del mecanizado de los procesos básicos y cada una de las operaciones que se realizan con estos equipos, teniendo en cuenta un análisis económico, desgaste de la herramienta, y máxima velocidad de mecanizado.

Palabras claves: modelos predictivos, mecanizado, desgaste de herramienta, costo de mecanizado, parámetros de performance, manufactura y torno.

Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email:

gbaronmerli@crece.uss.edu.pe Código ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0667-8897

PREDICTION OF PRODUCTION PARAMETERS IN MACHINING OPERATIONS USING A GRAPHICAL STUDENT USER INTERFACE IN RECTIFIER PLANTS

Abstract

The use of predictive models in the metalworking industries has been successfully implemented in industrial plants, the grinding houses that work in this area, in the manufacture and rectification of serial parts with production parameters calculated for each of the products manufactured, to obtain a stable production of machining with which to reduce production costs, improve machining conditions, and maximize production.

The research is focused on the area of machining processes, being more accurate in the processes through chip removal, which seeks to predict the performance parameters for these processes. The prediction model allows you to work with a virtual tool, with which we can calculate the parameters in the most accurate and minimum time, in addition to providing an economic study of the exact machining process cost according to the machining characteristics that are apply it to reach the final piece, also obtaining the machining time per piece according to the initial and final characteristics, both for machining in the shortest time possible and with a minimum cost of the machining process. With the analysis of tool wear we can know the average life of the tool according to the machining conditions that are being performed as the maximum number of pieces that can be obtained with each edge of the tool.

The predictive model developed in the Graphical User Interface allows to be able to make the analysis of the machining of the basic processes and each of the operations that are carried out with these equipment, taking into account an economic analysis, tool wear, and maximum speed of machining

Keywords: predictive models, machining, tool wear, machining cost, performance parameters, manufacturing and lathe.

Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email:

gbaronmerli@crece.uss.edu.pe Código ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0667-8897

ÍNDICE

DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTO IV
Resumen V
Abstract VI
ÍNDICE VII
ÍNDICE DE FIGURAS X
ÍNDICE DE TABLAS XII
II. INTRODUCCIÓN 14
1.1. Realidad problemática 14
1.2. Antecedentes de la investigación 20
1.2.1. Estado del arte 21
1.3. Teorías relacionadas al tema 26
1.3.1. **Movimientos de las máquinas herramientas.** 26
1.3.2. Clasificación de las máquinas herramientas 27
1.3.3. Formación de viruta en los metales 34
1.3.4. Relación de la potencia y energía en el mecanizado 35
1.3.5. **Análisis geométrico físico de los procesos de manufactura** 36
1.3.6. Ecuación de Ernst y Merchant 40
1.3.7. Fricción en el corte de metales 42
1.3.8. Temperatura de corte de metales 43
1.3.9. Fluidos de corte 44
1.3.10. Vida de la herramienta 46
1.3.11. Ecuación de Taylor 49
1.3.12. Optimización de los parámetros de corte por velocidad de corte 50
1.3.13. Optimización de los parámetros de corte por costo de corte 51
1.3.14. Acabado superficial 52
1.3.15. MATrix LABoratory estudiantil 53
1.4. Formulación del problema. 55
1.5. Justificación e importancia. 55

1.5.1. Justificación técnica 55

1.5.2. Justificación Económica 56

1.5.3. Justificación Ambiental 56

1.5.4. Justificación Social 56

1.5.5. GUI´s 57

1.5.6. Variable 58

1.6. Hipótesis 60

1.7. Objetivos 60

1.7.1. **Objetivos General** 60

1.7.2. Objetivos Específicos 60

II. MATERIALES Y MÉTODOS 63

2.1. Tipo y diseño de investigación 63

2.2. **Población y muestra.** 63

2.3. Variables y operacionalización. 63

2.3.1. Variable 64

2.3.2. Operacionalización 69

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. 74

2.4.1. Técnicas de recolección de datos 74

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos 74

2.5. Procedimiento para la recolección de datos 74

2.5.1. Análisis estadístico de datos 75

2.6. Criterios éticos 76

Validación y confiabilidad de instrumento. 76

2.7. Criterio de rigor cientifico 76

III. RESULTADOS 79

3.1. Procesos de mecanizados usados principalmente en las plantas de rectificado 79

3.2. Determinar los parámetros de ingreso y salida de datos necesarios para la elaboración de un GUI´s. 83

3.2.1. Criterio de velocidad máxima de mecanizado 91

3.2.2. Criterio de costo mínimo de mecanizado 93

3.3. Diseñar la configuración de la Interface Gráfica de Usuario Estudiantil (GUI) considerando la funcionalidad, maximización de aprendizaje y facilidad de uso. 96

3.4. Diseñar el Diagrama de Flujo a usar como base para el desarrollo de este programa. 97

3.5. Programar las GUI´s de los procesos de mecanizados en máquinas herramientas usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc. 99

3.6. Operación y validación de la GUI´s de los procesos de mecanizados en máquinas herramientas usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc. 106

3.7. Puesta a punto de la Interface Gráfica de Usuario y su interconexión a través de la compilación del algoritmo base. 112

3.8. Análisis de la aplicación de esta tecnología a los equipos CNC. 113

IV. DISCUSIÓN.....115

VI. CONCLUSIONES.....120

VII. RECOMENDACIONES.....122

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....124

ANEXOS.....129

Anexo 1.....129

Anexo 2.....130

Anexo 3.....134

Anexo 4.....142

Anexo 5.....144

Anexo 6.....151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Del modelado a la aplicación. 14
Figura 2. Exportación Española de máquinas-herramientas para el 2018.....15
Figura 3. Producción por arranque de viruta en Latinoamérica. 16
Figura 4. Rubro de las empresas participantes en X INTERNATIONAL TRADE FAIR PLATS EXPO UA – 2018, X INTERNATIONAL TRADE FAIR KYIV TECHNICAL FAIR – 2018, AND II INTERNATIONAL TRADE FAIR ADDIT EXPO 3D – 2018.....17
Figura 5. Logo del software de simulación, CoroPlus 4.0 22
Figura 6. Logo de BobCAD-CAM.....22
Figura 7. Logo de software de simulación, PARTVIEWER 23
Figura 8. Software de simulación, TEBIS 4.0 24
Figura 9. Software de simulación, TEMPO.....25
Figura 10. Módulos integrados en Cutpro 25
Figura 11. Grados de libertá para las máquinas herramientas 27
Figura 12. Formación de viruta de acuerdo a la velocidad y profundidad del mecanizado.....35
Figura 13. Fuerza de cizalladura (Fs) y fuerza normal de cizalladura (Fn).....36
Figura 14. Fuerza de corte (Fc) y fuerza de empuje (Ft). 37
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre en la que se relaciona geométricamente entre F, N, F_c, F_n, F_C y F_t 38
Figura 16. Distribución de la temperatura en la pieza, viruta y herramienta. 44
Figura 17. Designación de herramienta de corte derecho, con un avance de la herramienta de derecha a izquierda.....47
Figura 18. Grados de las herramientas. Relación de dureza en el eje vertical y la tenacidad en el eje horizontal.....49
Figura 19. Análisis de datos y desarrollo de algoritmos, con un entorno de escritorio para su manera apropiada de trabajo.....54
Figura 20. Los análisis y algoritmos de MATrix LABoratory estudiantil se pueden integrar en aplicaciones empresariales y en entornos de producción.....55
Figura 21. Aplicación personalizada con una GUI de MATrix LABoratory estudiantil.....58
Figura 22. Caja negra para el desarrollo de la GUI con el criterio de Velocidad Máxima de mecanizado 67
Figura 23. Caja negra para el desarrollo de la GUI con el criterio de Velocidad Máxima de mecanizado 68
Figura 24. . Configuración de la Interface Gráfica de Usuario. 96
Figura 25. Diagrama de flujo de la Interface Gráfica de Usuario 97
Figura 26. Diagrama de flujo de un proceso de mecanizado 98
Figura 27. Ingresando a la plataforma de MATrix LABoratory estudiantil.....99
Figura 28. Ingresando a la plataforma GUIDE.....100
Figura 29. Configuración de la GUI´s en la plataforma GUIDE de MATrix LABoratory estudiantil**.**.....101
Figura 30. Programación de la GUI (axes, Push button entre otras herramientas ingresadas en la GUI 102
Figura 31. GUI de selección de tipo de mecanizado 102
Figura 32. GUI de introducción, que hace referencia a el tema investigado, año de la investigación y el desarrollador.....103

Figura 33. GUI de selección de tipo de mecanizado 103
Figura 34 Selección del proceso de mecanizado a estudiar 104
Figura 35. Cálculo de los parámetros de corte para el proceso de cilindrado con un tipo de material ferroso. 105
Figura 36. Ingreso de parámetros para el proceso de mecanizado(cilindrado) 106
Figura 37. Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material de aleación de TI 0.2 Pd y una herramienta de corte de cermet. 107
Figura 38. Podemos apreciar en una escala más comparativa la variación de la vida útil de la herramienta con respecto al costo de la herramienta y el costo de mecanizado. 108
Figura 39. Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material AISI 1010 y una herramienta de corte de carburo cementado. 109
Figura 40. Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material AISI 1010 y una herramienta de cermet. 111
Figura 41. GUI´s corridas de forma simultanea 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor agregad bruto del sector Manufactura.....19
Tabla 2. Características de los fluidos de corte.....46
Tabla 3 Operacionalización de las variables bajo el criterio de Velocidad máxima.....69
Tabla 4 Operacionalización de las variables bajo el criterio de Costo mínimo.....71
Tabla 5 Cuadro de Criterios de Principios de Rigor Científico.....77
Tabla 6 Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la Casa del Tornillo, con respecto al diseño de una interface gráfica de usuario que permita el calcular los parámetros de producción.....82
Tabla 7 Determinación de los parámetros de ingreso y salida en el análisis en función a la velocidad.....91
Tabla 8 Determinación de los parámetros de ingreso y salida en función a los costos de producción.....93
Tabla 9 Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la Casa del Tornillo, con respecto al diseño de una interface gráfica de usuario que permita el calcular los parámetros de producción.....134

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

II. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Durante los últimos años se ha venido realizando un progreso significativo en el desarrollo de modelos predictivos en las operaciones de mecanizado y poder así hacer frente a los nuevos avances en tecnologías de máquinas herramienta, como se observa en la **Figura 1**, la industria del mecanizado se ha dividido en tres ramas de investigación, tanto en el desarrollo de nuevas máquinas herramientas, el desarrollo de softwares que peritan analizar y programar los procesos de mecanizado, complementándose en las áreas de corte y desarrollo de materiales avanzados, orientados a mejorar la producción y productividad en los procesos de fabricación, sin dejar de lado la calidad y reducción de costos de los productos. Para la implementación de estos modelos en la industria depende de la calidad de los mismos para la predicción del rendimiento mecánico, para obtener estabilidad en los procesos, ángulo de incidencia adecuados, fuerza de corte, potencia unitaria para el mecanizado, desgaste de la herramienta, formación de viruta, entre otros parámetros.

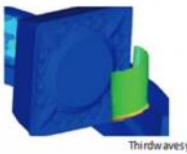
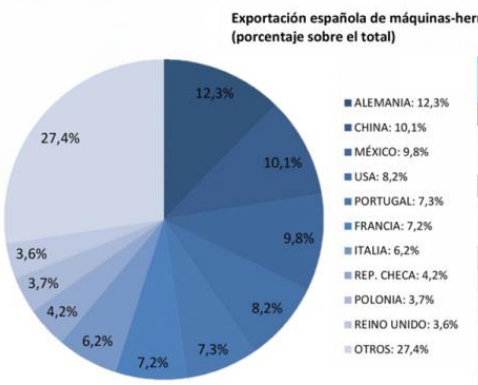
Quién	Qué / Para qué / Técnica			Software comercial
Fabricante de máquinas Ibarmia®	Elementos de máquina (componentes) -Husillo -Ejes de avance -Bancada -Máquina completa	Buen comportamiento máquina. Rigidez necesaria máxima productividad	-Técnicas análisis modal -Modelos mecatrónicos -FEM-Modos estructurales -Análisis modal-Opt. Topológica.	PERMAS
Diseñador de proceso SandvikCOROMANT®	Proceso de mecanizado -Fuerzas de corte -Potencia consumida	Proceso de corte estable → Máxima productividad	-Modelos mecanísticos -Modelos dinámicos -Potencia consumida	Accord Mill®, SMARTbox® Machining Navi® HARMONIZER
Fabricante de herramientas  Thirdwavesys®	Proceso de mecanizado -Temperatura -Tensiones -Desgaste	Proceso de corte controlado (tra., desgaste, tensión) → Máxima productividad	-Modelos basados en el Método de Elementos Finitos FEM	THIRD WAVE SYSTEMS DEFORM

Figura 1. *Del modelado a la aplicación.*

Fuente: *Interempresas.net/ Metalmecanica*

Garbalena presidente de la Asociación Española de Fabricantes de Máquinas herramienta, Accesorios, Componentes y Herramientas (AFM), comenta acerca de los mercados exteriores: “Volvemos a registrar una cifra récord en las exportaciones que por destinos no han experimentado variaciones relevantes respecto al último ejercicio. (…), Europa ha aguantado bien, América se ha comportado de manera robusta, y ha sido Asia la zona que ha perdido fuerza”. Como podemos observar en la **Figura 2,** Los datos reflejan un crecimiento en la exportación con cifras récord de 3,6% respecto a los datos de 2017, alcanzando los 1.277 millones de euros. En este caso, igualmente, las cifras de arranque son positivas, +7%, y las de deformación muestran un pequeño descenso del 3,8%. En lo que respecta a las máquinas herramienta, si analizamos los países de destino los principales mercados de los fabricantes españoles son: Alemania, representando un 12,3% del total exportado; seguido de cerca por China con un 10,1% y México, con un 9,8%.



MÁQUINAS-HERRAMIENTA	2018	2017	% 18/17
TOTAL PRODUCCIÓN	1.142,86	1.127,61	1,35%
Arranque	679,02	640,79	5,97%
Deformación	463,84	486,82	-4,72%
TOTAL EXPORTACIÓN	932,36	902,15	3,35%
Arranque	635,48	593,64	7,05%
Deformación	296,88	308,51	-3,77%
Ventas Interior	210,50	225,46	-6,64%
Export / Producción	81,58%	80,01%	
Importaciones	528,72	500,90	5,55%
Consumo aparente	739,22	726,36	1,77%
Cobertura export / import	176,34%	180,11%	
Ventas Interior / Consumo	28,48%	31,04%	

***Figura 2**. Exportación Española de máquinas-herramientas para el 2018*

***Fuente:** Interempresas.net/ Metalmecanica*

La producción en los procesos de manufactura por arranque de viruta en Latinoamérica está dividida como se observa en la **Figura 3**, donde más del 75% de los procesos de manufactura son básicos enseñados durante la formación técnica y/o universitaria. Los estudios de los procesos de manufactura datan desde aproximadamente 1250 d. C, con el primer torno de pértiga, en el siglo XV se inventó un torno para roscas por Leonardo Da Vinci, en el 1550 máquina

cepilladura, 1568 una mandriladora. Los fundamentos teóricos de los procesos de mecanizado en metales han sido estudiados por más de 200 años. Aun cuando los problemas de ciencia base del mecanizado no han sido dilucidados aún se tienen modelos matemáticos semi-empíricos capaces de predecir con precisión adecuada los diferentes parámetros importantes en este proceso de manufactura. Debido a ello la existencia de una herramienta de predicción virtual de performance de procesos de mecanizado, seria de mucha ayuda para la instrucción, verificación e investigación en esta área.

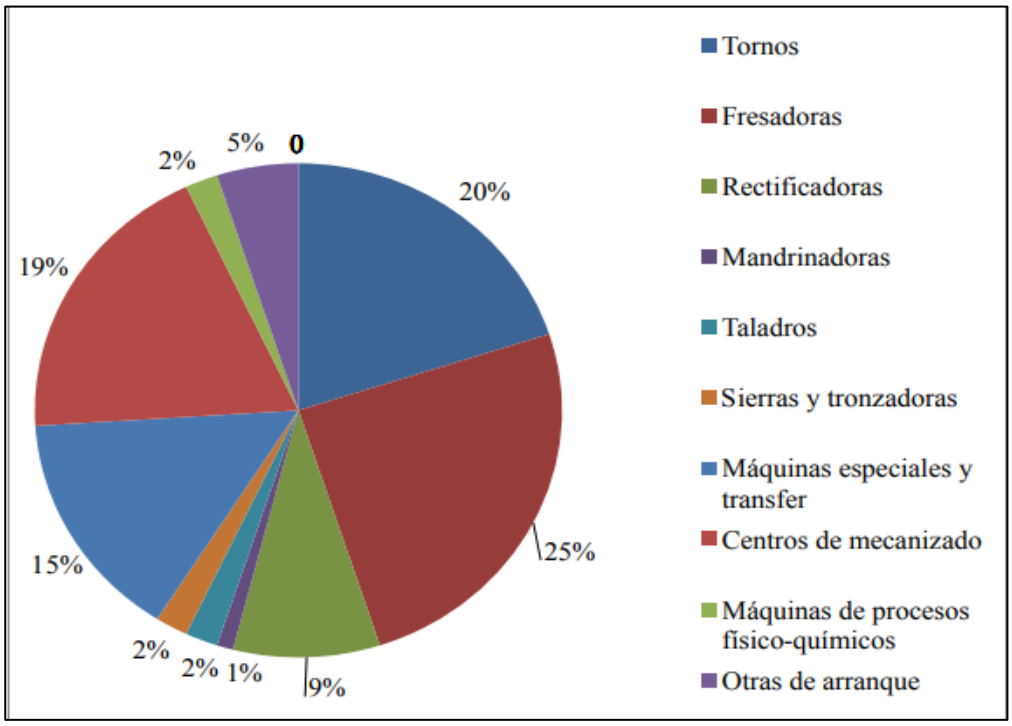


Figura 3. *Producción por arranque de viruta en Latinoamérica.*

Fuente: *World Machine Tool Output & Consumption Survey (2011).*

Según la investigación realizada por BATISTA, J. A. D., VERGARA, I. G. P., ALONSO, C. F., & ABREU, A. O. en la APLICACIÓN DE LABORATORIOS VIRTUALES UNA NECESIDAD ACTUAL EN LA ENSEÑANZA EN LA INGENIERÍA (2017). Dice que el desarrollo y aplicación de los laboratorios virtuales simulados para la educación a través de cursos virtuales y/o presenciales ha corroborado su efectividad y utilidad. La aceptación de estos es alta debido a la ayuda en la consolidación y comprensión de conceptos teóricos, y simulaciones

cercanas a la realidad. El estudio de casos debe ser lo más real y verosímil posible, para que el estudiante sienta que es un caso real, radicando en este aspecto la aceptación de esta tendencia de enseñanza. La red ALFA reafirma que es posible que el desarrollo de laboratorios virtuales con recursos y equipamiento limitado.

En el Centro Internacional de Exposiciones se realizó la décima reunión para empresas e instituciones dedicadas al dominio de las tecnologías de procesamiento de polímeros, máquinas y materias primas, fabricación de aditivos y tecnologías de impresión 3D, equipos y materiales, así como ingeniería general, procesamiento de metales, herramientas, soldadura y corte, fundición, tratamiento de superficies, materiales relacionados, herramientas y componentes.

Como se observa en la **Figura 4,** alrededor del 49,7% de las industrias asistentes se centran en los procesos de mecanizado, en total 120 expositores de Ucrania, Austria, Bielorrusia, China, Dinamarca, Alemania, India, Irán, Italia, Polonia y Turquía cerca del doble que en el 2017 presentaron sus desarrollos y productos en la exposición, participaron en los eventos de la conferencia del programa empresarial entre ellos tenemos simulación por computadora e introducción de innovaciones en la producción.

Figura 4. *Rubro de las empresas participantes en X INTERNATIONAL TRADE FAIR PLATS EXPO UA – 2018, X INTERNATIONAL TRADE FAIR KYIV TECHNICAL FAIR – 2018, AND II INTERNATIONAL TRADE FAIR ADDIT EXPO 3D – 2018*

Fuente: International Exhibition center, Ministry of economic development and trade of Ukraine

En nuestro medio peruano el mecanizado aún no ha alcanzado el nivel de alta producción debido a que la industria manufacturera y metal mecánica es incipiente, como se observa en la **Tabla 1** proporcionada por INEI entre el 2008-2012. En la cual podemos apreciar que la gran mayoría de trabajos de mecanizado realizados en el país, de forma particular en la región de Lambayeque son lotes medianos a pequeños y/o parte de un proceso de mantenimiento correctivo (reemplazo de partes) como es el desarrollado en Emp. Ag. Pucalá S.A. A pesar de ello, la ejecución del corte de metales implica la selección de herramientas de corte, condiciones de corte y planificación de tiempos y costos por pieza hay que considerar la maquinabilidad de la parte de trabajo, la geometría de la parte, el acabado superficial. El conocimiento necesario para realizar estas últimas tareas no es muy conocido o usado por el personal de planta e implícitamente los equipos de ingeniería.

International Metalmecánica, en su publicación de octubre del 2015. Menciona que diversos fabricantes de máquinas herramienta, en particular, de centros de mecanizado, de todas las latitudes, buscan el liderazgo en la manufactura basada en datos, con modernas máquinas, software avanzado y prácticas de interconectividad. “Las empresas exigen a sus proveedores disponer de máquinas CNC fabricadas con materiales amigables con el medio ambiente. La competencia actual exige productos de alta calidad a un precio asequible, y para lograrlo busca proveedores que utilicen equipos de última tecnología, que manejen costos de producción muy bajos y que tengan una gran flexibilidad para el cambio de modelos de productos”, resume Benito Martínez, gerente de aplicaciones, ingeniería y proyectos de Grupo Hi-Tec. El desarrollo tecnológico en la industria no se detiene: más máquinas inteligentes aparecen en el panorama, y cada vez más inmersas en la internet de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés), lo que está dando lugar a una nueva generación de productos y tecnologías que revolucionan la producción metalmecánica a través de Big Data. Con mayores exigencias para que las máquinas herramientas altas velocidades y mayor eficiencia, para que disminuyan los costos de mecanizado. Carlos G. Mortera, director internacional para América Latina de la Asociación de Tecnología para Manufactura (AMT), coincide, pues en su

experiencia, el uso de equipo automatizado para ser utilizado junto con máquinas-herramienta, como robots, transportadores automatizados, servomotores, servo-controladores y, o, sistemas con interfaz de máquinas y equipos periféricos, cuatro y cinco ejes, también son una tendencia en la manufactura.

Tabla 1

Valor agregad bruto del sector Manufactura

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

16.13 PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA DE ELABORADOS DE METAL, MAQUINARIA Y EQUIPO, MAQUINARIA Y APARATOS ELÉCTRICOS, Y VEHÍCULOS, 2016-2017				
CIIU División Grupo	**Producto**	**Unidad de Medida**	**2016**	**2017 P/**
25	**Elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo**			
259	**Fabricación de Otros Productos Elaborados de Metal**			
	Cerraduras	unidad	1 614 439	1 702 497
	Abrazaderas metálicas	unidad	108 880	50 004
27	**Equipo eléctrico**			
271	**Fabricación de Motores, Generadores y Transformadores Eléctricos**			
	Transformador	unidad	17 335	18 192
	Tablero de distribución	unidad	2 305	4 012
	Autotransformador	unidad	15 223	14 417
	Tableros de baja tensión	unidad	4 306	4 631
272	**Fabricación de baterías y acumuladores**			
	Batería automotriz	unidad	1 116 994	1 285 162
	Batería industrial	unidad	601	418
273	**Fabricación de cables y dispositivos de cable**			
	Cable de energía	kg	18 787 982	14 842 333
	Cable de uso general	kg	13 471 518	10 766 256
29	**Vehículos automotores, remolques y semirremolques**			
292	**Fabricación de carrocerías para vehículos automotores**			
	Remolques y semiremolques	unidad	611	440
	Carrocerías para omnibuses	unidad	189	183
	Carrocerías (varias)	unidad	180	137
30	**Fabricación de otro equipo de transporte**			
309	**Fabricación de otros tipos de equipo de transporte**			
	Motocicleta	unidad	25 489	26 594
	Trimoto	unidad	1 718	1 615

El centro de estudios latinoamericanos en su informe económico del Perú al mes de mayo refleja un crecimiento en la industria metalmecánica de un 12,6% solo para el 2018 así mismo un promedio del 14,3% para los dos últimos años.

Las casas de rectificado orientadas a proveer soluciones integrales con una amplia línea de productos, de gran calidad y alta eficiencia, lleva a lo largo de los años ha acumulado una experiencia, que se reflejada en su responsabilidad y profesionalismo, que se proyecta para el 2020 ser las empresas líderes en el rubro metal mecánico a nivel nacional.

El presente proyecto plantea la creación de una Interface Gráfica de Usuario usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc. Que permita la predicción de parámetros de corte, desgaste y economía de mecanizado para los procesos de mecanizado más comunes en la industria manufacturera.

1.2. Antecedentes de la investigación

Pamies, J & otros (Pamies-Teixeira, J., Rodriguez, C., Correia, M., Ferreira, C. C., & Toledo, R (2005). Desarrollaron un software para la predicción de temperatura en herramientas de corte, Se mejoran los procesos y se disminuyen los errores. Permite la utilización de técnicas de control predictivo, muy especialmente en lo que concierne el mecanizado de alto rendimiento, como un instrumento para el desarrollo de modelos de predicción que nos permitan la estimación de la condición superficial (rugosidad e integridad), de las temperaturas de corte y del desgaste de las herramientas, Utilizando un análisis a los balances termodinámicos que deben incluir la energía de superficie de las nuevas superficies que se forman que, en los modelos tradicionales, es ignorada. Los modelos de simulación, después de validados teórica y experimentalmente utilizando grandezas físicas mensurables, nos permiten aceptar que la distribución calculada por simulación es una aproximación creíble. Por otro lado, este estudio nos permite también verificar la sensibilidad de los modelos de simulación a los modelos de comportamiento de materiales y al balance correcto de energía, permitiendo sumariar un conjunto de reglas orientadoras para quién desee utilizar estas técnicas.

García Jaramillo, & otros (García Jaramillo, L. A., Chapiro, A., & Antonio, M (2015) Es necesario estudiar el tiempo de vida de las herramientas para prevenir el desgaste prematuro o fractura y evitar que la pieza maquinada tenga imperfecciones. Para modelar y predecir el desgaste de la herramienta de corte se usó la ecuación propuesta por F. W. Taylor y se utilizando el Campo Avanzado de Mecanización y Prototipos de la ESPOL, en donde se varió la velocidad de corte como parámetro de corte principal para determinar las constantes de la ecuación de Taylor. El avance y la profundidad de corte también se variaron para determinar el comportamiento de estas variables en el proceso de corte para el mecanizado de una pieza elaborada con acero AISI 4340. En la experimentación se usó 2 herramientas de corte con el fin de comparar y buscar una herramienta que presente mejor tiempo de vida para el mecanizado de este material. Fue necesario simular el proceso de desgaste mediante el uso de herramientas computacionales como MATrix LABoratory estudiantil para poder encontrar las constantes de la ecuación de Taylor y predecir el tiempo de vida de una herramienta de metal duro para maquinar AISI 4340. Los criterios de desgaste seleccionados para la experimentación se basan en la norma ASME 94.55 M. Los resultados comparativos muestran las tendencias del desgaste entre las 2 herramientas seleccionadas para la experimentación.

1.2.1. Estado del arte

CoroPlus, como se observa en la Figura 5, es la plataforma del software desarrollado por Sandvik Coromant, entre las principales características del software es reducir el número de piezas desechadas, tiempo de reglaje, aumenta la flexibilidad en producciones de lotes pequeños y mejora la planificación del mantenimiento. Así mismo con la nueva herramienta de Silent Tools™ Plus se realiza un análisis para predecir los efectos del torneado en interiores de voladizos largos. Así mismo la herramienta principal de esta plataforma de control del proceso de mecanizado sigue el rendimiento en tiempo real pudiendo modificar los parámetros de forma remota durante el mecanizado y asegurar la estabilidad y confiabilidad del mecanizado. La plataforma cuenta con un amplio

catálogo de herramientas en pocas palabras es un software que está en todo el proceso de mecanizado.

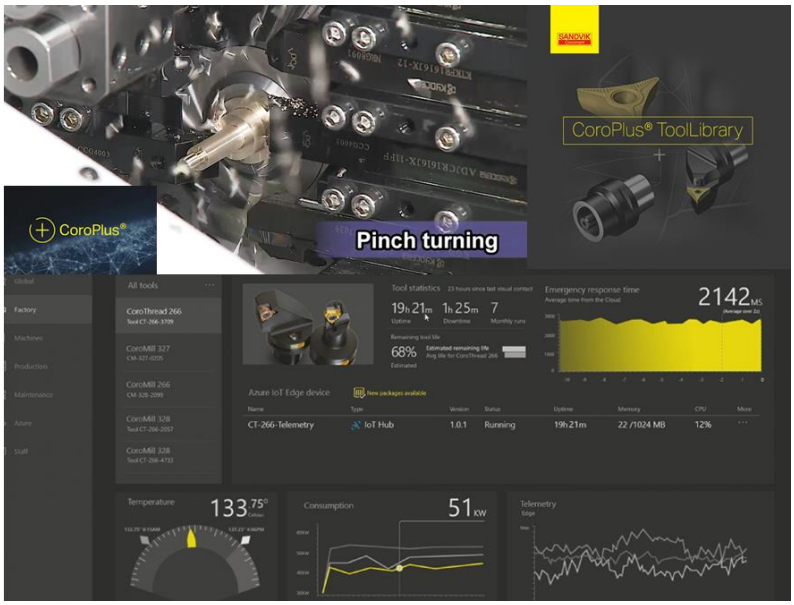


***Figura 5**. Logo del software de simulación, CoroPlus 4.0*

Fuente: CoroPlus

BobCAD-CAM, software para máquinas CNC, diseñado especialmente para centros de mecanizado 5 ejes, con la función dinámica se incorpora las mejores

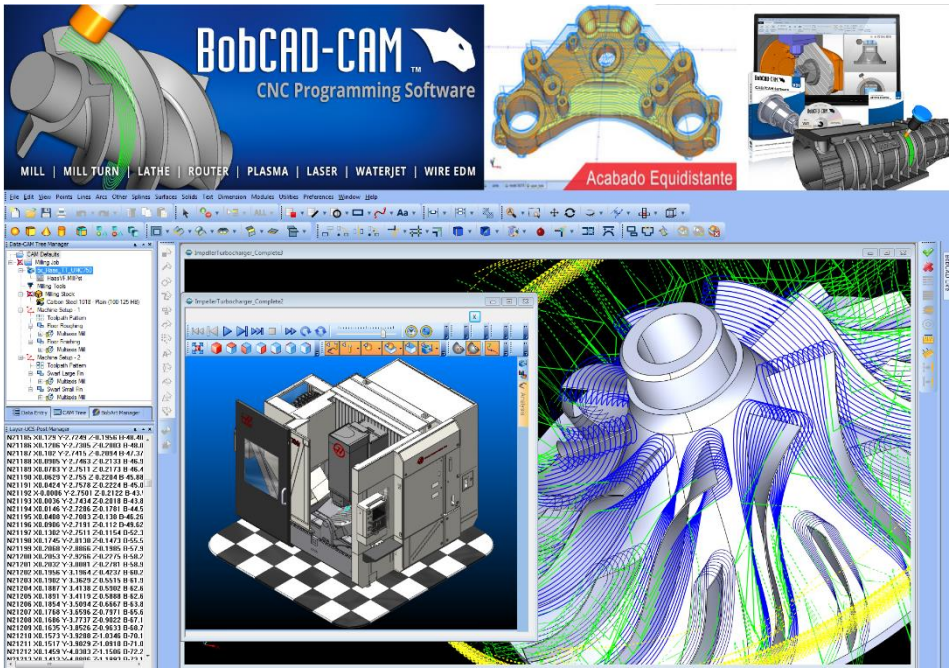


***Figura 6.** Logo de BobCAD-CAM*

Fuente: BobCAD-CAM

estrategias necesarias para la reducción el tiempo de mecanizado, en la programación de devaste, pre-acabado, y acabado. Como se observa en la **Figura 6**, su plataforma de simulación de procesos, genera reportes de colisiones, tiempo de maquinado y tolerancia de cortes con un control de limite por áreas para mejorar la calidad del mecanizado en áreas específicas. La nueva función de taladro multi-eje permite realizar las operaciones en 4to, 5to eje y tornos con herramientas rotatorias motorizadas, se evita la generación de grupos de indexado para cada proceso de taladrado en dirección y sentido diferentes.

PARTVIEWER, es un software que facilita los cálculos económicos para la comparación inmediata entre estrategias de mecanizado, con una previsión del tiempo de mecanizado, se visualizan y simulan en detalle la geometría en términos de recorrido, parámetros de corte, opciones tecnológicas. En la **Figura 7,** podemos presenciar una interface amigable donde se puede observar todas las programaciones de las piezas, además de distintos filtros personalizados que se le pueden aplicar. BLM GROUP (2017).

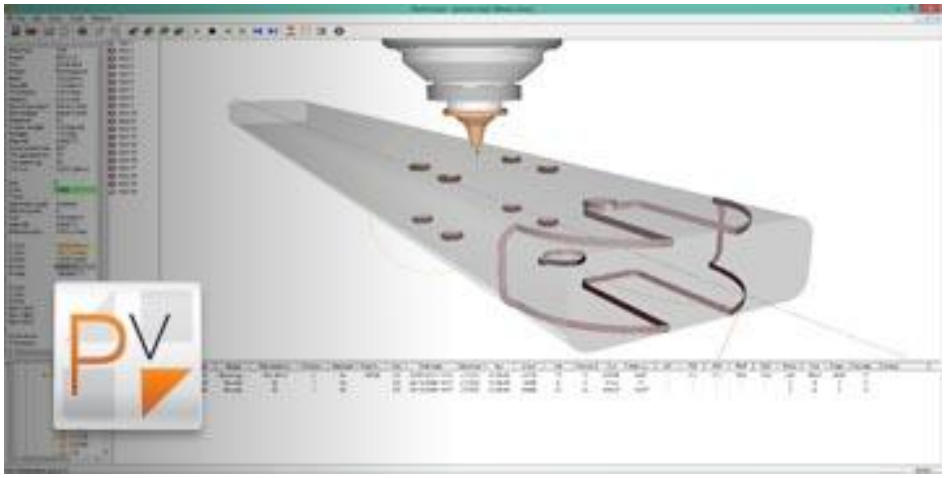


Figura 7. *Logo de software de simulación, PARTVIEWER*

Fuente: PARTIEWER

TEBIS 4.0, examina continuamente el estado de la herramienta para verificar los valores admisibles de la herramienta, modificando los parámetros de corte para aumentar la eficiencia del mismo y aumentar la vida útil de la herramienta, mejorar costos y tiempos de mecanizado. Además, su plataforma que se observa

en la **Figura 8.** incluye la sincronía de curvas para todas las zonas y de variables Z en zonas inclinadas de la pieza con la opción de contacto máximo adaptar el mecanizado a las necesidades. Simula máquinas de 5 ejes, corte por láser y frezado por partes, permite la modificación de parámetros de corte sin parar el mecanizado. TEBIS (2015).

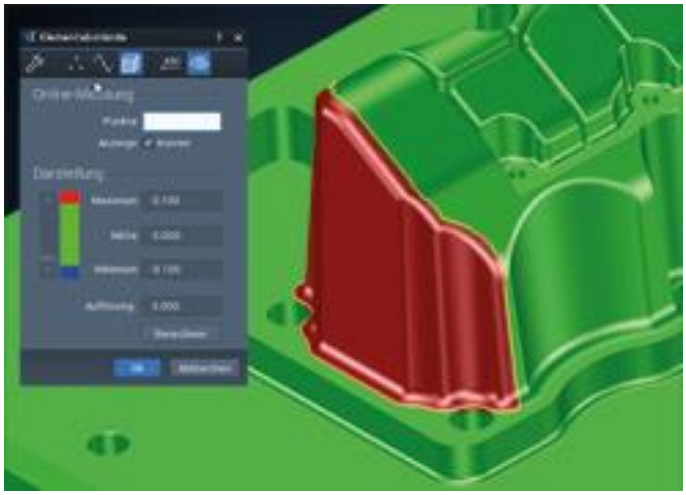


Figura 8. *Software de simulación, TEBIS 4.0*

Fuente: TEBIS

TEMPO, permite seleccionar el proceso de mecanizado, a través de su librería permite visualizar las características de los distintos tipos de máquinas herramientas con las que encuentras equipado, entre tornos, fresadoras, CNC, centros de mecanizado, etc. En la **Figura 9.** Se observa la interface del análisis del programa pueda calcular los tiempos de mecanización y los costos asociados. Asocia el tiempo de preparación de la máquina, además de contar con una base de batos en base a la máquina utilizada y otros parámetros. Permite la edición de los parámetros de la herramienta, y dimensiones de la pieza, el software cuenta con una interface que se puede cambiar de idiomas para comodidad del usuario. TEMPO (2016).

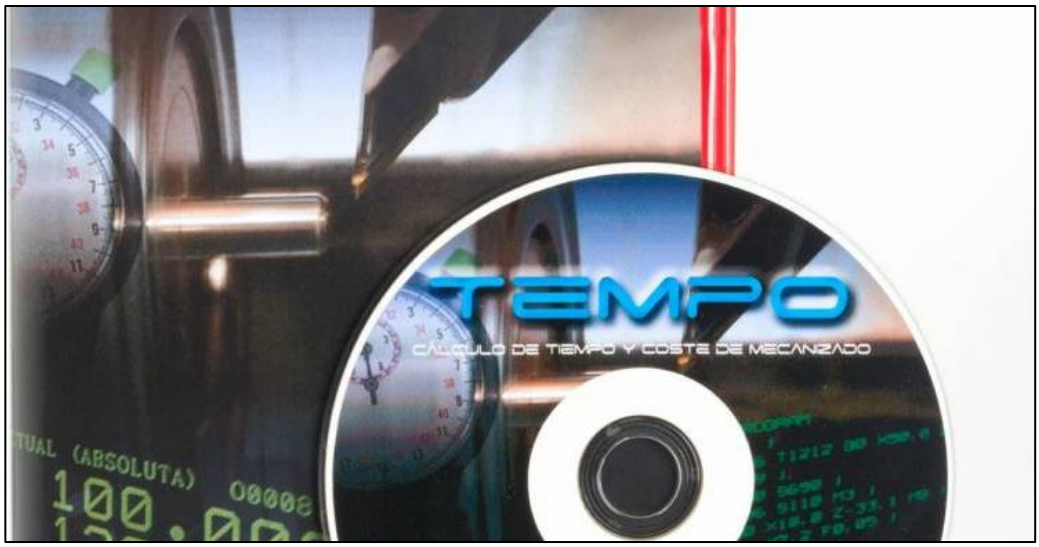


Figura 9. *Software de simulación, TEMPO*

Fuente: TEMPO

CUTPRO, software desarrollado por MAL (Manufacturing Automation Laboratories). Orientado a la obtención de las más altas tasas de arranque de materiales con el propósito de maximizar la vida útil de la herramienta y husillo a través del control de los esfuerzos de corte, en los distintos procesos de mecanizado, tanto en tres o cinco ejes, en mecanizados de alta velocidad en materiales "blandos", cuenta con seis módulos: fresado, torneado/mandrinado, taladrado, análisis modal, medida de la función de trasferencia y adquisición de datos. Como muestra su plataforma en la **Figura 10.**

Figura 10. *Módulos integrados en Cutpro*

Fuente: *Cutpro*

ACCORD MILL, es un software que usa la señal acústica grabada durante el proceso de mecanizado, para detectar la frecuencia de chatter, y determina las condiciones óptimas de mecanizado con este criterio. HARMONIZER, que a partir de la señal acústica y profundidad proporciona la velocidad optima de mecanizado. MACHINING NAVI, presenta un control de chatter online que se encuentra integrado a la máquina, y permite variar las condiciones de mecanizado, y reducir las condiciones inestables de mecanizado. Amaia Calleja, Ainhoa Celaya y Gorka Urbikain (2017).

1.3.Teorías relacionadas al tema

1.3.1. **Movimientos de las máquinas herramientas.**

La característica fundamental de las máquinas herramientas, es la de trasformar las caras de las piezas a través de la interacción entre los movimientos apropiados de la pieza y herramienta. Este movimiento se compone principalmente de dos movimientos relativos: El movimiento principal y el movimiento de avance. La herramienta de corte a través de su filo o filos remueve una porción del material el cual llamaremos viruta. En la **Figura 11,** se muestran los grados de libertad más usados, que son con los que posiblemente estén equipados las máquinas herramientas.

Los ejes X, Y y Z están asociados a los movimientos rectilíneos, A, B y C a los giros posibles de las herramientas en cada uno de los ejes respectivamente.

El eje Z se dispone paralelo al eje del husillo de la máquina que proporciona el movimiento principal, si la máquina que no tienen husillo principal Z es perpendicular a la superficie de sujeción de la pieza.

El desplazamiento positivo del eje Z incrementa la distancia entre la pieza y la porta herramientas. De donde sea posible X es horizontal y paralelo a la superficie de fijación. En las máquinas que no tienen husillo principal X es paralelo al movimiento principal, si tiene la misma dirección de este el

movimiento es positivo en X. en máquinas con movimientos rotativo en la pieza el movimiento es radial y paralelo a la cara trasversal.

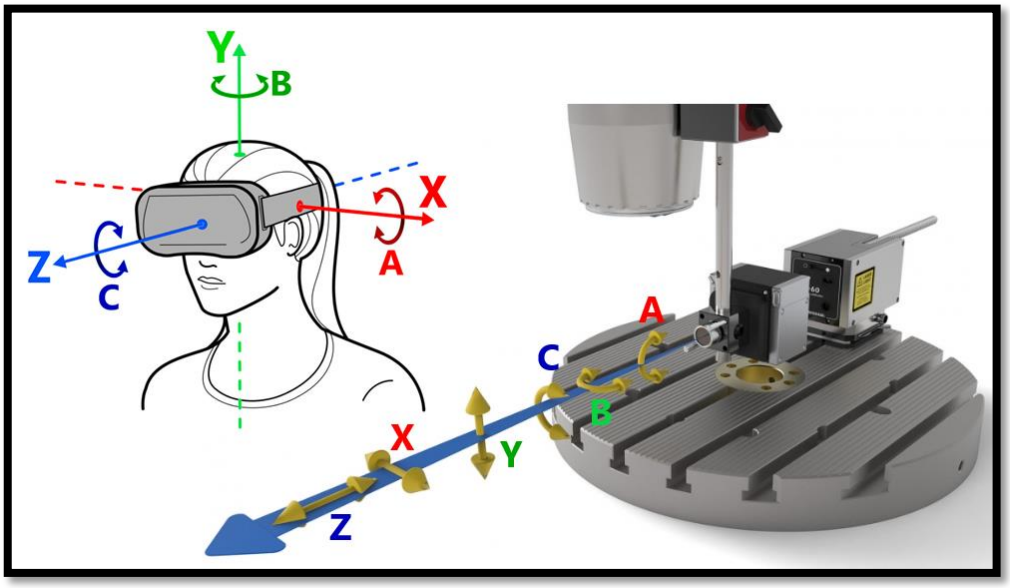


Figura 11. *Grados de libertá para las máquinas herramientas*

Fuente: *Elaboración propia*

En las máquinas con movimiento rotatorio para las herramientas se cumple que:

a. Si el eje Z es horizontal, el desplazamiento de X es positivo si va a la derecha, observado desde el husillo principal.
b. Si el eje Z es vertical, el desplazamiento de X es positivo si va a la derecha, observado desde el husillo principal hacia la columna de la máquina. El desplazamiento de Y se selecciona de tal manera que complete el sistema de coordenadas.

1.3.2. Clasificación de las máquinas herramientas

Las distintas máquinas herramientas se pueden dividir de acuerdo al número de filos que estas tienen, y tipos de material utilizado.

- Máquinas monofilo
- Máquinas multifilos
- Máquinas abrasivas

A. Máquinas herramientas monofilo

a. Torno paralelo

Consiste en una bancada horizontal que soporta el cabezal fijo, cabezal móvil o contrapunta y el carro. La pieza se sujeta en la copa de mordazas montada en la nariz del husillo principal de la máquina y es apoyado por el otro extremo a través de un punto de colocado en el cabezal móvil, este se puede bloquear en cualquier posición a lo largo de la bancada lo que permite fijar piezas de distintas longitudes.

El movimiento principal: rotación en C´ se produce a través de una caja de trasmisión ubicados dentro del cabezal fijo, las palancas del cabezal permiten seleccionar la velocidad del husillo principal impulsado por un motor eléctrico ubicado en la parte posterior de la máquina.

La herramienta monofilo se monta en el portaherramientas ubicado en el carro superior, que, a su vez esta sobre el carro longitudinal o principal, este se desplaza a lo largo de la bancada por el tornillo patrón y la barra de avances, ambas conectadas al husillo principal.

b. Torno revolver

Empleado en producción a mediana escala, reemplaza el cabezal móvil con una torre giratoria de 6 posiciones, se desplazar a lo largo de toda la bancada siendo accionada por el tornillo patrón, y ponerse en operación al rotar la torre al engranar el mecanismo de avance.

c. Tornos automáticos mono-husillo y multi-husillos

Empleados en producción en serie, de pequeñas piezas, a partir de un material en estado de barra, los movimientos son trasmitidos por levas especialmente preparadas, y las operaciones son completamente autónomas, a excepción cuando requiere material de trabajo.

d. Torno vertical

Apropiado para piezas muy pesadas y de gran diámetro, en los tornos horizontales es complicado montar la pieza entre puntos y el eje de la máquina estaría a un nivel que el operario no alcance con facilidad el mecanismo de fijación de la pieza y herramienta. Esta máquina ofrece movimiento rotacional de la pieza en C´, los movimientos de la herramienta pueden ser paralelos al eje de rotación (Z), o normales (X), las operaciones usadas en este tipo de máquina son el cilindrado (-Z), refrentado (-X) y mandrinado (-Z).

e. Taladradora horizontal (mandrinadora)

Usado en piezas que generalmente no son cilíndricas, que requieren un mecanizado cilíndrico interior (la dirección del husillo principal se define como vertical o horizontal), durante el mecanizado la pieza permanece estacionaria, los movimientos son aplican a la herramienta. Los movimientos de la máquina son para situar inicialmente la pieza, si está equipado con una porta herramientas especial se puede realizar la operación de refrentado, desplazando la herramienta radial a medida que gira. Para facilitar la fijación de la pieza cuenta con ranuras tipo “T”.

f. Limadora

El movimiento principal de este esquipo es rectilíneo, la herramienta se fija en un carro ubicado sobre el eje X que es movido por un sistema mecánico o hidráulico, desplazándose hacia adelante y hacia atrás, la velocidad de corte es menos que la velocidad de retorno, teniendo un mejor tiempo de mecanizado,

la longitud del mecanizada puede graduarse de acuerdo con la pieza a mecanizar.

g. La acepilladora (cepillo de puente)

La herramienta está montada sobre una charnela para evitar la interferencia entre la herramienta y la pieza durante la carrera de retorno, el movimiento de avance es intermitente, la pieza está sujeta a través de ranuras tipo “T”.

B. Máquinas herramientas multifilos

Las herramientas multifilos están compuestas de dos a más filos de cortantes, montados en un mismo cuerpo común, las mayorías de este tipo de herramientas son rotatorias con un vástago cónico, o tienen un agujero para montar en un árbol.

a. Taladradoras:

La herramienta de corte jira en C, y se desplaza a lo largo del eje Z, la herramienta permanece fija durante todo el proceso de mecanizado, la velocidad de corte máxima será en el borde exterior del filo principal y cero en la punta de la herramienta, las brocas en espiral se recomiendan hasta una profundidad de cinco veces su diámetro.

b. La fresadora horizontal

Se dividen según la orientación del husillo principal en horizontal o vertical, la fresa está montado sobre un árbol horizontal, la herramienta es rotatoria, y el usillo principal se desplaza en X´ y Y´. Las fuerzas experimentadas y potencia consumida son menores en el fresado a favor del avance, que en contra de este. Sin embargo, para este mecanizado se requiere una gran rigidez de la máquina y la sujeción de la pieza. Las principales operaciones de mecanizado son fresado de formas, ranurado, fresado compuesto, fresado angular.

c. La fresadora vertical

Las operaciones en esta máquina se pueden realizar en superficies inclinadas, horizontales y verticales, los movimientos de avance en este equipo se pueden realizar en el eje vertical con ascenso y descenso del cabezal, en el eje horizontal y vertical, con el desplazamiento de la bancada.

d. La brochadora

La máquina en lo general hidráulica proporciona el movimiento principal entre la pieza y herramienta, el avance es logrado al escalonamiento de los dientes. Este tipo de mecanizado es usado para la producción de agujeros no circulares en un gran número de piezas.

C. Máquinas herramientas abrasivas (rectificadoras)

a. Muelas abrasivas

Son por lo general de forma de disco o cónicas, tienen un usillo que gira a altas velocidades, sobre la cual se monta la muela abrasiva. La potencia es suministrada por un motor eléctrico. La muela esta echa de granos individuales (oxido de aluminio o carburo de silicio), aglutinados apropiadamente. Usado principalmente para el acabado superficial. El movimiento principal en este mecanizado será la rotación de la muela.

b. Rectificadora plana de husillo horizontal

El avance principal es el movimiento trasversal (trasmisión hidráulica), otros movimientos que se aplican son: profundidad (cabezal), lateral (mesa). En una operación de rectificado donde la muela avanza normal a la superficie de trabajo al finalizar existe una operación llamada “extinción de chisporroteo”

que se logra aplicando la operación sin avance hasta que el material removido sea insignificante. Al tiempo para la extinción del chisporroteo se le llama $\mathbf{t_s}$.

c. Rectificadora plana de husillo vertical

Funcionamiento similar a la rectificadora horizontal, este equipo utiliza una muela de copa, la mesa es movida intermitentemente en X´ (avance trasversal), y la herramienta tiene un avance en profundidad, generando una superficie plana, también al finalizar necesita t_s.

d. Rectificadora cilíndrica

La pieza de trabajo es colocada entre puntos conectados al cabezal, el cual gira lentamente en C´, conectado al contrapunto sobre una mesa que se desplaza horizontalmente con accionamiento hidráulico. El husillo de rectificar es paralelo al eje de rotación de la pieza y puede aplicar avance de profundidad en –X al cabezal de rectificar.

e. Rectificado cilíndrico de interiores

La muele trabaja en un eje horizontal y se desplaza en una dirección paralela al husillo (movimiento en Z). La pieza es montada en un plato de sujeción y esta gira (movimiento C´). Se monta en el cabezal muelas pequeñas que giran a gran velocidad, este se desplaza con un movimiento horizontal y con dirección normal al husillo rectificador (movimiento en X) llamado movimiento de penetración.

D. Equipos CNC

Las máquinas CNC han sido desarrolladas para poder utilizar las distintas herramientas, con instrucciones a través de protocolos introducidos por computadora en la generación de prototipos a partir de software CAD/CAM (incluido las impresoras 3D).

La tecnología de las máquinas herramientas con control numérico computarizado (MHCN) también llamadas máquinas CNC que se han venido implementando con gran éxito en la industria del mecanizado, al incrementarse la productividad, eficiencia, precisión, disponibilidad y flexibilidad de las MHCN. Así su aplicación a permitido el proceso de mecanizado de piezas muy complejas, en distintas áreas de la industria como la aeronáutica, que son difícilmente maquinadas en equipos convencionales.

El desarrollo abierto del sistema CN basados en la ISO 6983 (International Standarization Organization) y EIA RS274 (Electronic Industries Association), que aportan importantes beneficios a los desarrolladores de esta tecnología y fabricantes, como también a los usuarios finales, pues de esta forma se reducirán los costos de desarrollo, adaptación, puesta en marcha, formación, documentación y mantenimiento.

Tipos de máquinas CNC

Las máquinas CNC normalmente se clasifican en una de dos categorías generales:

Tecnologías de mecanizado convencionales:

Drill Bit Drills: Son taladros que funcionan girando una broca y moviendo la broca alrededor de un bloque estacionario de material.

Lathe Bit Lathes: Son tornos, a la inversa de los taladros, que giran el bloque de material contra la broca (en lugar de girar la broca y ponerla en contacto con el material). Los tornos normalmente hacen contacto con el material, moviendo lateralmente una herramienta de corte hasta que toca progresivamente el material que gira.

Milling Bit Milling Machines: Son las fresadoras, que probablemente son las máquinas CNC más comunes en uso hoy en día. Implican el uso de herramientas de corte rotativas para eliminar el material de la unidad original.

Tecnologías de mecanizado novedosas:

Mecanizado eléctrico y/o químico: Existe una serie de tecnologías novedosas que utilizan técnicas especializadas para cortar material. Los ejemplos incluyen el mecanizado por haz de electrones, el mecanizado electroquímico, el mecanizado por descarga eléctrica (EDM), el mecanizado fotoquímico y el mecanizado por ultrasonido La mayoría de las tecnologías mencionadas, son altamente especializadas y se utilizan en casos especiales para la producción en masa que involucra un tipo particular de material.

Otros medios de corte: Una serie de otras tecnologías novedosas, utilizan diferentes medios para cortar material. Los ejemplos incluyen: máquinas de corte por láser, máquinas de corte por oxicombustible, máquinas de corte por plasma y tecnología de corte por chorro de agua.

1.3.3. Formación de viruta en los metales

La formación de la viruta depende de la deformación cortante que ocurre dentro de una zona delgada de corte de unos milímetros, en segundo lugar, interfiere el corte que se presenta entre la viruta y la herramienta de trabajo al deslizarse por la misma. Por último, el material que se está maquinando con las condiciones de corte.

A. Viruta continua: cuando se máquina materiales dúctiles con altas velocidades con avance y profundidades pequeñas (un borde bien afilado y una baja fricción entre herramienta-viruta) esto conlleva a un buen acabado superficial.

B. Viruta discontinua: cuando se cortan materiales relativamente frágiles con bajas velocidades, la viruta se forma de en segmentos separados, produciendo una superficie de acabado irregular, los avances y profundidades grandes ocasionan una alta fricción entre herramienta viruta producen este tipo de viruta.

C. Viruta continúa con acumulación en el borde: al maquinar materiales dúctiles a velocidades medias o bajas de corte, la fricción de la herramienta con la viruta ocasionan una adhesión de material de trabajo cerca del filo de la herramienta, gran parte de esta acumulación es retirada por la viruta, en ocasiones se desprenden partes de cara inclinada de la herramienta reduciendo su tiempo de vida de esta, y algunas porciones se incorporan en la superficie recién generada, ocasionando una superficie rugosa.

D. Viruta dentada: este tipo de viruta es semi-continua, la viruta tiene una apariencia de cierra producto de la formación cíclica de viruta de alta resistencia alternada con baja resistencia al corte. Este tipo de viruta está asociada a materiales muy difíciles de cortar y en materiales comunes con velocidades de corte elevadas.

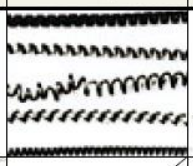
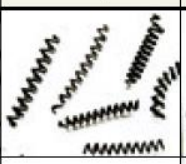
Tipo	A Tipo	B Tipo	C Tipo	D Tipo	E Tipo
Baja profundidad de corte d <.276"					
Profundidad de corte alta d=.276"–.591"					
Longitud del rizo l	Sin rizo	l≥2plgs	l≤2plgs 1–5 Rizo	≒ 1 Rizo	1 Rizo–medio rizo
Nota	●Forma irregular continua ●Viruta enredada entre la herram-ienta y la pieza	●Forma continua y regular ●Viruta larga	Bien	Bien	●Dispersión de las virutas ●Vibración ●Mal acabado superficial ●Máximo

Figura 12. *Formación de viruta de acuerdo a la velocidad y profundidad del mecanizado*

Fuente: Informacon técnica (Anexo 6)

1.3.4. Relación de la potencia y energía en el mecanizado

La interacción de la fuerza y velocidad de corte dan como resultante la energía por unidad de tiempo para el mecanizado, y teniendo en cuenta la eficiencia de la máquina la potencia requerida en el proceso de mecanizado es:

$$P_R = \frac{P_C}{E} = \frac{F_C * v}{E} \ldots\ldots (1)$$

P_R: potencia real (W)

P_C: potencia de corte (J/s)

F_C: Fuerza de corte (N)

v: Velocidad de corte (m/s)

E: Eficiencia (eficiencia global del equipo)

Es de gran utilidad conocer la energía específica, la obtenemos al hallar la resultante de la potencia por unidad de volumen de corte de metal, también llamada potencia unitaria o potencia especifica.

$$P_U = \frac{P_C}{R_{MR}} = \frac{F_C * v}{v * t_0 * w} \ldots\ldots (2)$$

P_U: potencia unitaria (N-m/mm^3)

P_C: potencia de corte (W)

R_{MR}: taza de remoción de material (mm^3/s)

t_0: Espesor de viruta (mm)

w: Ancho de corte (mm)

1.3.5. **Análisis geométrico físico de los procesos de manufactura**

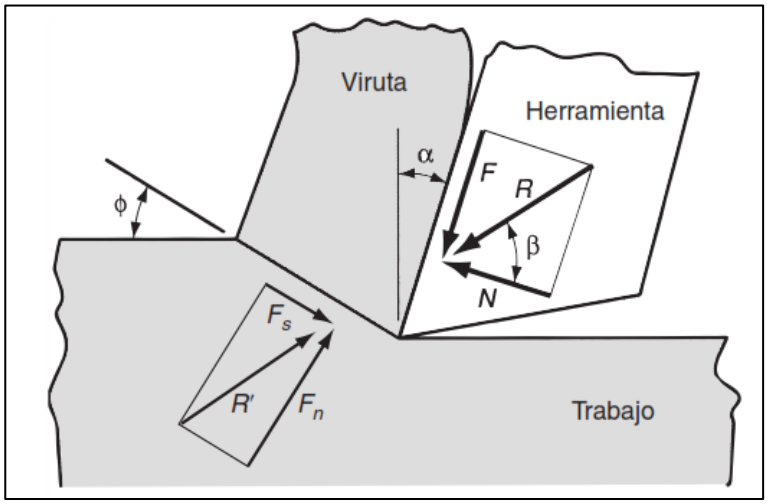


Figura 13. Fuerza de cizalladura (Fs) y fuerza normal de cizalladura (Fn).

Fuente: Fundamentos de la Manufactura moderna, Mikell P. Groover. Pág.: 481-589.0

Durante el proceso de mecanizado la herramienta de corte se coloca a una profundidad, esta corresponde al espesor de la viruta en la **Figura 12, 13** se realiza un análisis geométrico bidimensional para la deformación en la viruta y las fuerzas que actúan en el proceso de mecanizado, la descomposición de las y acción de cada una de ellas, de la cual se parte para el fundamento matemático de la fuerza de cizalladura, normal a cizalladura, la fuerza de corte del material y la fuerza de empuje que es efectuada sobre la viruta durante el proceso de mecanizado. En la **Figura 14,** se realiza un diagrama de cuerpo libre para poder deducir en función del ángulo de incidencia, cizalladura, y la relación con el ángulo medio de fricción.

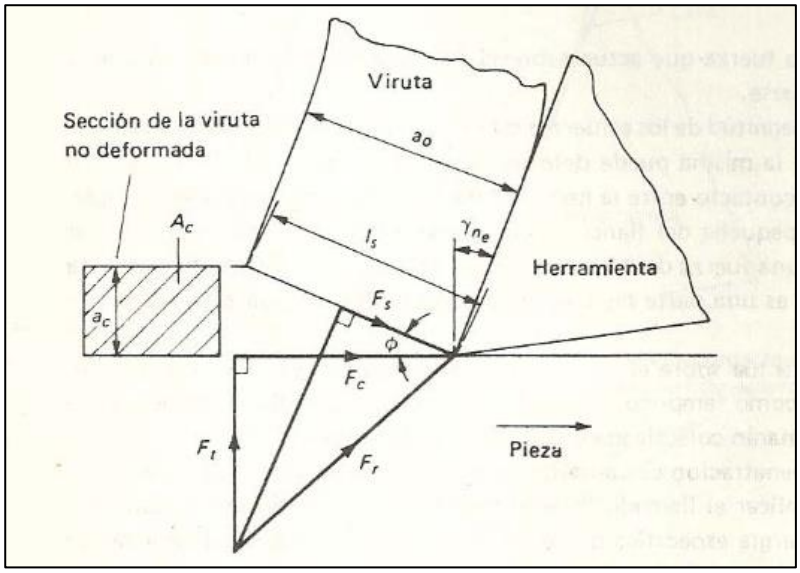


Figura 14. *Fuerza de corte (Fc) y fuerza de empuje (Ft).*

Fuente: Fundamentos de la Manufactura moderna, Mikell P. Groover. Pág.: 481-589.

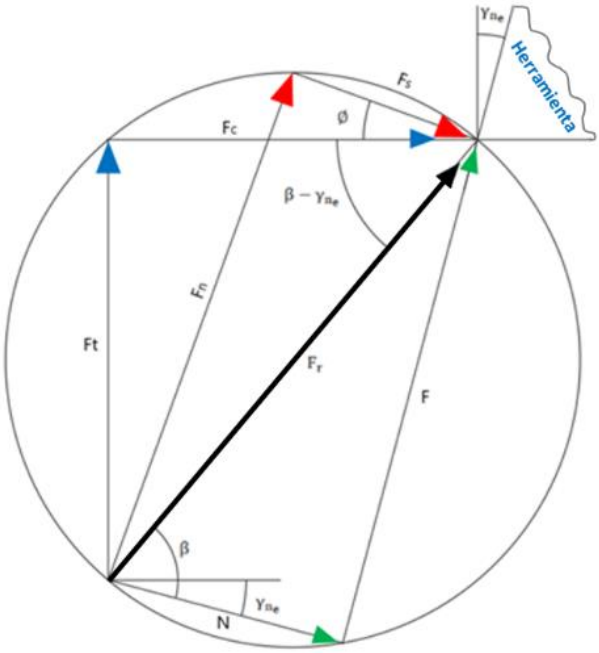


Figura 15. *Diagrama de cuerpo libre en la que se relaciona geométricamente entre F, N, F_c, F_n, F_C y F_t*

Fuente: Fuente propia

. El ángulo de inclinación del plano de cizalladura con respecto al plano de corte, se denomina ángulo de corte. De donde podemos concluir que:

$$l_s = \frac{a_C}{\sin(\emptyset)} = \frac{a_0}{\cos(\Phi - \gamma_{n_e})} \quad \ldots\ldots. (3)$$

Teniendo en cuenta la relación de corte $r_c = a_c/a_o$.

$$\tan \emptyset = \frac{\left({}^{a_C}/_{a_0}\right) * \cos \gamma_{n_e}}{1 - \left({}^{a_C}/_{a_0}\right) * \sin \gamma_{n_e}} = \frac{r_C * \cos \gamma_{n_e}}{1 - r_C * \sin \gamma_{n_e}} \quad \ldots\ldots. (4)$$

l_s: Longitud del plano de cizalladura (mm)

Φ: Ángulo de cizalladura

a_c: Espesor de viruta no deformada (mm)

a_o: Espesor de viruta (mm)

r_c: Módulo de relación de corte

γ_{n_e}: Ángulo de inclinación normal efectiva

Los valores del ángulo de inclinación normal efectivo y el espesor de la viruta son datos que se pueden medir durante el mecanizado, el espesor de viruta se puede calcular de la siguiente ecuación:

$$a_0 = \frac{m_c}{l_C * a_w * \rho} \quad \ldots\ldots. (5)$$

a_o: Espesor de viruta (mm)

m_c: Masa de muestra de viruta (gr)

a_w: Ancho de viruta (mm)

p: Densidad del material (gr/mm^3)

l_c: Longitud de la pieza (mm)

Las fuerzas que intervienen durante el mecanizado se pueden apreciar en la figura 14 se muestran las fuerzas que actúan sobre la herramienta, en la viruta y las fuerzas que se pueden medir durante el corte.

Las fuerzas resultantes sobre la herramienta, se grafica sobre el plano de cizalladura, obteniendo la fuerza de cizalladura (F_s) y fuerza normal de cizalladura (F_n), estas fuerzas se pueden expresar en términos de la fuerza de corte (F_c) y fuerza de empuje (F_t).

$$F_s = F_c * \cos(\emptyset) - F_t * \sin(\emptyset) \quad \ldots\ldots. (6)$$

$$F_n = F_c * \sin(\emptyset) + F_t * \cos(\emptyset) \quad \ldots\ldots. (7)$$

Área de cizalladura está dado por:

$$A_s = \frac{a_c * w}{\sin(\emptyset)} = \frac{A_C}{\sin(\emptyset)} \quad \ldots\ldots. (8)$$

A_s: Área de cizalladura

Resistencia aparente a la cizalladura t_s está dado por:

$$t_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{[F_c * \cos(\emptyset) - F_t * \sin(\emptyset)] * \sin(\emptyset)}{A_c} \quad \ldots\ldots. (9)$$

t_s: resistencia aparente a la cizalladura (N/mm)

F_s: Fuerza de cizalladura (N)

A_s: Área de cizalladura (mm^2)

A_c: Área de cizalladura sin cortar (mm^2)

F_t: Fuerza empuje (N)

F_c: Fuerza de corte (N)

Fuerza de penetración

Las fuerzas que actúan sobre el filo de la herramienta y las que actúan sobre el flanco, no contribuyen a la remoción de materiales, a estas fuerzas se les denominan fuerza de penetración. Esta fuerza explica el "efecto tamaño" que es el aumento de la energía especifica de corte con la disminución del espesor de la viruta, la fuerza de penetración es constante.

$$F'_r = F_r - F_p \quad \ldots\ldots (10)$$

$F'_r =$ La fuerza requerida para remover la viruta que actúa sobre la cara de la herramienta.

1.3.6. Ecuación de Ernst y Merchant

Su teoría se basa que durante la deformación de corte hay un ángulo de cizalladura $\emptyset$ que toma el valor mínimo de trabajo requerido en el corte que es proporcional a F_c, es necesario expresarlo en función de $\emptyset$, derivamos e igualamos a cero para hallar F_c mínimo, está dado por:

$$F_S = F_r * \mathrm{Cos}\left(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e}\right) \ldots\ldots (11)$$

Donde:

F_S= Fuerza de cizalladura (N)

F_r = Fuerza resultante (N)

β = ángulo medio de fricción entre la viruta y la herramienta

$\emptyset$ = ángulo de cizalladura

γ_{n_e} = ángulo de inclinación efectivo

$$\beta = \arctan\left({F_t}/{F_n}\right) \ldots\ldots (12)$$

Si la relacionamos con la resistencia de cizalladura podemos concluir

$$F_S = \frac{\tau_s A_c}{\sin(\emptyset)} \frac{\cos(\beta - \gamma_{n_e})}{\cos(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})} \ldots\ldots (13)$$

$$2\emptyset + \beta - \gamma_{n_e} = {\pi}/{2} \ldots\ldots (14)$$

τ_s = Resistencia de cizalladura

Merchant encontró consistencia en los resultados predichos y los obtenidos experimentalmente en plásticos sintéticos, no ocurría lo mismo para aceros mecanizados con herramientas de carburo sintetizado, considero que la resistencia al cizallado del material aumenta linealmente con el aumento en el esfuerzo normal σ_s. Para un esfuerzo normal igual a cero $\tau_s = \tau_{s0}$,

$$\tau_s = \tau_{s0} + k\sigma_s \ldots\ldots (15)$$

Colocando a τ_s en función de $\emptyset$ se demuestra que τ_s puede ser afectado por $\emptyset$. Dado esto se obtiene una nueva ecuación F_c en función de $\emptyset$.

$$\tau_s = \frac{\tau_{s0}}{1 - k * \tan(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})} \ldots\ldots (16)$$

$$F_c = \frac{\tau_{s0} * A_c \cos(\beta - \gamma_{n_e})}{\sin(\emptyset)\cos(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e}) * [1 - k\tan(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})]} \ldots\ldots (17)$$

F_c: Fuerza de corte (N)

τ_{so} = Resistencia de cizalladura

A_c = Área de cizalladura sin cortar (mm^2)

β = ángulo medio de fricción entre la viruta y la herramienta

$\emptyset$ = ángulo de cizalladura

γ_{n_e} = ángulo de inclinación efectivo

Se supone que k, τ_{s0} son constante para los materiales y β, γ_{n_e} lo son para las operación de mecanizado, se obtiene una nueva ecuación para el valor de $\emptyset$.

$$2\emptyset + \beta - \gamma_{n_e} = C = \text{arc cot}(k) \text{ …... (18)}$$

C: constante que depende de las propiedades del material de trabajo

1.3.7. Fricción en el corte de metales

La fricción aplicada sobre la cara de una herramienta afecta la geometría del proceso de corte, el coeficiente de fricción es susceptiblemente independiente de la velocidad de corte o desplazamiento. Al entrar en contacto el material de trabajo y la herramienta, aplicando una fuerza normal a los puntos de asperezas en contacto fluyen, aumentando el área de contacto asta legar a soportar la carga aplicada A_r.

$$A_r = \frac{F_n}{\sigma_y} \text{ …... (19)}$$

A_r = Área real de contacto

F_n = Fuerza normal

σ_y = Resistencia a la fluencia del material más blando

$$\mu = \frac{F_f}{F_n} = \frac{t_f}{\sigma_y} = \tan\beta \text{ …... (20)}$$

μ = coeficiente de fricción

t_f = Resistencia a la cizalladura

σ_y = Resistencia a la fluencia del material más blando

F_n = Fuerza normal

F_t = Fuerza total a la fricción

β = ángulo medio de fricción entre la viruta y la herramienta

El coeficiente medio de fricción en la cara de herramienta.

$$\beta = arc\tan\left(\frac{\tau_{st}}{\sigma_{fav}} * \frac{\left[1+y\left({}^{l_{st}}/_{l_f}\right)\right]}{1+y}\right) \ldots\ldots (21)$$

1.3.8. Temperatura de corte de metales

En los procesos de corte de metales, se producen elevadas temperaturas de trabajo principalmente en la región del filo de la herramienta, estas condiciones de trabajo elevadas tienen influencias sobre el desgaste de la herramienta, y fricción entre viruta y la herramienta. Casi el 98% de la energía consumida en el proceso de corte se convierte en calor, pudiendo superar fácilmente a los 600 °C, la energía restante se trasfiere a la energía elástica de la viruta.
Los efectos de elevadas temperaturas en las herramientas de corte.

Reduce la vida útil de la herramienta.

La viruta a altas temperaturas que se desprende de la pieza representa un riesgo para el operador.

La expansión térmica del material de trabajo, produce imprecisiones en las dimensiones de la pieza.

$$\Delta T = \frac{0.4P_m}{\rho C}\left(\frac{vt_0}{K}\right)^{1/3} \ldots\ldots (22)$$

ΔT = Variación de la temperatura en la interface herramienta-viruta (°C)

P_m = Energía especifica en la operación

ρC = Calor especifico volumétrico del material de trabajo

v = Velocidad de corte

t_0 = Espesor de viruta antes del corte

K = Difusividad térmica del material de trabajo

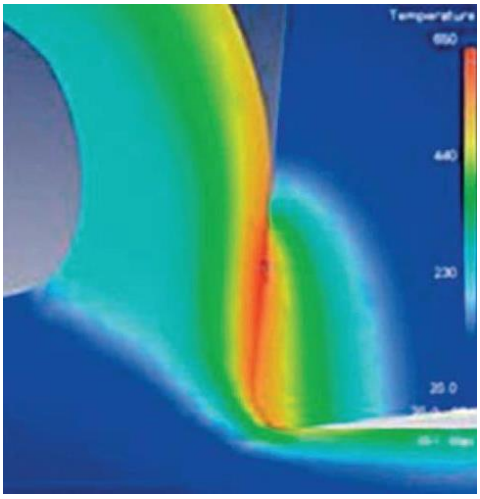


Figura 16. *Distribución de la temperatura en la pieza, viruta y herramienta.*

Fuente: *Interempresas.net/ Metalmecanica*

Hoffmann Group es una compañía dedicada al diseño, fabricación, distribución de herramientas de mecanizado, en los estudios que realizaron pudieron demostrar que los materiales con alta dureza pierden propiedades a elevadas temperaturas, un material pierde entre 30-35% de dureza al superar los 700 °C, temperatura a la cual se alcanza fácilmente en el mecanizado de piezas, como podemos observar en el proceso de mecanizado en la **Figura 15.**

1.3.9. Fluidos de corte

Son fluidos utilizados en el proceso de mecanizado, se aplican a la zona de formación de la viruta, con el propósito de mejorar las condiciones de corte, estos pueden tomar distintas formas que dependen del material de trabajo, la herramienta y las condiciones de mecanizado, los fluidos refrigerantes usados por lo general tienen base en aceites minerales y vegetales. Que se pueden aplicar en disolución acuosa a su mayor capacidad de conducción térmica, los aceites no disueltos son usados cuando es más importante la lubricación.

Con la utilización de los refrigerantes en los procesos de corte se obtienen las ventajas:

- Un aumento en la vida útil de la herramienta por la reducción de la temperatura en la zona del filo
- Reducción en la distorsión térmica debido a los gradientes de temperatura generados dentro de la pieza durante el mecanizado.
- Manejo más fácil de la pieza terminada.

El uso de refrigerante en los procesos de corte de metales, puede reducir la fricción en la cara de la herramienta, esto conlleva a una reducción en la potencia consumida, un incremento en la vida útil de la herramienta, y un mejor acabado superficial al disminuir la presencia de los filos recrecidos. Las características de un refrigerante sugieren que para un compuesto químico puro pueda actuar de forma eficiente son:

- Tener moléculas pequeñas → permitir una difusión rápida y penetración más profunda en la interface herramienta-viruta.
- Lubricante debe reaccionar con el material de trabajo (Pieza), para que bajo las condiciones del mecanizado y formen un compuesto nuevo con una resistencia a la cizalladura limite menor.
- El nuevo compuesto formado en la interface herramienta-viruta requiere menor potencia de mecanizado disminuyendo la temperatura en la herramienta.
- El lubricante debe contener un ingrediente reactivo apropiado que a reaccionar con el material de la pieza para descomponerse bajo las temperaturas y presiones existentes en la interface herramienta-viruta.

El Tetracloruro de cloro ($C\text{-}Cl_4$), Tricloroetano ($CH_3C\text{-}Cl_3$) y otros hidrocarburos clorinados son muy efectivos a velocidades bajas, la desventaja de estos compuestos es su alto nivel de toxico.

Los efectos de los refrigerantes y/o lubricantes son principalmente visibles en los procesos de taladrado, el desgaste de la herramienta por unidad de tiempo es extremadamente sensible a la variación de temperatura en la región de la superficie desgastada.

Tabla 2. Características de los fluidos de corte

Fuente: Elaboración propia

FLUIDOS DE CORTE	
Lubricante soluble	Lubricante no solubles
Solubles en H_2O	Suelen requerir adictivos
Efecto principal de refrigerante 90%	Efecto principal lubricante
Efectivo a velocidades Cilindrados Escareado Refrentado	Velocidades bajas Roscado Brochado Fresado de engranajes

Observación: para el mecanizado de plomo, no es recomendado el uso del tetracloruro ($C\text{-}Cl_4$), porque al reaccionar con el plomo se forma Cloruro de plomo, que tiene una mayor resistencia a cizalladura que el mismo plomo.

1.3.10. Vida de la herramienta

A. Fallas de la herramienta de corte:

a. **Falla por fractura:** la fuerza de corte resultante es excesiva en la punta de la herramienta

b. **Falla por temperatura**: la temperatura de corte es demasiado elevada para el material de corte, teniendo como efectos el ablandamiento de la punta, deformación plástica, pérdida de filo.

c. **Desgaste gradual**: desgaste gradual del borde de cortante, ocasionando pérdidas en la forma de la herramienta, produciendo perdida en la eficiencia de corte, desgaste acelerado de la herramienta, ocasionando como falla final una semejante a la falla por temperatura.

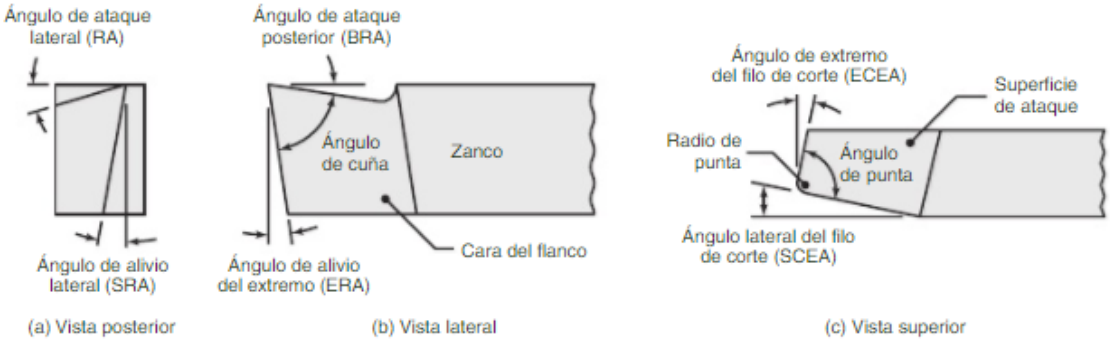


Figura 17. *Designación de herramienta de corte derecho, con un avance de la herramienta de derecha a izquierda.*

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, 5ta edición.

B. Configuración geométrica de las herramientas de una punta:

Partes de la herramienta de corte:

a. **Cara:** superficie(s) por la cual fluye la viruta.
b. **Flanco:** superficie de la herramienta por donde pasa la superficie recién generada en la pieza.
c. **Filo:** parte de la herramienta que realiza el corte.
   1. **Filo principal:** es la parte del filo que ataca la superficie transitoria de la pieza.
   2. **Filo secundario**: parte restante del filo de la herramienta.

En la herramienta de una punta la orientación de la cara está dado por los ángulos ángulo de inclinación posterior (α_b) y ángulo de inclinación lateral (α_s) estos mismos tienen influencia en la dirección del flujo de viruta sobre la cara, la superficie del flaco se determinada por ángulo de incidencia frontal (ERA) y el ángulo de incidencia lateral (SRA.), el ángulo del filo de corte lateral (SCEA) determina la entrada de la herramienta en el material, con ella se puede reducir la fuerza repentina que experimenta la herramienta al entrar en la pieza. El radio de la nariz (NR) determina la textura de acabado. El ángulo de filo de corte

frontal (ECEA) proporciona un claro entre el borde de salida y la herramienta reduciendo la fricción contra la superficie.

C. Desgaste progresivo de la herramienta:

En el proceso de corte de metales, el desgaste se presenta de tres formas: por adhesión, por abrasión y por difusión.

El desgaste por adhesión es el resultado de la fractura entre el efecto de la soldadura entre el material de trabajo y la herramienta por el efecto del mecanismo de fricción, arrastrando pequeñas partículas de la herramienta y generando una nueva cara en la herramienta.

El desgaste por abrasión es el desgaste de la herramienta por partículas endurecidas localizadas en la viruta pasan sobre la superficie de la herramienta removiendo parte de la herramienta, estas partículas endurecidas pueden ser parte del filo recrecido de la herramienta y endurecido por la deformación o constituyentes duros del material de trabajo.

El desgaste por difusión, es un fenómeno de la cristalización metálica, se desplaza de una región de concentración atómica alta a una de concentración baja, este método depende de la temperatura existente en el proceso de mecanizado, la difusión ocurre en los puntos donde los átomos se desplazan desde el material de la herramienta al material de trabajo. El proceso que ocurre en la superficie de contacto, debilitando la estructura superficial de la herramienta, a este fenómeno se le considera el desgaste por difusión.

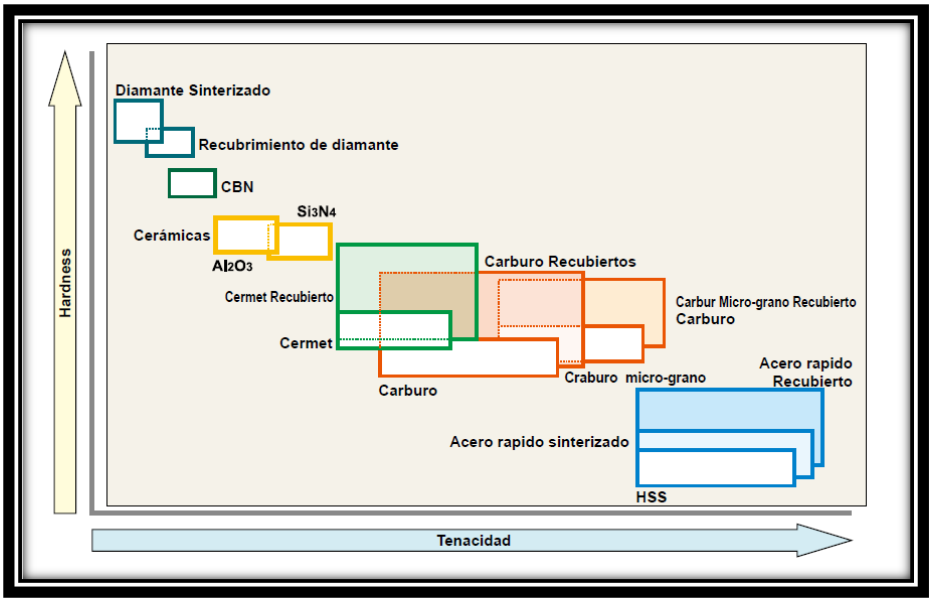


Figura 18. *Grados de las herramientas. Relación de dureza en el eje vertical y la tenacidad en el eje horizontal.*

Fuente: Información técnica.

En la **Figura 17,** se observa la distribución de las herramientas en relación a su dureza y tenacidad, en el mercado las herramientas de carburo cementado, carburo recubierto, y el cermet con base a TiC-TiN son las herramientas más usadas, debido a sus propiedades balanceadas entre dureza y tenacidad.

1.3.11. Ecuación de Taylor

Es una relación entre la velocidad de corte y el tiempo de vida útil de la herramienta, teniendo en cuenta las condiciones del mecanizado, el tiempo de vida de la herramienta se puede obtener para una herramienta en específico al mecanizar una pieza en particular, a través de experimentación o por datos publicados por procesos de mecanizado anteriormente. El factor "n" depende del material de la herramienta.

$$\mathrm{vt}^{\mathrm{n}} = V_{ref}(\mathrm{t_{ref}}^{\mathrm{n}}) = C \ldots\ldots (23)$$

v = velocidad de corte, m/min,

v_{ref} = velocidad referencial de corte, m/min,

t = vida de la herramienta,

t_{ref} = vida de herramienta de referencia, min,

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

1.3.12. Optimización de los parámetros de corte por velocidad de corte

Bajo un análisis de máxima de la velocidad de producción

La duración del tiempo de ciclo (t_C) de mecanizado está dado por la ecuación 19 que se encuentra en función a la velocidad de corte

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... (24)}$$

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

N_t = número de herramientas usadas

N_b = número de piezas mecanizadas durante la vida de la herramienta

t_{ct} = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

Para el proceso de cilindrado en un torno quedaría de la siguiente manera:

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D * L}{v * f} + \ t_{ct} * \frac{\pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... (25)}$$

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

t_{ct} = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

t_c = Tiempo de ciclo de producción por pieza

La duración del ciclo del mecanizado por pieza sea mínima se necesita la velocidad de corte sea la más efectiva, por lo cual la deriva de la ecuación se iguala a cero.

$$\frac{dt_c}{dv} = 0 \rightarrow \; v_{max} = \frac{C}{\left[\left(\frac{1}{n}-1\right)t_t\right]^n} \quad < {}^{m}/_{min} > \ldots\ldots (26)$$

De la misma forma el tiempo de vida para la herramienta a la velocidad máxima de producción máxima es:

$$t_{max} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) t_t \; \ldots\ldots (27)$$

1.3.13. Optimización de los parámetros de corte por costo de corte

Minimización del costo por unidad

Considerando los costos por el tiempo del manejo de la pieza, el costo por el tiempo de mecanizado, el costo de cambio de herramienta durante cada mecanizado, y el costo de la herramienta en unidad de corte (costo de la herramienta entre el número de mecanizados), consideraremos el costo de afilado de la herramienta y el tiempo requerido para este.

La suma de estos costos en función a velocidad de mecanizado está dada por el corte de costo que se expresa de la siguiente expresión:

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \; \ldots\ldots (28)$$

La forma desarrollada de la ecuación cuando se aplica al proceso de cilindrado seria:

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D * L}{v * f} + \frac{(C_0 t_{ct} + C_T) * \pi * D * L * v^{1/n - 1}}{f * C^{1/n}} \ldots\ldots (29)$$

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

N_t = número de herramientas usadas

N_b = número de piezas mecanizadas durante la vida de la herramienta

t_{ct} = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

C_O = Taza de costo

C_1 = Taza de costo de mecanizado

C_T = Costo de herramienta por mecanizado

El costo del ciclo del mecanizado por pieza sea mínimo se necesita la deriva de la ecuación es igual a cero.

$$\frac{dC_c}{dv} = 0 \rightarrow v_{min} = C\left[\frac{n}{1-n}\frac{C_0}{C_0 t_t + C_T}\right]^n \quad < {}^{m}/_{min} > \ldots\ldots (30)$$

De la misma forma el tiempo de vida para la herramienta a la velocidad mínima de producción es:

$$t_{min} = \left(\frac{1}{n} - 1\right)\left(\frac{C_0 t_t + C_T}{C_0}\right) \ldots\ldots (31)$$

1.3.14. Acabado superficial

El efecto del radio de la herramienta conjuntamente con el avance, producen una superficie rugosa que se puede predecir. Esta ecuación se aplica para el torneado, cepillado y perfilado.

$$R_i = \frac{f^2}{32NR} \ldots\ldots (32)$$

Para los fresados de placas, cuando se producen caras planas se aplica la relación:

$$R_i = \frac{0.125 f^2}{(D/_2) \pm f * n_t/\pi} \ldots\ldots (33)$$

$f =$ Avance

$NR =$ Radio de la herramienta

$D =$ Diámetro de la herramienta

$n_t =$ Numero de dientes

Los factores que influyen en el acabado superficial, constituyendo conjuntamente el acabado superficial resultante en el material de trabajo.

- El efecto de vibración en los distintos equipos de mecanizado.
- Grado de precisión en los distintos movimientos del equipo.
- Irregularidad o desperfectos en el mecanismo de avance.
- Formación de viruta discontinua en el mecanizado de materiales frágiles.
- Ruptura del material de trabajo, cuando se procesan materiales dúctiles.

1.3.15. MATrix LABoratory estudiantil

Es un programa utilizado por investigadores, ingenieros y científicos, con el objetivo de procesar y analizar datos, diseñar y analizar productos. El lenguaje de MATrix LABoratory estudiantil que se encuentra basados en matrices, es óptimo para procesar las matemáticas computacionales, esto lleva a que se use en procesamiento de imágenes y señales, visión artificial, comunicaciones, se aplica también para un aprendizaje autónomo, financias computacionales,

diseño de control, robótica, termodinámica entre otros campos de investigación. En la **Figura 18.** Se observa los gráficos integrados, permiten la comprensión de datos y la obtención de información.

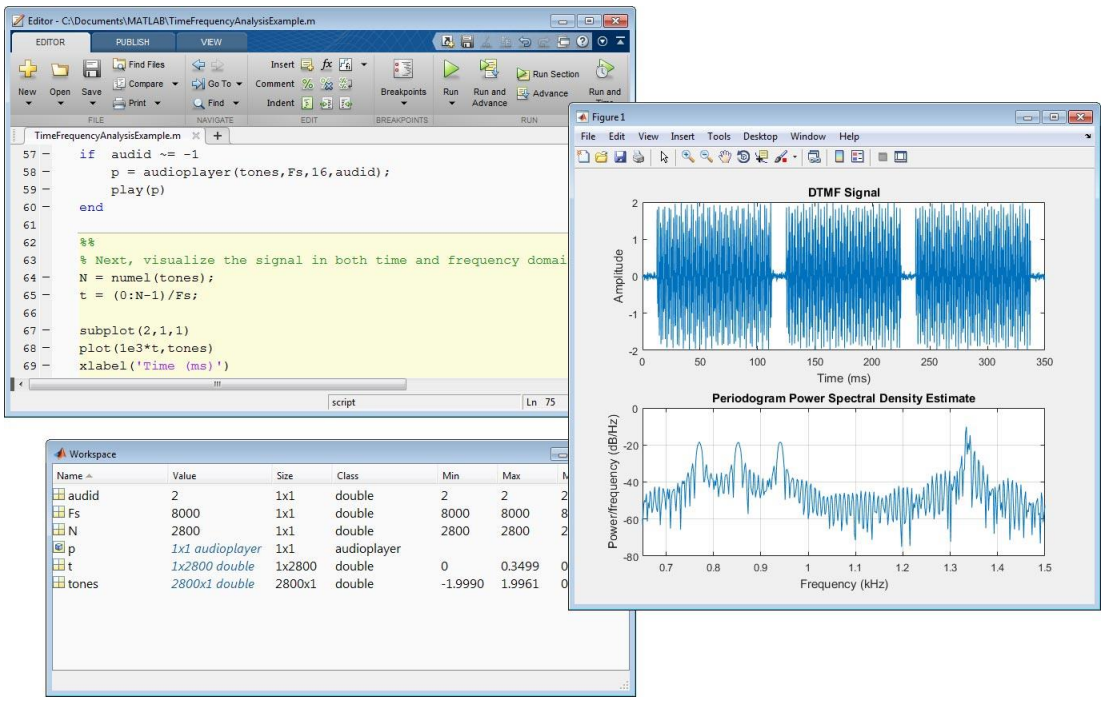


Figura 19. *Análisis de datos y desarrollo de algoritmos, con un entorno de escritorio para su manera apropiada de trabajo.*

Fuente: MATrix LABoratory estudiantil

La interface del programa motiva a explorar, experimentar y descubrir las distintas herramientas y prestaciones con que cuenta el programa, diseñada para trabajar conjuntamente. El uso de apps dé MATrix LABoratory estudiantil, permite el desarrollo de actividades ingenieriles sin la necesidad de programar, permite la interacción con algoritmos para poder visualizar cómo funcionan y obtener los resultados deseados.

Se observa en la **Figura 19,** las distintas herramientas de MATrix LABoratory estudiantil permitiendo la integración de trabajos entre distintos investigadores con un objetivo común, siendo posible crear y unir apps y Toolbox de MATrix LABoratory estudiantil personalizadas para compartir con

los distintos usuarios, permite el uso de distintos lenguajes de programación y el uso de algoritmos y aplicaciones en sistemas web. Permite convertir algoritmos a códigos C, PLC y HDL para ejecutarlos en equipos embebidos.

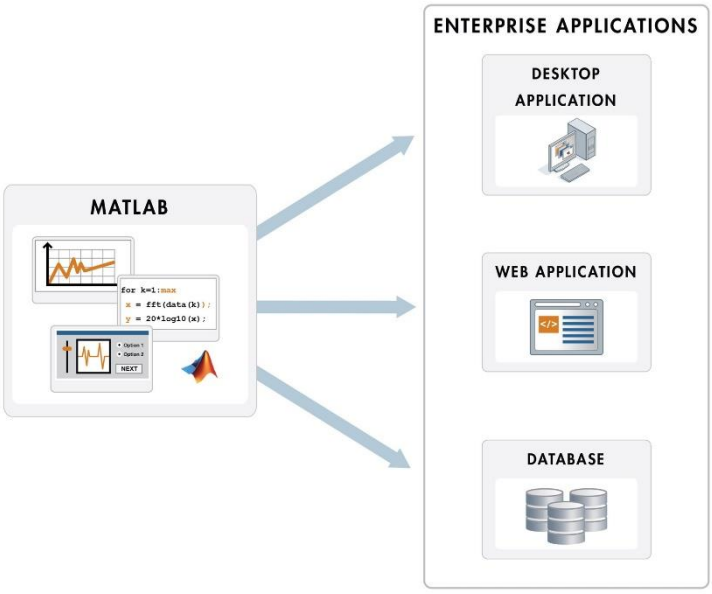


Figura 20. Los análisis y algoritmos de MATrix LABoratory estudiantil se pueden integrar en aplicaciones empresariales y en entornos de producción.

Fuente: MATrix LABoratory estudiantil

1.4. Formulación del problema.

¿Cuáles son los parámetros que permiten el desarrollo de una interface gráfica de usuario en la predicción de procesos de mecanizado?

1.5. Justificación e importancia.

1.5.1. Justificación técnica

El uso de la Interface Gráfica de Usuario Estudiantil (GUI) es un método novedoso de diseño y simulación, entre sus principales ventajas son la ejecución de cálculos medianamente complejos y la presentación de los resultados de forma gráfica en una interface amigable con el usuario, lo cual nos permite obtener los resultados de forma rápida y con una manera fácil para la interpretación e

implementación en los procesos industriales. Las GUI's pueden fácilmente convertirse en laboratorios virtuales de mediana complejidad para optimizar los procesos en la industria metalmecánica.

1.5.2. Justificación Económica

El desarrollo de interfaces graficas de usuario GUI's nos permite desarrollar distintas herramientas virtuales que se introduce en el estudio de costos, permitiéndonos conocer el tiempo promedio de vida de la herramienta, de acuerdo a los procesos y parámetros del mecanizado, para así poder obtener el máximo de piezas por filo de la herramienta minimizando los costos de producción.

El desarrollo de esta herramienta virtual promueve a un mejor proceso de mecanizado, lo que permitirá a los trabajadores tener una mano de obra más calificada, aumentando la producción diaria y de sus ingresos económicos.

1.5.3. Justificación Ambiental

Con el desarrollo y funcionamiento de un laboratorio virtual de procesos de manufactura no se llega a realizar ninguna operación real de mecanizado, con lo que podemos aumentar la eficiencia del proceso reduciendo los tiempos, utilizando la mínima cantidad de insumos, conllevando a minimizar el gasto de energía en la elaboración del mecanizado real, obteniendo como resultado final una menor cantidad de desechos industriales, por lo cual, el cuidado del medio ambiente se tiene presente durante todo el proceso industrial.

1.5.4. Justificación Social

Las GUI's vistas como laboratorios virtuales que fomentan a un nuevo aprendizaje y complementación a los conocimientos teóricos, ya que no solo están orientadas a predecir los parámetros adecuados de producción, si no a obtener una mayor eficiencia en los procesos de mecanizado. Asiendo que esta tecnología de bajo costo llegue a ser una herramienta de uso masivo en la obtención de

conocimientos, que es lo que realmente se busca en la industria, lo que normalmente conllevaría a la adquisición de equipos costosos.

1.5.5. GUI´s

También llamadas interface de usuario o interface gráfica de usuario es un app's de MATrix LABoratory estudiantil, que permite el control de aplicaciones de software de una forma sencilla, con la característica principal que no hay necesidad de aprender y escribir comandos para ejecutar una aplicación.

MATrix LABoratory estudiantil 2017. La GUI´s permite el uso de controles de menú, barra de herramientas, botones y controles deslizantes, muchos Productos de MATrix LABoratory estudiantil, como Fitting, Signal Processing Toolbox y Control System Toolbox incluyen apps con interface de usuario personalizada, (MATrix LABoratory estudiantil 2017).

MATrix LABoratory estudiantil permite la creación de GUI en forma interactiva a través de GUIDE (entorno de desarrollo de GUI), dándonos las herramientas para el desarrollo de interfaces graficas de usuario personalizadas, mediante el entorno de GUIDE, se posible diseñar GUI de forma gráfica. GUIDE desarrolla de forma automática el código de MATrix LABoratory estudiantil de construir y ejecutar la interface, el cual se puede modificar para programar el comportamiento de la app.

MATrix LABoratory estudiantil cuenta con herramientas que permiten desarrollar el GUI's para su app de forma programática. Se observa en la **Figura 20,** los resultados de un algoritmo matemático para analizar los datos permitiendo agregar cuadros de diálogos, controladores tales como paneles y grupos de botones, y controles de interface de usuario tales como botones y controles deslizantes.

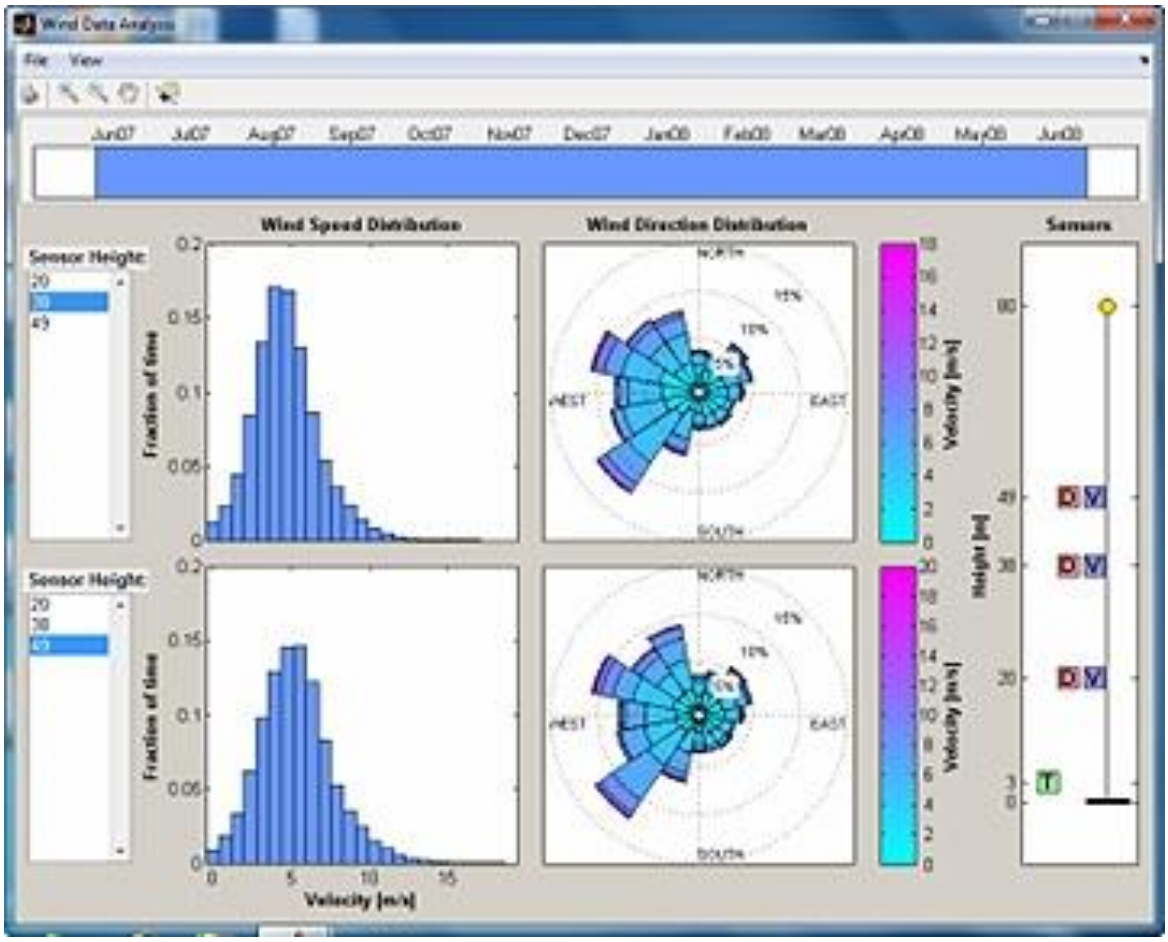


Figura 21. Aplicación personalizada con una GUI de MATrix LABoratory estudiantil

Fuente: MATrix LABoratory estudiantil

1.5.6. Variable

Definición de términos básicos

Mecanizado: proceso donde se remueve gradualmente material de una pieza, incluido el corte de material con una herramienta monofilo y multifilos y el rectificado con muelas abrasivas.

Movimiento principal: es el proporcionado manualmente por la máquina para dar movimiento relativo entre la herramienta y la pieza, usualmente el

movimiento principal absorbe la potencia total necesaria para realizar el mecanizado.

Movimiento de avance: es el que puede ser proporcionado por la máquina herramienta a la pieza o a la herramienta y sumado al movimiento principal, conduce a una remoción continua o descontinua de viruta con un movimiento continuo o escalonado, y a la creación de una superficie de mecanizado con las características geométricas deseadas, generalmente absorbe una pequeña parte de la potencia total necesaria para realizar el mecanizado.

Movimiento de corte resultante: es la resultante de los resultantes de los movimientos principal y de avance simultáneos.

Avance: el desplazamiento de la herramienta relativa a la pieza, en la dirección del movimiento de avance, por carrera o por vuelta de la pieza o herramienta.

Herramienta monofilo: son herramientas cortantes que poseen una parte cortante (o elemento productor de viruta) y un cuerpo, usados en tornos, cepillos, limadoras mandrinadora y semejantes.

Herramientas multifilos: son herramientas cortantes que poseen más de una parte cortante (o elemento productor de viruta) y un cuerpo, usados en tornos, fresadoras, taladros y semejantes.

Vida útil de la herramienta: vida del filo de la herramienta mientras esta cortando en la pieza mecanizada.

Tiempo de cambio de la herramienta: es el tiempo promedio en la máquina para cambiar una herramienta desgastada o rota (incluye una pastilla)

Velocidad media de corte: Valor promedio de la Velocidad a lo largo del filo principal de la herramienta de corte.

Software: son un conjunto de instrucciones y reglas informáticas diseñadas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

GUI: es un programa que utiliza imágenes y objetos gráficos que sirven de interface de usuario para presentar la información y acciones disponibles en la interface.

Partes de una GUI: los elementos típicos de una interface gráfica de usuario son: entrada de comandos (botón, menú contextual), entrada y salida de datos (botón de opciones, cuadro de texto, lista, etc.), informativos (iconos, barra de estado), contenedores (ventana, barra de herramientas), navegación (barra de dirección, hipervínculos, etc.).

1.6. Hipótesis

No es aplicable para el desarrollo de este tipo de investigación.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos General

Determinar la configuración más adecuada de una Interface Gráfica de Usuario (GUI's) que permita predecir los parámetros de performance de las operaciones básicas de mecanizado en el área de plantas rectificadoras para la mejora continua de los procesos de mecanizado.

1.7.2. Objetivos Específicos

i. Determinar los procesos de mecanizado usados en las plantas de rectificado.
ii. Los parámetros de ingreso y salida de datos necesarios para la elaboración del modelo predictivo a través de una GUI´s.
iii. Diseñar la configuración de la Interface Gráfica de Usuario (GUI's) considerando la funcionalidad y facilidad de uso.
iv. Diseñar el Diagrama de Flujo a usar como base para el desarrollo de este programa.

v. Programar las GUI´s de los procesos de mecanizados en máquinas herramientas usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc.
vi. Operación y validación de la Interface Gráfica de Usuario para las distintas operaciones de mecanizado.
vii. Puesta a punto de la Interface Gráfica de Usuario realizando compilaciones del algoritmo.
viii. Análisis de la aplicación de esta tecnología a los equipos CNC.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODO

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

2.1.1. Tipo de investigación

Cuantitativa

2.1.2. Diseño de la investigación

Diseño de caso único: se compara el mismo caso consigo mismo.

Métodos de investigación

Es una investigación pre-experimental, debido a que no se cuenta con un grupo de control, y se realiza una post-prueba. Con un tipo de investigación aplicada, con el objetivo de desarrollar un modelo predictivo a través de una interface gráfica de usuario, para la empresa de la Casa del Tornillo, en el área de procesos de manufactura, aplicando una variante de la propuesta de Eggert & Dieter and Schmidt (2016).

2.2. **Población y muestra.**

No se aplica a este tipo de investigación.

2.3. Variables y operacionalización.

Durante el desarrollo de esta investigación se dividió en dos partes principales para el cálculo de tiempo de vida de la herramienta, teniendo como referencia los parámetros de tiempo y costos como referencia principal. Empezando con el análisis de la velocidad máxima para el tiempo de vida de la herramienta máximo, luego el costo mínimo de mecanizado.

2.3.1. Variable

A. Variables independientes (velocidad máxima)

Pieza de trabajo

- Dimensiones
- Material

Herramientas

- Dimensiones
- Geometría de la herramienta (ángulo con el sólido)
- Material
- profundidad

Condiciones de corte

- Profundidad de corte
- Avance de mecanizado
- T. de montaje
- T. cambio de herramienta
- Eficiencia de la máquina

B. Variables independientes (costo mínimo)

Pieza de trabajo

- Dimensiones
- Material

Herramientas

- Dimensiones
- Geometría de la herramienta (ángulo con el sólido)
- Material
- profundidad

Condiciones de corte

- Profundidad de corte
- Avance de mecanizado
- T. de montaje
- T. cambio de herramienta
- Eficiencia de la máquina

Costos

- Costo por el tiempo de manejo de la pieza
- Costo del tiempo de mecanizado
- Costo de cambio de herramienta
- Costo de la herramienta

C. Variables dependientes (velocidad máxima)

Velocidad máxima

Tiempo de Vida de la herramienta

Tiempo de mecanizado

Taza de remoción de material

Potencia unitaria requerida

Velocidad de corte (velocidad Angular)

Nº de herramientas para el mecanizado

D. Variables dependientes (costo mínimo)

- Velocidad mínima
- Tiempo de Vida de la herramienta con respecto a la velocidad mínima
- Tiempo de mecanizado
- Taza de remoción de material
- Potencia unitaria requerida
- Velocidad de corte (velocidad Angular)
- Nº de herramientas para el mecanizado
- Costo por unidad de producto

A. Caja negra para los procesos de mecanizado con el criterio de velocidad máxima

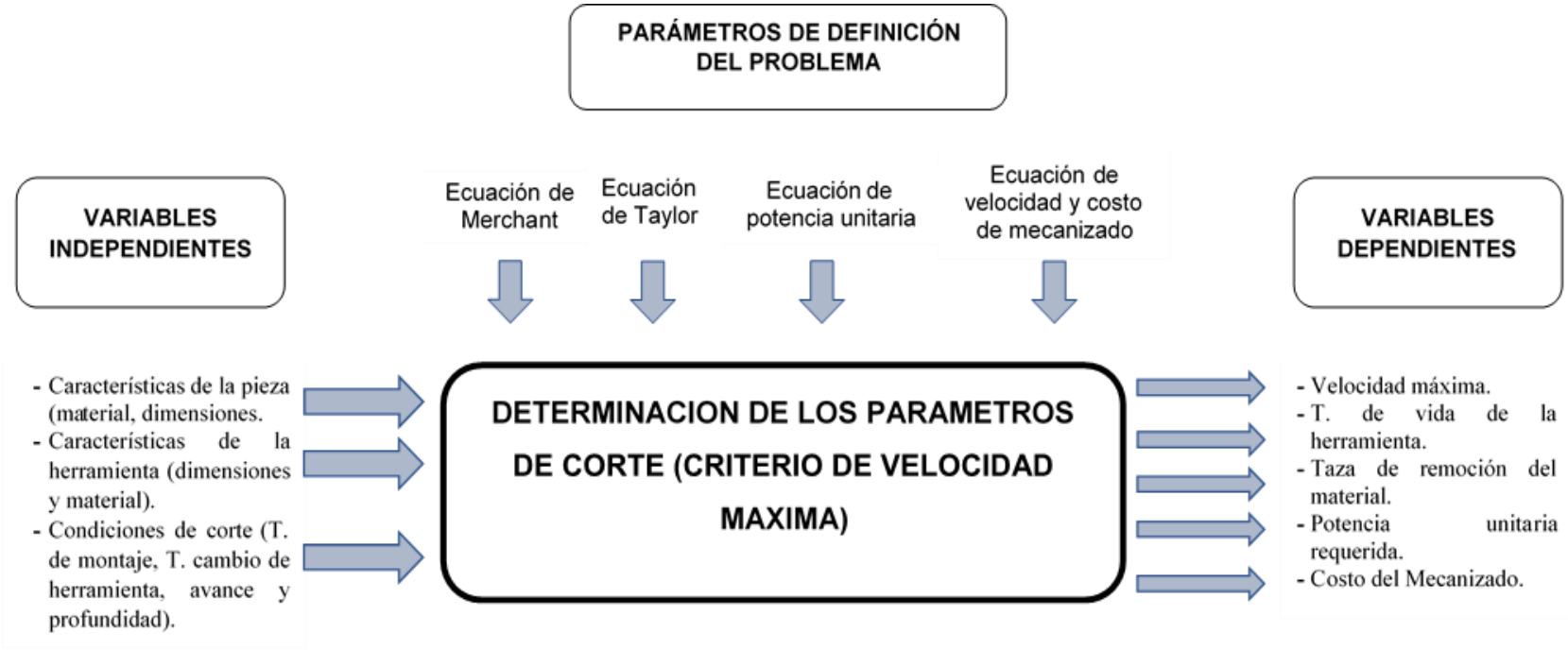


Figura 22. *Caja negra para el desarrollo de la GUI con el criterio de Velocidad Máxima de mecanizado*

Fuente: Elaboración propia

B. Caja negra para los procesos de mecanizado con el criterio de velocidad máxima

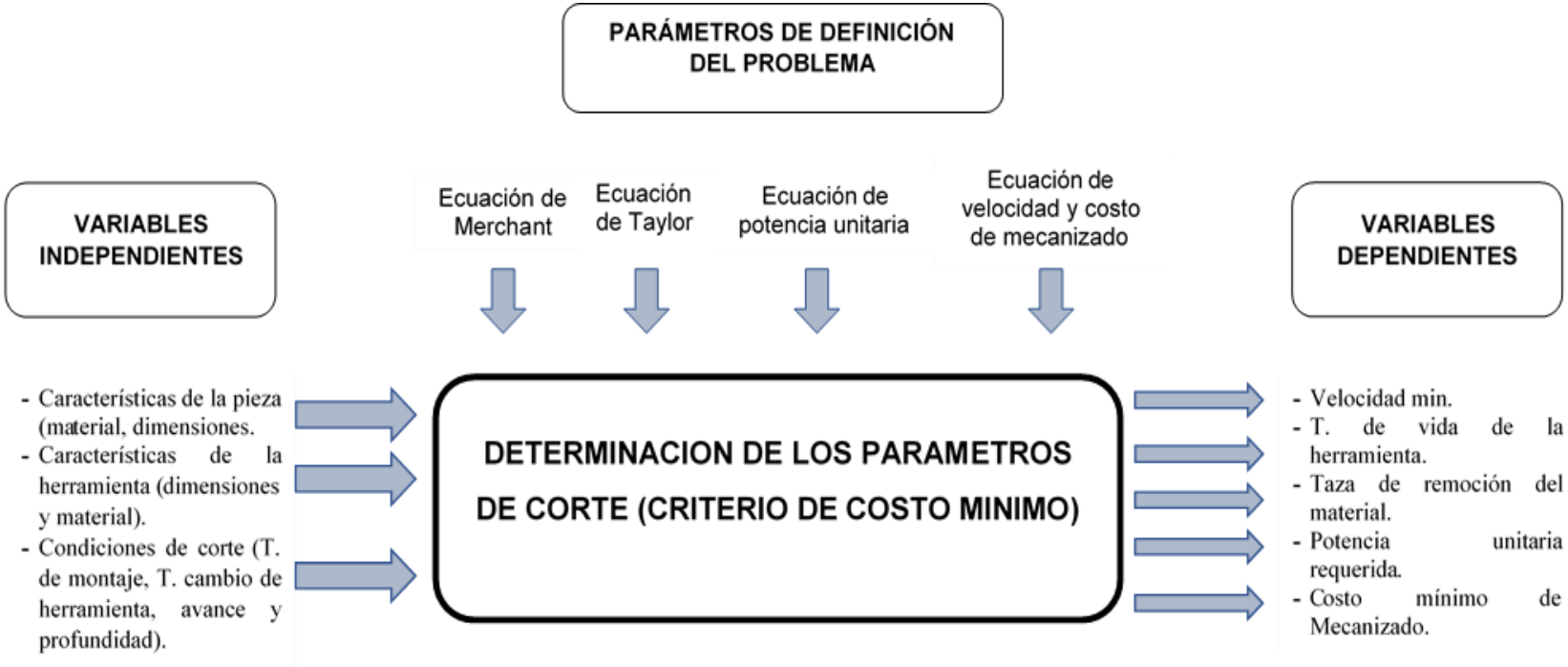


Figura 23. *Caja negra para el desarrollo de la GUI con el criterio de Velocidad Máxima de mecanizado*

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Operacionalización

A. Velocidad máxima de mecanizado

Tabla 3

Operacionalización de las variables bajo el criterio de Velocidad máxima

Fuente: Elaboración propia

	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ÍNDICE
INGRESO	Diámetro de circunferencia circunscrita	Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos de la circunferencia que siendo exterior contiene a todos los vértices del polígono	D=L	Longitud (L)	mm	L
	Largo de la pieza	Distancia entre las caras restantes de la Pieza	D=L	Longitud (L)	mm	L
	Esfuerzo cortante	Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.	$t=\frac{M/T^2L}{L^2}$	Masa(M)	Kg	M
				Aceleración de la gravedad(g)	m/s^2	g
				Área(A)	m^2	A
	Geometría de herramienta	Angulo en el solido	$\gamma_{(ne)}$=sr	Esterio Radian(1)	m^2/m^2	1
	Avance	Distancia desplazada por cada revolución de la pieza	f=mm/Rev.	Avance (mm/Rev.)	mm/Rev.	

INGRESO	Profundidad	Espesor de elemento que se retira durante el mecanizado	$D=L$	Longitud (L)	mm	L
	Tiempo de montaje	Tiempo que usa el operador en para cargar y descargar la pieza después del proceso de mecanizado	$T_h=S$	Tiempo(S)	min	s
	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo requerido para cambiar la herramienta de corte al final de su vida útil.	$T_f=S$	Tiempo(S)	min	s
	Eficiencia del equipo	Relación entre la potencia bruta requerida y la potencia usada durante el proceso de mecanizado	$\eta=\frac{ML^2T^{-2}}{ML^2T^{-2}}$	Potencia usada en el mecanizado(J)	J	Joule
				Potencia requerida en el mecanizado(J)	J	Joule
SALIDA	Velocidad de corte	movimiento relativo entre el material y la herramienta de trabajo	$v=L/T$	Velocidad(v)	m/s	v
	Vida de la herramienta	Tiempo durante el cual se puede usar la herramienta	$t=T$	Tiempo(S)	min	s
	Tiempo de mecanizado	Tiempo real que la herramienta desempeña el mecanizado	$t_c=T$	Tiempo(S)	min	s
	Taza de remoción de material	Volumen de material removido en un minuto	$R_{MR}=L^3T^{-1}$	Volumen(V)	mm^3	V
				Tiempo(S)	s	s
	Potencia unitaria	Potencia por Volumen de material Removido	$P_u=\frac{F_cv}{vt_cw}$	Potencia unitaria(P_c)	J	Joule
				Taza de Remoción de Materiales(R_{MR})	mm^3/s	R_{MR}
	Revoluciones por minuto	Expresión de la velocidad de corte en velocidad angular	$RPM=T^{-1}$	Velocidad Angular(RPM)	min^{-1}	RPM
	Nº de herramientas	Filos que se usaran en el mecanizado		Unidad		UNID

B. Costo mínimo de operación de mecanizado

Tabla 4

Operacionalización de las variables bajo el criterio de Costo mínimo

Fuente: Elaboración propia

	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA		ÍNDICE
INGRESO	Diámetro de circunferencia circunscrita	Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos de la circunferencia que siendo exterior contiene a todos los vértices del polígono	D=L	Longitud (L)	mm		L
	Largo de la pieza	Distancia entre las caras restantes de la Pieza	D=L	Longitud (L)	mm		L
	Esfuerzo cortante	Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.	t=	$\frac{M/T^2L}{L^2}$	Masa(M)	Kg	M
					Aceleración de la gravedad(g)	m/s^2	g
					Área(A)	m2	A
	Geometría de herramienta	Angulo en el solido	$\gamma_{(n_e)}$=sr	Esterio Radian (1)	m^2/m^2		1
	Avance	Distancia desplazada por cada revolución de la pieza	f=mm/Rev.	Avance (mm/Rev.)	mm/Rev.		

INGRESO	Profundidad	Espesor de elemento que se retira durante el mecanizado	D=L	Longitud (L)	mm		L
	Tiempo de montaje	Tiempo que usa el operador en para cargar y descargar la pieza después del proceso de mecanizado	T_g=S	Tiempo(S)	min		s
	Tiempo de afilado	Tiempo que usa el operador en afilar la herramienta	T_h=S	Tiempo(S)	min		s
	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo requerido para cambiar la herramienta de corte al final de su vida útil.	T_f=S	Tiempo(S)	min		s
	Eficiencia del equipo	Relación entre la potencia bruta requerida y la potencia usada durante el proceso de mecanizado	η=	ML^2T^{-2}	Potencia usada en el mecanizado(J)	J	Joule
				ML^2T^{-2}	Potencia requerida en el mecanizado(J)	J	Joule
	Costo de manejo de máquina	Costo que se debe pagar para el montaje y desmontaje de la pieza	C_0=$/min	Costo de manejo de máquina	C_0		S/.
	Costo de mecanizado	Costo que toma la herramienta para hacer el mecanizado	C_1=$/min	Costo de mecanizado	C_1		S/.
	Costo de cambio de herramienta	Costo que se debe pagar al cambiar la herramienta durante el mecanizado	C_2=$/min	Costo de cambio de herramienta	C_2		S/.
	Costo de herramienta	Precio de la herramienta	P_t=$	Costo de herramienta	P_t		S/.
	Costo de afilado	Costo de afilado de la herramienta	C_g=$/min	Costo de afilado	C_g		S/.

SALIDA	Velocidad de corte	movimiento relativo entre el material y la herramienta de trabajo	$v=L/T$	Velocidad(v)	m/s		v
	Vida de la herramienta	Tiempo durante el cual se puede usar la herramienta	$t=T$	Tiempo(S)	min		s
	Tiempo de mecanizado	Tiempo real que la herramienta desempeña el mecanizado	$t_c=T$	Tiempo(S)	min		s
	Taza de remoción de material	Volumen de material removido en un minuto	$R_{MR}=L^3T^{-1}$	Volumen(V)	mm^3		V
				Tiempo(S)	s		s
	Potencia unitaria	Potencia por Volumen de material Removido	$P_u=$	F_cv	Potencia unitaria(P_c)	J	Joule
				vt_cw	Taza de Remoción de Materiales(R_{MR})	mm^3/s	R_{MR}
	Revoluciones por minuto	Expresión de la velocidad de corte en velocidad angular	$RPM=T^{-1}$	Velocidad Angular(RPM)	min^{-1}		RPM

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Las actividades que se llevaron a cabo para la obtención de información requerida para la investigación, fue echo a través de una entrevista, mediante la cual se realizaron preguntas concretas y específicas de los procesos de mecanizado a las autoridades y encargados del área de producción.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Entrevista

Se elaboró un conjunto de preguntas con la finalidad de conocer las aplicaciones, funciones y opciones que la interface debe poder prestar para que los distintos usuarios la puedan comprender y aplicar en los distintos procesos de mecanizado,

La finalidad del desarrollo de la GUI´s es el análisis de los procesos de manufactura, comprensión de los requerimientos para el proceso de manufactura y optimizarlos.

2.5. Procedimiento para la recolección de datos

Etapa 1: Elaboración de la entrevista

Se realizó un balotaría de preguntas específicas al tema de investigación que estaban dirigidas a las autoridades y personal que se desempeñan en esta área de trabajo, con el fin de obtener los datos específicos necesarios para elaboración de la Interface Gráfica de Usuario.

Etapa 2: Aprobación de la entrevista

Se presentó la entrevista al asesor metodológico, para la revisión de la entrevista, y se levantaran las observaciones.

Etapa 3: Validación de la entrevista

Se presenta la entrevista al ingeniero especialista para la validación de la entrevista que se llevó a cabo con las autoridades y supervisores de área de procesos de mecanizado en la empresa.

Etapa 4: Se determinó el cronograma de encuestas y entrevistas

Se determinarán las fechas en las que se aplicarán las entrevistas a las autoridades, y supervisores de los distintos centros de rectificado.

Etapa 5: Ejecución de la encuesta

Se pactaron reuniones con los dueños, y personal capacitado, que viene desarrollando en este campo, para no interrumpir con sus labores productivas, Se realizaron las entrevistas en los horarios más adecuados para las autoridades con el fin de obtener cuales eran sus expectativas frente a eta tecnología predictiva.

2.5.1. Análisis estadístico de datos

Etapa 6: Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico se utilizaron los elementos básicos de la estadística descriptiva, que incluyen tablas de distribución de frecuencias, promedios aritméticos simples y otras estadísticas generales.

Se evaluó la información brindada por las autoridades de acuerdo a la importancia y prioridades que estos mismos fueron reflejando durante las entrevistas. El análisis de los resultados se analizó a través de gráficas.

Etapa 7: identificar las características de la Interface Gráfica de Usuario

Se identificará las características necesarias por parte de las autoridades, y del personal a cargo de realiza los procesos de manufactura, que se han considerado en los parámetros durante la elaboración de la Interface Gráfica de Usuario.

2.6. Criterios éticos

Código de ética del CIP (Colegio de Ingenieros del Perú), aprobado en la III Sesión Ordinaria del Congreso Nacional de Consejos Departamentales del Periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23 y 24 de abril de 1999.

Art. 4. Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud. (CIP, 1999).

Validación y confiabilidad de instrumento.

Segun Hernández, Fernández y Baptista (1998),"la validez en términos generales se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir" (pág.243).

Tamayo y Tamayo (1998) considera que validar es "determinar cualitativa y/o cuantitativamente un dato" (224).

Según Rusque M (2003) "la validez representa la posibilidad de que un método de investigación sea capaz de responder a las interrogantes formuladas.

2.7. Criterio de rigor cientifico

Los crterios de rigorcientifico que hemos teniendo en cuenta durante el desarolo de la invtigacion estan a corde para obtenerla valides de la investigacio, sin dejar a lado su confiabilidad, fiabilidad, y consistnia frente a las distintas investigaciones que se an desarrollado a lo largo del tiempo.

Tabla 5

Cuadro de Criterios de Principios de Rigor Científico.

Fuente: *Elaboración propia*

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
VALIDEZ	El proyecto debemos tener en cuenta que un argumento puede ser deductivamente válido, aunque su conclusión no sea verdadera de tal forma que, al estudiar las pruebas realizadas durante las etapas, estas darán lugar a la estimación de probabilidad de una serie de argumentos. En nuestro caso la validación será llevada a cabo por técnicas de recolección de datos (encuestas), además de contar con el respaldado por un profesional experto y reconocido como investigador.
FIABILIDAD	El Proyecto es fiable debido a maximiza la repetitividad o consistencia inherente del mismo (Las mediciones cuando se obtengan corresponderán a una metodología meticulosa y científica), así que acredita un óptimo funcionamiento de acuerdos a los parámetros ya definidos. Aseguramos la fiabilidad debido a que el proyecto ya ha sido sustentado por varios investigadores.
CONSISTENCIA	La serie de resultados en este proyecto tendrá un porcentaje mínimo de error en un mismo contexto y con los mismos materiales. Nos permitirá evaluar cuál es la calidad requeridos en términos de y complemento de mecanismos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1. Procesos de mecanizados usados principalmente en las plantas de rectificado

Se determinaron las necesidades y/o requerimientos de las distintas plantas rectificadoras, se lleva a cabo una visita técnica a las instalaciones de la planta, así mismo se desarrolla una entrevista con el gerente, mantenimiento y control de calidad de la planta. Se hizo una tabla resumen a partir de los resultados de las entrevistas realizadas, la cual se puede apreciar en la información resumida de la **Tabla 6.**

Fila 2: Importancia de los procesos de mecanizado en la industria metalmecánica.

Las aplicaciones de los procesos de manufactura en las plantas metalmecánicas vienen siendo parte fundamental en los procesos industriales, por las distintas características que se proporciona en el proceso de fabricación de piezas, como una mayor exactitud de las dimensiones de las piezas, versatilidad de operaciones.

Fila 3: Procesos de manufactura más usados en la trasformación de materia dentro de la planta de procesos metalmecánica.

Los principales procesos básicos de manufactura usados en la industria son las operaciones del torneado tales como el cilindrado, roscado, refrentado, escariado, perforado, y rosca interior, así como las operaciones de frezado para la creación de superficies curvas.

Fila 4: Cantidad de los productos realizados que requieren en su elaboración procesos de mecanizado por arranque de viruta.

En las instalaciones industriales de los centros de manufactura. Se elaboran 30 productos aplicando los distintos procesos de mecanizado con arranque de viruta, de los cuales 25 de ellos usan operaciones de torneado y fresado como parte fundamental en su fabricación.

Fila 5: tiempo promedio requerido para la elaboración de una pieza por completo.

El tiempo de operación de una pieza depende mucho de la cantidad de procesos de mecanizado que tienen que usar para la elaboración de la pieza y su acabado final en promedio la fabricación individual de cada proceso varía de acuerdo a la habilidad del operario, ya que cuentan por equipos convencionales y semi-automáticos, el promedio que toma hacer una pieza es entre unos 25 a 30 minutos.

Fila 6: Modelos predictivos aplicado en los procesos de mecanizado.

Las aplicaciones de los modelos predictivos en los procesos de mecanizado se han venido aplicando a través de sistemas computarizados en las distintas áreas de producción de máquinas, herramientas y procesos de mecanizado orientados a una producción estable, garantizando una máxima productividad en las industrias.

Fila 7: Utilización y beneficios de los modelos predictivos en los procesos de mecanizado.

El uso de modelos predictivos nos permite poder tener operaciones de mecanizado estables, garantizando no tener paradas por fallas en las herramientas por fractura o ruptura de la herramienta en medio de una operación de mecanizado, generando una máxima productividad de la herramienta y de la planta, disminuyendo los costos de producción.

Fila 8: Aplicación de los datos obtenidos en los modelos predictivos.

El modelo predictivo nos permite conocer los parámetros de performance para una máxima producción en el proceso de mecanizado, maximizando la producción industrial.

Fila 9: Condiciones que debería poder analizar el modelo predictivo a través de la interface gráfica de usuario.

El análisis de las operaciones básicas de torneado tales como el cilindrado, refrentado, tronzado, roscado y perforado interno, para las operaciones de torneado, el perforado ciego y el pasante para el uso del taladro, así mismo las operaciones del fresado básicas de mecanizado, y las operaciones de cepillado, con un análisis tanto para materiales ferrosos como no ferrosos.

Fila 10: Funciones que debería cumplir la interface gráfica de usuario.

Permitir el análisis de parámetros de performance para las distintas operaciones de mecanizado, un análisis del desgaste de la herramienta que nos permite determinar el tiempo de vida de la herramienta, el número de piezas que se pueden obtener por cada filo de la herramienta, además del tiempo total de mecanizado por pieza.

Tabla 6

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la Casa del Tornillo, con respecto al diseño de una interface gráfica de usuario que permita el calcular los parámetros de producción.

Fuente: Elaboración propia (Anexo Nº 3)

ASPECTOS	ENTREVISTADOS / PREGUNTAS	Gonzalo Sánchez Calderón	Dalia J. Flores Vera	Juan Vásquez	Julio Lozano Díaz
SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA (PROCESOS DE MECANIZADO USADOS)	1. ¿Cuán importante son los procesos de arranque de viruta en los procesos industriales según su experiencia?	Ayuda a que las dimensiones de la pieza sean más precisas	Es la base fundamental para los procesos industriales en la fabricación de nuevas piezas	Los procesos de arranque de viruta en la industria metalmecánica viene siendo la base fundamental para la transformación de la materia prima como se realiza en esta empresa, que producimos piezas para los motores de motos.	En el proceso industrial la precisión en las piezas son de mucha importancia para obtención de buenos productos finales.
	2. ¿Qué procesos de manufactura considera usted imprescindibles en el rubro metal mecánico?	torneado, fresado, taladrado, cepillado, y soldadura	Torneado, fresado, prensado.	Torneado, fresado, taladrado.	torneado, talado, prensado
	3. ¿Cuántos requieren procesos de mecanizado por arranque de viruta?	25	25	25	25
	4. De los productos que se desarrollan en la planta industrial de mecanizado, puede enumerar los 4 procesos de maquinado más utilizados.	cilindrado, escariado, roscado, prensado	cilindrado, escariado, roscado, prensado	roscado, refrentado, prensa, cilindrado	prensado, roscado, cilindrado, escariado
	5. Del proceso anterior podría especificar el tiempo total que toma hacer una pieza.	30 minutos	25 minutos	28 minutos	30 minutos
BENEFICIOS DE LOS MODELOS PREDICTIVOS	6. ¿Ha escuchado hablar sobre los modelos predictivos para la predicción de procesos de mecanizado?	si	si	si	si
	7. ¿Sabía que los modelos predictivos que están orientado al diseño de procesos, específicamente para el proceso de mecanizado, están orientados para obtener un proceso de maquinado con corte estable?	no	si	si	si
	8. ¿sabía que al usar procesos de corte estable en los procesos de mecanizado obtiene una máxima productividad en la industria?	no	no	no	no
DISEÑO	9. ¿Qué procesos de maquinado piensa usted que debería tener el modelo predictivo (Interface Gráfica de Usuario – GUI's por sus siglas en inglés) para aplicación en la industria de manufactura?	determinar el tiempo de vida de la herramienta, la velocidad de maquinado, el número de piezas por filo de herramienta	determinar el tiempo de vida de la herramienta, la velocidad de maquinado, el número de piezas por filo de herramienta	Cilindrado, tronzado, roscado, taladrado, escariado	Si se contara con la mayor cantidad de procesos con estos nuevos tipos de modelos predictivos sería genial para la industria del maquinado y otras.
	10. En su experiencia ¿Qué funciones piensa usted que debería cumplir esta interface gráfica de usuario para el cálculo de parámetros de producción?	Debe poder ser versátil para aplicarlo en los distintos procesos de mecanizado	Debe poder ser versátil para aplicarlo en los distintos procesos de mecanizado	Tiempo de vida de la herramienta Tiempo de mecanizado Número de piezas por herramienta	Tiempo de vida de la herramienta Tiempo de mecanizado Número de piezas por herramienta

3.2. Determinar los parámetros de ingreso y salida de datos necesarios para la elaboración de un GUI´s.

En el desarrollo de la investigación se procedió a una búsqueda exhaustiva de las principales teorías teóricas prácticas del mecanizado, que se han venido desarrollando durante los últimos doscientos años, de las teorías obtenidas se ha llegado a la revisión de las siguientes ecuaciones:

- Formación de viruta en el mecanizado de metales.
- Análisis geométrico físico de los procesos de manufactura

$$\tan \emptyset = \frac{\left({}^{a_C}/_{a_0}\right) * \cos \gamma_{n_e}}{1 - \left({}^{a_C}/_{a_0}\right) * \sin \gamma_{n_e}} = \frac{r_C * \cos \gamma_{n_e}}{1 - r_C * \sin \gamma_{n_e}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (34)$$

Φ = Ángulo de cizalladura

a_c = Espesor de viruta no deformada

a_o = Espesor de viruta

r_c = Módulo de relación de corte

γ_{n_e} = Ángulo de inclinación normal efectiva

- Relación de fuerzas

$$F_s = F_c * \cos(\emptyset) - F_t * \sin(\emptyset) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (35)$$

$$F_n = F_c * \sin(\emptyset) + F_t * \cos(\emptyset) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (36)$$

La fuerza resultante sobre la herramienta, se grafica sobre el llano de cizalladura, obteniendo:

f_s = Fuerza de cizalladura

f_n = Fuerza normal de cizalladura

Estas fuerzas se pueden expresar en términos de la

f_c = Fuerza de corte

f_t = Fuerza de empuje

- Ecuación de Merchant.

$$2\emptyset + \beta - \gamma_{n_e} = C = \text{arc cot}(k) \text{ …... (37)}$$

β = ángulo medio de fricción entre la viruta y la herramienta

- Ecuación de Ernst

$$\beta = \text{arc}\tan\left({F_t}/{F_n}\right) \text{ …... (38)}$$

$$F_c = \frac{\tau_s A_c}{\sin(\emptyset)} \frac{\cos(\beta - \gamma_{n_e})}{\cos(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})} \text{ …... (39)}$$

- Relación de potencia y energía mecánica.

$$P_R = \frac{P_C}{E} = \frac{F_C * v}{E} \text{ …... (40)}$$

P_R= potencia real

P_C= potencia de corte

F_C = Fuerza de corte

E = Eficiencia

Planteando la relación de la potencia en función al ángulo de cizalladura, resistencia de cizalladura, ángulo medio de fricción.

$$P_R = \frac{P_C}{E} = \frac{F_C * v}{E} = \frac{\tau_{so} * A_c \cos(\beta - \gamma_{n_e})}{\sin(\emptyset)\cos(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e}) * [1 - k\tan(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})]} * \frac{v}{E} \text{ …... (41)}$$

F_c = Fuerza de corte (N)

τ_{so} = Resistencia de cizalladura

A_c = Área de cizalladura sin cortar (mm^2)

β = ángulo medio de fricción entre la viruta y la herramienta

∅ = ángulo de cizalladura

γ_{n_e} = ángulo de inclinación efectivo

$$\Delta T = \frac{0.4P_m}{\rho C}\left(\frac{vt_0}{K}\right)^{1/3} = \frac{\tau_{s0} * A_c \cos(\beta - \gamma_{n_e})}{\sin(\emptyset)\cos(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e}) * [1 - k\tan(\emptyset + \beta - \gamma_{n_e})]} * \frac{v * 0.4}{E * \rho C} * \left(\frac{vt_0}{K}\right)^{1/3} \text{ ….. (42)}$$

ΔT = Variación de la temperatura en la interface herramienta-viruta (°C)

P_m = Energía especifica en la operación

ρC = Calor especifico volumétrico del material de trabajo

v = Velocidad de corte

t_0 = Espesor de viruta antes del corte

K = Difusividad térmica del material de trabajo

De donde podemos concluir que la potencia requerida en el proceso de mecanizado está influenciada principalmente por el avance, y profundidad de corte.

- Operaciones de torneado.
- Operaciones de Taladrado.
- Operaciones de fresado.
- Ecuación de Taylor

$$vt^n = C(t_{ref}{}^n) \text{…... (43)}$$

v = velocidad de corte, m/min,

t = vida de la herramienta,

t_{ref} = vida de herramienta de referencia, min,

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

- Vida de la herramienta.
- Materiales para herramienta.
- Configuración geométrica de las herramientas.

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del cilindrado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (44)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D * L}{v * f} + \frac{t_t * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (45)$$

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

t_t = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

t_c = Tiempo de ciclo de producción por pieza

D = Diámetro del material de trabajo

L = longitud de la pieza

v = Velocidad de corte

f = Avance del mecanizado

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (46)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D * L}{v * f} + \frac{(C_0 t_t + C_T) * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (47)$$

C_O = Taza de costo

C_1 = Taza de costo de mecanizado

C_T = Costo de herramienta por mecanizado

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

t_t = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

D = Diámetro del material de trabajo

L = longitud de la pieza

v = Velocidad de corte

f = Avance del mecanizado

N_t = número de herramientas usadas

N_b = número de piezas mecanizadas durante la vida de la herramienta

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del refrentado o careado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (48)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D}{2 * v * f} + \frac{t_t * \pi * D * v^{1/n - 1}}{2 * f * C^{1/n}} \text{ ..... } (49)$$

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

t_t = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

t_c = Tiempo de ciclo de producción por pieza

D = Diámetro del material de trabajo

L = longitud de la pieza

v = Velocidad de corte

f = Avance del mecanizado

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (50)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D}{2 * v * f} + \frac{(C_0 t_t + C_T) * \pi * D * v^{1/n - 1}}{2 * f * C^{1/n}} \text{ ..... } (51)$$

C_O = Taza de costo

C_1 = Taza de costo de mecanizado

C_T = Costo de herramienta por mecanizado

t_h = Tiempos de montaje de piezas

t_m = Tiempo de mecanizado (en función a la velocidad)

t_t = Tiempo de cambio de herramienta (en función a la velocidad)

D = Diámetro del material de trabajo

L = longitud de la pieza

v = Velocidad de corte

f = Avance del mecanizado

N_t = número de herramientas usadas

N_b = número de piezas mecanizadas durante la vida de la herramienta

n =constante relacionada para el material de herramienta determinado

C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte.

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del tronzado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (52)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D}{2 * v/D * f} + \frac{t_t * \pi * D * v^{1/n-1}}{2 * f * C^{1/n}} \text{ ..... } (53)$$

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (54)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D}{2 * v * f} + \frac{(C_0 t_t + C_T) * \pi * D * v^{1/n-1}}{2 * f * C^{1/n}} \text{ ..... } (55)$$

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del roscado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (56)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D * L}{v * f} + \frac{t_t * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (57)$$

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (58)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D * L}{v * f} + \frac{(C_0 t_t + C_T) * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (59)$$

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del perforado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (60)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D * L}{v * f} + \frac{t_t * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (61)$$

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (62)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C_1 * \pi * D * L}{v * f} + \frac{(C_0 t_t + C_T) * \pi * D * L * v^{1/n-1}}{f * C^{1/n}} \text{ ..... } (63)$$

Condiciones para el cálculo de la velocidad máxima de mecanizado para un tiempo de mecanizado mínimo para la operación del fresado.

- Tiempo de producción mínima

$$t_c = t_h + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \text{ ..... } (64)$$

$$t_c = t_h + \frac{\pi * D * \left(L + 2\sqrt{d * (D - d)}\right)}{v * f * n_r} + \frac{t_t * \left(L + 2\sqrt{d * (D - d)}\right) * v^{1/n-1}}{n_r * f * C^{1/n}} \text{ ..... } (65)$$

- Vida de herramienta por costo mínimo

$$C_c = C_0 t_h + C_0 t_m + \frac{N_t}{N_b} C_T \text{ ..... } (66)$$

$$C_c = C_0 t_h + \frac{C1 * \pi * D * \left(L + 2\sqrt{d * (D - d)}\right)}{v * f * n_r} + \frac{\pi * D * \left(L + 2\sqrt{d * (D - d)}\right)}{v * f * n_r} * \left(\frac{v}{c}\right)^{1/n} \text{ ..... } (67)$$

3.2.1. Criterio de velocidad máxima de mecanizado

Se muestra la relación de los parámetros de ingreso y salida, los cuales son ordenados de tal forma que permita desarrollar un modelo predictivo para los procesos de mecanizado y las operaciones básicas que estas implican, usando un orden, secuencia y relación con las teorías de mecanizado que se han estudiado para el desarrollo de la presente investigación. Para la programación de la interface gráfica de usuario se determinaron los parámetros de ingreso y salida de parámetros usados en el modelo predictivo a través de un análisis para un tiempo de mecanizado sea mínimo

Tabla 7

Determinación de los parámetros de ingreso y salida en el análisis en función a la velocidad

Fuente: Elaboración propia (Anexo Nº 3)

	Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala
Ingreso	Diámetro de circunferencia circunscrita	Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos de la circunferencia que siendo exterior contiene a todos los vértices del polígono	D=l	Longitud (l)	Mm
	Largo de la pieza	Distancia entre las caras restantes de la pieza	D=l	Longitud (l)	Mm
	Esfuerzo cortante	Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.	$T=\frac{M/t^2 l}{L^2}$	Masa(m)	Kg
				Aceleración de la gravedad(g)	M/s^2

				Área(a)	M2
	Geometría de herramienta	Angulo en el solido	$\Gamma_{(n_e)}$=sr	Esterio radian (1)	M^2/m^2
	avance	Distancia desplazada por cada revolución de la pieza	F=mm/Rev.	Avance (mm/Rev.)	Mm/Rev.
Ingreso	Profundidad	Espesor de elemento que se retira durante el mecanizado	D=l	Longitud (l)	Mm
Ingreso	Tiempo de montaje	Tiempo que usa el operador en para cargar y descargar la pieza después del proceso de mecanizado	T_h=s	Tiempo(s)	Min
Ingreso	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo requerido para cambiar la herramienta de corte al final de su vida útil.	T_f=s	Tiempo(s)	Min
Ingreso	Eficiencia del equipo	Relación entre la potencia bruta requerida y la potencia usada durante el proceso de mecanizado	H= Ml^2t^{-2}	Potencia usada en el mecanizado(j)	J
			Ml^2t^{-2}	Potencia requerida en el mecanizado(j)	J
Salida	Velocidad de corte	Movimiento relativo entre el material y la herramienta de trabajo	N=l/t	Velocidad(v)	M/s
Salida	Vida de la herramienta	Tiempo durante el cual se puede usar la herramienta	T=t	Tiempo(s)	Min
Salida	Tiempo de mecanizado	Tiempo real que la herramienta desempeña el mecanizado	T_c=t	Tiempo(s)	Min
Salida	Taza de remoción de material	Volumen de material removido en un minuto	$R_{mr}=l^3t^{-1}$	Volumen(v)	Mm^3
				Tiempo(s)	S
Salida	Potencia unitaria	Potencia por volumen de material removido	P_u= F_cv	Potencia unitaria(p_c)	J
			Vt_cw	Taza de remoción de materiales(r_{mr})	Mm^3/s

Revoluciones por minuto	Expresión de la velocidad de corte en velocidad angular	$Rpm=t^{-1}$	Velocidad angular(rpm)	Min^{-1}
Nº de herramientas	Filos necesarios que se usaran en el mecanizado	unid	unidades	unid

3.2.2. Criterio de costo mínimo de mecanizado

Para la programación de la interface gráfica de usuario se determinaron los parámetros de ingreso y salida necesarios en el desarrollo del modelo predictivo a través de un análisis para un costo de mecanizado sea mínimo

Tabla 8

Determinación de los parámetros de ingreso y salida en función a los costos de producción

Fuente: Elaboración propia (Anexo Nº 3)

VARIABLES		DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
INGRESO	Diámetro de circunferencia circunscrita	Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos de la circunferencia que siendo exterior contiene a todos los vértices del polígono	D=L	Longitud (L)	mm
	Largo de la pieza	Distancia entre las caras restantes de la Pieza	D=L	Longitud (L)	mm
	Esfuerzo cortante	Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.	$t=\frac{M/T^2L}{L^2}$	Masa(M)	Kg
				Aceleración de la gravedad(g)	m/s^2
				Área(A)	m2

	Geometría de herramienta	Angulo en el solido	$\gamma_{(n_e)}$=sr	Esterio Radian(1)	m^2/m^2
	Avance	Distancia desplazada por cada revolución de la pieza	f=mm/Rev.	Avance (mm/Rev.)	mm/Rev.
	Profundidad	Espesor de elemento que se retira durante el mecanizado	D=L	Longitud (L)	mm
	Tiempo de montaje	Tiempo que usa el operador en para cargar y descargar la pieza después del proceso de mecanizado	T_g=S	Tiempo(S)	min
	Tiempo de afilado	Tiempo que usa el operador en afilar la herramienta	T_h=S	Tiempo(S)	min
	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo requerido para cambiar la herramienta de corte al final de su vida útil.	T_f=S	Tiempo(S)	min
INGRESO	Eficiencia del equipo	Relación entre la potencia bruta requerida y la potencia usada durante el proceso de mecanizado	$\eta=\frac{ML^2T^{-2}}{ML^2T^{-2}}$	Potencia usada en el mecanizado(J) Potencia requerida en el mecanizado(J)	J J
	Costo de manejo de máquina	Costo que se debe pagar para el montaje y desmontaje de la pieza	C_0=$/min	Costo de manejo de máquina	C_0
	Costo de mecanizado	Costo que toma la herramienta para hacer el mecanizado	C_1=$/min	Costo de mecanizado	C_1
	Costo de cambio de herramienta	Costo que se debe pagar al cambiar la herramienta durante el mecanizado	C_2=$/min	Costo de cambio de herramienta	C_2

	Costo de herramienta	Precio de la herramienta	P_t=$	Costo de herramienta	P_t
	Costo de afilado	Costo de afilado de la herramienta	C_g=$/min	Costo de afilado	C_g
SALIDA	Velocidad de corte	movimiento relativo entre el material y la herramienta de trabajo	$v=L/T$	Velocidad(v)	m/s
	Vida de la herramienta	Tiempo durante el cual se puede usar la herramienta	$t=T$	Tiempo(S)	min
	Tiempo de mecanizado	Tiempo real que la herramienta desempeña el mecanizado	$t_c=T$	Tiempo(S)	min
	Taza de remoción de material	Volumen de material removido en un minuto	$R_{MR}=L^3T^{-1}$	Volumen(V)	mm^3
				Tiempo(S)	s
	Potencia unitaria	Potencia por Volumen de material Removido	$P_u=\frac{F_c v}{v t_c w}$	Potencia unitaria (P_c)	J
				Taza de Remoción de Materiales (R_{MR})	mm^3/s
	Revoluciones por minuto	Expresión de la velocidad de corte en velocidad angular	$RPM=T^{-1}$	Velocidad Angular (RPM)	min^{-1}
	Nº de herramientas	Filos necesarios que se usaran en el mecanizado	Unid	Unidades	Unid

3.3. Diseñar la configuración de la Interface Gráfica de Usuario Estudiantil (GUI) considerando la funcionalidad, maximización de aprendizaje y facilidad de uso.

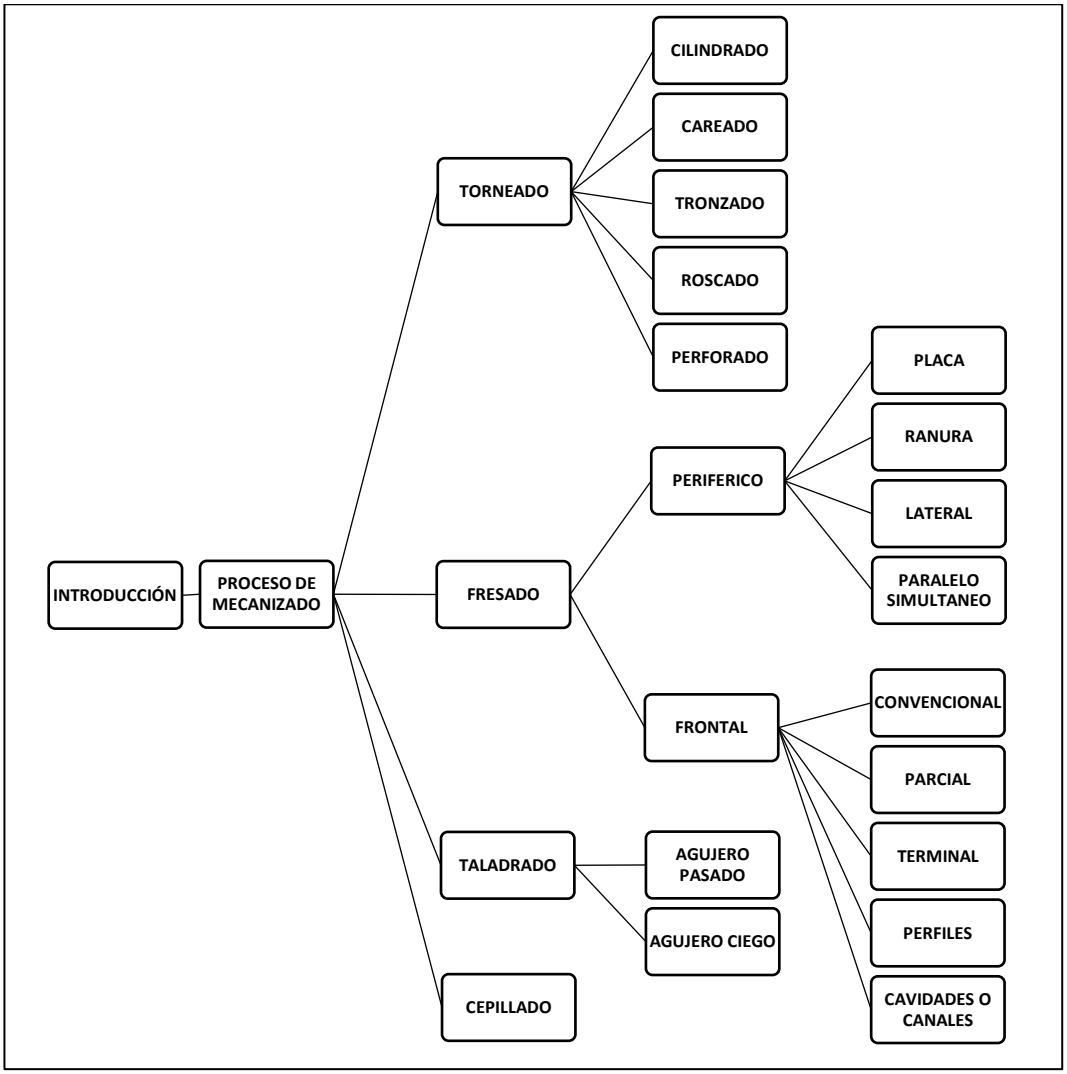


Figura 24. *. Configuración de la Interface Gráfica de Usuario.*

Fuente: *Elaboración propia*

En el diseño de la configuración de la Interface Gráfica de Usuario se pro cedió a realizarse de una forma escalonada, con el objetivo de que las opciones que uno obtiene al seleccionar una opción la GUI`s resultantes estén condicionadas a la selección tomada. Para primero seleccionaremos el tipo de máquina a utilizar, luego la operación que se desea realizar con el equipo.

3.4. Diseñar el Diagrama de Flujo a usar como base para el desarrollo de este programa.

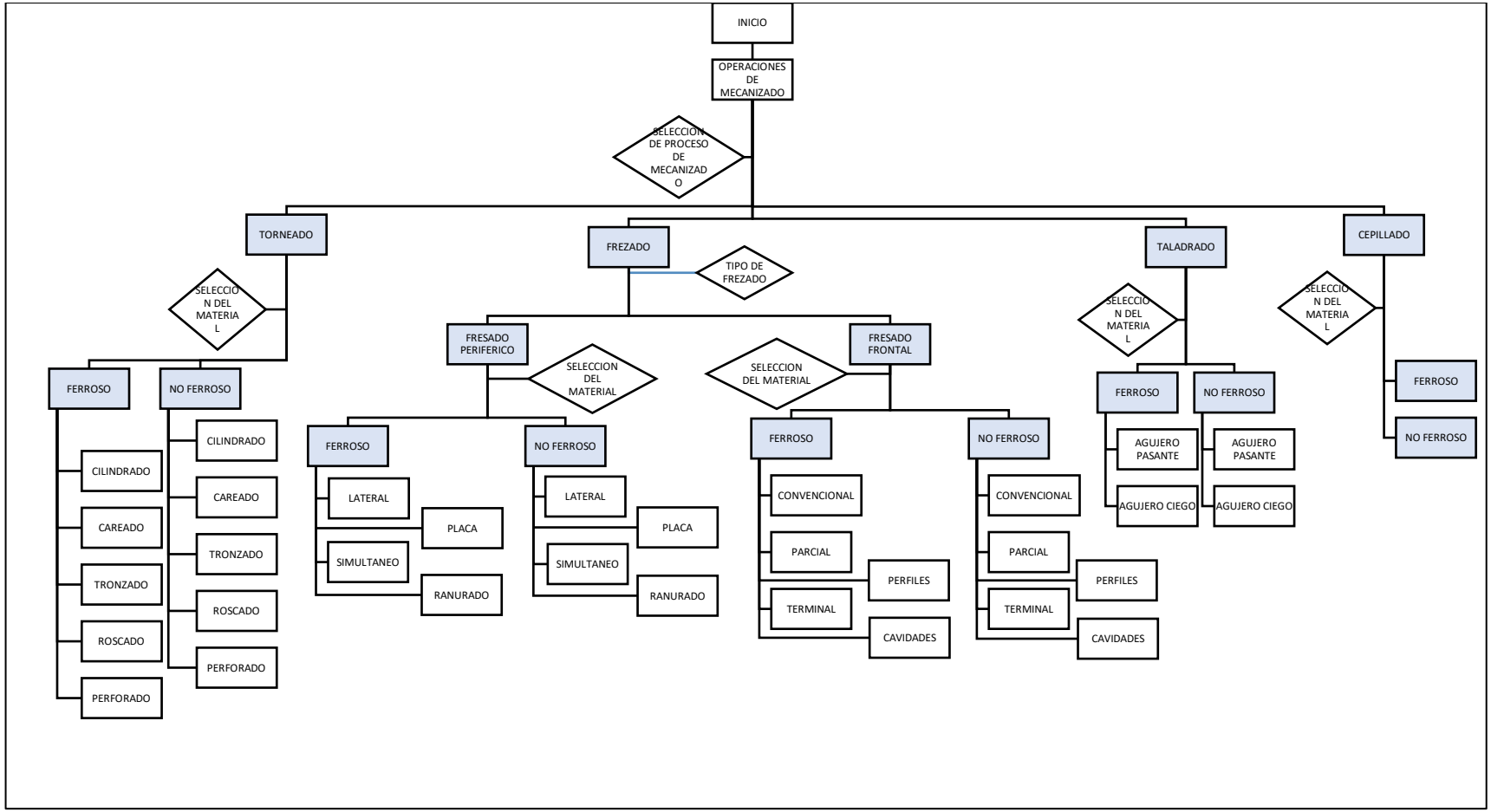


Figura 25. *Diagrama de flujo de la Interface Gráfica de Usuario*

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo de una operación de mecanizado en general para las cuatro operaciones básicas de mecanizado por arranque de viruta.

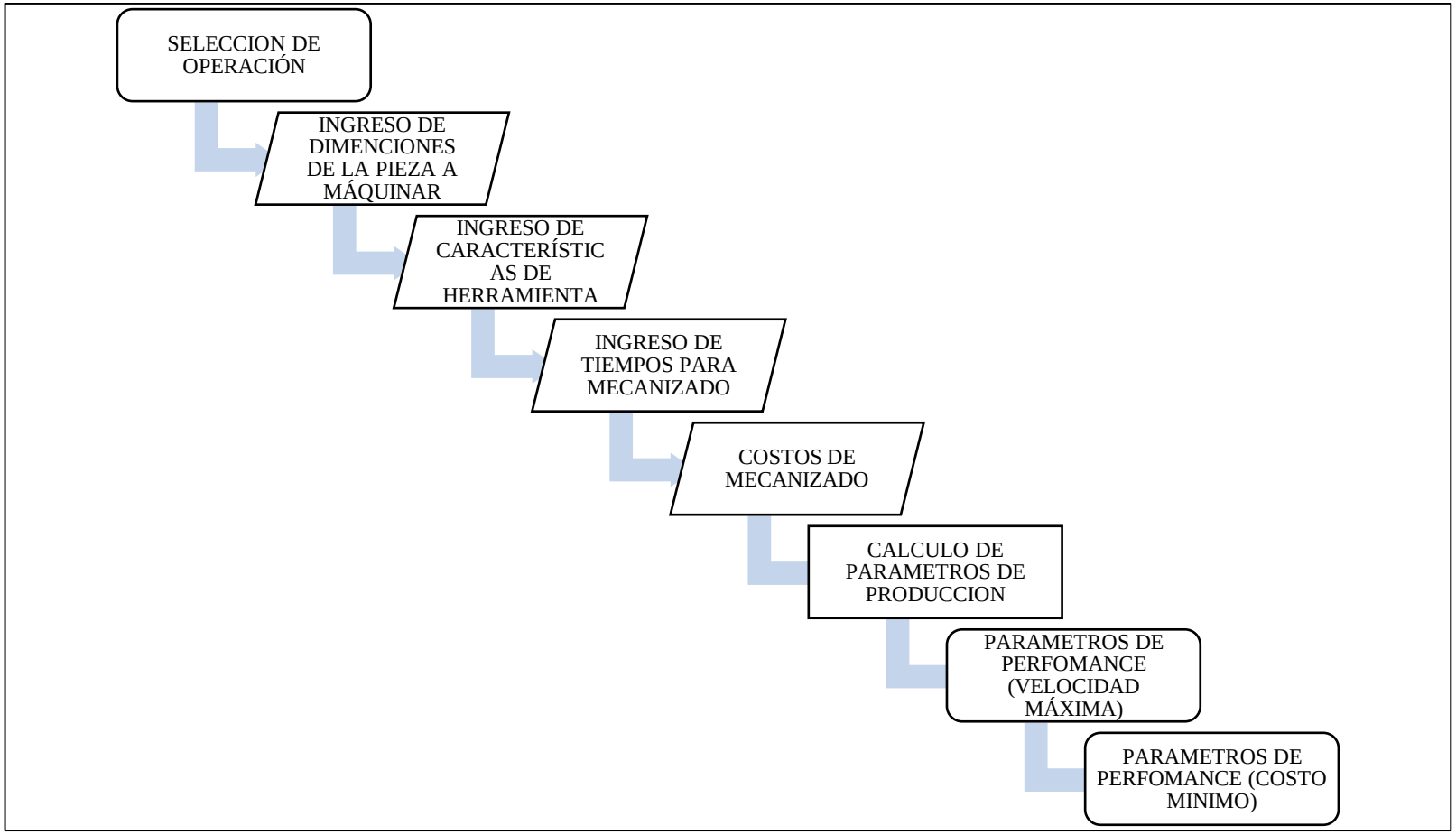


Figura 26. *Diagrama de flujo de un proceso de mecanizado*

Fuente: Elaboración propia

3.5. Programar las GUI´s de los procesos de mecanizados en máquinas herramientas usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc.

Se inicia el programa MATrix LABoratory estudiantil, y aparecerá la ventana de inicio que se observa en la **Figura 26.**

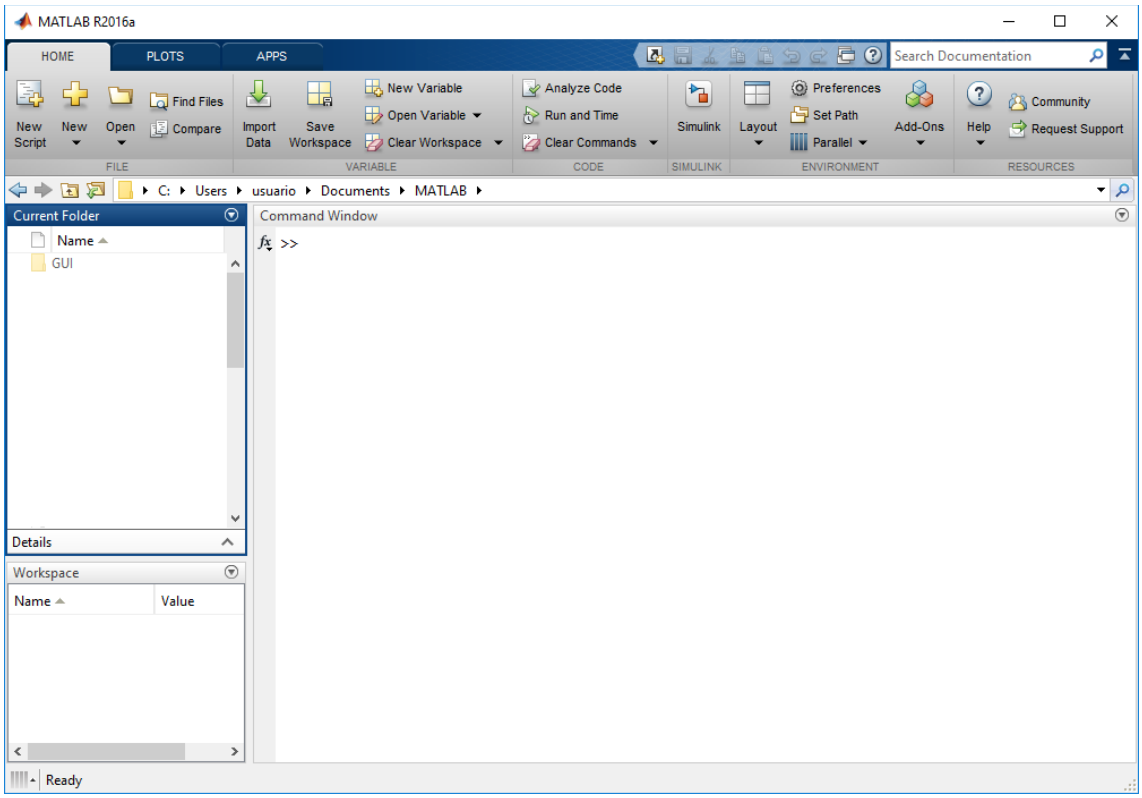


***Figura 27**. Ingresando a la plataforma de MATrix LABoratory estudiantil.*

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 26.** nos ubicamos en la pestaña **Home** y desplegamos la opción **New / App / GUIDE**

En la ventana que se abrirá escogemos **Blank GUI (Default)** para iniciar una GUI en blanco y damos clic en **OK**.

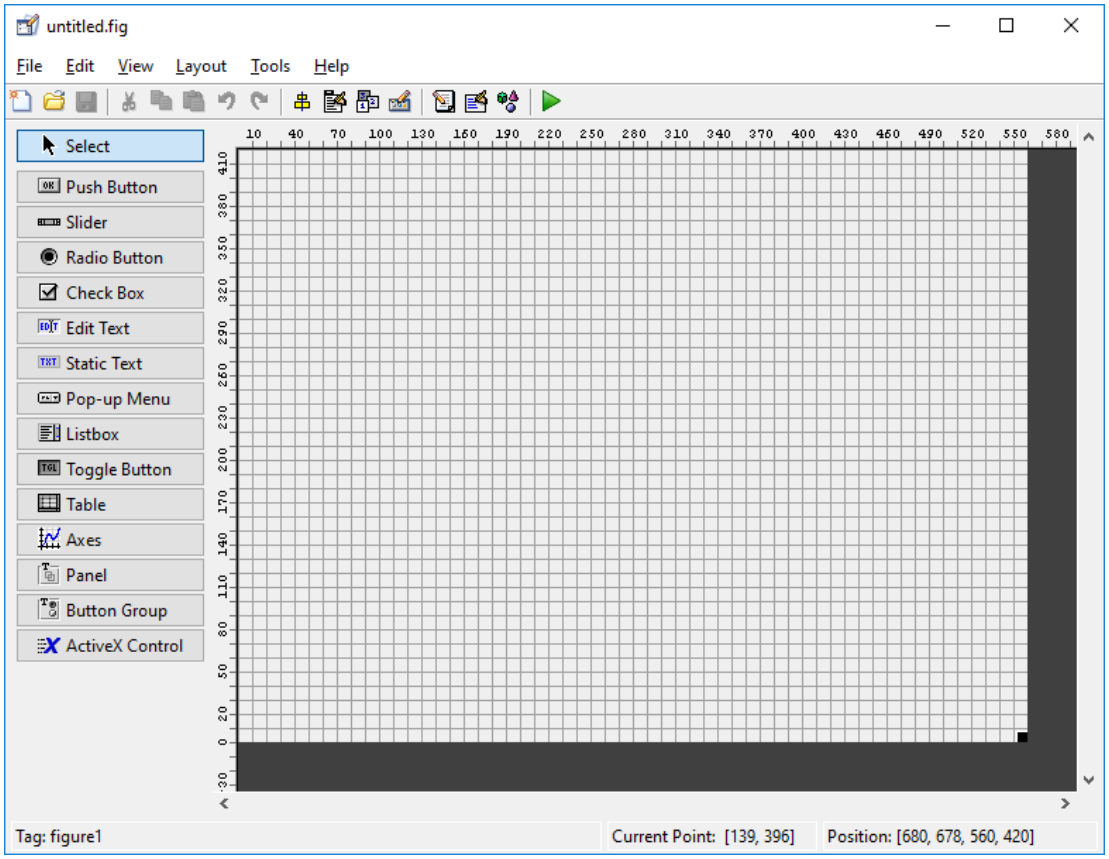


***Figura 28**. Ingresando a la plataforma GUIDE*

Fuente: Elaboración propia

La ventana resultante es la que aparece en la **Figura 27,** ahora colocaremos un **título**, para ello usaremos un objeto llamado **Static Text**.

Para modificar el **texto** hacemos doble clic en el objeto y en el **inspector de propiedades** nos vamos a la opción de **String**, hacemos clic en el icono enmarcado en rojo y escribimos lo siguiente **OPERACIONES DE MAQUINADO.**

Ahora colocaremos un nuevo tipo de objeto llamado **Push Button**, y cambiaremos sus propiedades.

Lo que sigue es colocar un **axes** que es un objeto en que podemos poner imágenes y gráficas. Hacemos clic en el **icono axes** y lo colocamos en la parte superior de los **Push Button.** La interface nos va quedando como observamos en la **Figura 28.**

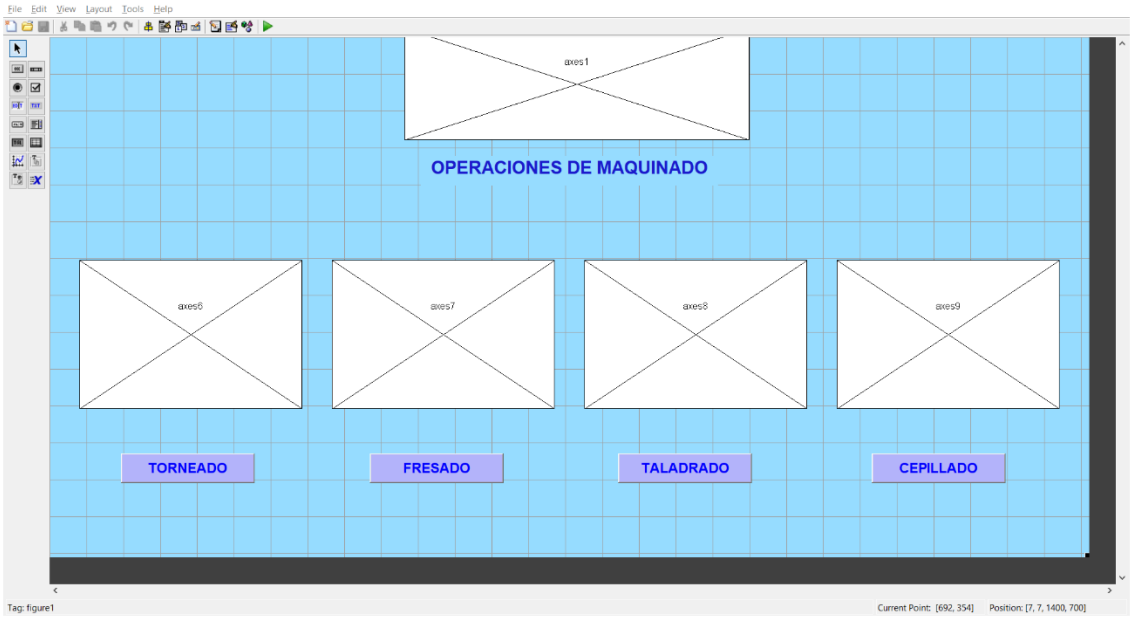


Figura 29**. Configuración de la GUI´s en la plataforma GUIDE de MATrix LABoratory estudiantil.**

Fuente: Elaboración propia

En el axes 1 ingresaremos el logo de la universidad, así mismo se ingresará las distintas fotos características de los procesos de mecanizado. Para lo cual nos vamos a la ventana de programación como se observa en la **Figura 29.**

Con **imread** MATLAB carga la imagen y sus datos lo asigna a la variable **rgb.**

Con **axes(handles.axes1)** le indicamos a MATLAB que usaremos el objeto **axes1**.

Con **imshow** mostramos los datos de la variable **rgb** como una figura.

Al ejecutar el programa debe darnos la interface terminada, como se observa en la **Figura 30,** la cual nos muestra una interface en la cual podemos seleccionar un proceso de mecanizado en particular de acuerdo al análisis que se desee realizar.

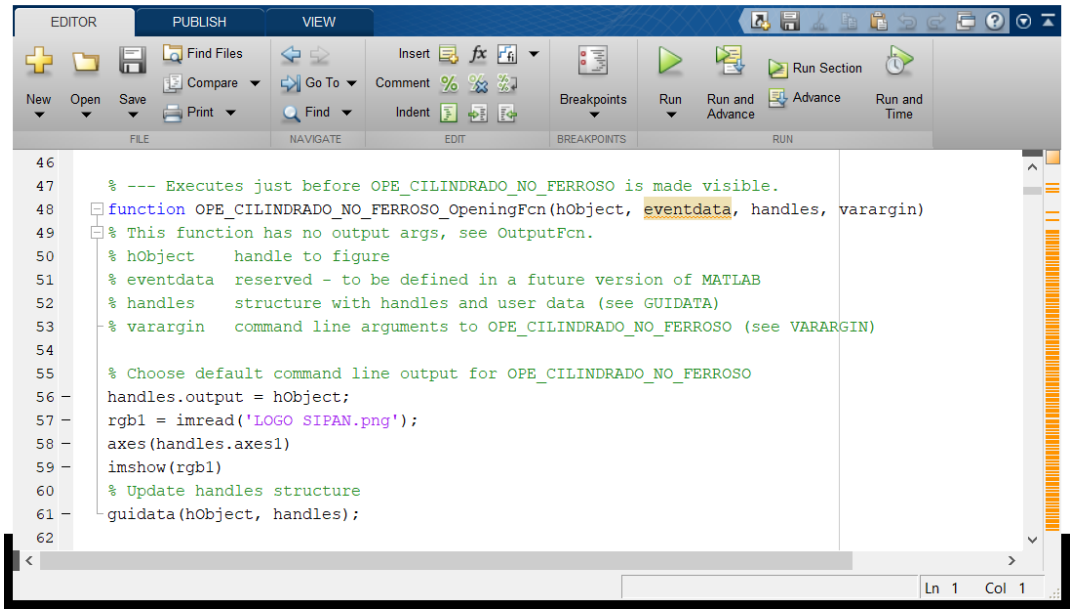


***Figura 30**. Programación de la GUI (axes, Push button entre otras herramientas ingresadas en la GUI*

Fuente: Elaboración propia

***Figura 31.** GUI de selección de tipo de mecanizado*

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. *GUI de introducción, que hace referencia a el tema investigado, año de la investigación y el desarrollador.*

Fuente: Elaboración propia (Anexo 7 GUI's)

Figura 33. *GUI de selección de tipo de mecanizado*

Fuente: Elaboración propia

Se programa la interface de bienvenida para la selección del proceso de mecanizado, como se observa en la **Figura 31,** la interface tiene un Push botón que nos permite trasladarnos a la ventana de tipo de mecanizado. En la pantalla (**Figura 32)** se puede observar los cuatro procesos básicos de operación de procesos de mecanizado, que se consideraron para el modelo predictivo en las operaciones de

mecanizado, cada una de estas nos brinda absceso a una nueva Interface Gráfica de Usuario con las operaciones de mecanizado de cada una de estos procesos.

Figura 34 *Selección del proceso de mecanizado a estudiar*

Fuente: Elaboración propia

Habiendo seleccionado el proceso de torneado esta nos dirige a una nueva GUI's, donde podemos observar las operaciones básicas del torneado, como se observa en la Figura 33, la cual nos brinda acceso al mecanizado del cilindrado, careado, tronzado roscado y perforado interno. En esta GUI's podemos escoger no solo el tipo de operación que queremos realizar con el torno, sino que también el tipo de material que se va a mecanizar, dado que los parámetros del mecanizado están relacionados al desgaste de la herramienta, dimensiones del material de trabajo, así mismo el análisis de costo depende mucho del material a mecanizar.

Figura 35. *Cálculo de los parámetros de corte para el proceso de cilindrado con un tipo de material ferroso.*

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura 34, Esta es una GUI`s para la operación de cilindrado de materiales ferrosos, en esta GUI's se deben ingresar las dimensiones de la pieza tales como en el diámetro de la pieza (D) <mm> , la longitud de la pieza a mecanizar (L) <mm>, y el material a mecanizar con el objetivo de poder seleccionar el esfuerzo ultimo a la tracción que el equivalente a 3^ (1/2)*t (esfuerzo ultimo cortante de acuerdo a la teoría de esfuerzos cortantes en tres dimensiones que es donde se está aplicando el mecanizado.

Proseguimos a insertar las características de la herramienta, como tipo de herramienta, el avance que va a tener durante el mecanizado en <mm/rev>, el encaje o profundidad de corte que es equivalente al espesor de la viruta sin deformar, el ángulo de incidencia de la herramienta <α> el cual determina el ángulo salida de la viruta, número de filos de la herramienta para determinar los costos unitarios del filo de la herramienta. La eficiencia de la máquina herramienta para calcular la potencia unitaria necesaria para la operacionalización.

Habiendo ingresado las características de la herramienta procedemos a ingresar los parámetros independientes del tiempo de montaje de la pieza donde se incluye el tiempo de montar y retirar las pieza a mecanizar, el tiempo de cambio de la

herramienta de corte, y el tiempo de afilado de la herramienta datos usados para calcular el tiempo total del mecanizado y finalmente ingresamos los costos de operación del equipo, donde está incluido el costo de operación del equipo más el costo de mano de obra del operador y el costo de devaluación de la máquina herramienta, una vez ingresado los parámetros iniciales del mecanizado se procede a utilizar el algoritmo matemático para calcular los parámetros de mecanizado y graficarlos para su interpretación como se muestra en la Figura 35.

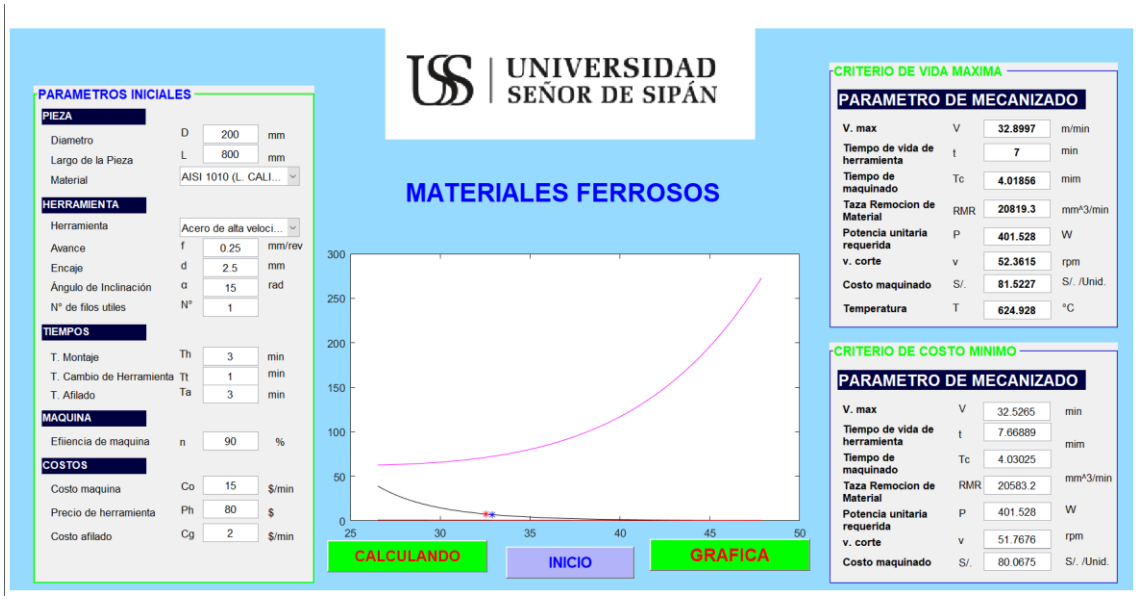


Figura 36. *Ingreso de parámetros para el proceso de mecanizado(cilindrado)*

Fuente: Elaboración propia

3.6. Operación y validación de la GUI´s de los procesos de mecanizados en máquinas herramientas usando la herramienta GUIDE de MATHWORKS Inc.

Se ha seleccionado una aleación de titanio (Ti 0.2 Pd) con una herramienta de cermet para el proceso de mecanizado con un diámetro del material de 20 mm, una longitud de mecanizado de 200 mm, un avance de desbaste de 0.25 mm, una profundidad de 2.5 mm, y la herramienta cuenta con un ángulo de incidencia resultante de 15º, la herramienta cuesta con 16 filos útiles para el mecanizado, el tiempo de montaje de la pieza es de 10 minutos, el tiempo para el cambio de filo de la herramienta es de un minuto, y el tiempo de afilado de la herramienta es de 3 min., considerando una eficiencia mecánica de la

máquina herramienta del 90% , y los costos unitarios de proceso de mecanizado de 2$/min, el precio de la herramienta es de 0.5$/min, y el costo de afilado de la herramienta es de 2$/min.

Como se observa en la interface (Figura 36), tenemos dos criterios de análisis matemático para las operaciones de mecanizado, uno por un tiempo de mecanizado menor y otro por un costo de mecanizado mínimo. Los parámetros de performance obtenidos para el proceso de mecanizado de esta pieza son una velocidad de mecanizado de 163.807 m/min lo que equivale a 2607 rpm con un avance de 0.25 mm/rev, con una profundidad de mecanizado de 2.5 mm como máximo, en el análisis de desgaste de la herramienta se observa que el tiempo de vida de la herramienta bajo estas condiciones estaría llegando a los 03 min, y tendría un costo de mecanizado de 20.0341 $ por operación.

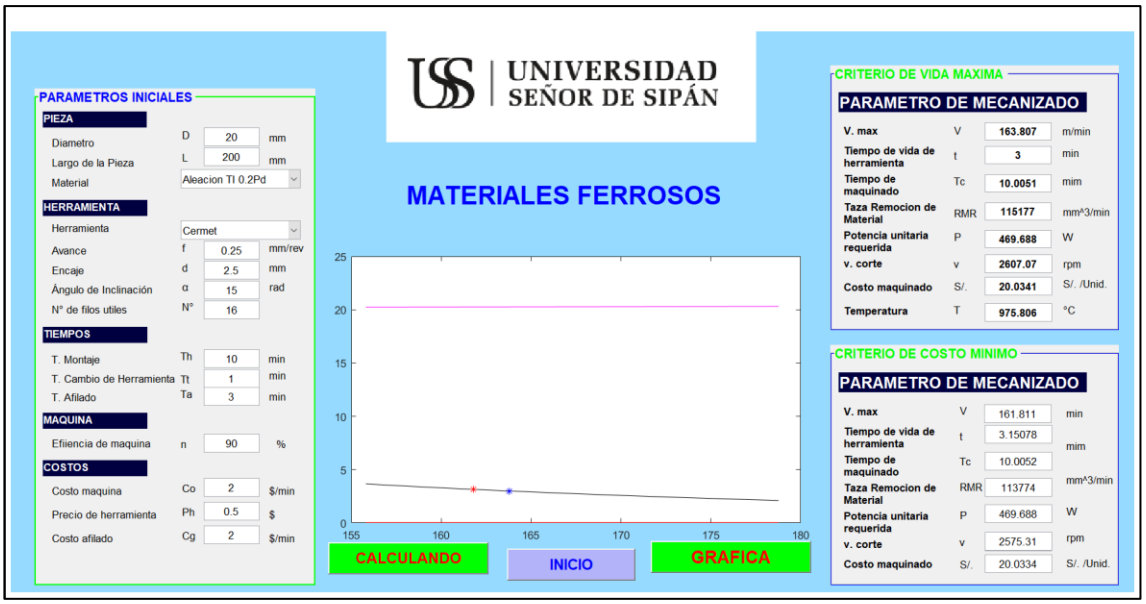


Figura 37. *Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material de aleación de TI 0.2 Pd y una herramienta de corte de cermet.*

Fuente: Elaboración propia

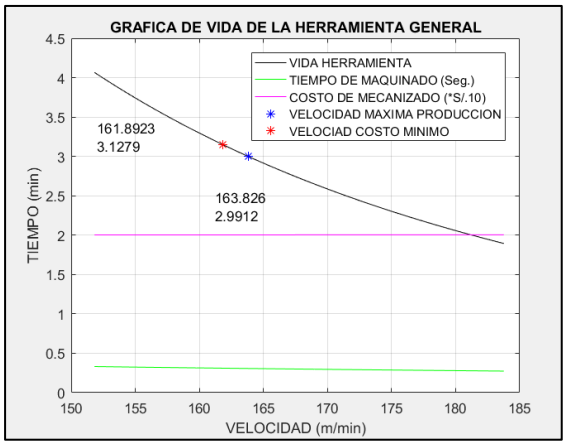


Figura 38. *Podemos apreciar en una escala más comparativa la variación de la vida útil de la herramienta con respecto al costo de la herramienta y el costo de mecanizado.*

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma para un análisis por costos de producción obteniendo un mínimo costo se obtiene que el proceso de mecanizado debería efectuarse con una velocidad de mecanizado de 161.811 m/min lo que equivale a 2575 rpm con un avance de 0.25 mm/rev, con una profundidad de mecanizado de 2.5 mm como máximo, en el análisis de desgaste de la herramienta se observa que el tiempo de vida de la herramienta bajo estas condiciones estaría llegando a 03.15 min, lo que vendría a ser 5% más que por una operación con la máxima velocidad de producción y tendría un costo de mecanizado de 20.0334 $ por operación con una variación de tiempo de mecanizado de menos de 1.5 segundos de la operación de mecanizado. Lo más impactante en este proceso de mecanizado es que el tiempo total de la operación apenas ha variado de los 10.0051 a los 10.0052 min, que es menos del 0.0001% en el tiempo de maquinado total. Y un ahorro del 0.0035% del costo de producción aparente y una taza de ganancia del 0.015% del costo de mecanizado para esta operación en particular.

La interface nos permite poder realizar un análisis a escala más adecuada para la interpretación de los datos obtenidos y como afectan estos valores al costo de mecanizado, costo tiempo de mecanizado de la pieza y la vida útil del filo de la herramienta. En la Figura 37, se observa como se relacionan en un rango de entre -10 a +20 de la velocidad de maquinado.

En el proceso de mecanizado de un eje se realiza la operación de cilindrado de acuerdo a las características pedidas por el cliente, el material de la pieza a mecanizar es un AISI 1010 laminado en caliente, con un diámetro del material de 200 mm, una longitud de mecanizado de 200 mm para el cilindrado inicial, Se ha seleccionado una herramienta de carburo cementado para el proceso de mecanizado un avance de desbaste de 0.25 mm, una profundidad de 2.5 mm, y la herramienta cuenta con un ángulo de incidencia resultante de 15º, la herramienta cuesta con 15 filos útiles para el mecanizado, el tiempo de montaje de la pieza es de 10 minutos, el tiempo para el cambio de filo de la herramienta es de un minuto, y el tiempo de afilado de la herramienta es de 3 min., considerando una eficiencia mecánica de la máquina herramienta del 90% , y los costos unitarios de proceso de mecanizado de 2$/min, el precio de la herramienta es de 0.5$/min, y el costo de afilado de la herramienta es de 2$/min. Como se observa en la Figura 38, los datos han sido ingresados en la interface y usando el algoritmo matemático obtenemos los parámetros de mecanizad.

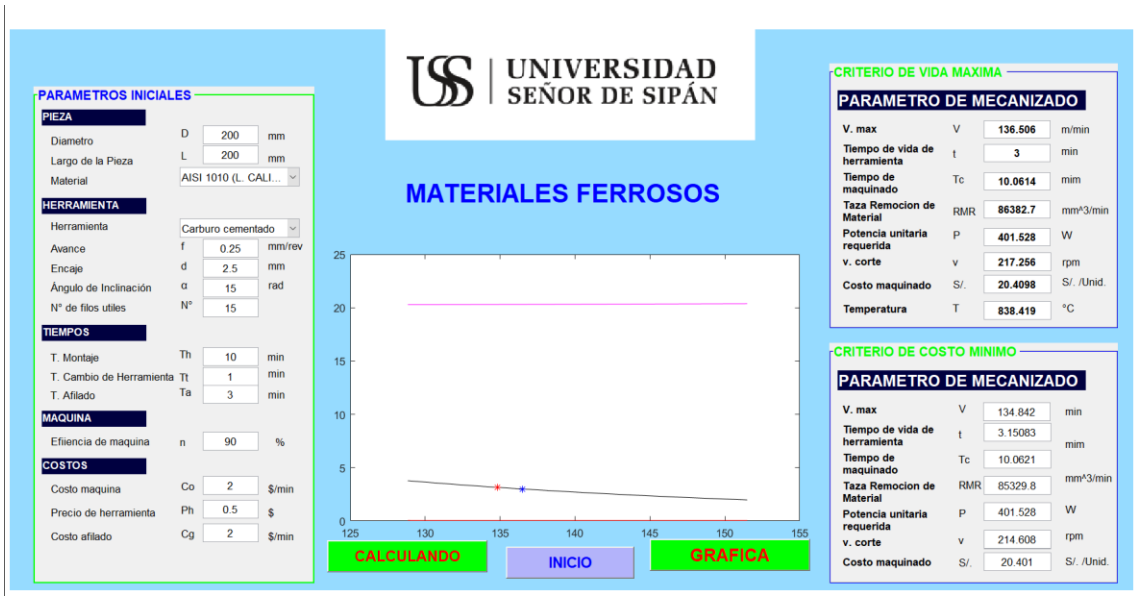


Figura 39. *Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material AISI 1010 y una herramienta de corte de carburo cementado.*

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la interface (Figura 38), tenemos dos criterios de análisis matemático para las operaciones de mecanizado, uno por un tiempo de mecanizado menor y otro por un costo de mecanizado mínimo. Los parámetros de

performance obtenidos para el proceso de mecanizado de esta pieza son una velocidad de mecanizado de 136.506 m/min lo que equivale a 217.256 rpm con un avance de 0.25 mm/rev, con una profundidad de mecanizado de 2.5 mm como máximo, en el análisis de desgaste de la herramienta se observa que el tiempo de vida de la herramienta bajo estas condiciones estaría llegando a los 03 min, y tendría un costo de mecanizado de 20.4098 $ por operación.

De la misma forma para un análisis por costos de producción obteniendo un mínimo costo se obtiene que el proceso de mecanizado debería efectuarse con una velocidad de mecanizado de 134.842 m/min lo que equivale a 214.608 rpm con un avance de 0.25 mm/rev, con una profundidad de mecanizado de 2.5 mm como máximo, en el análisis de desgaste de la herramienta se observa que el tiempo de vida de la herramienta bajo estas condiciones estaría llegando a 03.15083 min, lo que vendría a ser 5% más que por una operación con la máxima velocidad de producción y tendría un costo de mecanizado de 20.4010 $ por operación.

Lo más impactante en este proceso de mecanizado es que el tiempo total de la operación apenas ha variado de los 10.0614 a los 10.0621 min, que es menos del 0.001% en el tiempo de maquinado total. Los costos de mecanizado en ambos casos son prácticamente iguales con apenas una diferencia de S./ 0.0088, pero el tiempo de vida de la herramienta por velocidad máxima es de 3 min, mientras que por un el análisis económico el tiempo de vida incrementa en casi un 105% para estas condiciones de mecanizado.

Así mismo un factor muy importante durante el proceso de mecanizado es la capacidad del equipo para poder realizar las operaciones de acorde a los parámetros calculados, para realizar esta operación se requiere el ingreso de 402 W, la temperatura de la herramienta llega hasta los 838.419 °C se recomienda el uso de refrigerante por la temperatura a la que llega la cara principal de la herramienta y prevenir en pequeña parte la falla de la herramienta por presencia

del cráter, el efecto de esta temperatura en el proceso de mecanizado se ve reflejado en la durabilidad de la herramienta de corta.

Se realiza el mismo análisis anterior del mecanizado con una herramienta de Cermet la cual cuesta el doble de una herramienta de carburo cementado, en la Figura 39, vemos los datos y parámetros ingresados de forma correcta. Usando la GUI´s calculamos los parámetros de operación, los mismos que no varían mucho de una herramienta a otra.

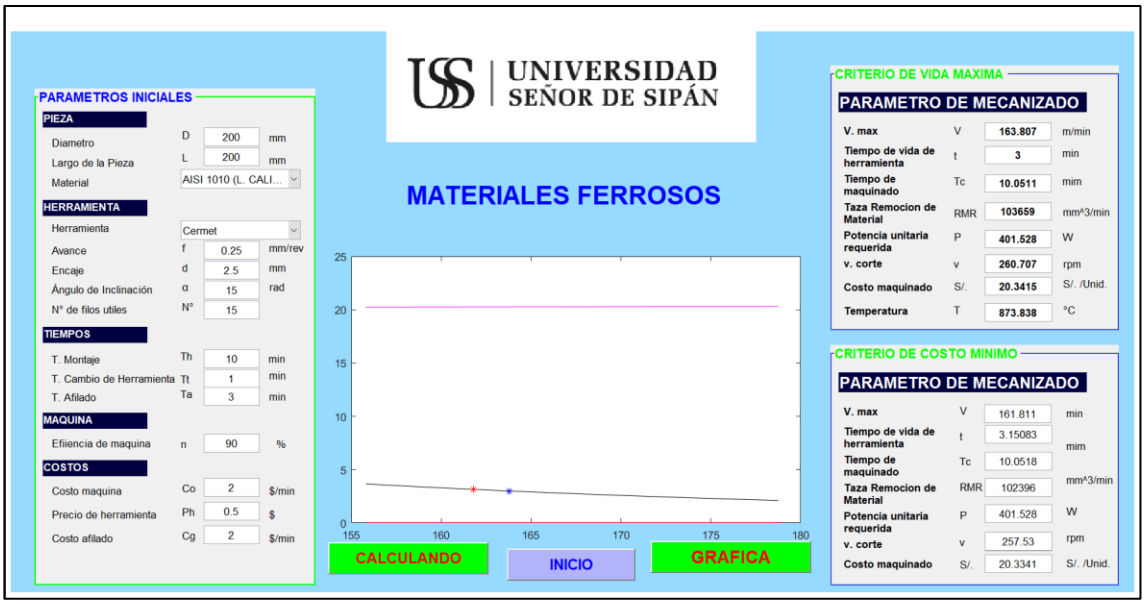


Figura 40. *Análisis de parámetros de performance para el mecanizado, análisis de desgaste de la herramienta y costo del mecanizado con un material AISI 1010 y una herramienta de cermet.*

Fuente: Elaboración propia

En este proceso de mecanizado por torno se observa que el tiempo de vida de la herramienta se mantiene bajo las condiciones prestadas, pero la velocidad máxima para un tiempo de mecanizado mínimo sube en un 20% aproximadamente, el tiempo de mecanizado disminuye en un 1-2%, pero un dato que nos llama la atención es que a pesar de haber utilizado insumos más costosos para el proceso de mecanizado, el costo del mecanizado del carburo cementado es de 20.4010 $ y para la herramienta de cermet es de 20.3347 $. Manteniendo los costos de producción y tiempo de mecanizado casi de forma constante. Como se puede observar en la gráfica el tiempo de vida de la herramienta está completamente ligada a la velocidad del maquinado.

3.7. Puesta a punto de la Interface Gráfica de Usuario y su interconexión a través de la compilación del algoritmo base.

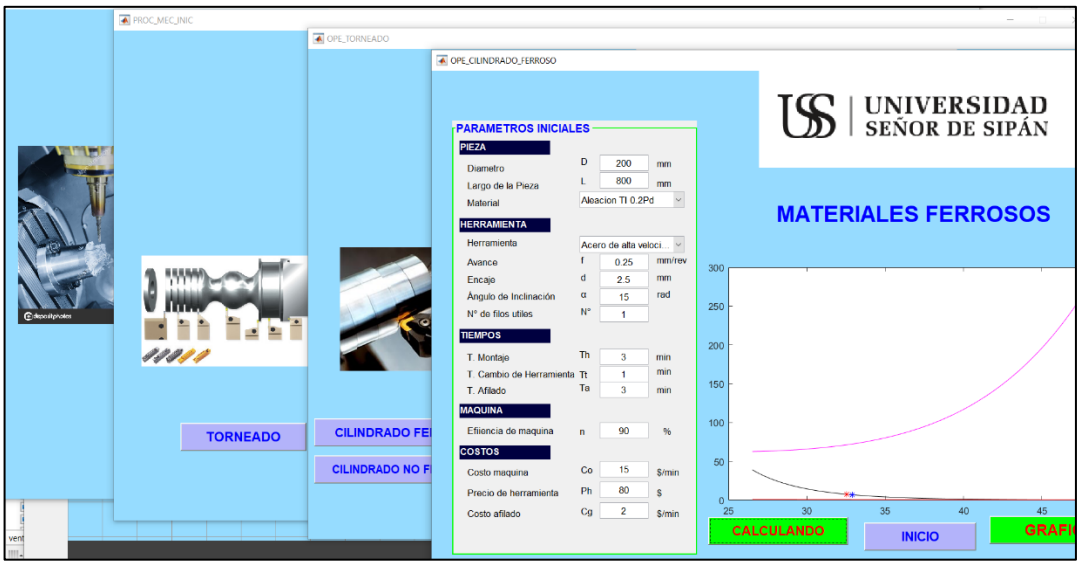


Figura 41. *GUI´s corridas de forma simultanea*

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la compilación y se programó la ejecución de comandos específicos para que cada interface responda frente a cada opción tomada por el usuario, se realizó una compilación de todas las opciones posibles que se presentan en la programación y elimino los errores de programación.

Se han corrido la GUI´s de forma consecutiva para el cálculo de parámetros de corte, sin presentar ningún problema.

Se ha podido presenciar que la interface no presencia ninguna anormalidad frente a la ejecución consecutiva de cálculos, así mismo se ha llevado registro de los datos obtenidos.

La ejecución de las distintas interfaces en paralelo se desarrolló sin ningún problema, las mismas que mostraron total independencia con respecto a las demás. Así mismo se podían realizar análisis de dos a más procesos de mecanizado consecutivas necesarias para el maquinado de una pieza. Como se observa en la Figura 40.

3.8. Análisis de la aplicación de esta tecnología a los equipos CNC.

En la verificación de la interface gráfica en los centros de rectificado que se ha llevado a cabo, se nos presentó un contratiempo debido a que se contaba con equipos convencionales, lo que nos limitaba a velocidades del mecanizado como estáticas.

En los equipos Tornos CNC donde podemos controlar de forma más precisa y en mayor rango la velocidad de giro de la pieza mecanizada se ha podido presenciar que la vida de la herramienta está en el rango de vida calculado a través de la interface gráfica, así mismo el tiempo de mecanizado de la pieza puede mejorar considerablemente, debido a que la vida de la herramienta están en un punto en que afecta a lo más mínimo al proceso de mecanizado, no afectando a aumentar la cantidad de veces que tendremos que desmontarla herramienta y afilar, así mismo, disminuye los costos de mecanizado, debido a que la herramienta solo es afilada la cantidad de beses mínima necesaria para el proceso de mecanizado, así mismo el costo total del afilado es menor ya que se reduce, el tiempo de mecanizado también se reduce que es lo opuesto cuando la herramienta trabaja por debajo de la velocidad recomendada y el tiempo de mecanizado aumenta, de acuerdo al material total a remover.

Un factor que debemos de tener en cuenta delos procesos de mecanizado en la cual los equipos con sistema CNC, no solo tienen un mejor control en la velocidad del mecanizado, la precisión, el rango de tolerancia es mínimo, es el ingreso de potencia necesario es controlada de tal forma que la potencia que ingresa es el 110~115% de la potencia requerida para el mecanizado. Lo que minimiza la energía mecánica que se trasforma en calor, evitando de esta forma que la temperatura de la punta de la herramienta se siga elevando y las propiedades mecánicas de la herramienta se vean afectadas de forma desfavorable.

Estos factores en la industria influyen de gran manera debido a que no solo se reduce costos de producción, si no los materiales y herramientas se aprovechan de mejor forma para minimizar los desechos, y mermas en los procesos de mecanizado.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

Los procesos industriales están en constante investigación y desarrollo de procesos de manufactura, esto ha conllevado al desarrollo de tecnologías especializadas en muchos campos de la industria, la cual ha evolucionado de forma sorprendente llegando a forzar el desarrollo de nuevas tecnologías para llevar a cabo el proceso de manufactura, y aumentar la producción no solo en número a través de producción en paralelo si no en la disminución del tiempo del proceso, sin dejar de lado la calidad, disminuir el margen de precisión y exactitud, principios fundamentales que llevaron al desarrollo de los procesos de mecanizados con Control de Numérico Computarizado (CNC), que junto a los principales procesos básicos de manufactura usados en la industria ha llevado a las operaciones del torneado, frezado, taladrado entre otros a la complementación y así lograr la creación de piezas mucho más complejas. El tiempo de mecanizado de una pieza está sujeto a los procesos que tienen que aplicarse para su fabricación, la característica en su acabado final de acuerdo a las especificaciones pedidas por el cliente tiene que ser uniformes para todas las piezas a fabricar, en la fabricación individual en un equipo convencional varía de acuerdo a la habilidad del técnico operario y está siempre propensa a que este pueda incurrir en una falla y estropear la pieza. El análisis de las operaciones básicas de torneado tales como el cilindrado, refrentado, tronzado, roscado y perforado interno, para las operaciones de torneado, el perforado ciego y el pasante para el uso del taladro, así mismo las operaciones del fresado básicas de mecanizado, y las operaciones de cepillado, con un análisis tanto para materiales ferrosos como no ferrosos, son parte de los procesos que se realizan en las instalaciones de las plantas rectificadoras que cuentan con equipos convencionales y semi automáticos, dadas sus dimensiones que son piezas pequeñas a mecanizar en muchas ocasiones poco complejas.

Las aplicaciones de los modelos predictivos en los procesos industriales se han venido aplicando a través de sistemas computarizados en las distintas áreas de producción, a través de del control proporcional, integral y derivativo (PID) han sido acogidos por las distintas áreas del sector industrial. Los procesos de mecanizado están orientados a una producción estable, garantizando una máxima productividad que permiten tener operaciones de mecanizado estables, una máxima productividad de la herramienta y de la planta, conllevando disminución los costos de producción y un aumento en las utilidades. A través de un análisis de las condiciones del mecanizado teniendo en cuenta la

herramienta a usar en el proceso de mecanizado, la pieza a mecanizar, las condiciones iniciales, las características de la pieza terminada, las condiciones encontradas durante el proceso de mecanizado que afectan la eficiencia del Mecanizado como su acodado que en un factor importante en el mecanizado. Que no solo afectan el tiempo de mecanizado, el tiempo de vida de la herramienta, sino la calidad, acabado, precisión de la pieza y costos de producción.

Las principales teorías para el proceso de mecanizado fueron el análisis de la deformación geométrica, ecuación de Taylor, ecuación de Merchant, entre otras que los podemos encontrar de la página 27-46, estas ecuaciones también fueron usadas en las investigaciones para el desarrollo de una interface gráfica para calcular la temperatura de corte de los procesos de mecanizado para disminuir los errores y mejorar los procesos realizado por Pamies, J & otros (Pamies-Teixeira, J., Rodriguez, C., Correia, M., Ferreira, C. C., & Toledo, R (2005), así mismo Garcia Jaramillo, & otros (Garcia Jaramillo, L. A., Chapiro, A., & Antonio, M (2015) Afirma que es necesario estudiar el tiempo de vida de las herramientas para prevenir el desgaste pronunciado que conlleva a una fractura de la herramienta y evitar que la pieza tenga imperfecciones y/o la pieza quede inutilizable. En su proceso de modelar y predecir el desgaste de la herramienta de corte se usó la ecuación propuesta por F. W. Taylor para cada tipo de mecanizado y distintas operaciones que se pueden desarrollar principalmente, a través del análisis Avanzado del Campo de Mecanización y Prototipos de la ESPOL, en donde se varió las dimensiones de la pieza de corte como parámetro de corte principal para determinar las constantes de la ecuación de Taylor.

A través del análisis se desarrolló un proceso de estudio que partía desde la selección del equipo a usar, el proceso de mecanizado a ejecutar, las condiciones de la pieza a mecanizar, y las características de la herramienta que se empleara en el proceso de mecanizado. Para modelar y predecir el desgaste de la herramienta de corte se usó la ecuación propuesta por F. W. Taylor y un análisis de costos. Se analizó e interpreto de forma muy minuciosa como demuestra la **Tabla 3**, para el análisis de velocidad máxima en los procesos de mecanizado, y en la **Tabla 4**, para un análisis más diseñado para minimizar los costos de mecanizado, al igual que Garcia Jaramillo, & otros (Garcia Jaramillo, L. A., Chapiro, A., & Antonio, M (2015) Es necesario estudiar el tiempo de vida de las herramientas para prevenir el desgaste prematuro o fractura.

A través del estudio de los procesos que se llevan a cabo en las plantas de mecanizado. Se planteó un diseñó para la configuración en escala lo que permitía poder seleccionar el equipo apropiado de acuerdo al proceso que se desea analizar, se consideró el tipo de material, las características iniciales y propiedades del material, herramienta, tiempos y costos de forma gradual para posteriormente hacer los análisis de los parámetros de performance, de acuerdo a las Figuras 26, 27, 28 se usaron para la configuración y el orden secuencial de las GUI's, teniendo en cuenta un análisis adecuada, y la presentación de las opciones personalizadas que se presentan por cada decisión tomada

El análisis de las operaciones de torneado tales como el cilindrado, refrentado, tronzado, roscado y perforado interno, para las operaciones de torneado, el perforado ciego y el pasante para el taladro, así mismo las operaciones del fresado entre otras enfocados al análisis tanto para materiales ferrosos como no ferrosos. Forman parte de los distintos procesos a los que se le puede aplicar los modelos predictivos desarrollados en esta GUI's, mientras que otros modelos predictivos de operaciones de mecanizado se orientan a las condiciones de operación que se le asignan como parámetro de entrada para recalcular y asumir las condiciones de corte sin tener en cuenta la vida útil de la herramienta o incluso el costo del mecanizado que llevara bajo determinadas condiciones de trabajo. Como es el caso del desarrollo de la investigación llevado a cabo en colaboración entre la universidad de Nantes y Airbus y denominada SMARTIbox (Spindle Measuring and Analysing Relevant Tool for Industry Box). SMARTIbox se basa en la sonorización que analiza las frecuencias de corte y los armónicos del husillo de alta velocidad mediante la sonorización de los esfuerzos de corte y sus frecuencias. Este desarrollo permite establecer ciertas leyes de comportamiento predictivas para definir los ciclos de verificación y mantenimiento antes de alcanzar umbrales que puedan ser perjudiciales para el cabezal. De igual forma el análisis mediante la simulación por elementos finitos de la temperatura en la herramienta durante el proceso de fresado, en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Concluyen que el análisis de la temperatura en el proceso de maquinado puede calcularse de forma casi precisa a través de un análisis por elementos finitos, siendo la temperatura promedio proporcional al trabajo entregado durante el proceso, siendo proporcional fundamentalmente a las condiciones geométricas de la herramienta.

La aplicación de equipos convencionales en la industria manufactura se ha dejado de lado por distintos factores, como el avance de la tecnología y versatilidad de las mismas, la facilidad del cambio de herramientas, así mismo la facilidad con la que se puede mecanizar piezas más complejas con mayor exactitud en un menor tiempo de manufactura, debido a la elevada precisión de los Equipos CNC, lo que ha conllevado a dejar de lado a las máquinas convencionales, este es uno de los factores más importantes que afectan a los procesos de manufactura, sin embargo al utilizar esta tecnología de vanguardia se ha dejado de lado las condiciones de mecanizado durante el proceso de producción para aprovechar de forma más eficiente la vida de la herramienta como la velocidad, tiempo y costo del mecanizado, debido a que durante la programación se nos está permitido no solo variar los parámetros de profundidad del mecanizado, avance, interpolación de la posición de la herramienta para obtener la nueva superficie requerida o acercarnos a ella en las posteriores pasadas de la herramienta, sino también el sentido de rotación tanto parala pieza como para la herramienta dado el caso, así mismo mover la pieza en los distintos grados de libertad con la que cuente el equipo. variar la velocidad de giro de la pieza en el proceso de torneado por cada pasada programada, mucho de los parámetros se mantienen constantes durante el mecanizado, lo que conlleva a elevar los costos de producción.

Estos factores en la industria influyen de gran manera debido a que no solo se reduce costos de producción, si no los materiales y herramientas se aprovechan de mejor forma para minimizar los desechos, y mermas en los procesos de mecanizado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

Los procesos industriales están en constante investigación y desarrollo de tecnología junto a los principales procesos básicos de manufactura complementada con el sistema CNC ha llevado a la elaboración de piezas mucho más complejas, reducción el tiempo de mecanizado de una pieza que aplican para su fabricación, el tiempo de mecanizado de una pieza está sujeto a los procesos de mecanizado que tienen que aplicarse para obtener las condiciones especificadas por el cliente como acabado final, rugosidad, dimensiones entre otras. Que no solo afectan al tiempo de mecanizado, el tiempo de vida de la herramienta, afectando también a la calidad, acabado, precisión de la pieza y costos de producción entre otras condiciones del mecanizado.

El análisis de las operaciones de torneado tales como el cilindrado, refrentado, tronzado, roscado y perforado interno, para las operaciones de torneado, el perforado ciego y el pasante para el taladro, así mismo las operaciones del fresado entre otras enfocados al análisis tanto para materiales ferrosos como no ferrosos. Las aplicaciones de los modelos predictivos en los procesos de mecanizado se han venido aplicando a través de sistemas computarizados en las distintas áreas de producción de máquinas, herramientas y procesos de mecanizado orientados a una producción estable, garantizando una máxima productividad en las industrias que permiten poder tener operaciones de mecanizado estables.

A través de un análisis de las condiciones del mecanizado teniendo en cuenta la herramienta a usar en el proceso de mecanizado, la pieza a mecanizar, las condiciones iniciales, las características de la pieza terminada, las condiciones encontradas durante el proceso de mecanizado que afectan la eficiencia del Mecanizado como su acodado que en un factor importante en el mecanizado. Que no solo afectan el tiempo de mecanizado, el tiempo de vida de la herramienta, sino la calidad, acabado, precisión de la pieza y costos de producción. Junto a las principales teorías para el proceso de mecanizado se analizaron y se complementó con un análisis de costo, estudiando el desgaste de la herramienta y con ello tiempo de vida de las herramientas para prevenir el desgaste prematuro o fractura y evitar que la pieza maquinada tenga imperfecciones. Que se analizó e interpreto el modelo matemático de velocidad máxima en los procesos de mecanizado, y para el análisis por diseñado para minimizar los costos de mecanizado.

A través del estudio de los procesos que se llevan a cabo en las plantas de mecanizado. Se planteó un diseñó para la configuración en escala lo que permitía poder seleccionar el equipo apropiado de acuerdo al proceso que se desea analizar, se consideró el tipo de material, las características iniciales y propiedades del material, herramienta, tiempos y costos de forma gradual para posteriormente hacer los análisis de los parámetros de performance, se usaron para la configuración y el orden secuencial de las GUI's, teniendo en cuenta un análisis adecuada, y la presentación de las opciones personalizadas que se presentan por cada decisión tomada

El proceso de implementación de la GUI´s como una herramienta de apoyo en las plantas de rectificación fue planteado de acorde a los protocolos de producción implementados, de los cuales nos basamos para el diseño y programación de la interface haciendo intuitiva para los usuarios.

La aplicación de equipos convencionales en la industria manufactura se ha dejado de lado por distintos factores, como el avance de la tecnología y versatilidad de las mismas, la facilidad con la que se puede mecanizar piezas más complejas con mayor exactitud en un menor tiempo de manufactura, debido a la elevada precisión de los Equipos CNC, dejando de lado a las máquinas convencionales, este es uno de los factores más importantes que afectan a los procesos de manufactura, debido a que durante la programación se nos está permitido no solo variar los parámetros de profundidad del mecanizado, avance, interpolación de la posición de la herramienta para obtener la nueva superficie requerida o acercarnos a ella en las posteriores pasadas de la herramienta, también el sentido de rotación tanto parala pieza como para la herramienta dado el caso, así mismo mover la pieza en los distintos grados de libertad con la que cuente el equipo. variar la velocidad de giro de la pieza en el proceso de torneado por cada pasada programada, mucho de los parámetros se mantienen constantes durante el mecanizado, lo que conlleva a elevar los costos de producción y un mayor desgaste de la herramienta.

VII. RECOMENDACIONES

Para un estudio posterior recomendaría el análisis de la utilidad en los procesos de mecanizado por arranque de viruta, lo cual disminuirá el rango de trabajo para los procesos de mecanizado.

Así mismo un análisis la difusión de los refrigerantes y/o lubricantes en los procesos de mecanizado a altas velocidades y posterior desarrollo de protocolos adecuados para el trabajo con ellos.

En busca de complementar los estudios realizados hasta ahora, recomendaría complementar la programación de los parámetros de producción con los sistemas CAD-CAM y la programación en lenguaje G de acuerdo con la normativa ISO, con el objetivó de obtener la mayor producción en las plantas de mecanizado, así mismo complementar, mejorar, y aprovechar los beneficios que nos prestan el sistema CNC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaia Calleja, Ainhoa Celaya y Gorka Urbikain. (27/04/2017). Tendencias en modelización de los procesos de mecanizado. 23/06/2017, de METALMECÁNICA Sitio web:

http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/185273-Tendencias-en-modelizacion-de-los-procesos-de-mecanizado.html

BATISTA, J. A. D., VERGARA, I. G. P., ALONSO, C. F., & ABREU, A. O. (2017). APLICACIÓN DE LABORATORIOS VIRTUALES UNA NECESIDAD ACTUAL EN LA ENSEÑANZA EN LA INGENIERÍA.

Revisit ingenierías & Amazonia (2010:40-53). Revista ingenierías & Amazonia Sitio Web **https://www.researchgate.net/publication/271850018_LABORATORIOS_VIRTUALES_INTEGRADOS_CON_TECNOLOGIA_GRID_PARA_LA_UNIVERSIDAD_DE_LA_AMAZONIA**

BLM GROUP. (2017). PARTVIEWER. 23/06/2017, de PARTVIEWER Sitio web: http://www.blmgroup.com/es/software/partviewer

Boothroyd, G. (1978). Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramientas. México: McGraw-Hill, pp. 1-126.

Burdea, G., & Coiffet, P. (1996). Tecnologías de la realidad virtual. Barcelona.

Colegio de Ingenieros del Perú. Código de ética del CIP. Aprobado en la III sesión Ordinaria del Congreso Nacional de Consejos Departamentales del periodo 1998-1999. Tacna, 1999. En:

http://www.cip.org.pe/Cvista/publicaciones/documentos/cetica.pdf

CoroPlus (2017). *CoroPlus*. [imagen] Available at:

ttp://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/coroplus-toollibrary [Accessed 2 jun. 2017].

Es.mathworks.com. (2017). GUI de MATrix LABoratory estudiantil - MATrix LABoratory estudiantil & Simulink. [online] Available at: https://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html?s_tid=srchtitle [Accessed 26 jul. 2017].

Es.mathworks.com. (2017). Funciones - MATrix LABoratory estudiantil - MATrix LABoratory estudiantil. [online] Available at:

https://es.mathworks.com/products/matlab/features.html#matlab-integra-flujos-de-trabajo [Accessed 26 Jul. 2017].

Garcia Jaramillo, L. A., Chapiro, A., & Antonio, M. (2015). Análisis y selección de herramientas de corte, geometría y composición para el mecanizado del acero AISI 4340, basado en los parámetros de la ecuación de Taylor y los criterios de desgaste del franco y caracterización (Bachelor's thesis, Espol).

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. 3rd ed. México [etc.]: Prentice-Hall Hispanoamericana, pp. 481-593.

Interempresas. (2016). Interempresas. 31/08/2016, de interempresas Sitito Web http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/160652-La-industria-alemana-de-máquina-herramienta-espera-un-crecimiento-moderado-en-2016.html

International metalmecánica (2015). El futuro de los centros de mecanizado**.** Sitio Web: **http://www.metalmecanica.com/temas/El-futuro-de-los-centros-de-mecanizado+108357?pagina=2**

INEI. (2015). INEI 2017, de INEI Sitio web:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/Cap15012.xlsx

Kalpakjian, S. and Schmid, S. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología (5ta. ed.). Distrito Federal: Pearson Educación, p.677.

Noreña, A., Alcaraz-Moreno, N., Rojas, J., & Rebolledo Malpica, D. (2012). Applicability of the Criteria of Rigor and Ethics in Qualitative Research. Aquichan, 12(3), 263-274. http://dx.doi.org/10.5294/aqui.2012.12.3.5

Pamies-Teixeira, J., Rodriguez, C., Correia, M., Ferreira, C. C., & Toledo, R. (2005, October). La Importancia de la Simulación en la Investigación Científica del Mecanizado. In 7º congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, México DF.

Partiewer (2017). *Partiewer*. [image] Available at:

http://www.blmgroup.com/documents/21769/58619/pezzo+1+partviewer.jpg/6436c46f-3145-4923-9ed4-6301e643df7f [Accessed 6 Jun. 2017].

S.V. Kadam, M.G. Rathi, PG Student, Dept. of Mech. Engg., G. E. C, Aurangabad, MH, India, Assistant Professor, Dept. of Mech. Engg., G. E. C, Aurangabad, MH, India. (2014). Review of Different Approaches to Improve Tool Life. India.

TEBIS. (28/05/2015). TEBIS 4.0. 23/06/2017, de TEBIS Sitio web: http://www.tebis.com/es/es/actualidad/novedades/tebis-40-parte-3/

TEBIS (2017). Tebis. [image] Available at:

http://www.tebis.com/ecomaXL/files/Tebis_Aktuelles_Neuheiten_Release-4_Aenderungsbereiche.png?w=248 [Accessed 6 Jun. 2017].

TEMPO. (2016). TEMPO. 23/06/2017, de MECANITZATS Sitio web: http://www.mecaninou.com/-es_/mecanizados/software-tempo-presupuesto/ia73

TEMPO (2017). [image] Available at:

http://www.mecaninou.com/media/crop/800/387/es_/Listados/Secciones/PecesNinou_web12.jpg [Accessed 6 Jun. 2017].

UNESCO (1998). SUPERIOR, D., & ACCION, V. Y. (1998). Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: visión y acción y marco de acción prioritaria para el cambio y el desarrollo de la educación superior. Pag 12-13.

MHRD. (2017). An Initiative of Ministry of Human Resource Development (MHRD)

Under the National Mission on Education through ICT. Retrieved from http://vlab.co.in/

VDW. (2015). Suiza, Japón e Italia son los principales proveedores de máquinas-herramientas. Retrieved from**:**

http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/160652-La-industria-alemana-de-máquina-herramienta-espera-un-crecimiento-moderado-en-2016.html

CAPÍTULO VI

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1

CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999

Anexo 2

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENTREVISTA

PREDICCIÓN DE LOS PARAMETROS DE PRODUCCIÓN EN OPERACIONES DE MAQUINADO MEDIANTE UNA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO PARA LA ASA EL TORNILLO-CHICLLAYO

Autor:

Gavilano Barón Merlin Randoll

Asesor:

Olortegui Yume Jorge Antonio

Línea de Investigación:

Ingeniería de Procesos Productivos

Pimentel-Perú 2017

Entrevistado :

Carrera profesional :

Cargo :

Entrevistador : **Merlin Randoll Gavilano Baron**

Carrera : **Ingeniería mecánica eléctrica**

Semestre : **X**

Fecha: 12/10/2017 **hora:**

Objetivos: Se busca recabar información de los parámetros de mecanizado reales, teniendo como tema principal la Predicción de los Parámetros de Producción en Operaciones Maquinado mediante una Interface Grafica de Usuario (GUI).

En resumen, este trabajo versa en desarrollar un software de ingeniería para predecir los parámetros ideales de corte, la vida de la herramienta (desgaste) y la economía del mecanizado. Debido a que toda herramienta computacional de ingeniería requiere de validación con el mundo real necesito acceso a un ambiente de maquinado de la industria local para la obtención de datos y casos de maquinado práctico.

1. **¿Cuán importante son los procesos de arranque de viruta según su experiencia?**
   .....
   .....

2. **¿Puede enumerar todos los procesos de maquinado con arranque de viruta que conoce?**
   .....
   .....

3. **¿Qué procesos de manufactura considera usted imprescindibles en el rubro metal mecánica?**

- ☐ **Torneado**
- ☐ **Fresado**
- ☐ **Taladrado**
- ☐ **Cepillado**
- ☐ **Escariado**
- ☐ **Refrentado**
- ☐ **Soldadura**

Otros:.....

4. ¿Cuántos productos se desarrollan en sus instalaciones industriales?

.....

.....

5. De los productos que se desarrollan en su planta industrial ¿Cuántos requieren procesos de mecanizado por arranque de viruta?

.....

.....

6. De los productos que se desarrollan en la planta industrial de mecanizado, puede enumerar los 4 procesos de maquinado más utilizados.

.....

.....

7. Puede enumerar los procesos de mecanizado con uso de operaciones de torneado y frezado que se desarrollan en la planta industrial.

.....

.....

.....

.....

.....

8. Del proceso anterior podría especificar el tiempo total que toma hacer una pieza.

.....

.....

9. ¿Ha escuchado hablar sobre los modelos predictivos para la predicción de modelos de mecanizado?

☐ SI ☐ NO

10. ¿Sabia usted que los modelos predictivos ya se están aplicando se están aplicando en la fabricación de máquinas, diseño de procesos y fabricación de herramientas?

☐ SI ☐ NO

11. **¿Sabía que los modelos predictivos orientado al diseño de procesos, específicamente para el proceso de mecanizado, para obtener una maquinado con corte estable?**

☐ **SI** ☐ **NO**

12. **¿sabía que al usar procesos de corte estable en los procesos de mecanizado obtiene una máxima productividad en la industria?**

☐ **SI** ☐ **NO**

13. Durante los últimos años se ha venido realizando un progreso significativo en el desarrollo de modelos predictivos para la predicción de las operaciones de mecanizado y poder hacer frente a los nuevos avances en tecnologías de máquinas-herramienta, herramientas de corte y desarrollo de materiales avanzados, orientados a mejorar la producción y productividad en los procesos de fabricación, sin dejar de lado la calidad y reducción de costos de los productos. **¿Cuáles cree usted que serían los beneficios para la empresa de implementar un sistema de modelos predictivos?**

.....
.....
.....

14. **¿De estar interesado en un modelo predictivo desarrollada a través de una interface gráfica de usuario, cuanto estaría dispuesto a pagar por el desarrollo de este software? ¿Por qué?**

.....
.....
.....

15. **¿Qué procesos de maquinado piensa usted que debería tener el modelo predictivo (Interface Gráfica de Usuario – GUI's por sus siglas en inglés) para aplicación en la industria de manufactura?**

.....
.....
.....

16. **En su experiencia ¿Qué funciones piensa usted que debería cumplir esta interface gráfica de usuario para el cálculo de parámetros de producción?**

.....
.....

Anexo 3

Tabla 9

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la Casa del Tornillo, con respecto al diseño de una interface gráfica de usuario que permita el calcular los parámetros de producción.

Fuente: Elaboración propia

ASPECTOS	ENTREVISTADOS / PREGUNTAS	Gonzalo Sánchez Calderón	Dalia J. Flores Vera.	Juan Vásquez	Julio Lozano Díaz	Julio Arango	Luis Soria	Roger Valera
SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA (PROCESOS DE MECANIZADO USADOS)	1. ¿Cuán importante son los procesos de arranque de viruta en los procesos industriales según su experiencia?	Ayuda a que las dimensiones de la pieza sean más precisas	Es la base fundamental para los procesos industriales en la fabricación de nuevas piezas	Los procesos de arranque de viruta en la industria metalmecánica viene siendo la base fundamental para la trasformación de la materia prima como se realiza en esta empresa, que producimos piezas	En el proceso industrial la precisión en las piezas son de mucha importancia para obtención de buenos	Los procesos de mecanizado son importantes, dependen de la capacitación de los aperadores, es el factor más importante en la industria	Los procesos de mecanizado son importantes, no hay industria metalmecánica que progrese sin estos procesos de mecanizado	los procesos de mecanizados por arranque de viruta tienden a ser parte importante en la industria, con la investigación de nuevos

				para los motores de motos.	productos finales.	metalmecánica .		materiales y herramientas
	2. ¿Puede enumerar todos los procesos de mecanizado con arranque de viruta que conoce?	torneado, fresado, cepillado, y soldadura	Torneado, fresado, prensado, soldadura, prensa.	Torneado, fresado, taladrado, perforado de planchas, formación de elementos.	prensado, torneado, cepillado, fresado	Camiseta de motores, aleación de metales, torneado, fresado, taladrado, cepillado, esmerilado	Barrenado, taladrado, fresado, cepillado, taladrado, mandrilado	Torneado, fresado, taladrado, perforado de planchas, formación de elementos.
	3. ¿Qué procesos de manufactura considera usted imprescindibles en el rubro metal mecánico?	torneado, fresado, taladrado, cepillado, y soldadura	Torneado, fresado, prensado.	Torneado, fresado, taladrado.	torneado, taladro, prensado	torneado, fresado, taladrado, cepillado, soldadura	torneado, fresado, taladrado, cepillado, soldadura	torneado, fresado, taladrado, cepillado, soldadura
	4. ¿Cuántos productos se desarrollan en sus instalaciones industriales?	25	25	25	25	15	15	15

	5. ¿Cuántos requieren procesos de mecanizado por arranque de viruta?	25	25	25	25	15	15	15
	6. De los productos que se desarrollan en la planta industrial de mecanizado, puede enumerar los 4 procesos de mecanizado más utilizados.	cilindrado, escariado, roscado, prensado	cilindrado, escariado, roscado, prensado	roscado, refrentado, prensa, cilindrado	prensado, roscado, cilindrado, escariado	rectificación de asientos de válvulas, cilindrados, rectificados de cigüeñal, cepillado	cepillado de culatas, monobloc, barrenado, rectificado	rectificado de tornos paralelos, ejes y pines, rectificados cónicos
	8. Del proceso anterior podría especificar el tiempo total que toma hacer una pieza.	30 minutos	25 minutos	28 minutos	30 minutos	30 minutos	60 minutos	30

BENEFICIOS DE LOS MODELOS PREDICTIVOS	9. ¿Ha escuchado hablar sobre los modelos predictivos para la predicción de procesos de mecanizado?	si	si	si	si	no	si	si
	10. ¿Sabía usted que los modelos predictivos ya se están aplicando en la fabricación de máquinas, diseño de procesos y fabricación de herramientas?	si	si	si	si	si	si	si

	11. ¿Sabía que los modelos predictivos que están orientado al diseño de procesos, específicamente para el proceso de mecanizado, están orientados para obtener un proceso de mecanizado con corte estable?	no	si	si	si	si	si	si
	12. ¿sabía que al usar procesos de corte estable en los procesos de mecanizado obtiene una máxima	no	no	no	no	no	no	si

	productividad en la industria?							
DISEÑO	¿Cuáles cree usted que serían los beneficios para la empresa de implementar un sistema de modelos predictivos?	conocer de forma más adecuado los parámetros de producción de los distintos procesos de mecanizado	Aumentar la producción de piezas por operario, aumentar la productividad en la planta industrial, procesos de mecanizado más eficientes.	Mayor calidad en los productos que se ofrecen, mayor exactitud, cumplimiento de la normativa, y calidad en el producto.	Con la implementación de este tipo de sistemas no solo aumenta la calidad de los productos si no también su rentabilidad.	mejora la producción, útil en los procesos de mecanizado	aumentaría la eficiencia de los procesos y productividad de los procesos de mecanizados. No hay campo de aplicación si no se cuenta con técnicos calificados para efectuar los procesos de mecanizado.	mejora la producción, mejora y aumenta la ganancias

	14. ¿De estar interesado en un modelo predictivo desarrollado a través de una interface gráfica de usuario, cuanto estaría dispuesto a pagar por el desarrollo de este software? ¿Por qué?	5000 dólares, para la compra de licencias	6000 dólares	5000 dólares, para comprar de las licencias de software.	5500 dólares.	700 dólares	1000 dólares	1000 dólares
	15. ¿Qué procesos de mecanizado piensa usted que debería tener el modelo predictivo (Interface	determinar el tiempo de vida de la herramienta, la velocidad de mecanizado, el número de	determinar el tiempo de vida de la herramienta, la velocidad de mecanizado, el número de	Cilindrado, tronzado, roscado, taladrado, escariado	Si se contara con la mayor cantidad de procesos con estos nuevos tipos de modelos predictivos	estudio de los materiales de trabajo, falta equipamiento para el análisis de las propiedades de los metales	el análisis de tornos en desbastes y acabados, análisis de tolerancia	tratamiento de metales, descripción de los parámetros de mecanizado

	Gráfica de Usuario – GUI's por sus siglas en inglés) para aplicación en la industria de manufactura?	piezas por filo de herramienta	piezas por filo de herramienta		seria genial para la industria del mecanizado y otras.			
	16. En su experiencia ¿Qué funciones piensa usted que debería cumplir esta interface gráfica de usuario para el cálculo de parámetros de producción?	Debe poder ser versátil para aplicarlo en los distintos procesos de mecanizado	Debe poder ser versátil para aplicarlo en los distintos procesos de mecanizado	Tiempo de vida de la herramienta	Tiempo de vida de la herramienta	Tiempo de vida de la herramienta	Tiempo de vida de la herramienta	tolerancias, propiedades, propiedades del material de trabajo y velocidad, profundidad, temperatura, costo, refrigerante

Anexo 4

Tabla de la producción de las industrias del sector metal mecánico registradas en INEI

Fuente: Ministerio de la producción

15.12 PRODUCCIÓN DE LAS INDUSTRIAS DE ELABORADOS DE METAL, MAQUINARIA Y EQUIPO, Y MAQUINARIA Y APARATOS ELÉCTRICOS, 2007-2012

CIIU División Grupo	Producto	Unidad de Medida	2007	2008 P/	2009 P/	2010 P/	2011 P/	2012 P/
28	**Elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo**							
281	**Fabricación de productos metálicos para uso estructural**							
	Plancha de acero inoxidable	kg	4 300 438	10 896 378	5 601 567	9 396 287	4 830 246	4 715 856
	Bobinas de acero	kg	21 937 436	26 455 551	27 691 660	32 789 286	36 347 789	38 729 787
289	**Fabricación de otros productos elaborados de metal**							
	Planchas de fierro	kg	...	...	...	...	...	...
	Alambres diversos	kg	73 419 300	81 939 486	70 927 043	93 982 156	99 928 343	123 721 427
	Alambres galvanizados	kg	...	...	...	...	...	...
	Planchas y bobinas de fierro	kg	...	...	...	...	...	...
	Hojalata electrolítica	t	89 635	95 481	85 567	91 115	111 533	112 200
	Planchas y bobinas de acero inoxidable	kg	7 468 445	8 681 768	8 341 337	9 483 253	8 721 419	10 601 340
	Discos de aluminio	t	...	...	...	...	...	...
	Discos de acero inoxidable	kg	...	...	...	...	...	...
29	**Maquinaria y equipo**							
291	**Fabricación de maquinaria de uso general**							
	Motores industriales	unidades	...	...	...	...	...	...
	Bombas para pozos petroleros	unidades	...	...	...	...	...	...
	Motobombas	unidades	...	...	...	...	...	...

		Bombas centrifugas monofásicas	unidades	…	…	…	…	…	…
		Bombas centrifugas trifásicas	unidades	…	…	…	…	…	…
	293	**Fabricación de aparatos de uso doméstico**							
		Refrigeradoras mayor a 10 P3	unidades	…	…	…	…	…	…
		Refrigeradoras hasta 10 P3	unidades	…	…	…	…	…	…
		Cocinas domésticas a gas	unidades	…	…	…	…	…	…
		Congeladoras	unidades	…	…	…	…	…	…
31		**Maquinaria y aparatos eléctricos**							
	311	**Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos**							
		Transformadores trifásicos	unidades	826	935	819	750	1 130	1 426
		Transformadores monofásicos	unidades	…	…	…	…	…	…
		Grupos electrógenos	unidades	1 436	1 421	1 170	1 903	1 514	1 609
	312	**Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica**							
		Tableros de distribución	unidades	5 415	4 964	4 297	6 119	6 897	24 461
		Interruptores diversos	unidades	…	…	…	…	…	…
	313	**Fabricación de hilos y cables aislados**							
		Cables telefónicos	kg	…	…	…	…	…	…
		Cables de energía	kg	…	…	…	…	…	…
	314	**Fabricación de acumuladores y de pilas y baterías primarias**							
		Baterías 6 v.,12 v.	miles	655 981	754 285	654 104	664 703	701 679	684 343
		Pilas	miles	…	…	…	…	…	…
34		**Vehículos automotores, remolques y semirremolques**							
	341	**Fabricación de vehículos automotores**							
		Motores vehiculares	unidades	…	…	…	…	…	…
	342	**Fabricación de carrocerías para vehículos automotores**							
		Tolvas diversas	unidades	-	-	-	-	-	-
		Carrocerías diversas	unidades	…	…	…	…	…	…

Anexo 5

Tabla de propiedades de los materiales ferroso y no ferrosos

TABLA C-1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos provenientes de varias fuentes.* Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in^3	Mg/m^3	
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

TABLA C-2 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio forjado

Datos provenientes de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de aluminio forjado	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
1100	recocido en hoja	5	34	13	90			35	23
	laminado en frío	22	152	24	165			5	44
2024	recocido en hoja	11	76	26	179			20	-
	tratamiento térmico	42	290	64	441	20	138	19	-
3003	recocido en hoja	6	41	16	110			30	28
	laminado en frío	27	186	29	200			4	55
5052	recocido en hoja	13	90	28	193			25	47
	laminado en frío	37	255	42	290			7	77
6061	recocido en hoja	8	55	18	124			25	30
	tratamiento térmico	40	276	45	310	14	97	12	95
7075	recocido en barra	15	103	33	228			16	60
	tratamiento térmico	73	503	83	572	14	97	11	150

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

TABLA C-3 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio fundido

Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de fundición de aluminio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
43	fundición en molde permanente—tal y como está fundido	9	62	23	159	10	45
195	fundición en arena—tal y como está fundido	24	165	36	248	5	-
220	fundición en arena—solución tratada térmicamente	26	179	48	331	16	75
380	fundición en molde—tal y como está fundido	24	165	48	331	3	-
A132	molde permanente de fundición—tratamiento térmico + 340°F	43	296	47	324	0.5	125
A142	fundición en arena—tratamiento térmico + 650°F	30	207	32	221	0.5	85

Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

TABLA C-4 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de cobre forjadas y fundidas

Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de cobre	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
CA110—Cobre puro	recocido en tiras	10	69	32	221	45	40HRF
	revenido de resorte	50	345	55	379	4	60HRB
CA170—Cobre al berilio	recocido en tiras más envejecimiento	145	1 000	165	1 138	7	35HRC
	duro más envejecimiento	170	1 172	190	1 310	3	40HRC
CA220—Bronce comercial	recocido en tiras	10	69	37	255	45	53HRF
	revenido resorte	62	427	72	496	3	78HRB
CA230—Bronce rojo	recocido en tiras	15	103	40	276	50	50HB
	revenido duro	60	414	75	517	7	135HB
CA260—Latón para cartucho	recocido en tiras	11	76	44	303	66	54HRF
	revenido resorte	65	448	94	648	3	91HRB
CA270—Latón amarillo	recocido en tiras	14	97	46	317	65	58HRF
	revenido resorte	62	427	91	627	30	90HRB
CA510—Bronce fosforado	recocido	19	131	47	324	64	73HRF
	revenido resorte	80	552	100	689	4	95HRB
CA614—Bronce aluminio	blando	45	310	82	565	40	84HRB
	duro	60	414	89	614	32	87HRB
CA655—Bronce al alto silicio	recocido	21	145	56	386	63	76HRF
	revenido resorte	62	427	110	758	4	97HRB
CA675—Bronce al manganeso	blando	30	207	65	448	33	65HRB
	semiduro	60	414	84	579	19	90HRB
Bronce con plomo y estaño	tal y como sale de fundición	19	131	34	234	18	60HB
Bronce al níquel y al estaño	tal y como sale de fundición	20	138	50	345	40	85HB
	fundido y con tratamiento térmico	55	379	85	586	10	180HB

Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

TABLA C-5 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de titanio

Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de titanio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
Ti-35A	recocido en hoja	30	207	40	276	30	135HB
Ti-50A	recocido en hoja	45	310	55	379	25	215HB
Ti-75A	recocido en hoja	75	517	85	586	18	245HB
Aleación Ti-0.2Pd	recocido en hoja	45	310	55	379	25	215HB
Aleación Ti-5 Al-2.5 Sn	recocido	125	862	135	931	13	39HRC
Aleación Ti-8 Al-1 Mo-1 V	recocido en hoja	130	896	140	965	13	39HRC
Aleación Ti-8 Al-12 Sn-4 Zr-2 Mo	recocido en barra	130	896	140	965	15	39HRC
Aleación Ti-8 Al-6 V-2 Sn	recocido en hoja	155	1 069	165	1 138	12	41HRC
Aleación Ti-6 A-2 V	recocido en hoja	130	896	140	13	2.5	39HRC
Aleación Ti-6 Al-4 V	tratamiento térmico	165	1 138	175	1 207	12	–
Aleación Ti-13 V-11 Cr-3 Al	recocido en hoja	130	896	135	931	13	37HRC
Aleación Ti-13 V-11 Cr-3 Al	tratamiento térmico	170	1 172	180	1 241	6	–

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

TABLA C-6 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de magnesio

Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de magnesio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
AZ 31B	recocido en hoja	22	152	37	255	21	56HB
	hoja dura	32	221	42	290	15	73HB
AZ 80A	tal y como sale de la forja	33	228	48	331	11	69HB
	forjado y envejecido	36	248	50	345	6	72HB
AZ91A y AZ91B	fundido con dado	22	152	33	228	3	63HB
AZ91C	tal y como sale fundido	14	97	24	165	2.5	60HB
	fundido tratado en solución y envejecido	19	131	40	276	5	70HB
AZ92A	tal y como sale fundido	14	97	25	172	2	65HB
	fundido tratado con solución	14	97	40	276	10	63HB
	fundido tratado con solución y envejecido	22	152	40	276	3	81HB
EZ33A	fundido y envejecido	16	110	23	159	3	50HB
HK31A	endurecido por deformación	29	200	37	255	8	68HB
	fundido con tratamiento térmico	15	103	32	221	8	66HRB
HZ32A	fundido-tratamiento por solución y envejecido	13	90	27	186	4	55HB
ZK60A	tal y como se extruye	38	262	49	338	14	75HB
	extruido y envejecido	44	303	53	365	11	82HB

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

TABLA C-7 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de hierro fundido

Datos de diversas fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de hierro fundido	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la compresión		Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	-HB
Fundición de hierro gris—clase 20	tal y como se fundió	–	–	22	152	83	572	156
Fundición de hierro gris—clase 30	tal y como se fundió	–	–	32	221	109	752	210
Fundición de hierro gris—clase 40	tal y como se fundió	–	–	42	290	140	965	235
Fundición de hierro gris—clase 50	tal y como se fundió	–	–	52	359	164	1 131	262
Fundición de hierro gris—clase 60	tal y como se fundió	–	–	62	427	187	1 289	302
Hierro dúctil 60-40-18	recocido	47	324	65	448	52	359	160
Hierro dúctil 65-45-12	recocido	48	331	67	462	53	365	174
Hierro dúctil 80-55-06	recocido	53	365	82	565	56	386	228
Hierro dúctil 120-90-02 24	revenido y templado	120	827	140	965	134	924	325

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., N.Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

TABLA C-8 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable

Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de acero inoxidable	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
Tipo 301	recocido en tira	40	276	110	758	60	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	200	1 379	8	41HRC
Tipo 302	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	190	1 310	5	40HRC
Tipo 304	recocido en hojas	35	241	85	586	50	80HRB
	laminado en frío	160	1 103	185	1 276	4	40HRC
Tipo 314	laminado en barra	50	345	100	689	45	180HB
Tipo 316	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
Tipo 330	laminado en caliente	55	379	100	689	35	200HB
	recocido	35	241	80	552	50	150HB
Tipo 410	recocido en hoja	45	310	70	483	25	80HRB
	tratamiento térmico	140	965	180	1 241	15	39HRC
Tipo 420	recocido en barra	50	345	95	655	25	92HRB
	tratamiento térmico	195	1 344	230	1 586	8	500HB
Tipo 431	recocido en barra	95	655	125	862	25	260HB
	tratamiento térmico	150	1 034	195	1 344	15	400HB
Tipo 440C	recocido en barra	65	448	110	758	14	230HB
	templado y revenido 600°F	275	1 896	285	1 965	2	57HRC
17-4 PH (AISI 630)	endurecido	185	1 276	200	1 379	14	44HRC
17-7 PH (AISI 631)	endurecido	220	1 517	235	1 620	6	48HRC

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

TABLA C-9 **Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono**

Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	HB
1010	laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	laminado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado en caliente	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800°F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400°F	94	648	123	848	17	495
1035	laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	laminado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400°F	86	593	113	779	19	262
1045	laminado en caliente	45	310	82	565	16	163
	laminado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	laminado en caliente	50	345	90	621	15	179
	normalizado @ 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	templado y revenido @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
	templado y revenido @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
	templado y revenido @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
1060	laminado en caliente	54	372	98	676	12	200
	normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	templado y revenido @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
	templado y revenido @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
	templado y revenido @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
1095	laminado en caliente	66	455	120	827	10	248
	normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	templado y revenido @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
	templado y revenido @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	templado y revenido @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

* *SAE Handbook*, Society of Automotive Engineers, Warrendale Pa.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

TABLA C-10 **Propiedades mecánicas de algunos aceros de aleación y para herramienta**

Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	
1340	recocido	63	434	102	703	25	204HB
	templado y revenido	109	752	125	862	21	250HB
4027	recocido	47	324	75	517	30	150HB
	templado y revenido	113	779	132	910	12	264HB
4130	recocido @ 1 450°F	52	359	81	558	28	156HB
	normalizado @ 1 650°F	63	434	97	669	25	197HB
	templado y revenido @ 1 200°F	102	703	118	814	22	245HB
	templado y revenido @ 800°F	173	1 193	186	1 282	13	380HB
	templado y revenido @ 400°F	212	1 462	236	1 627	10	41HB
4140	recocido @ 1 450°F	61	421	95	655	26	197HB
	normalizado @ 1 650°F	95	655	148	1 020	18	302HB
	templado y revenido @ 1 200°F	95	655	110	758	22	230HB
	templado y revenido @ 800°F	165	1 138	181	1 248	13	370HB
	templado y revenido @ 400°F	238	1 641	257	1 772	8	510HB
4340	templado y revenido @ 1 200°F	124	855	140	965	19	280HB
	templado y revenido @ 1 000°F	156	1 076	170	1 172	13	360HB
	templado y revenido @ 800°F	198	1 365	213	1 469	10	430HB
	templado y revenido @ 600°F	230	1 586	250	1 724	10	486HB
6150	recocido	59	407	96	662	23	192HB
	templado y revenido	148	1 020	157	1 082	16	314HB
8740	recocido	60	414	95	655	25	190HB
	templado y revenido	133	917	144	993	18	288HB
H-11	recocido @ 1 600°F	53	365	100	689	25	96HRB
	templado y revenido @ 1 000°F	250	1 724	295	2 034	9	55HRC
L-2	recocido @ 1 425°F	74	510	103	710	25	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	260	1 793	290	1 999	5	54HRC
L-6	recocido @ 1 425°F	55	379	95	655	25	93HRB
	templado y revenido @ 1 600°F	260	1 793	290	1 999	4	54HRC
P-20	recocido @ 1 425°F	75	517	100	689	17	97HRB
	templado y revenido @ 400°F	205	1 413	270	1 862	10	52HRC
S-1	recocido @ 1 475°F	60	414	100	689	24	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	275	1 896	300	2 068	4	57HRC
S-5	recocido @ 1 450°F	64	441	105	724	25	96HRB
	templado y revenido @ 400°F	280	1 931	340	2 344	5	59HRC
S-7	recocido @ 1 525°F	55	379	93	641	25	95HRB
	templado y revenido @ 400°F	210	1 448	315	2 172	7	58HRC
A-8	recocido @ 1 550°F	65	448	103	710	24	97HRB
	templado y revenido @ 1050°F	225	1 551	265	1 827	9	52HRC

* *Machine Design Materials Reference Issue*, Penton Publishing, Cleveland, Ohio; *Metals Handbook*, ASM, Materials Park, Ohio.

TABLA C-11 Propiedades de algunos plásticos de ingeniería

Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Material	Módulo de elasticidad aproximado *E*		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia máxima a la compresión		Elongación en 2 in	Temperatura máxima	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	°F	
ABS	0.3	2.1	6.0	41.4	10.0	68.9	5 a 25	160-200	1.05
Cargado con 20-40% de vidrio	0.6	4.1	10.0	68.9	12.0	82.7	3	200-230	1.30
Acetal	0.5	3.4	8.8	60.7	18.0	124.1	60	220	1.41
Cargado con 20-30% de vidrio	1.0	6.9	10.0	68.9	18.0	124.1	7	185-220	1.56
Acrílico	0.4	2.8	10.0	68.9	15.0	103.4	5	140-190	1.18
Fluoroplástico (FTFE)	0.2	1.4	5.0	34.5	6.0	41.4	100	350-330	2.10
Nylon 6/6	0.2	1.4	10.0	68.9	10.0	68.9	60	180-300	1.14
Nylon 11	0.2	1.3	8.0	55.2	8.0	55.2	300	180-300	1.04
Cargado con 20-30% de vidrio	0.4	2.5	12.8	88.3	12.8	88.3	4	250-340	1.26
Policarbonato	0.4	2.4	9.0	62.1	12.0	82.7	100	250	1.20
Cargado con 10-40% de vidrio	1.0	6.9	17.0	117.2	17.0	117.2	2	275	1.35
Polietileno HMW	0.1	0.7	2.5	17.2	–	–	525	–	0.94
Óxido de polifenileno	0.4	2.4	9.6	66.2	16.4	113.1	20	212	1.06
Cargado con 20-30% de fibra de vidrio	1.1	7.8	15.5	106.9	17.5	120.7	5	260	1.23
Polipropileno	0.2	1.4	5.0	34.5	7.0	48.3	500	250-320	0.90
Cargado con 20-30% de vidrio	0.7	4.8	7.5	51.7	6.2	42.7	2	300-320	1.10
Poliestireno de alto impacto	0.3	2.1	4.0	27.6	6.0	41.4	2 a 80	140-175	1.07
Cargado con 20-30% de vidrio	0.1	0.7	12.0	82.7	16.0	110.3	1	180-200	1.25
Polisulfona	0.4	2.5	10.2	70.3	13.9	95.8	50	300-345	1.24

* *Modern Plastics Encyclopedia*, McGraw-Hill, Nueva York; *Machine Design Materials Reference Issue*, Penton Publishing, Cleveland, Ohio.

Anexo 6

Tabla de propiedades de las herramientas usadas en los procesos de mecanizado

INFORMACON TECNICA

SOLUCION DE PROBLEMAS EN TORNEADO N002
CONTROL DE VIRUTA PARA TORNEADO N004
RESULTADOS DE LAS CONDICIONES DE CORTE PARA TORNEADO N005
CARACTERISTICAS DE LAS FUNCIONES DE CADA
PARTE DE LA HERRAMIENTA DE TORNEADO N007
FORMULAS PARA CORTAR N011
SOLUCION DE PROBLEMAS EN FRESADO N012
CARACTERISTICAS DE LAS FUNCIONES DE CADA
PARTE DE LA HERRAMIENTA DE FRESADO N013
FORMULAS PARA FRESADO N016
SOLUCION DE PROBLEMAS PARA END MILL N017
CARACTERÍSTICAS DEL END MILL Y ESPECIFICACIONES N018
TIPO Y GEOMETRIA DE END MILL N019
SELECCIÓN DEL VALOR DEL PASO N020
SOLUCION DE PROBLEMAS EN BARRENADO N021
CONDICION DE DAÑO DE LA BROCA Y DAÑO EN EL FILO DE CORTE N022
TERMINOLOGIA DE BROCAS Y CARACTERISTICAS DE CORTE N023
FORMULAS PARA BARRENADO N026
DESGASTE Y DAÑO DE LA HERRAMIENTA N027
LISTADO DE REFERENCIAS DE MATERIALES N028
ACABADO SUPERFICIAL N032
TABLA COMPARATIVA DE DUREZAS N033
GRADOS N034
TABLA DE GRADOS N035
TABLA DE COMPARACION DE GRADOS N036
COMPARATIVO DE ROMPEVIRUTAS N041

SOLUCION DE PROBLEMAS EN TORNEADO

Problemas		Factores \ Soluciones	Selección de Grado de Inserto: Seleccione un Grado Mas Duro	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Más Tenaz	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Con Resistencia Al Choque Térmico	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Con Resistencia A laAdhesión	Condiciones de Corte: Velocidad de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Avance (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Prof. de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Fluidos de Corte: No Refrigerante Como Fluido de Corte	Condiciones de Corte: Fluidos de Corte: Determine un Corte Seco o Mojado	Estilo y Diseño de la Herramienta: Seleccionar rompe virutas	Estilo y Diseño de la Herramienta: Angulo de Desprendimiento (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Radio (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Angulo de Ataque (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: El Honeado Refuerza el Filo de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Clase de Inserto (Sin Rectificar-rectificado)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Mejore La Rigidez del Porta Herramientas	Máquina e Instalación de Herramienta: Sujeción de Herramienta y Pieza A Trabajar	Máquina e Instalación de Herramienta: Volado de la Herramienta	Máquina e Instalación de Herramienta: Maquina Con Poca Rigidez y Caballos de Fuerza
Bajo Rendimiento	Desgaste rápido del inserto	Grado de herramienta inadecuado	●																		
		Geometría del filo de corte inadecuado										●	↗●	↗●	↗●	●↘					
		Inapropiadas condiciones de corte					●↘	↗●			● Con refrigerante										
	Adherencia y microrotura del filo de corte	Grado de herramienta inadecuado		●																	
		Inapropiadas condiciones de corte						●↘	●↘												
		Filo debil										●		↗●		↗●					
		Choque térmico			●		●↘	●↘	●↘	●	● Seco										
		Adherencia en el filo				●	↗●	↗●		●	● Con refrigerante										
		Carencia de rigidez																●	●	●	●
Poca Exactitud Dimensional	Diferencia de dimensiones en el maquinado	Tolerancia del inserto inadecuada															●				
		Mayor resistencia de corte y flanco del filo de corte										●	●	●↘	●↘	●↘		●	●	●	●
	Exactitud de maquinado no mantenida, el ajuste es necesario cada vez	Grado de herramienta inadecuado	●																		
		Inapropiadas condiciones de corte					●↘	↗●													
Mal Acabado	Mala rugosidad	Adherencia de material					↗●			●	● Con refrigerante										
		Geometría del filo de corte inadecuado										●		↗●							
		Se presenta vibración					●↘	●↘	●↘									●	●	●	●
Generación de Calor	El calor del corte genera deterioro in la exactitud del maquinado y la vida de la herramienta	Inapropiadas condiciones de corte					●↘	●↘	●↘												
		Geometría del filo de corte inadecuado										●	↗●			●↘					

Problemas		Soluciones / Factores	Selección de Grado de Inserto: Seleccione un Grado Mas Duro	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Más Tenaz	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Con Resistencia Al Choque Térmico	Selección de Grado de Inserto: Selección un Grado Con Resistencia A laAdhesión	Condiciones de Corte: Velocidad de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Avance (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Prof. de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Condiciones de Corte: Fluidos de Corte: No Refrigerante Como Fluido de Corte	Condiciones de Corte: Fluidos de Corte: Determine un Corte Seco o Mojado	Estilo y Diseño de la Herramienta: Seleccionar rompe virutas	Estilo y Diseño de la Herramienta: Angulo de Desprendimiento (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Radio (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Angulo de Ataque (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: El Honeado Refuerza el Filo de Corte (Arriba ↗ / Abajo ↘)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Clase de Inserto (Sin Rectificar-rectificado)	Estilo y Diseño de la Herramienta: Mejore La Rigidez del Porta Herramientas	Máquina e Instalación de Herramienta: Sujeción de Herramienta y Pieza A Trabajar	Máquina e Instalación de Herramienta: Volado de la Herramienta	Máquina e Instalación de Herramienta: Maquina Con Poca Rigidez y Caballos de Fuerza
Rebaba / Desgaste / Rugosidad	Rebaba (Acero, Cobre Aleado)	Se presenta desgaste de filo	●																		
		Inapropiadas condiciones de corte					● ↘	↗ ●			● Con refrigerante										
		Geometría del filo de corte inadecuado										●	↗ ●	● ↘	● ↘	● ↘					
	Desgaste (Fundición Gris)	Inapropiadas condiciones de corte						● ↘	● ↘												
		Geometría del filo de corte inadecuado										●	↗ ●	↗ ●	↗ ●	● ↘					
		Se presenta vibración																●	●	●	●
	Rugosidad (Acero Blando)	Grado de herramienta inadecuado				●															
		Inapropiadas condiciones de corte					↗ ●			●	● Con refrigerante										
		Geometría del filo de corte inadecuado										●	↗ ●			● ↘					
		Se presenta vibración																●	●	●	●
Control de Viruta	Descontrolado, continuo/ enredado	Inapropiadas condiciones de corte					● ↘	↗ ●	↗ ●		● Con refrigerante										
		Rango de control de viruta amplio										●									
		Geometría del filo de corte inadecuado												● ↘	● ↘						
	Roto en pequeños pedazos y dispersos	Inapropiadas condiciones de corte						● ↘	● ↘		● Seco										
		Rango de control de viruta corto										●									
		Geometría del filo de corte inadecuado												↗ ●	↗ ●						

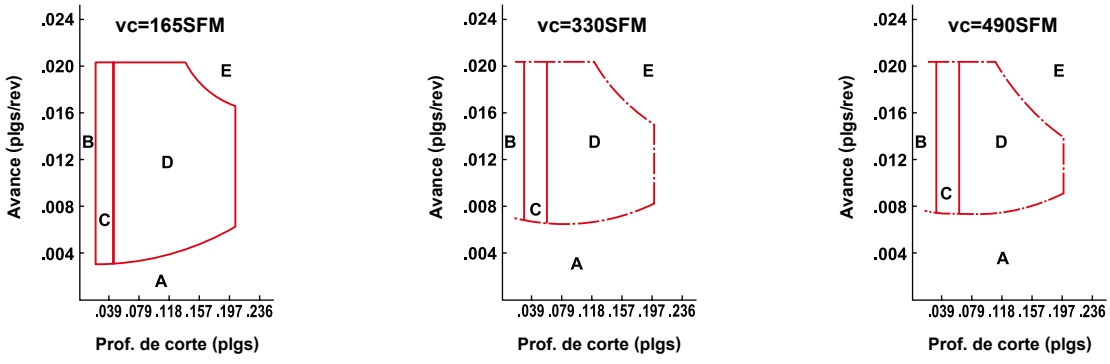
CONTROL DE VIRUTA PARA TORNEADO

FORMA DE VIRUTAS EN TORNEADO DE ACERO

Tipo	A Tipo	B Tipo	C Tipo	D Tipo	E Tipo
Baja profundidad de corte d <.276"					
Profundidad de corte alta d=.276"–.591"					
Longitud del rizo l	Sin rizo	l≥2plgs	l≤2plgs 1–5 Rizo	≒ 1 Rizo	1 Rizo–medio rizo
Nota	●Forma irregular continua ●Viruta enredada entre la herramienta y la pieza	●Forma continua y regular ●Viruta larga	Bien	Bien	●Dispersión de las virutas ●Vibración ●Mal acabado superficial ●Máximo

Rango del rompe viruta de la velocidad de corte y control de viruta

En general, cuanto la velocidad de corte incrementa, el rango del control de viruta tiende cerrarse

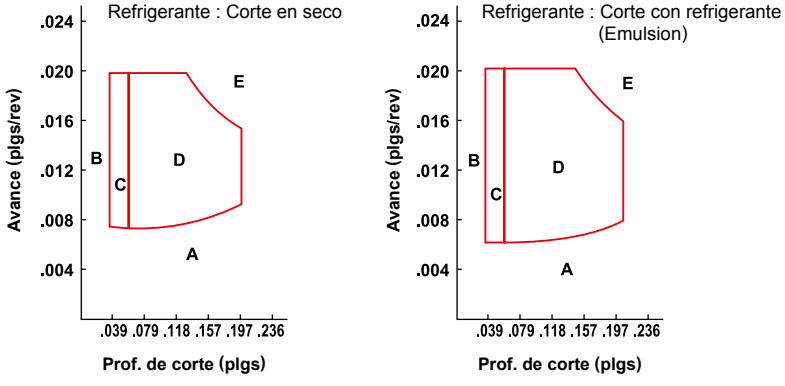


Material : **AISI 1045 (180HB)**
Inserto : **TNMG332**
Grado : **P10**Grade

Herramienta : **MTJNR2525M16N**
Corte en seco

Efectos del refrigerante en el rango del control de viruta de un rompe virutas

Si la velocidad de corte es la misma, el rango del control de viruta varia de acuerdo a si se utiliza refrigerante o no.



Material : **AISI 1045**
Condiciones de Corte : **vc=330SFM**

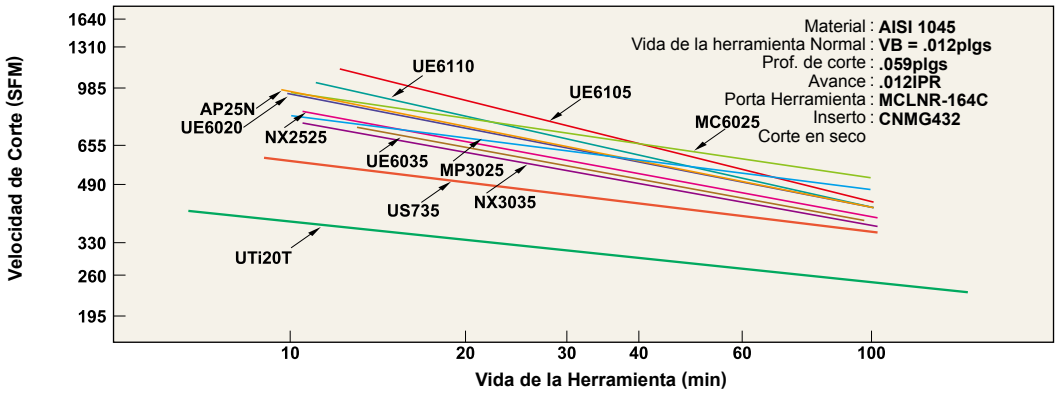
RESULTADOS DE LAS CONDICIONES DE CORTE PARA TORNEADO

CONDICIONES DE CORTE

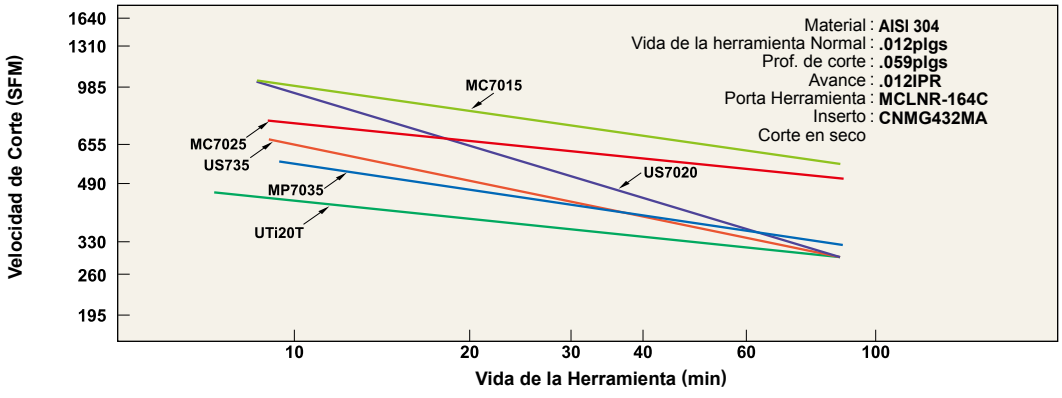
Las condiciones de corte ideales serían: tiempo de corte bajo, larga vida de la herramienta y buen acabado. Para obtener esas condiciones ideales se precisan condiciones de corte y herramientas adecuadas, así como el conocimiento de la pieza, dureza, forma y capacidad de la máquina.

VELOCIDAD DE CORTE

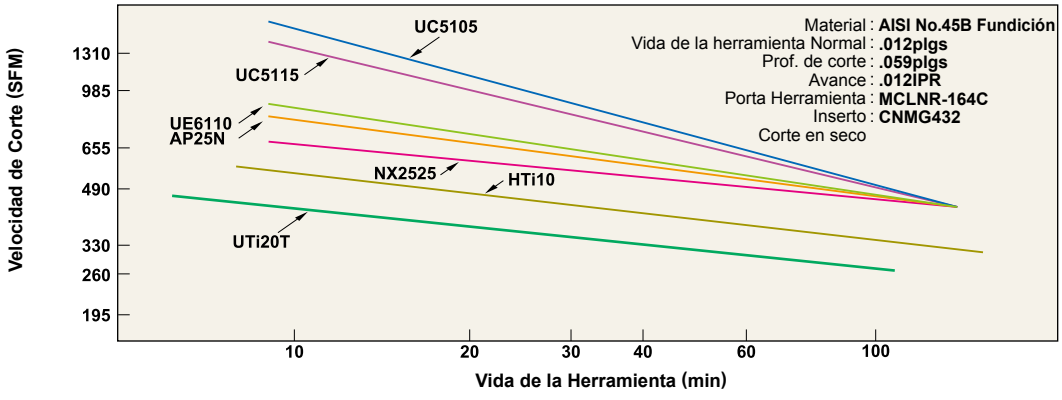
La velocidad de corte tiene un efecto muy importante en la vida de la herramienta. Aumentándola, se incrementa la temperatura y se acorta la vida de la herramienta. La velocidad varía dependiendo de la dureza de la pieza. Seleccione una calidad apropiada para cada velocidad de corte.



Rendimiento de los insertos grado P



Rendimiento de los insertos grado M



Rendimiento de los insertos grado K

Efectos de la velocidad de corte

1. Aumentando la velocidad de corte un 20%, se reduce la vida de la herramienta a 1/2. Aumentándola un 50%, se reduce la vida a 1/5.
2. El maquinado a baja velocidad (65—130 SFM), tiende a causar vibraciones. Por ello, se acorta la vida de la herramienta.

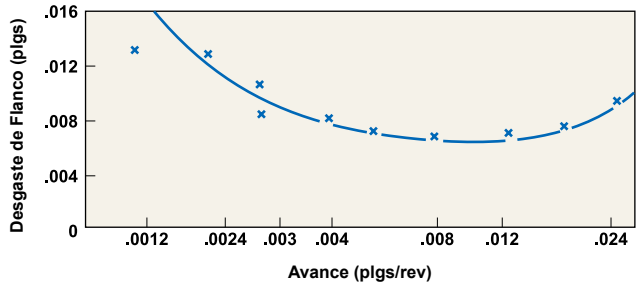
RESULTADOS DE LAS CONDICIONES DE CORTE PARA TORNEADO

AVANCE

En torneado, el avance es la distancia que la herramienta se recorre en la pieza por revolución. En fresado, el avance es la distancia recorrida por la mesa por cada revolución de la fresa dividida por el número de dientes. De este modo, se indica como avance por diente. Área de avance relacionada con superficie de acabado rugosa

Efectos del avance

1. La reducción del avance influye en el desgaste de flanco y acorta la vida de la herramienta
2. Aumentando el avance, se aumenta la temperatura de corte y el desgaste del flanco. Por ello, la influencia sobre la vida de la herramienta es mínima comparad con la de la velocidad de corte.
3. El aumento del avance, mejora la eficiencia del maquinado.



Condiciones de Corte Material : AISI 4340 Grado : STi10T
Prof. de corte ap=.040(plgs) Velocidad de Corte vc=660(SFM)
Tiempo de Corte Tc=10min

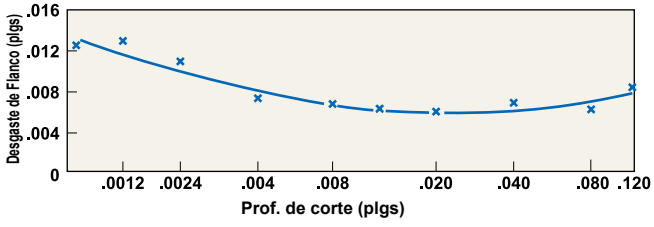
Relación entre el avance y el desgaste de flanco en el torneado del acero

PROF. DE CORTE

La profundidad de corte se determina en relación a la cantidad de material a remover, la forma de la pieza, la rigidez de la herramienta y la potencia rigidez de la máquina.

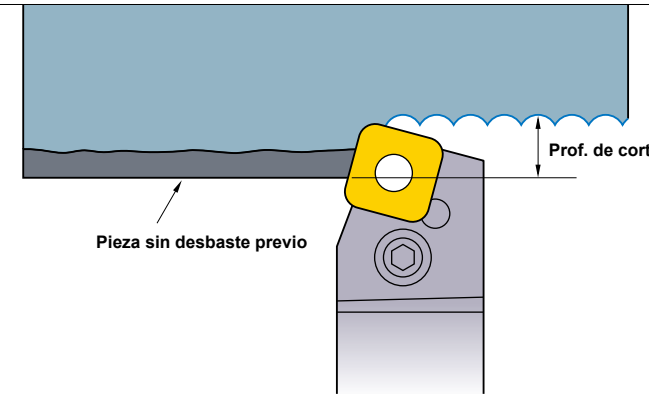
Efectos de la profundidad de corte

1. El cambio de la profundidad de corte, no afecta en gran medida a la vida de la herramienta.
2. Una baja profundidad de corte, endurece la capa superficial del material, debido a la fricción entre ellas. Por ello, se reduce la vida de la herramienta.
3. Cuando maquine fundición girs la profundidad de corte necesita ser incrementada tanto como la potencia de la maquina lo permita para evitar el endurecimiento de la capa superfcial y evitar el despostillamiento.



Condiciones de Corte Material : AISI 4340 Grado: STi10T
Avance f=.008(IPR) Velocidad de Corte vc=660(SFM)
Tiempo de Corte Tc=10min

Relación entre la profundidad de corte y el desgaste en el torneado del acero.

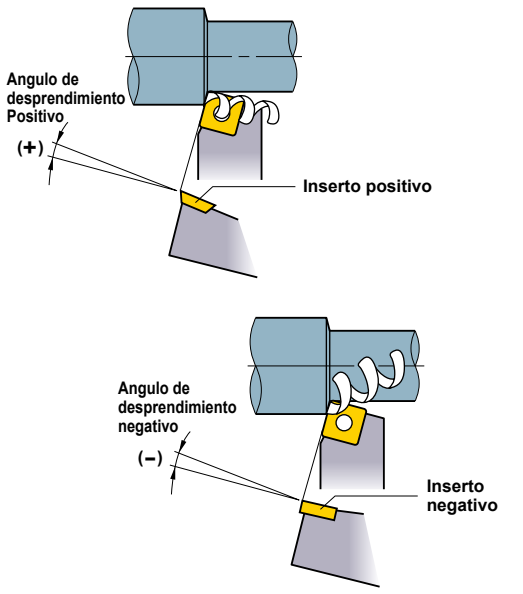


Desbaste de la capa superficial incluyendo la capa sin desbaste previo

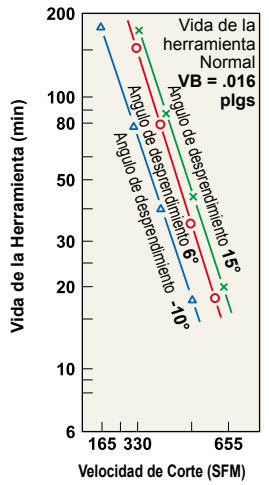
CARACTERISTICAS DE LAS FUNCIONES DE CADA PARTE DE LA HERRAMIENTA DE TORNEADO

ANGULO DE DESPRENDIMIENTO

El ángulo de desprendimiento es un ángulo del filo de corte que tiene un efecto importante en la resistencia al corte, el desalojo de la virutas, la temperatura de corte y la vida de la herramienta.

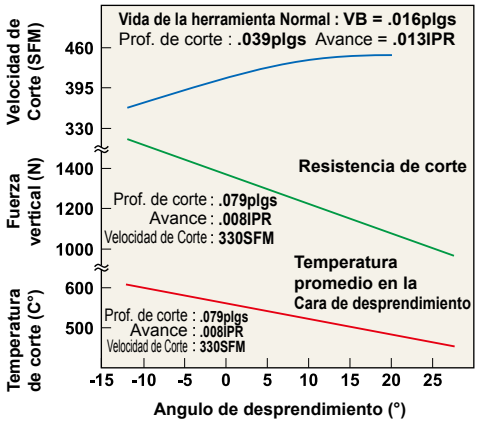


Evacuación de las virutas y Angulo de desprendimiento



Condiciones de Corte
Grado : **STi10**
Prof. de corte : **.039plgs**
Avance : **.013IPR**
Material : **Acero Aleado**

Angulo de desprendimiento y rendimiento



Condiciones de Corte
Material : **Acero Aleado** Grado : **STi10T**
Corte en seco

Efectos del ángulo de desprendimiento en la velocidad de corte, fuerza vertical y la temperatura de corte

ANGULO DE INCIDENCIA

1. Aumentando el ángulo de desprendimiento en dirección positiva (+), se mejora la suavidad del corte.
2. Aumentando el ángulo de desprendimiento 1° en dirección positiva, reduce el esfuerzo de corte un 1%.
3. Aumentando el ángulo de desprendimiento en dirección positiva (+), disminuye la presion en el filo de corte; y en la dirección negativa (-), se aumenta la resistencia al corte.

Cuándo aumentar el ángulo de desprendimiento en la dirección negativa (-)

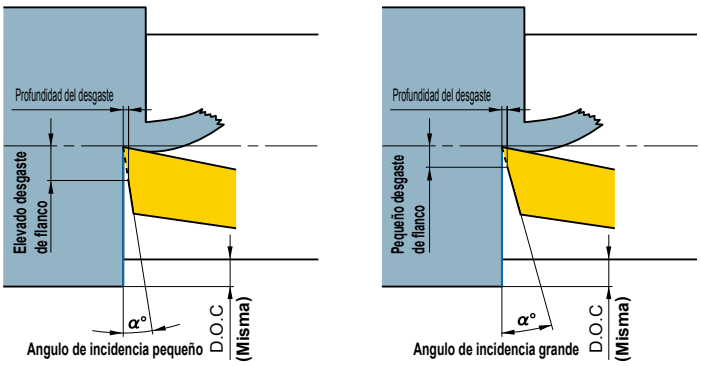
- ○ **Pieza endurecida.**
- ○ **Cuando se requiere un filo robusto para maquinar piezas sin desbaste previo y con corte interrumpido.**

Cuándo aumentar el ángulo de desprendimiento en la dirección positiva (+)

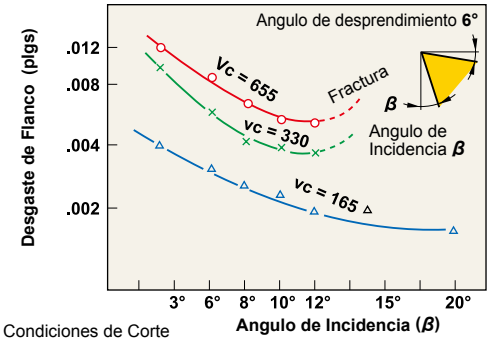
- ○ **Material blando.**
- ○ **Material de fácil maquinado**
- ○ **Cuando la pieza y la máquina tienen poca rigidez.**

ANGULO DE INCIDENCIA

El ángulo de incidencia prevee la fricción entre la cara de incidencia y la pieza, debido a un pequeño avance.



El ángulo de incidencia genera un espacio entre la herramienta y la pieza. Ángulo del flanco relacionada con el desgaste del flanco.



Condiciones de Corte
Material : **Acero Aleado (200HB)** Avance : **.013IPR**
Grado : **STi20** Tiempo de Corte : **20min**
Prof. de corte : **.039inch**

Relación del ángulo de incidencia y el desgaste de flanco

Efectos del ángulo de incidencia

1. El aumento del ángulo de incidencia, reduce el desgaste del flanco.
2. El incremento del ángulo de incidencia, reduce la robustez del filo de corte.

Cuándo reducir el ángulo de incidencia

- ○ **Material duro**
- ○ **Cuando se necesita un filo robusto.**

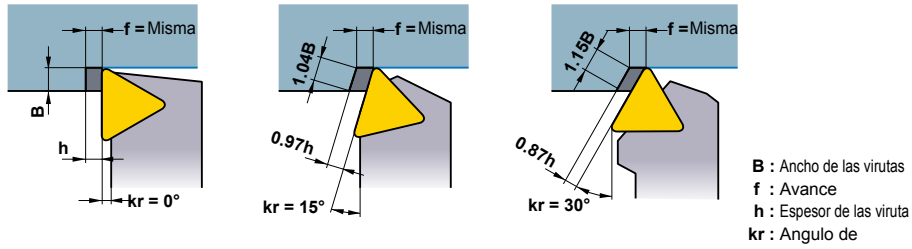
Cuándo aumentar el ángulo de incidencia

- ○ **Material blando.**
- ○ **Materiales que se endurecen durante el mecanizado.**

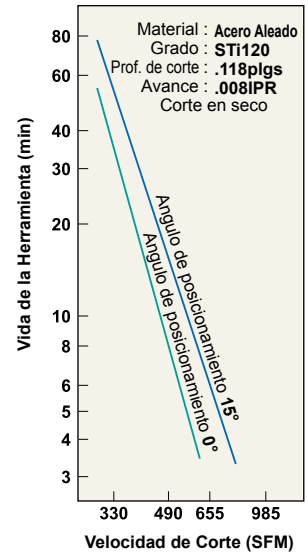
CARACTERISTICAS DE LAS FUNCIONES DE CADA PARTE DE LA HERRAMIENTA DE TORNEADO

ANGULO DE POSICIONAMIENTO

El filo de corte angular disminuye la carga del impacto y afecta la fuerza del avance, fuerza de carga y el espesor de la viruta.



El angulo de posicionamiento y espesor de la viruta

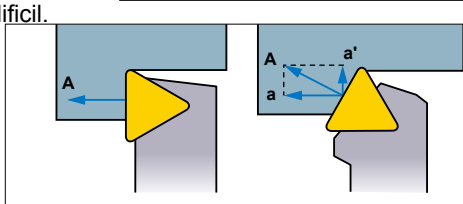


Angulo de posicionamiento y rendimiento

Efectos del Angulo de posicionamiento

1. Con el mismo avance, incrementando el angulo de posicionamiento, incrementamos la longitud de contacto de la viruta y disminuimos el espesor de ésta. Como resultado, el esfuerzo de corte se dispersa en un filo más largo y se incrementa la vida de la herramienta. (Ver diagrama)
2. Incrementando el filo de corte, se incrementa la fuerza a'. Por ello, las piezas largas y delgadas, se flexionan en muchos casos.
3. Incrementando el angulo de posicionamiento, se reduce el control de viruta.
4. Incrementando el angulo de posicionamiento, disminuye el espesor de la viruta y aumenta la longitud de la misma. Por lo tanto, la rotura de la viruta es más dificil.

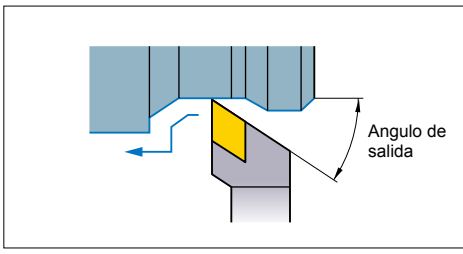
Cuándo reducir el ángulo de posicionamiento	Cuándo aumentar el ángulo de posicionamiento
○ Acabado con poca profundidad de corte. ○ Piezas largas y delgadas. ○ Cuando la máquina tiene poca rigidéz.	○ Piezas endurecidas producen una alta temperatura de corte. ○ Cuando desbastamos piezas de diámetros grandes. ○ Cuando la máquina tiene alta rigidéz.



Recibe la fuerza A. La fuerza A se divide en a y a'.

ANGULO DE SALIDA

El ángulo de salida previene el desgaste en el porta herramienta y en la superficie de la pieza y es normalmente 5°– 15°.

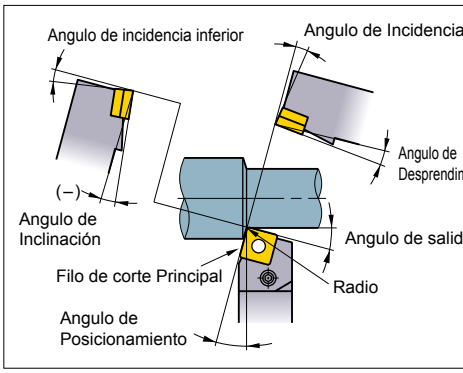


Efectos del ángulo de salida

1. Reduciendo el ángulo de salida, incrementamos la resistencia del filo; pero, también incrementamos la temperatura de corte.
2. Reduciendo el ángulo de salida, la fuerza contraria se incrementa y pueden aparecer vibraciones durante el mecanizado.
3. Se recomienda un pequeño ángulo de salida en desbaste y un ángulo grande en acabado.

ANGULO DE INCLINACION

El ángulo de inclinación del filo de corte es la inclinación de la cara de desprendimiento. En el corte pesado, el filo recibe muchos golpes al comienzo del maquinado. La inclinación del filo le protege de estos golpes y previene su fractura. Se recomiendan en torneado 3°– 5° y en fresado 10°– 15°.

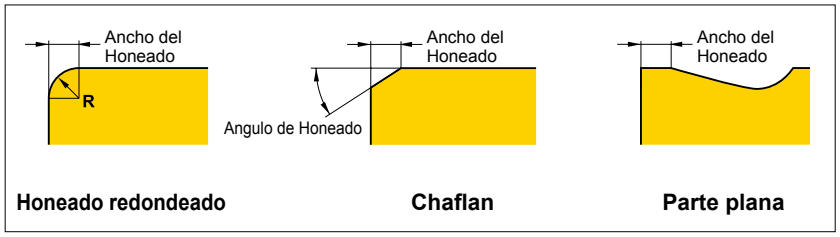


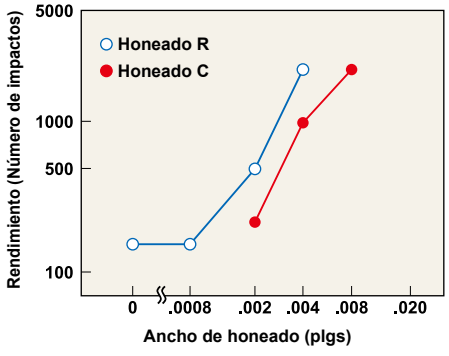
Efectos del ángulo de inclinación

1. Una inclinación negativa (-) del ángulo de inclinación, evacúa virutas en la dirección de la pieza; y positiva (+) las evacúa en la dirección opuesta.
2. Una inclinación negativa del ángulo de inclinación, incrementa la robustez de éste; pero también incrementa el esfuerzo de corte. De este modo, se produce vibración.

PREPARACIÓN DE FILO

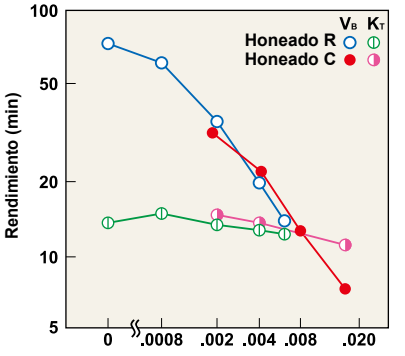
El honeado y el chaflan son formas del filo de corte y sirven para dar robustez a éste. El honeado puede ser del tipo redondo o con chaflán. El honeado óptimo y/o el ancho del claro es aproximadamente 1/2 del avance. El chaflan es la parte plana y estrecha sobre la cara de incidencia o desprendimiento.





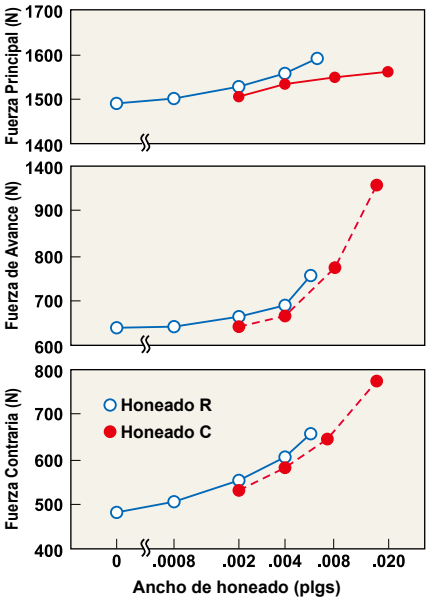
Material : **Acero Aleado (280HB)**
Grado : **P10**
Condiciones de Corte : **vc=655SFM ap=.059plgs f=.013IPR**

Ancho de honeado y rendimiento Debido a la fractura



Material : **Acero Aleado (220HB)**
Grado : **P10**
Condiciones de Corte : **vc=525SFM ap=.059plgs f=.018IPR**

Ancho de honeado y rendimiento Debido al desgaste



Material : **Acero Aleado (220HB)**
Grado : **P10**
Condiciones de Corte : **vc=333SFM ap=.059plgs f=.017IPR**

Ancho de honeado y resistencia de corte

Efectos del honeado

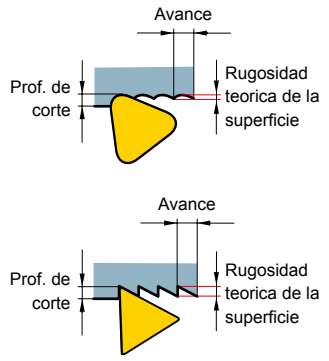
1.Aumentar el honeado incrementa la fuerza del filo de corte y reduce la fractura.
2.Aumentar el honeado incrementa el desgaste del flanco. El tamaño del honeado no afecta el desgaste.
3.Aumentar el honeado incrementa el esfuerzo de corte y la vibración.

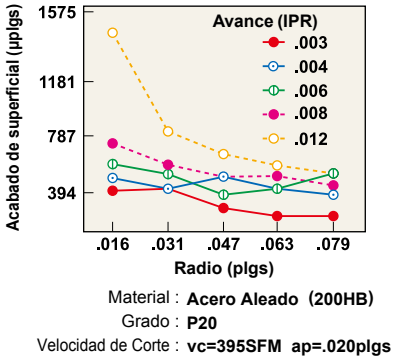
Cuándo reducir el tamaño del honeado	Cuándo aumentar el tamaño de honeado
○ **Cuando el acabado es con baja profundidad de corte y poco avance** ○ **Material blando.** ○ **Cuando la pieza y la máquina tienen poca rigidez.**	○ **Material duro** ○ **Cuando se requiere un filo robusto para mecanizar piezas y para corte interrumpido.** ○ **Cuando la máquina tiene alta rigidez.**

CARACTERISTICAS DE LAS FUNCIONES DE CADA PARTE DE LA HERRAMIENTA DE TORNEADO

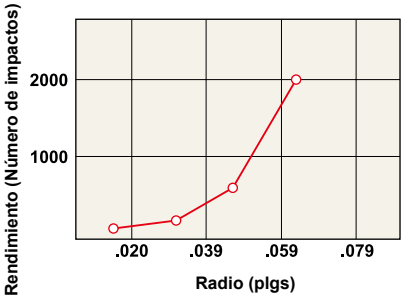
RADIO

El radio influye en la robuestez del filo y en el acabado de la pieza. En general, se recomienda un radio 2 – 3 veces el avance.



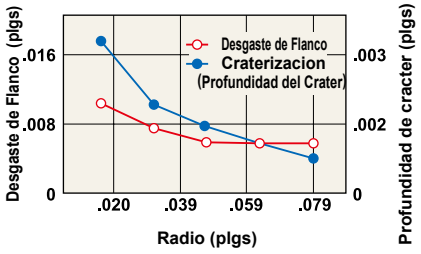


Radio y Acabado superficial



Material : Acero Aleado (280HB)
Grado : P10
Condiciones de Corte : vc=330SFM ap=.079plgs f=.013IPR

Tamaño del radio y rendimiento de la herramienta hasta la fractura



Material : Acero Aleado (200HB)
Grado : P10
Condiciones de Corte : vc=460SFM ap=.079plgs f=.008IPR Tc=10min

Tamaño del radio y desgaste

Efectos del radio

1. Aumentando el radio, se mejora el acabado superficial
2. Aumentando el radio, se refuerza el filo.
3. Aumentando el radio demasiado, aumenta la resistencia al corte y se producen vibraciones.
4. Aumentando el radio, se reduce el desgaste de flanco y del angulo de desprendimiento.
5. Aumentando el radio demasiado, disminuye el control de viruta.

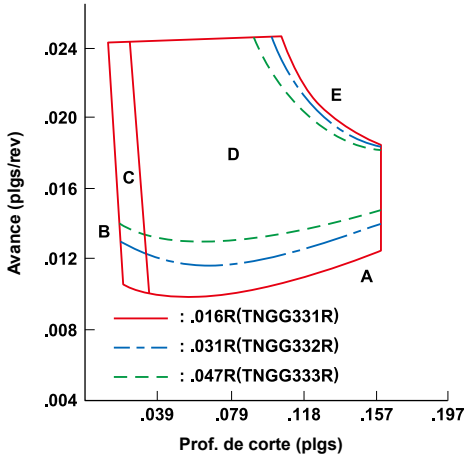
Cuándo reducir el radio

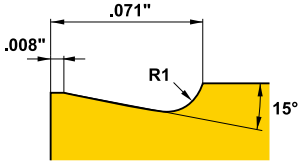
- ○ **Acabado con poca profundidad de corte.**
- ○ **Piezas largas y delgadas.**
- ○ **Cuando la máquina tiene poca rigidez.**

Cuándo aumentar el radio

- ○ **Cuando se reguiere un filo fuerte por ejemplo en cortes interrumpidos y cortes sin desbaste.**
- ○ **Cuando maquinamos una pieza de diámetro grande.**
- ○ **Cuando la máquina tiene alta rigidez.**

Radio y Rango de aplicación





Material : AISI 1045 (180HB)
Inserto : TNGG331R
TNGG332R
TNGG333R
(STi10T)
(Angulo de posicionamiento 3°)
Velocidad de Corte : vc=330SFM
Corte en seco

(Nota) Por favor ver página N004 para forma de las virutas (A, B, C, D, E).

FORMULAS PARA CORTAR

VELOCIDAD DE CORTE (vc)

$$vc = \frac{\pi \cdot Dm \cdot n}{12} \text{ (SFM)}$$

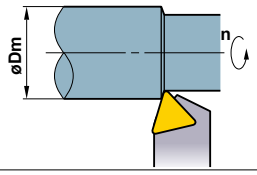
vc	(SFM)	: Velocidad de Corte
Dm	(plgs)	: Diámetro de la pieza
π	(3.14)	: Pi
n	(min^{-1})	: Revoluciones máximas del husillo

(Problema) Cuál es la velocidad de corte cuando la del husillo son 700 min^{-1} y el diámetro exterior es ϕ2" ?

(Respuesta) Sustituir π=3.14, Dm=2, n=700 en la fórmula.

$$vc = \frac{\pi \cdot Dm \cdot n}{12} = \frac{3.14 \times 2 \times 700}{12} = 365SFM$$

La velocidad de corte son 365SFM.



AVANCE (f)

$$f = \frac{l}{n} \text{ (IPR)}$$

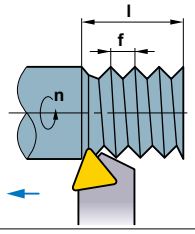
f	(IPR)	: Avance por Revolución
l	(plgs/min)	: Longitud de corte por min.
n	(min^{-1})	: Revoluciones máximas del husillo

(Problema) Cuál es el avance por revolución cuando las revoluciones son 500min^{-1} y la longitud de corte por minuto son 4.72plgs/min ?

(Respuesta) Sustituir n=500, l=4.72 en la fórmula.

$$f = \frac{l}{n} = \frac{4.72}{500} = .009IPR$$

La respuesta es .009IPR.



TIEMPO DE CORTE (Tc)

$$Tc = \frac{lm}{l} \text{ (min)}$$

Tc	(min)	: Tiempo de Corte
lm	(plgs)	: Longitud de la pieza
l	(plgs/min)	: Longitud de corte por min.

(Problema) Cuál es el tiempo de corte cuando mecanizamos una pieza de 4plgs a 1000min^{-1} y avance de 0.008 plgs/rev ?

(Respuesta) Primero, calcule la longitud de corte por minuto, partiendo desde el avance y las revoluciones.

$$l = f \times n = .008 \times 1000 = 8plgs/min$$

Sustituir la respuesta de arriba en la fórmula.

$$Tc = \frac{lm}{l} = \frac{4}{8} = 0.5min$$

0.5×60=30 (seg.) La respuesta 30 seg.

RUGOSIDAD SUPERFICIAL TEORICA (h)

$$h = \frac{f^2}{8Re} \times 1000^2 (\mu plgs)$$

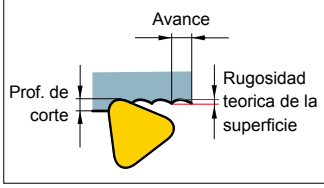
h	(μplgs)	: Acabado de superficie Rugosidad
f	(IPR)	: Avance por Revolución
Re	(plgs)	: Radio

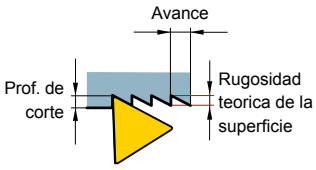
(Problema) Cúal es la superficie de acabado teórica cuando el radio de la placa es .031plgs y el avance es .008IPR ?

(Respuesta) Sustituir f=.008 IPR.R= .031 en la fórmula.

$$h = \frac{(.008)^2}{8 \times .031} \times 1000^2 = 258 \ \mu plgs$$

La rugosidad teórica es de 258µinch.





DESGASTE Y DAÑO DE LA HERRAMIENTA

PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Forma del daño en las herramientas		Problema	Soluciones
Desgaste de Flanco		· Grado de herramienta muy suave. · Velocidad de corte demasiado alta. · Angulo de desprendimiento demasiado pequeño. · Avance extremadamente bajo.	· Grado de inserto con alta resistencia al desgaste. · Disminuya la velocidad de corte. · Aumento del ángulo de desprendimiento. · Aumente el avance.
Craterizacion		· Grado de herramienta muy suave. · Velocidad de corte demasiado alta. · Avance demasiado alto.	· Grado de inserto con alta resistencia al desgaste. · Disminuya la velocidad de corte. · Bajo avance.
Desgaste		· Grado muy duro. · Avance demasiado alto. · Filo debil. · Poca rigideź del zanco.	· Grado de inserto con alta tenacidad. · Bajo avance. · Aumento en el honeado. (Cambio de honeado redondeado a honeado con chaflán.) · Utilizar herramienta de zanco mas grande.
Fractura		· Grado muy duro. · Avance demasiado alto. · Filo debil. · Poca rigideź del zanco.	· Grado de inserto con alta tenacidad. · Bajo avance. · Aumento en el honeado. (Cambio de honeado redondeado a honeado con chaflán.) · Utilizar herramienta de zanco mas grande.
Deformación plástica		· Grado de herramienta muy suave. · Velocidad de corte demasiado alta. · Profundidad de corte y avance excesivos. · Alta temperatura de corte.	· Grado de inserto con alta resistencia al desgaste. · Disminuya la velocidad de corte. · Reduzca la profundidad de corte y el avance. · Grado de inserto con alta conductibilidad del calor.
Adherencia en el filo		· Velocidad de corte baja. · Filo de corte malo. · Grado inapropiado.	· Aumente la velocidad de corte. (Para ANSI 1045, velocidad de corte 260 SFM.) · Increnente angulo de desprendiwiento. · Grado de herramienta con baja afinided.
Fractura termica		· Expansión y contracción debido al calor en el corte. · Grado muy duro. *Especialmente en fresado.	· Corte en seco. (Para corte con refrigerante, la pieza debe de estar sumergida en fluido.) · Grado de inserto con alta tenacidad.
Muesca en el filo		· Superficies duras, piezas enfriadas rápidamente y capas endurecidas por el maquinado. · Fricción causada por virutas dentadas. (Causado por pequeña vibracón)	· Grado de inserto con alta resistencia al desgaste. · Incremente el angulo de desprendimiento para mejorar el filo.
Desprendimiento		· Adhesión en el filo de corte. · Deficiente desalojo de virutas.	· Incremente el angulo de desprendimiento para mejorar el filo. · Cavidad de viruta mas grande.

LISTADO DE REFERENCIAS DE MATERIALES

ACERO AL CARBÓN

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
A570.36	STKM 12A STKM 12C	1.0038	RSt.37-2	4360 40 C	–	E 24-2 Ne	–	–	1311	15
1015	–	1.0401	C15	080M15	–	CC12	C15, C16	F.111	1350	15
1020	–	1.0402	C22	050A20	2C	CC20	C20, C21	F.112	1450	20
1213	SUM22	1.0715	9SMn28	230M07	1A	S250	CF9SMn28	F.2111 11SMn28	1912	Y15
12L13	SUM22L	1.0718	9SMnPb28	–	–	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb28	1914	–
–	–	1.0722	10SPb20	–	–	10PbF2	CF10Pb20	10SPb20	–	–
1215	–	1.0736	9SMn36	240M07	1B	S300	CF9SMn36	12SMn35	–	Y13
12L14	–	1.0737	9SMnPb36	–	–	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnP35	1926	–
1015	S15C	1.1141	Ck15	080M15	32C	XC12	C16	C15K	1370	15
1025	S25C	1.1158	Ck25	–	–	–	–	–	–	25
A572-60	–	1.8900	StE380	4360 55 E	–	–	FeE390KG	–	2145	–
1035	–	1.0501	C35	060A35	–	CC35	C35	F.113	1550	35
1045	–	1.0503	C45	080M46	–	CC45	C45	F.114	1650	45
1140	–	1.0726	35S20	212M36	8M	35MF4	–	F210G	1957	–
1039	–	1.1157	40Mn4	150M36	15	35M5	–	–	–	40Mn
1335	SMn438(H)	1.1167	36Mn5	–	–	40M5	–	36Mn5	2120	35Mn2
1330	SCMn1	1.1170	28Mn6	150M28	14A	20M5	C28Mn	–	–	30Mn
1035	S35C	1.1183	Cf35	060A35	–	XC38TS	C36	–	1572	35Mn
1045	S45C	1.1191	Ck45	080M46	–	XC42	C45	C45K	1672	Ck45
1050	S50C	1.1213	Cf53	060A52	–	XC48TS	C53	–	1674	50
1055	–	1.0535	C55	070M55	9	–	C55	–	1655	55
1060	–	1.0601	C60	080A62	43D	CC55	C60	–	–	60
1055	S55C	1.1203	Ck55	070M55	–	XC55	C50	C55K	–	55
1060	S58C	1.1221	Ck60	080A62	43D	XC60	C60	–	1678	60Mn
1095	–	1.1274	Ck101	060A96	–	XC100	–	F.5117	1870	–
W1	SK3	1.1545	C105W1	BW1A	–	Y105	C36KU	F.5118	1880	–
W210	SUP4	1.1545	C105W1	BW2	–	Y120	C120KU	F.515	2900	–

ALEACIONES

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
A573-81	SM400A, SM400B SM400C	1.0144	St.44.2	4360 43 C	–	E28-3	–	–	1412	–
–	SM490A, SM490B SM490C	1.0570	St52-3	4360 50 B	–	E36-3	Fe52BFN Fe52CFN	–	2132	–
5120	–	1.0841	St52-3	150M19	–	20MC5	Fe52	F.431	2172	–
9255	–	1.0904	55Si7	250A53	45	55S7	55Si8	56Si7	2085	55Si2Mn
9262	–	1.0961	60SiCr7	–	–	60SC7	60SiCr8	60SiCr8	–	–
ASTM 52100	SUJ2	1.3505	100Cr6	534A99	31	100C6	100Cr6	F.131	2258	Gr15, 45G
ASTM A204Gr.A	–	1.5415	15Mo3	1501-240	–	15D3	16Mo3KW	16Mo3	2912	–
4520	–	1.5423	16Mo5	1503-245-420	–	–	16Mo5	16Mo5	–	–
ASTM A350LF5	–	1.5622	14Ni6	–	–	16N6	14Ni6	15Ni6	–	–
ASTM A353	–	1.5662	X8Ni9	1501-509-510	–	–	X10Ni9	XBNi09	–	–
3135	SNC236	1.5710	36NiCr6	640A35	111A	35NC6	–	–	–	–
3415	SNC415(H)	1.5732	14NiCr10	–	–	14NC11	16NiCr11	15NiCr11	–	–
3415, 3310	SNC815(H)	1.5752	14NiCr14	655M13	36A	12NC15	–	–	–	–
8620	SNCM220(H)	1.6523	21NiCrMo2	805M20	362	20NCD2	20NiCrMo2	20NiCrMo2	2506	–
8740	SNCM240	1.6546	40NiCrMo22	311-Type 7	–	–	40NiCrMo2(KB)	40NiCrMo2	–	–
–	–	1.6587	17CrNiMo6	820A16	–	18NCD6	–	14NiCrMo13	–	–
5015	SCr415(H)	1.7015	15Cr3	523M15	–	12C3	–	–	–	15Cr

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
5140	SCr440	1.7045	42Cr4	–	–	–	–	42Cr4	2245	40Cr
5155	SUP9(A)	1.7176	55Cr3	527A60	48	55C3	–	–	–	20CrMn
–	SCM415(H)	1.7262	15CrMo5	–	–	12CD4	–	12CrMo4	2216	–
ASTM A182 F11, F12	–	1.7335	13CrMo4 4	1501-620Gr27	–	15CD3.5 15CD4.5	14CrMo45	14CrMo45	–	–
ASTM A182 F.22	–	1.7380	10CrMo910	1501-622 Gr31, 45	–	12CD9 12CD10	12CrMo9 12CrMo10	TU.H	2218	–
–	–	1.7715	14MoV63	1503-660-440	–	–	–	13MoCrV6	–	–
–	–	1.8523	39CrMoV13 9	897M39	40C	–	36CrMoV12	–	–	–
9840	–	1.6511	36CrNiMo4	816M40	110	40NCD3	38NiCrMo4(KB)	35NiCrMo4	–	–
4340	–	1.6582	34CrNiMo6	817M40	24	35NCD6	35NiCrMo6(KB)	–	2541	40CrNiMoA
5132	SCr430(H)	1.7033	34Cr4	530A32	18B	32C4	34Cr4(KB)	35Cr4	–	35Cr
5140	SCr440(H)	1.7035	41Cr4	530M40	18	42C4	41Cr4	42Cr4	–	40Cr
5115	–	1.7131	16MnCr5	(527M20)	–	16MC5	16MnCr5	16MnCr5	2511	18CrMn
4130	SCM420 SCM430	1.7218	25CrMo4	1717CDS110 708M20	–	25CD4	25CrMo4(KB)	55Cr3	2225	30CrMn
4137 4135	SCM432 SCCRM3	1.7220	34CrMo4	708A37	19B	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	2234	35CrMo
4140 4142	SCM 440	1.7223	41CrMo4	708M40	19A	42CD4TS	41CrMo4	42CrMo4	2244	40CrMoA
4140	SCM440(H)	1.7225	42CrMo4	708M40	19A	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	2244	42CrMo 42CrMnMo
–	–	1.7361	32CrMo12	722M24	40B	30CD12	32CrMo12	F.124.A	2240	–
6150	SUP10	1.8159	50CrV4	735A50	47	50CV4	50CrV4	51CrV4	2230	50CrVA
–	–	1.8509	41CrAlMo7	905M39	41B	40CAD6 40CAD2	41CrAlMo7	41CrAlMo7	2940	–
L3	–	1.2067	100Cr6	BL3	–	Y100C6	–	100Cr6	–	CrV, 9SiCr
–	SKS31 SKS2, SKS3	1.2419	105WCr6	–	–	105WC13	100WCr6 107WCr5KU	105WCr5	2140	CrWMo
L6	SKT4	1.2713	55NiCrMoV6	BH224/5	–	55NCDV7	–	F.520.S	–	5CrNiMo
ASTM A353	–	1.5662	X8Ni9	1501-509	–	–	X10Ni9	XBNi09	–	–
2515	–	1.5680	12Ni19	–	–	Z18N5	–	–	–	–
–	–	1.6657	14NiCrMo134	832M13	36C	–	15NiCrMo13	14NiCrMo131	–	–
D3 ASTM D3	SKD1	1.2080	X210Cr12	BD3	–	Z200C12	X210Cr13KU X250Cr12KU	X210Cr12	–	Cr12
H13 ASTM H13	SKD61	1.2344	X40CrMoV51 X40CrMoV51	BH13	–	Z40CDV5	X35CrMoV05KU X40CrMoV51KU	X40CrMoV5	2242	40CrMoV5
A2	SKD12	1.2363	X100CrMoV51	BA2	–	Z100CDV5	X100CrMoV51KU	X100CrMoV5	2260	100CrMoV5
–	SKD2	1.2436	X210CrW12	–	–	–	X215CrW121KU	X210CrW12	2312	–
S1	–	1.2542	45WCrV7	BS1	–	–	45WCrV8KU	45WCrSi8	2710	–
H21	SKD5	1.2581	X30WCrV93	BH21	–	Z30WCV9	X28W09KU	X30WCrV9	–	30WCrV9
–	–	1.2601	X165CrMoV12	–	–	–	X165CrMoW12KU	X160CrMoV12	2310	–
W210	SKS43	1.2833	100V1	BW2	–	Y1105V	–	–	–	V
T4	SKH3	1.3255	S 18-1-2-5	BT4	–	Z80WKCV	X78WCo1805KU	HS18-1-1-5	–	W18Cr4VCo5
T1	SKH2	1.3355	S 18-0-1	BT1	–	Z80WCV	X75W18KU	HS18-0-1	–	–
–	SCMnH/1	1.3401	G-X120Mn12	Z120M12	–	Z120M12	XG120Mn12	X120MN12	–	–
HW3	SUH1	1.4718	X45CrSi93	401S45	52	Z45CS9	X45CrSi8	F.322	–	X45CrSi93
D3	SUH3	1.3343	S6-5-2	4959BA2	–	Z40CSD10	15NiCrMo13	–	2715	–
M2	SKH9, SKH51	1.3343	S6/5/2	BM2	–	Z85WDCV	HS6-5-2-2	F.5603	2722	–
M7	–	1.3348	S 2-9-2	–	–	–	HS2-9-2	HS2-9-2	2782	–
M35	SKH55	1.3243	S6/5/2/5	BM35	–	6-5-2-5	HS6-5-2-5	F.5613	2723	–

LISTADO DE REFERENCIAS DE MATERIALES

ACERO INOXIDABLE (FERRÍTICA, MARTENSITICO)

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
403	SUS403	1.4000	X7Cr13	403S17	–	Z6C13	X6Cr13	F.3110	2301	OCr13 1Cr12
–	–	1.4001	X7Cr14	–	–	–	–	F.8401	–	–
416	SUS416	1.4005	X12CrS13	416S21	–	Z11CF13	X12CrS13	F.3411	2380	–
410	SUS410	1.4006	X10Cr13	410S21	56A	Z10C14	X12Cr13	F.3401	2302	1Cr13
430	SUS430	1.4016	X8Cr17	430S15	60	Z8C17	X8Cr17	F.3113	2320	1Cr17
–	SCS2	1.4027	G-X20Cr14	420C29	56B	Z20C13M	–	–	–	–
–	SUS420J2	1.4034	X46Cr13	420S45	56D	Z40CM Z38C13M	X40Cr14	F.3405	2304	4Cr13
405	–	1.4003	–	405S17	–	Z8CA12	X6CrAl13	–	–	–
420	–	1.4021	–	420S37	–	Z8CA12	X20Cr13	–	2303	–
431	SUS431	1.4057	X22CrNi17	431S29	57	Z15CNi6.02	X16CrNi16	F.3427	2321	1Cr17Ni2
430F	SUS430F	1.4104	X12CrMoS17	–	–	Z10CF17	X10CrS17	F.3117	2383	Y1Cr17
434	SUS434	1.4113	X6CrMo17	434S17	–	Z8CD17.01	X8CrMo17	–	2325	1Cr17Mo
CA6-NM	SCS5	1.4313	X5CrNi134	425C11	–	Z4CND13.4M	(G)X6CrNi304	–	2385	–
405	SUS405	1.4724	X10CrA113	403S17	–	Z10C13	X10CrA112	F.311	–	OCr13Al
430	SUS430	1.4742	X10CrA118	430S15	60	Z10CAS18	X8Cr17	F.3113	–	Cr17
HNV6	SUH4	1.4747	X80CrNiSi20	443S65	59	Z80CSN20.02	X80CrSiNi20	F.320B	–	–
446	SUH446	1.4762	X10CrA124	–	–	Z10CAS24	X16Cr26	–	2322	2Cr25N
EV8	SUH35	1.4871	X53CrMnNiN219	349S54	–	Z52CMN21.09	X53CrMnNiN219	–	–	5Cr2Mn9Ni4N
S44400	–	1.4521	X1CrMoTi182	–	–	–	–	–	2326	–
–	–	1.4922	X20CrMoV12-1	–	–	–	X20CrMoNi1201	–	2317	–
630	–	1.4542	–	–	–	Z7CNU17-04	–	–	–	–

ACERO INOXIDABLE (AUSTENITICO)

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
304L	SUS304L	1.4306	X2CrNi1911	304S11	–	Z2CN18.10	X2CrNi18.11	–	2352	OCr19Ni10
304	SUS304	1.4350	X5CrNi189	304S11	58E	Z6CN18.09	X5CrNi1810	F.3551 F.3541 F.3504	2332	OCr18Ni9
303	SUS303	1.4305	X12CrNiS188	303S21	58M	Z10CNF18.09	X10CrNiS18.09	F.3508	2346	1Cr18Ni9MoZr
–	SUS304L	–	–	304C12	–	Z3CN19.10	–	–	2333	–
304L	SCS19	1.4306	X2CrNi189	304S12	–	Z2CrNi1810	X2CrNi18.11	F.3503	2352	–
301	SUS301	1.4310	X12CrNi177	–	–	Z12CN17.07	X12CrNi1707	F.3517	2331	Cr17Ni7
304LN	SUS304LN	1.4311	X2CrNiN1810	304S62	–	Z2CN18.10	–	–	2371	–
316	SUS316	1.4401	X5CrNiMo1810	316S16	58J	Z6CND17.11	X5CrNiMo1712	F.3543	2347	0Cr17Ni11Mo2
–	SCS13	1.4308	G-X6CrNi189	304C15	–	Z6CN18.10M	–	–	–	–
–	SCS14	1.4408	G-X6CrNiMo1810	316C16	–	–	–	F.8414	–	–
–	SCS22	1.4581	G-X5CrNiMoNb1810	318C17	–	Z4CNDNb1812M	XG8CrNiMo1811	–	–	–
316LN	SUS316LN	1.4429	X2CrNiMoN1813	–	–	Z2CND17.13	–	–	2375	OCr17Ni13Mo
316L	–	1.4404	–	316S13	–	Z2CND17.12	X2CrNiMo1712	–	2348	–
316L	SCS16 SUS316L	1.4435	X2CrNiMo1812	316S13	–	Z2CND17.12	X2CrNiMo1712	–	2353	OCr27Ni12Mo3
316	–	1.4436	–	316S13	–	Z6CND18-12-03	X8CrNiMo1713	–	2343, 2347	–
317L	SUS317L	1.4438	X2CrNiMo1816	317S12	–	Z2CND19.15	X2CrNiMo1816	–	2367	OOCr19Ni13Mo
UNS V 0890A	–	1.4539	X1NiCrMo	–	–	Z6CNT18.10	–	–	2562	–
321	SUS321	1.4541	X10CrNiTi189	321S12	58B	Z6CNT18.10	X6CrNiTi1811	F.3553 F.3523	2337	1Cr18NI9Ti
347	SUS347	1.4550	X10CrNiNb189	347S17	58F	Z6CNNb18.10	X6CrNiNb1811	F.3552 F.3524	2338	1Cr18Ni11Nb
316Ti	–	1.4571	X10CrNiMoTi1810	320S17	58J	Z6CNDT17.12	X6CrNiMoTi1712	F.3535	2350	Cr18Ni12Mo2T
318	–	1.4583	X10CrNiMoNb1812	–	–	Z6CNDNb1713B	X6CrNiMoNb1713	–	–	Cr17Ni12Mo3Mb

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
309	SUH309	1.4828	X15CrNiSi2012	309S24	–	Z15CNS20.12	X6CrNi2520	–	–	1Cr23Ni13
310S	SUH310	1.4845	X12CrNi2521	310S24	–	Z12CN2520	X6CrNi2520	F.331	2361	OCr25Ni20
308	SCS17	1.4406	X10CrNi18.08	–	58C	Z1NCDU25.20	–	F.8414	2370	–
–	–	1.4418	X4CrNiMo165	–	–	Z6CND16-04-01	–	–	–	–
17-7PH	–	1.4568 1.4504	–	316S111	–	Z8CNA17-07	X2CrNiMo1712	–	–	–
NO8028 S31254	–	1.4563	–	–	–	Z1NCDU31-27-03 Z1CNDU20-18-06AZ	–	–	2584 2378	–
321	SUS321	1.4878	X12CrNiTi189	321S32	58B, 58C	Z6CNT18.12B	X6CrNiTi18 11	F.3523	–	1Cr18Ni9Ti

ACEROS TERMORESISTENTES

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
330	SUH330	1.4864	X12NiCrSi3616	–	–	Z12NCS35.16	–	–	–	–
HT, HT 50	SCH15	1.4865	G-X40NiCrSi3818	330C11	–	–	XG50NiCr3919	–	–	–

FUNDICIÓN GRIS

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
–	–	–	–	–	–	–	–	–	0100	–
No 20 B	FC100	–	GG 10	–	–	Ft 10 D	–	–	0110	–
No 25 B	FC150	0.6015	GG 15	Grade 150	–	Ft 15 D	G15	FG15	0115	HT150
No 30 B	FC200	0.6020	GG 20	Grade 220	–	Ft 20 D	G20	–	0120	HT200
No 35 B	FC250	0.6025	GG 25	Grade 260	–	Ft 25 D	G25	FG25	0125	HT250
No 40 B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
No 45 B	FC300	0.6030	GG 30	Grade 300	–	Ft 30 D	G30	FG30	0130	HT300
No 50 B	FC350	0.6035	GG 35	Grade 350	–	Ft 35 D	G35	FG35	0135	HT350
No 55 B	–	0.6040	GG 40	Grade 400	–	Ft 40 D	–	–	0140	HT400
A436 Type 2	–	0.6660	GGL NiCr202	L-NiCuCr202	–	L-NC 202	–	–	0523	–

FUNDICIÓN HIERRO NODULAR

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
60-40-18	FCD400	0.7040	GGG 40	SNG 420/12	–	FCS 400-12	GS 370-17	FGE 38-17	07 17-02	QT400-18
–	–	–	GGG 40.3	SNG 370/17	–	FGS 370-17	–	–	07 17-12	–
–	–	0.7033	GGG 35.3	–	–	–	–	–	07 17-15	–
80-55-06	FCD500	0.7050	GGG 50	SNG 500/7	–	FGS 500-7	GS 500	FGE 50-7	07 27-02	QT500-7
A43D2	–	0.7660	GGG NiCr202	Grade S6	–	S-NC202	–	–	07 76	–
–	–	–	GGG NiMn137	L-NiMn 137	–	L-MN 137	–	–	07 72	–
–	FCD600	–	GGG 60	SNG 600/3	–	FGS 600-3	–	–	07 32-03	QT600-3
100-70-03	FCD700	0.7070	GGG 70	SNG 700/2	–	FGS 700-2	GS 700-2	FGS 70-2	07 37-01	QT700-18

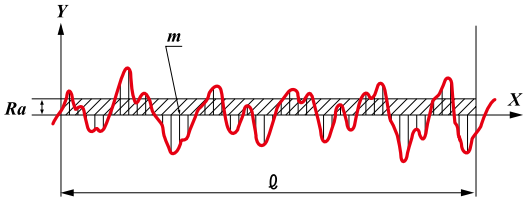
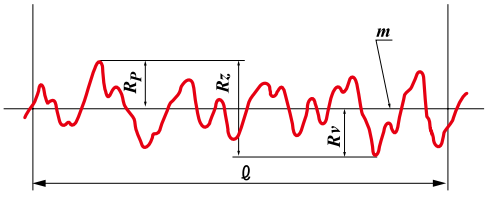
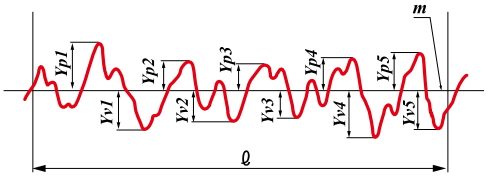
FUNDICION MALEABLE

USA	Japón	Alemania		Inglaterra		Francia	Italia	España	Suecia	China
AISI/SAE	JIS	W.-nr.	DIN	BS	EN	AFNOR	UNI	UNE	SS	GB
–	FCMB310	–	–	8 290/6	–	MN 32-8	–	–	08 14	–
32510	FCMW330	–	GTS-35	B 340/12	–	MN 35-10	–	–	08 15	–
40010	FCMW370	0.8145	GTS-45	P 440/7	–	Mn 450	GMN45	–	08 52	–
50005	FCMP490	0.8155	GTS-55	P 510/4	–	MP 50-5	GMN55	–	08 54	–
70003	FCMP540	–	GTS-65	P 570/3	–	MP 60-3	–	–	08 58	–
A220-70003	FCMP590	0.8165	GTS-65-02	P 570/3	–	Mn 650-3	GMN 65	–	08 56	–
A 220-80002	FCMP690	–	GTS-70-02	P 690/2	–	Mn 700-2	GMN 70	–	08 62	–

ACABADO SUPERFICIAL

ACABADO SUPERFICIAL

(De JIS B 0601-1994)

Tipo	Simbolo	Determinacion	Ejemplo de terminacion (figura)
Media aritmetica, Rugosidad	Ra	**Ra significa el valor obtenido por la siguiente formula y expresado en micras (μm), Al muestrear solamente la longitud de referencia de la curva de rugosidad a la linea media. tomando el eje X en direccion de la linea media, y el eje Y en direccion de la ampliacion longitudinal de la parte muestreada, y la curva de rugosidad se expresa por y=f(x):** $Ra=\frac{1}{\ell}\int_0^{\ell}\{f(x)\}dx$ (μm)	
Altura maxima	Rz	**Rz Sea que solamente cuando se muestrea la longitud de referencia de la curva de rugosidad en a la línea media la distancia entre la linea de la cresta del perfil superior y del linea del valle del perfil inferior en esta porcion muestreada es medida en la ampliacion longitudinal, y el valor obtenido es expresado en micras.** **(Nota) Al encontrar Rz. Una porcion sin un pico alto o un valle bajo o se observe sin defecto, es seleccionado como longitud de prueba.** $Rz=R_P+Rv$ (μm)	
Rugosidad Media de 10 Puntos	RZJIS	**RZJIS Sea que solamente cuando se muestrea la longitud a la curva de la rugosidad en referencia a la línea media la suma de los valores promedio de los valores absolutos de las alturas de 5 crestas mas altas (Yp) y las profundidades de 5 valles mas profundos (Yv) medidos en direccion vertical, desde la linea media de la porcion muestreada., y la suma es expresada en micras.** $Rz_{JIS}=\frac{(Yp1+Yp2+Yp3+Yp4+Yp5)+(Yv1+Yv2+Yv3+Yv4+Yv5)}{5}$ (μm)	 $Yp1, Yp2, Yp3, Yp4, Yp5$:Las altitudes e las 5 crestas mas altas de la porcion muestreada, corresponden a la longitud de referencia. $Yv1, Yv2, Yv3, Yv4, Yv5$:Las altitudes e los 5 valles mas profundos de la porcion muestreada, corresponden a la longitud de referencia.

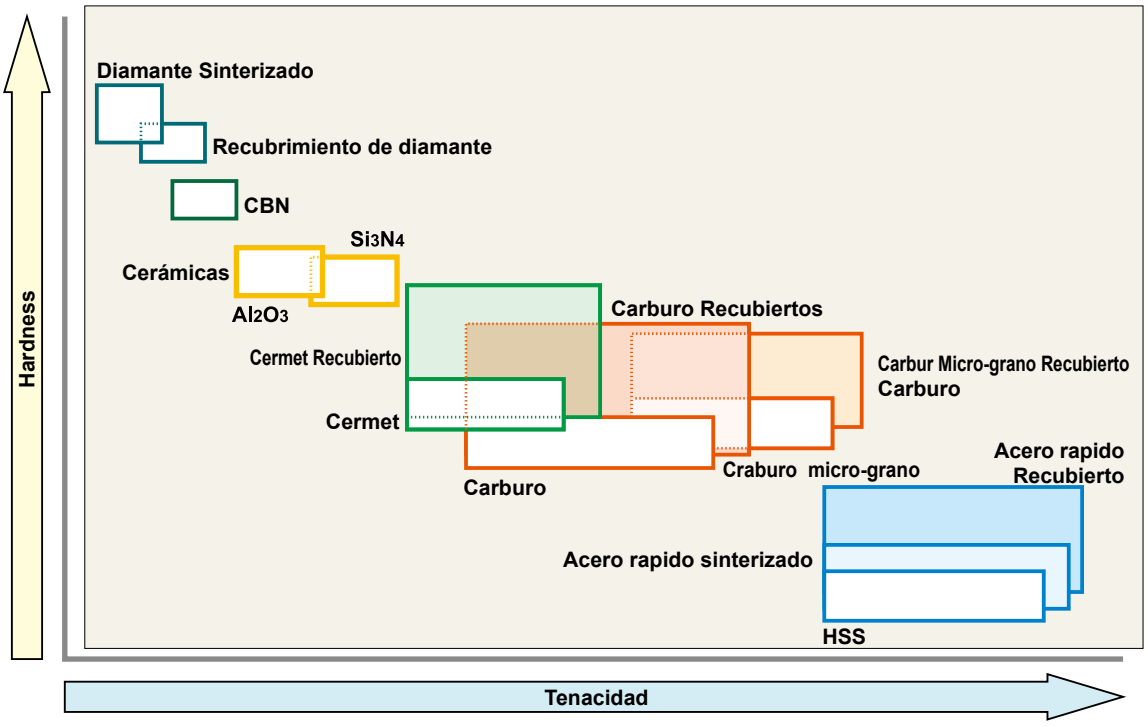
RELACION ENTRE LA LINEA MEDIA (Ra) Y LA DESIGNACION CONVENCIONAL (DATOS DE REFERENCIA)

Rugosidad media aritmetica Ra		Altura maxima Rz	Rugosidad Media de 10 Puntos RZJIS	Longitud de muestra Rz • RZJIS l (mm)	Simbolo convencional de acabado
Serie Estandar	Valor de atajo λc (mm)	Serie Estandar			
0.012 a	0.08	0.05s	0.05z	0.08	▽▽▽▽
0.025 a	0.25	0.1 s	0.1 z		
0.05 a		0.2 s	0.2 z	0.25	
0.1 a	0.8	0.4 s	0.4 z		
0.2 a		0.8 s	0.8 z	0.8	
0.4 a		1.6 s	1.6 z		▽▽▽
0.8 a		3.2 s	3.2 z		
1.6 a		6.3 s	6.3 z		
3.2 a	2.5	12.5 s	12.5 z	2.5	▽▽
6.3 a		25 s	25 z		
12.5 a	8	50 s	50 z		▽
25 a		100 s	100 z	8	
50 a		200 s	200 z		—
100 a	—	400 s	400 z	—	

*La correlacion entre los tres es mostrada por cnveniencia, no es exacta.
*Ra : La longitud de evaluacion de Rz y Rzjis es el valor de atajo, y la longitud de muestra multiplicada por 5, respectivamente.

GRADOS

La figura muestra la relación entre varios materiales de herramientas, en relación de la dureza en el eje vertical y la tenacidad en el eje horizontal.
Hoy, el carburo cementado, carburo recubierto y el cermet con base de TiC-TiN son materiales claves en el mercado. Esto es debido a que tienen el mejor balance de dureza y tenacidad.



CARACTERISTICAS DE LOS GRADOS

Materiales	Dureza (HV)	Formación de energía (kcal/g · atom)	Soluble en acero (%.1250℃)	Conductividad térmica (W/m·k)	Expansión* térmica (x 10^{-6}/k)	Material de Herramienta
Diamante	>9000	–	Altamente Soluble	2100	3.1	Diamante Sinterizado
CBN	>4500	–	–	1300	4.7	CBN
Si_3N_4	1600	–	–	100	3.4	Cerámicas
Al_2O_3	2100	-100	≒0	29	7.8	Cerámicas Carburo
TiC	3200	-35	< 0.5	21	7.4	Cermet Carburo Recubiertos
TiN	2500	-50	–	29	9.4	Cermet Carburo Recubiertos
TaC	1800	-40	0.5	21	6.3	Carburo
WC	2100	-10	7	121	5.2	Carburo

* 1W/m • K=2.39×10^{-3}cal/cm • sec • ℃