

SOFTWARE PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS Y PARÁMETROS DE
MECANIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PIEZAS METALMECÁNICAS

JAIRO ANDRÉS USEDA VEGA
WILLIAM JHAIR RUEDA RAMOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2020

SOFTWARE PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS Y PARÁMETROS DE
MECANIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PIEZAS METALMECÁNICAS

JAIRO ANDRÉS USEDA VEGA
WILLIAM JHAIR RUEDA RAMOS

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

DIRECTOR:
ISNARDO GONZALEZ JAIMES
Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2020

DEDICATORIA

Primero quiero dar gracias a Dios por darme sabiduría y guiar mis pasos para lograr este triunfo.

A mis padres Alba luz Vega Ayala y Jairo Useda Castaño, quiero dedicarles este triunfo, por el amor, la paciencia y su apoyo incondicional brindado en cada paso de mi carrera, gracias por ser los promotores de mis sueños.

A mi novia Tatiana Martínez por acompañarme desde el inicio de mi formación académica, por su amor incondicional, su paciencia, su motivación en cada momento que lo necesitaba.

A cada persona que me apoyó, me motivó y me brindó ayuda, también son parte importante en mi proceso, a todos muchísimas gracias.

Jairo Andrés Useda Vega

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría y permitir este logro.

A mis padres Ana Rosa Ramos Hernández y Willian Rueda Beltrán, por enseñarme el valor del respeto, responsabilidad, gracias a ustedes este objetivo es realidad.

A mi hermana Gisella Dayanne Rueda Ramos, por apoyarme desde el principio y brindarme sus consejos.

A mi familia en general, por unir fuerzas y brindarme su grano de arena.

A todos los seres cercanos que me colaboraron en este camino, en especial a Umelina Rovira Faria por su atención y entrega en mi formación personal y profesional.

A mi novia Paula Álvarez por tu compañía, amor y apoyo incondicional, gracias.

A mis amistades que estuvieron cerca, gracias por acompañarme y hacer de esta experiencia un proceso muy bonito.

William Jhair Rueda Ramos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por su apoyo, paciencia y motivación que nos brindaron en todo nuestro proceso, para ellos principalmente es este logro.

Agradecidos con nuestro director de proyecto Isnardo González Jaimes, por guiarnos, apoyarnos y estar atento en cada circunstancia durante el desarrollo del proyecto de grado.

Al ingeniero Wilmar Ramos por su ayuda, consejos y entrega para que este proyecto sea una realidad.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2 JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	25
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
2. ESTADO DEL ARTE	29
2.1 APLICACIONES	29
3. FUNDAMENTACION TEORICA	42
3.1 MATERIALES	42
3.1.1 Aceros de baja aleación (ISO P).....	42
3.1.2 Aceros inoxidables (ISO M)	43
3.1.3 Aleaciones de aluminio (ISO N)	45
3.1.4 Fundiciones (ISO K).....	46
3.2 PROCESOS DE REMOCION DE MATERIAL	47
3.2.1 Fundamentos de maquinado	47
3.2.2 Maquinas herramientas en el mecanizado	49
3.2.3 Operaciones de torneado	54
3.2.4 Operaciones de taladrado.....	59

3.2.5	Operaciones de fresado.....	60
3.3	PARAMETROS DE CORTE	65
3.4	FUNDAMENTOS EN HERRAMIENTAS DE CORTE	66
3.4.1	Herramientas de un filo.....	67
3.4.2	Herramientas rotativas.....	70
3.4.3	Desgastes y modos de fallas de las herramientas de corte.....	72
3.4.4	Materiales para herramientas de corte	74
3.5	PIEZAS METALMECÁNICAS.....	75
3.5.1	Ejes.....	75
3.5.2	Engranajes.....	76
3.5.3	Poleas.....	79
3.6	FUNDAMENTO DE SOFTWARE SPPM.....	81
3.6.1	CAPP	81
3.6.2	Hoja de ruta	83
3.6.3	Pieza compuesta	83
3.6.4	Lenguaje de programación	84
3.6.5	Word Wide Web.....	84
3.6.6	Lenguaje de marcas de hipertexto (HTML).....	84
3.6.7	Preprocesador de hipertexto (php)	85
3.6.8	MySQL.....	85
3.6.9	Servidor web Apache.....	85
3.6.10	Macromedia Dreamweaver 8.....	86

3.6.11	Macromedia Fireworks 8.....	87
4.	DISEÑO CONCEPTUAL.....	88
4.1	BASE DE DATOS GENERAL.....	88
4.1.1	Base de datos dimensiones.....	89
4.2	HOJA DE RUTA	92
4.3	PROCESOS	93
4.3.1	Procesos de mecanizado para la polea.....	93
4.3.2	Procesos de mecanizado del engranaje.....	94
4.3.3	Procesos de mecanizado del eje	96
4.4	MODELO DE BASE DE DATOS	96
4.4.1	Gestor de base de datos MySQL.....	97
4.5	REQUERIMIENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SPPM	98
5.	ESTRUCTURACION DEL SOFTWARE.....	100
5.1	ESPECIFICACION DE PARAMETROS DE ENTRADA Y SALIDA ...	101
5.1.1	Parámetros de entrada del engranaje recto.....	101
5.1.2	Parámetros de entrada de la polea.....	103
5.1.3	Parámetros de entrada del eje de transmisión	104
5.2	DIAGRAMA DE FLUJO DEL APLICATIVO	105
6.	DESARROLLO.....	107
6.1	INICIO DE SESION	107
6.2	MENU PRINCIPAL	108

6.3	MODULO DE ADMINISTRACION DE USUARIOS	108
6.4	MODULO DE REGISTRO DE PIEZAS.....	109
6.5	MODULO DE PARAMETRIZACION.....	110
6.6	MODULO DE CONSULTAS	111
6.7	MODULO DESCONECTAR.....	112
7.	PRUEBAS Y ANALISIS ECONOMICO	114
7.1	PRUEBAS DE INTEGRIDAD DE DATOS	114
7.1.1	Prueba 1 integridad de datos.....	114
7.1.2	Prueba 2 integridad de datos.....	115
7.1.3	Prueba 3 integridad de datos.....	116
7.1.4	Proceso de integridad de datos polea	117
7.2	ANALISIS ECONOMICO	126
7.2.1	Viabilidad económica del proyecto.	126
8.	CONCLUSIONES.....	132
	BIBLIOGRAFIA.....	134
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de acero crudo en algunos países de Latinoamérica (miles de toneladas).....	20
Figura 2. Pieza metalmecánica y sus operaciones de mecanizado.....	22
Figura 3. Eje de transmisión de potencia.....	23
Figura 4. Modelo de CAPP.....	24
Figura 5. Interfaz CAPPINAL.....	31
Figura 6. Ejemplo modulo base de conocimiento.....	33
Figura 7. Esquema Base de datos relacional.....	34
Figura 8. Modulo interfaz UF.....	35
Figura 9. Módulo de inicio custompart.net.....	37
Figura 10. Módulo estimador de costos.....	38
Figura 11. Galería de partes.....	39
Figura 12. Módulo de materiales.....	40
Figura 13. Módulo de procesos.....	41
Figura 14. Designaciones AISI/SAE para los aceros.....	42
Figura 15. Acero de baja aleación 8620.....	43
Figura 16. Componentes y propiedades mecánicas de aceros inoxidable.....	44
Figura 17. Perfiles de aceros inoxidable.....	45
Figura 18. Perfiles de aluminio.....	45
Figura 19. Tipos de crisoles.....	46
Figura 20. Clasificación de los procesos de remoción de material.....	48
Figura 21. Proceso de maquinado.....	49
Figura 22. Torno convencional.....	50
Figura 23. Prensa taladradora.....	52
Figura 24. Fresadora horizontal y fresadora vertical.....	53
Figura 25. Esquema del proceso de torneado.....	54
Figura 26. Voladizo (OH).....	56
Figura 27. Ranurado múltiple.....	57

Figura 28. Fresado periférico.....	61
Figura 29. Fresado frontal.....	63
Figura 30. Fresado convencional y fresado descendente.....	64
Figura 31. Métodos de arranque de viruta.....	67
Figura 32. Ángulos de la herramienta.....	68
Figura 33. Formas de plaquita.....	69
Figura 34. Clasificación de fresas.....	71
Figura 35. Partes de una broca.....	72
Figura 36. Tabla de materiales de herramientas de corte.....	74
Figura 37. Relación dureza vs temperatura de materiales de herramientas de corte	75
Figura 38. Ejes de transmisión.....	76
Figura 39. Transmisión de engranajes.....	77
Figura 40. Nomenclatura de un engranaje recto.....	77
Figura 41. Polipasto.....	80
Figura 42. Perfiles trapezoidales.....	81
Figura 43. Funcionamiento CAPP.....	82
Figura 44. Parámetros de entrada polea.....	90
Figura 45. Dimensiones de la llanta.....	90
Figura 46. Parámetros de entrada del engranaje.....	91
Figura 47. Selección de parámetros de tronzado de la polea.....	94
Figura 48. Selección de parámetros cilindrado exterior de la polea.....	94
Figura 49. Selección de parámetros del refrentado para engranajes.....	95
Figura 50. Selección de parámetros del taladrado para engranajes.....	95
Figura 51. Selección de parámetros del ranurado del eje.....	96
Figura 52. Selección de parámetros del roscado exterior del eje.....	96
Figura 53. Esquema de la base de datos.....	97
Figura 54. Entradas y salidas SPPM.....	101
Figura 55. Módulo de inicio de sesión.....	107
Figura 56. Menú principal SPPM.....	108

Figura 57. Administración de usuarios SPPM.....	109
Figura 58. Módulo de registro de piezas.....	110
Figura 59. Módulo de parametrización.....	110
Figura 60. Módulo de consulta.....	111
Figura 61. Submódulo de hoja de ruta.....	112
Figura 62. Hoja de ruta.....	113
Figura 63. Selección de piezas.....	118
Figura 64. Selección de material de la pieza.....	119
Figura 65. Selección del tipo de llanta.....	119
Figura 66. Selección del número de llantas.....	119
Figura 67. Selección del diámetro exterior.....	120
Figura 68. Selección de cubo.....	120
Figura 69. Selección del diámetro intermedio.....	121
Figura 70. Selección de reducción de peso.....	121
Figura 71. Selección de chavetas.....	121
Figura 72. Hoja de ruta prueba 1 (Polea).....	123
Figura 73. Hoja de ruta prueba 2 (Engranaje).....	124
Figura 74. Hoja de ruta prueba 3 (Eje).....	125
Figura 75. Diagrama ingresos-egresos para el cálculo del VPN.....	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operaciones de mecanizado de pieza metalmecánica.....	22
Tabla 2. Hoja de ruta eje de transmisión de potencia.....	24
Tabla 3. Resultados obtenidos de prueba del sistema experto	36
Tabla 4. Procesos comunes de torneado.	59
Tabla 5. Procesos comunes del taladrado.....	60
Tabla 6. Procesos de fresado periférico.	62
Tabla 7. Procesos de fresado frontal	63
Tabla 8. Parámetros de corte.....	65
Tabla 9. Tipos de engranajes	79
Tabla 10. Base de datos general	88
Tabla 11. Parametrización de entrada de la polea.....	114
Tabla 12. Parámetros de salida de polea.	115
Tabla 13. Parametrización de entrada del engranaje	115
Tabla 14. Parámetros de salida del engranaje	116
Tabla 15. Parametrización de entrada del eje	116
Tabla 16. Parametros de salida del eje.....	117
Tabla 17. Costo total de instalación.	126
Tabla 18. Análisis comparativo del tiempo de mecanizado entre la selección manual y la implementación del software.	127
Tabla 19. Análisis comparativo de la cantidad de piezas mecanizadas mensualmente.	127
Tabla 20. Ganancias atribuidas al software propuesto.	128
Tabla 21. Tiempo estimado de recuperación de la inversión.....	128
Tabla 22. Cálculo del flujo efectivo neto.	129

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Hojas de ruta de las piezas.

Anexo B. Base de datos de las piezas.

Anexo C. Base de datos de procesos de mecanizado de las piezas.

Anexo D. Diccionario de datos generado por MYSQL.

Anexo E. Materiales de las piezas.

Anexo F. Diagrama de flujo de búsqueda y selección de las piezas.

Anexo G. Manual del software SPPM.

INTRODUCCIÓN

Las empresas metalmecánicas locales viven una problemática en el desarrollo de piezas de calidad a precios razonables, ya que carecen de un soporte o metodología, que facilite una adecuada selección de procesos y parámetros de mecanizado para la elaboración de dichas piezas metalmecánicas. Las herramientas de corte con insertos intercambiables, son parte de las nuevas tecnologías de mecanizado; muchas empresas han acudido a estas tecnologías, debido a los resultados productivos y a la facilidad que brindan en el desarrollo de las piezas, sin embargo, la mayoría de los talleres metalmecánicos no cuentan con un proceso de estandarización en la selección de dichas herramientas de corte, procesos y por ende los parámetros de corte se ven influenciados.

En el presente proyecto se diseña y desarrolla una herramienta *CAPP* llamada *SPPM* (*Selector de parámetros y procesos de mecanizado*), a través de las bases de *IA* (*Inteligencia artificial*), permite seleccionar los parámetros de corte soportados por la elaboración de *hojas de ruta*, buscando reducir los tiempos de fabricación, aumentar la productividad de la empresa, acabar con la planeación de procesos tradicional, que dependía de los expertos en el campo de la manufactura o técnicos especializados.

La estructura funcional de *SPPM*, inicia con la creación de una base de conocimiento adquirida de libros, catálogos y expertos en el dominio del área de remoción de material, para luego ser almacenados en una base de datos. La generación de la base de datos brinda la permanencia de la información en el tiempo, pues existen conocimientos obsoletos, documentación perdida, operarios con gran experiencia del campo, libros contemporáneos y demás material útil. El enfoque de desarrollo del software se basa en la *Tecnología de grupos*, el cual identifica y agrupa las piezas según las similitudes existentes entre ellas,

relacionando los procesos de fabricación, geometrías y el tipo de producción de las piezas.

El principio tomado de la Tecnología de grupos para el desarrollo del sistema computacional es el concepto de *Pieza Compuesta*; tratándose de una pieza ideal que posee todos los procesos y transformaciones posibles permitidas; esta metodología permite facilitar la búsqueda de parámetros y procesos de corte de las piezas a seleccionar; además, brinda el uso adecuado del conocimiento de un experto organizando los pasos para resolver el problema cuando se está realizando una consulta.

Se desarrolla el interfaz gráfico, permitiendo la interacción del usuario con el software; se procede a realizar las pruebas correspondientes al funcionamiento del prototipo y reparaciones necesarias para validar la funcionalidad y sostenibilidad del software. Por último, se efectúa un análisis económico que determine los beneficios de la inversión y los compare con el proceso de selección de parámetros y procesos actualmente aplicados.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector metalmecánico se perfila como un gran potencial para el desarrollo económico del país, ya que exporta más de 363.000 toneladas al año, estas cifras representan aproximadamente un 14% de la producción industrial de la nación y alrededor del 13% del empleo dentro del PIB industrial, según los datos estadísticos del *PTP (programa de transformación productiva)*. Estas cifras demuestran la importancia que genera este sector económico, afianzándose cada día con más fuerza el manejo adecuado de los procesos de mecanizado.

Colombia en el año 2017 registró un crecimiento anual de 2% en la producción de acero crudo; según un estudio de la *Cámara de Comercio de Cali (CCC)*, el país se ubica en la cuarta posición entre las naciones de América Latina como se puede visualizar en la Figura 1.

Figura 1. Producción de acero crudo en algunos países de Latinoamérica (miles de toneladas).

País	2016	2017	Var. (%)
Brasil	31.275	34.715	11,0
México	18.811	20.504	9,0
Argentina	4.126	4.333	5,0
Colombia	1.272	1.297	2,0
Perú	1.168	1.262	8,0
Chile	1.153	1.129	-2,1
Venezuela	553	757	36,9
Ecuador	576	565	-1,9
Guatemala	314	282	-10,2
Cuba	244	207	-15,2
El Salvador	100	92	-8,0
Uruguay	61	54	-11,5
Otros	70	32	-54,3
Total	59.723	65.229	9,2

Fuente: ENFOQUE COMPETITIVO. Alacero-Elaboración Cámara de Comercio de Cali (CCC).

2018 [En línea]. (Recuperado en 20 de mayo de 2019). Disponible en:

<https://www.ccc.org.co/inc/uploads/2018/12/Informe-Metalmecanico-N109.pdf/>

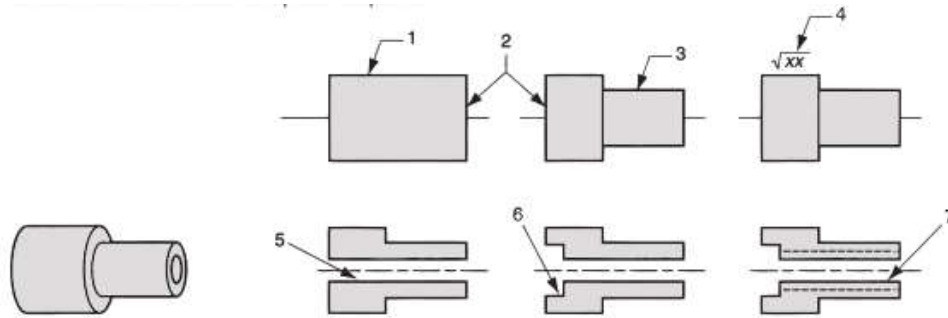
El sector metalmeccánico se ha convertido en una pieza fundamental en el desarrollo económico del país, contribuyendo al fortalecimiento de la exportación, creando un ambiente competitivo gracias a la globalización. Es por esto que las industrias se ven en la obligación de evolucionar, mejorando la producción y calidad de los productos a obtener de manera eficiente. Generalmente, las industrias metalmeccánicas no cuentan con estándares convenientes que soportan la selección adecuada de los procesos y parámetros de mecanizado para la elaboración de piezas.

En la mayoría de las empresas, la selección de procesos y parámetros de mecanizado se basa en el conocimiento personalizado adquirido por los operarios experimentados en el manejo de las máquinas herramientas; esta es una tarea fundamental en el proceso de fabricación de las piezas, debido a la cantidad de factores a tener en cuenta en su manufactura.

Entre los factores a tener en cuenta en el desarrollo de elementos metalmeccánicos se encuentran; *materiales, herramientas de corte, máquinas herramientas a utilizar, parámetros de corte* tales como; *profundidades de corte (a_p), avance (f), velocidades de corte (V_c), tiempos de mecanizado (t), longitudes de corte (L_c)* y las diferentes *operaciones de mecanizado* que sufre una materia prima con el objetivo de transformarse en producto final.

En la Figura 2; se observa una pieza final y los diferentes procesos de mecanizado que sufrió en un orden numérico, dichos procesos de mecanizado están resumidos en la Tabla 1.

Figura 2. Pieza metalmecánica y sus operaciones de mecanizado.



Fuente: CONCEPTO DE UNA PIEZA COMPUESTA. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 481-536, 938-952. ISBN. 978-970-106-240-1.

Tabla 1. Operaciones de mecanizado de pieza metalmecánica.

Etiqueta	Característica de diseño	Operación de manufactura correspondiente
1	Cilindro externo	Torneado
2	Cara del cilindro	Careado
3	Paso cilíndrico	Torneado
4	Superficie lisa	Esmerilado cilíndrico externo
5	Orificio axial	Taladrado
6	Abocardado	Perforado, abocardado
7	Roscas internas	Roscado

Fuente: CONCEPTO DE UNA PIEZA COMPUESTA. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 481-536, 938-952. ISBN. 978-970-106-240-1.

Las empresas al no presentar un soporte o base de conocimiento, que permita contribuir al desarrollo de las piezas; los operarios de nuevo ingreso no contarían con la suficiente experiencia e información para manufacturar piezas metalmecánicas.

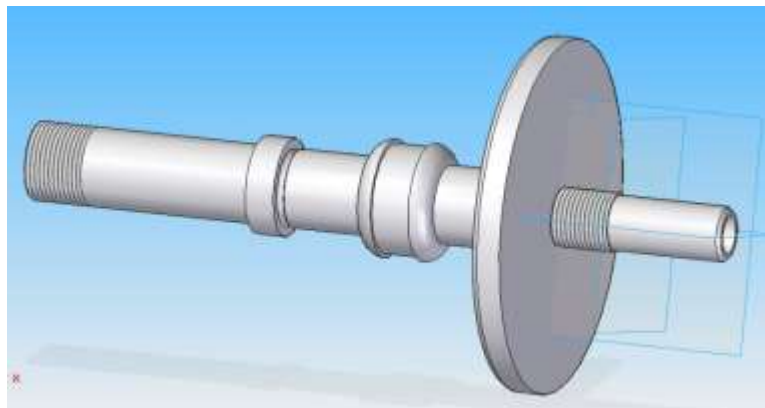
En el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, la mayoría de las empresas metalmecánicas no cuentan con un soporte o metodología, que facilite una adecuada selección de procesos y parámetros de mecanizado para la elaboración

de piezas metalmecánicas, por lo tanto, se pretende desarrollar un *CAPP* (*Planeación de Procesos Asistido por Computador*) que, a través de un software permita obtener una adecuada selección de procesos y parámetros de mecanizado, contribuyendo a un fortalecimiento en la elaboración de hojas de ruta hacia la fabricación de piezas metalmecánicas tales como ejes, engranajes y poleas.

El software *SPPM* (*Selector de Parámetros y Procesos de Mecanizado*), busca desarrollar hojas de ruta teniendo en cuenta parámetros y operaciones de corte de las distintas piezas finales a obtener; como es el caso de un eje de transmisión de potencia visto en la Figura 3, mientras que en la Tabla 2 se observa dicha hoja de ruta con los procesos y parámetros de mecanizado del eje de transmisión.

En la Figura 4 se observa un modelo de *CAPP*, con el fin de apreciar una tentativa entrega y parametrización de los datos; una vez obtenido dichos parámetros, el sistema muestra la hoja de vida de la pieza a fabricar.

Figura 3. Eje de transmisión de potencia.



Fuente: WIKIFAB. TRABAJO FINAL (07366). 2013 [En línea]. (Recuperado en 17 de junio de 2019). Disponible en:

http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/TRABAJO_FINAL_%2807366%29

Tabla 2. Hoja de ruta eje de transmisión de potencia.

TORNEADO 1 DEL EJE				
Nº fase	DESCRIPCIÓN	MÁQUINA	UTILLAJE	T. MECANIZADO
1	Desbaste inicial	Torno CNC	Plato garras	120 s
2	Acabado	"	"	6 s
3	Ranurado	"	"	15 s
4	Perfilado	"	"	6 s
5	Ranurado	"	"	2 s
6	Roscado	"	"	12 s
TORNEADO 2 DEL EJE				
Nº fase	DESCRIPCIÓN	MÁQUINA	UTILLAJE	T. MECANIZADO
7	Desbaste inicial	Torno CNC	Plato garras	90 s
8	Acabado	"	"	5 s
9	Maldrinado	"	"	30 s
10	Roscado	"	"	12 s
11	Tronzado	"	"	7 s
TORNEADO DE LA RUEDA				
Nº fase	DESCRIPCIÓN	MÁQUINA	UTILLAJE	T. MECANIZADO
12	Desbaste inicial	TORNO CNC	Plato de garras	10 s
13	Maldrinado	"	"	15 s
14	Roscado	"	"	15 s
15	Tronzado	"	"	7 s

Fuente: WIKIFAB. TRABAJO FINAL (07366). 2013 [En línea]. (Recuperado en 17 de junio de 2019). Disponible en:

http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/TRABAJO_FINAL_%2807366%29

Figura 4. Modelo de CAPP.

Fuente: Process Planning Data. Implementación de un software para la planeación de procesos asistida por computadora CAPP en la manufactura de la empresa Marcos Milán S.A.S.

Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Actualmente la elaboración de hojas de ruta para la fabricación de elementos metalmecánicos en la industria metalmecánica de Bucaramanga es una urgencia; tradicionalmente, la planeación de los procesos es realizada por ingenieros de manufactura con conocimientos, habilidades y experiencia en el desarrollo de las etapas del proceso en la secuencia más lógica para fabricar una pieza. Atribuir esta responsabilidad al ingeniero es arriesgada, pues los profesionales con conocimientos en los procesos y técnicas de manufactura se retiran con el paso del tiempo. Según GROOVER¹, hay una lista de decisiones que afronta el ingeniero de manufactura a la hora de planificar procesos.

- ❖ Procesos y secuencias.
- ❖ Selección del equipo.
- ❖ Herramientas, dados, moldes, soportes y calibradores.
- ❖ Herramientas de corte y condiciones de corte para las operaciones de maquinado.
- ❖ Métodos
- ❖ Estándares de trabajo.
- ❖ Estimación de los costos de producción.
- ❖ Manejo de materiales.
- ❖ Distribución de la planta y diseño de instalaciones.

Una manera de solucionar esta urgencia es desarrollando CAPP (computer aided process planning) que, a través de un software, permita utilizar la experiencia acumulada de las industrias de la ciudad de Bucaramanga para desarrollar una

¹ GROOVER, Mikell. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 939.

herramienta útil en el campo de planeamiento de la ingeniería de manufactura metalmecánica con el fin de obtener:

- ❖ Aumento de productividad en planificación de procesos.
- ❖ Estandarización de procesos, siendo más lógicos y efectivos.
- ❖ Reducción de tiempos en planificación de procesos.
- ❖ Base de datos con procesos e información significativa.
- ❖ Búsqueda de información eficaz, segura, actualizable.

Dicho sistema simula el proceso de aprendizaje, razonamiento, memorización, comunicación y acción del tipo de conducta manifestado por expertos humanos en una determinada rama de la ciencia, desarrollando un software que apoye la selección de las adecuadas operaciones y parámetros de mecanizado, es posible obtener una metodología ordenada, descriptiva y funcional que permita construir un conocimiento empleando técnicas de los sistemas computacionales; todo esto con el objetivo de conseguir soluciones muy aproximadas a un comportamiento de un experto humano para el campo metalmecánico.

Hoy en día el sector metalmecánico presenta un buen crecimiento, ganando un espacio de mucha importancia debido al gran potencial para satisfacer la creciente demanda mundial de sus productos; esto genera mucha competitividad en el mercado, impulsando a las empresas a pertenecer al mundo de las certificaciones y acreditaciones de calidad en sus productos, gracias a la implementación de un software, es posible mejorar la producción y la calidad de las piezas; una mejora en la producción implica una mejora en la eficiencia del trabajo, por lo tanto, se logra optimizar la producción generando rentabilidad y productos de mejor calidad competitiva.

Académicamente, el desarrollo del software brinda un beneficio importante, ya que permite anudar, soldar y estructurar información o conocimientos remotos o que operarios de gran conocimiento poseen y no lo exponen con facilidad; Analizando

conocimientos dispersos de gran utilidad relacionado con los procesos de mecanizados.

Debido que esta es una primera versión del concepto de desarrollo de software aplicado a la industria metalmecánica en la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, se limitará el alcance del software *SPPM* a tres (3) tipos de elementos de máquinas; además, el software está diseñado para apoyar a empresas del sector metalmecánico, esto implica que el software se encuentra limitado al proceso de fabricación de dicha empresa, teniendo en cuenta, número de piezas que se fabrican, las herramientas de corte existentes para la realización de dichas piezas, las máquinas herramientas disponibles, los proveedores, número de trabajadores y demás.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta software que ayude a la selección de procesos y parámetros de mecanizado para la elaboración de piezas metalmecánicas contribuyendo con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la formación integral de los ingenieros mecánicos capaces de solucionar problemas en la industria.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Establecer una base de conocimiento teniendo en cuenta los métodos, procedimientos y conceptos identificados en el desarrollo de piezas en la industria metalmecánica para los siguientes elementos de máquinas; engranajes, poleas, ejes, a partir del apoyo de operarios expertos en dos talleres de Bucaramanga.
- ❖ Desarrollar una herramienta software fundamentada en la base de conocimiento obtenida, que permita obtener como resultado la selección de los siguientes parámetros de mecanizado:

- Velocidad de corte (V_c).
 - Avance (f).
 - Profundidad de corte (a_p).
 - Tiempo de ciclo de mecanizado (T_{ciclo}).
- ❖ Desarrollar los módulos de operación del software apoyado en la selección de procesos y parámetros de mecanizado tales como:
- Módulo de registro.
 - Módulo de consultas.
 - Módulo de informes.
 - Módulo de ingreso.
- ❖ Elaborar un manual de operación de la herramienta software con el fin de obtener su fácil comprensión, creando un ambiente visual práctico y gráfico al usuario.

2. ESTADO DEL ARTE

El sector metalmecánico ha tomado peso en la industria, desafortunadamente en el área metropolitana de Bucaramanga dicho sector carece de apoyos tecnológicos que contribuyan a una evolución en el desarrollo productivo de la empresa. Actualmente la elaboración de hojas de ruta para la fabricación de elementos metalmecánicos en la industria metalmecánica es una urgencia, una forma de solucionarlo es a través de CAPP.

A continuación, es posible encontrar una compilación de resultados de otras investigaciones en el área industrial y el sector metalmecánico, relacionado con el desarrollo de software permitiendo identificar metodologías y estrategias elaboradas.

2.1 APLICACIONES

❖ **OROZCO, Ross; REYES, Norberto.** Sistema experto que apoya la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizados SHEC. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006. 174 p.

El trabajo de grado propone un sistema o software que permite seleccionar las herramientas de corte según el proceso de mecanizado a realizar; consta de un módulo de consulta, con el fin de visualizar condiciones y herramientas de corte, proporcionando una ayuda a la hora de ingresar datos. Un módulo de actualizaciones, permitiendo revalidar la base del conocimiento que ya posee el software, finalmente, toma la decisión de conservar o no dicha información.

El enfoque del proyecto se basa en los *sistemas expertos*; es decir, se simula los conocimientos de un experto humano; una vez tomado el conocimiento, se crea una

base datos y por medio de *IA (Inteligencia Artificial)*, se genera la decisión más acertada para la selección de herramientas de corte.

❖ **BROCATE, Jefferson; RADUALES, Arturo.** Implementación de un software para la planeación de procesos asistida por computadora CAPP en la manufactura de la empresa Marcos Milán S.A.S. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016. 188 p.

La planeación de procesos y sus registros es fundamental en una empresa, son importantes para mejorar la calidad y rendimiento de la producción, proporcionando un control de la planificación, programación y ejecución de los procesos, reduciendo tiempos y aumentando la productividad.

Se propone el uso de CAPP basado en la tecnología de grupo y la codificación de piezas, desarrollando hojas de rutas que contienen la secuencia e información necesaria para la fabricación de cada una de las piezas y su respectiva codificación, de esta manera el software, con base a las hojas de rutas existente, reduzca el tiempo en la elaboración de la planeación de los procesos de nuevas piezas a fabricar. Esta metodología de solución brinda una alternativa para la operación del software a desarrollar, seleccionando el camino adecuado en la elaboración de hojas de ruta según la información existente.

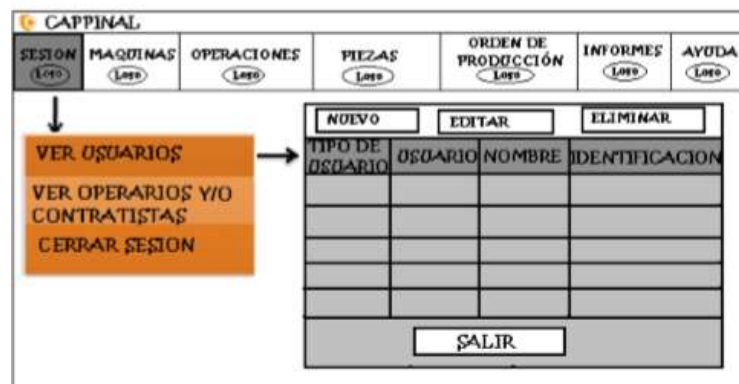
❖ **GAMBOA, Jenny; GOMEZ, Andrés.** Software para la planeación de procesos asistida por computador (CAPP) en industrias Acuña LTDA. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010. 184 p.

El trabajo de grado propone un software para la planeación de procesos de la empresa *INDUSTRIAS ACUÑA Ltda*, que permite un control de los procesos, mejorando tanto la calidad y el rendimiento de los productos, aumentando la producción de la empresa.

Para el desarrollo del software, se realizó un inventario de máquinas y herramientas con las que contaba la empresa, elaborando los formatos para la planeación y registro de los procesos donde definen la secuencia de las operaciones y la información requerida para la producción, además se realizó la codificación respectiva de las piezas fabricadas por *INDUSTRIAS ACUÑA Ltda.*

Visualizando el interfaz gráfico de *CAPPINAL*, es posible observar la facilidad que genera la interacción usuario-software, siendo amigable, confortable a la vista y una estructura organizada según los módulos utilizados, en la Figura 5 se visualiza el interfaz de *CAPPINAL*; lo mencionado permite brindar una idea a la hora de creación y desarrollo del software requerido.

Figura 5. Interfaz CAPPINAL.



Fuente: Usuarios. Implementación de un software para la planeación de procesos asistida por computadora CAPP en la manufactura de la empresa Marcos Milán S.A.S. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016. p 101.

❖ **TABARES, Héctor, MONSALVE, Duván y GOMEZ, Daniel.** Modelo de Sistema Experto para la Selección de Personal Docente Universitario. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

El uso del software aporta su grano de arena en las aplicaciones industriales indirectamente, en este caso se busca encontrar una metodología informática que permita seleccionar un personal apto o capacitado en el área de la docencia universitaria, con el fin de llevar a cabo un proceso selectivo y subjetivo teniendo en cuenta los perfiles profesionales de los candidatos al puesto.

Aporta la siguiente metodología, para llegar al objetivo final del software:

- **Identificación del problema.** Solucionar un problema poco trivial mediante la implementación del sistema experto, es decir, obtener la selección de personal docente utilizando un prototipo software.
- **Selección de la variable objetivo y sus valores.** El experto en el área de recurso humano define una variable objetivo, el cual es el tipo de contratación al que puede aspirar un docente. Los valores posibles que puede asumir la variable son: no aplica, catedrático, ocasional, de carrera.
- **La selección de las variables de entrada y sus posibles valores.** Esta etapa de la metodología; a través de la experiencia del experto, se busca clasificar el conjunto de variables de entrada relevantes. A cada característica se le asigna un valor de 0 a 1 teniendo en cuenta su importancia.
- **Diseño de las preguntas.** Proceso de cuidado e iterativo, identifica los rasgos y características, representadas en las variables de entrada, presentes o no en los valores que asume la variable objetivo-identificada para el dominio del problema. Se obtiene la adquisición de información interviniendo el ingeniero y el experto de área de recursos humanos. Teniendo una base de información con los rasgos identificados en el paso previo; a partir de ahí, se diseñan las reglas a evaluar y las preguntas a formular a los usuarios finales del sistema cuando interactúa con el subsistema de interfaz de usuario final.
- **Implementación software.** En el software, se manejaron tres fases: interfaz, lógica de programa y datos. La base de reglas y el motor de inferencia se implementaron en lenguaje PHP ambiente web con tecnología Symfony y lenguaje C# con tecnología .NET para ambiente de escritorio. En general, esta tecnología

ofrece las capacidades para el desarrollo basado en Web, adaptada incorporando arquitecturas cliente-servidor o interfaces basadas en navegadores Web. El sistema posee 3 *módulos* de funcionamiento:

- ✓ *Editor de variables de entrada (antecedentes) y salida (objetivos o consecuentes).* Con la base de conocimiento construida entre el experto y el ingeniero, se registran en este módulo teniendo en cuenta si es entrada o salida.
- ✓ *Base de conocimiento.* Se cargan los archivos de variables de entrada y salida en el módulo *Base de conocimiento*; para luego iniciar con la configuración de reglas, en la Figura 6. Se visualiza un ejemplo en el ingreso de datos al programa; este proceso es iterativo, y se culmina hasta que se hayan registrado y configurado los posibles resultados para cada una de las preguntas formuladas.

Figura 6. Ejemplo módulo base de conocimiento.



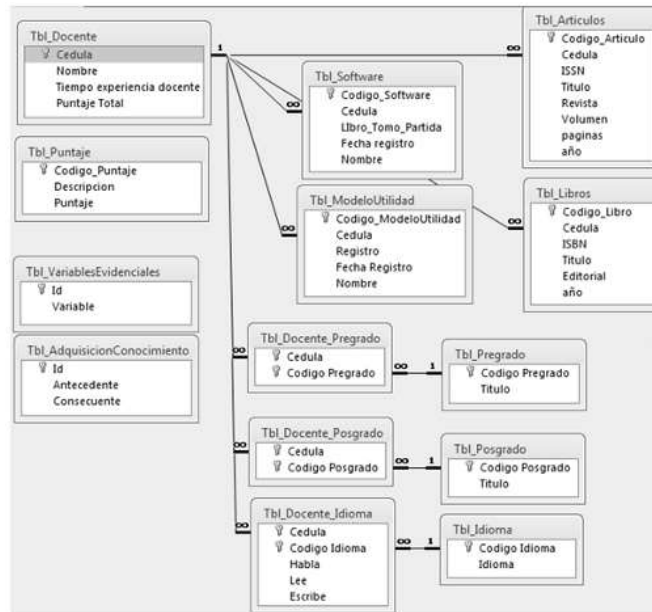
The screenshot shows the 'ExpertoRH_ITM' web application interface. At the top, there is a navigation menu with the following items: 'Usuario final', 'Variables Evidenciales', 'Adquisición conocimiento', 'Puntos', 'Usuarios', 'Administradores', 'Salir', and 'profesor'. Below the menu, the main heading is 'Condiciones'. Underneath, there are two sub-headings: 'Agregar Condiciones' and 'Condicion Actual'. The form contains the following fields and controls:

- 'Antecedente: Docente Catedrático' with a dropdown arrow.
- 'Operador: Nada' with a dropdown arrow and a link '<{Crear dependencia del tipo AND, OR}'.
- 'Consecuente: Docente Catedrático' with a dropdown arrow.
- Buttons for 'Terminar' and 'Borrar'.

Fuente: MODELO DE SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL DOCENTE UNIVERSITARIO. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

En algunos sucesos existen relaciones; para ello, se pregunta si existe o no correlación entre sucesos; finalmente, las preguntas son guardadas en una base de datos; el sistema se basa en cinco aspectos principales, *información personal del docente, experiencia profesional, formación académica, dominio de segunda lengua y producción académica*. El esquema de la base de datos relacional que cumple con el planteamiento de los requisitos es posible notar en la Figura 7.

Figura 7. Esquema Base de datos relacional.



Fuente: MODELO DE SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL DOCENTE UNIVERSITARIO. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&lng=en&nrm=iso&tIng=es.

✓ *Interfaz de usuario final.* Este módulo permite al usuario apreciar el conocimiento interactivamente paso a paso, de igual manera como una conversación entre humanos, es por eso, que el sistema debe realizar las preguntas bien planteadas para obtener resultados lógicos, y efectivos. Se requiere diseñar la interfaz usando menús o gráficos. El usuario final selecciona las variables evidenciables relevantes que el software plantea, en la Figura 8 se observan dichas variables que los candidatos ingresan al programa.

Finalmente, el software realiza pruebas con el fin de visualizar resultados ya sean buenos o malos con respecto al tipo de contratación que requiera la empresa, la Tabla 3 presenta los resultados obtenidos de una prueba de 4 candidatos, se concluye que el sistema arroja datos correctos según el tipo de contrato a aspirar.

Figura 8. Modulo interfaz UF

The screenshot displays the 'ExpertoRH_ITM' web interface with a navigation menu (Admin, Acerca de, Información, Motor de inferencia, Salir) and several data entry sections:

- Experiencia Docente:** Includes a checkbox for 'Experiencia mayor a 2 años' (checked) and a 'Guardar' button.
- Formación académica:** Features a dropdown for 'Estudios' (set to 'Pregrado'), a 'Titulo' input field, and a table with columns 'Tipo' and 'Titulo' containing 'No results'. An 'Agregar' button is present.
- Dominio segunda lengua:** Includes a dropdown for 'Idiomas' (set to 'Inglés'), checkboxes for 'Lee', 'Habla', and 'Escribe', and a table with columns 'Idioma', 'Habla', 'Lee', and 'Escribe' containing 'No results'. An 'Agregar' button is present.
- PRODUCCIÓN ACADEMICA:** A section header for the following categories.
- Articulos:** Includes input fields for 'Titulo', 'Revista', 'Volumen', 'Paginas', 'Isbn', and a date selector for 'Fecha'. A table with columns 'Titulo', 'Revista', 'Volumen', 'Paginas', 'ISBN', and 'Fecha' contains 'No results'. An 'Agregar' button is present.
- Libros:** Includes input fields for 'Titulo', 'Editorial', 'Isbn', and a date selector for 'Fecha'. A table with columns 'Titulo', 'Editorial', 'ISBN', and 'Fecha' contains 'No results'. An 'Agregar' button is present.
- Software:** Includes input fields for 'Nombre', 'Libro tomo partida', and a date selector for 'Fecha'. A table with columns 'Nombre', 'Libro tomo partida', and 'Fecha' contains 'No results'. An 'Agregar' button is present.
- Modelos de utilidad:** Includes input fields for 'Nombre', 'Registro', and a date selector for 'Fecha'. A table with columns 'Nombre', 'Registro', and 'Fecha' contains 'No results'. An 'Agregar' button is present.

Fuente: MODELO DE SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL DOCENTE UNIVERSITARIO. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&Ing=en&nrm=iso&tIng=es.

Tabla 3. Resultados obtenidos de prueba del sistema experto

Variables de entrada (evidencias o antecedentes)		Usuarios finales			
		UF1	UF2	UF3	UF4
Experiencia docente			X	X	X
Formación pregrado		X	X	X	X
Formación posgrado	Esp.	X		X	
	MSc.		X	X	X
	PhD.				X
Dominio segunda lengua	Habla	X		X	X
	Lee			X	X
	Escribe			X	X
Producción académica	Artículos	X			X
	Libros				
	Software				X
Modelo de utilidad					
Variables de salida (objetivos o consecuentes) activadas por el motor de inferencia		UF1	UF2	UF3	UF4
No aplica		X			
Docente catedrático			X	X	X
Docente ocasional				X	X
Docente de carrera					X
Puntaje final		0	1,5	3,5	4,50

Fuente: MODELO DE SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL DOCENTE UNIVERSITARIO. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

❖ **CUSTOMPART.NET.** Maryland, Selector de procesos. [En línea] (Recuperado en 14 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

Custompart.net es un recurso virtual gratuito para ingenieros, inventores y fabricantes que permite facilitar la toma de decisiones que surgen durante el proceso de diseño y abastecimiento de productos, siendo una herramienta interactiva que proporciona facilidad, confiabilidad a la hora de identificar un proceso y material compatible, estimar costos de fabricación y localizar proveedores adecuados al tipo de trabajo a realizar. Cuenta con conocimientos sobre los diferentes procesos de manufactura, materiales más utilizados en el mercado, ciclos de fabricación...

Este recurso en línea se asocia al funcionamiento tentativo del software a desarrollar, pues delimita o se ingresan ciertos criterios de producción y finalmente, arroja los procesos de manufacturas óptimos teniendo en cuenta dichos factores ingresados al sitio web. La página Custompart.net, posee los siguientes módulos: *Inicio*, *Estimadores*, *Repuestos*, *Widgets*, *Procesos*, *Materiales* y *Proveedores*; A continuación, se explicarán los módulos de operación más importantes:

- **Inicio.** Es el módulo principal del sitio en línea donde se visualizan una introducción y resumen del sitio web, los módulos, enlaces rápidos, estimaciones recientes acerca de los procesos de manufactura de mayor influencia en la industria y permite dirigir al usuario a cada proceso de manufactura, materiales, recursos. Seguido a ello se observa en la Figura 9, un pantallazo tomado directamente del aplicativo web.

Figura 9. Módulo de inicio custompart.net.



Fuente: CUSTOMPART.NET. [sitio web]. Maryland, Selector de procesos. [Recuperado en 14 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

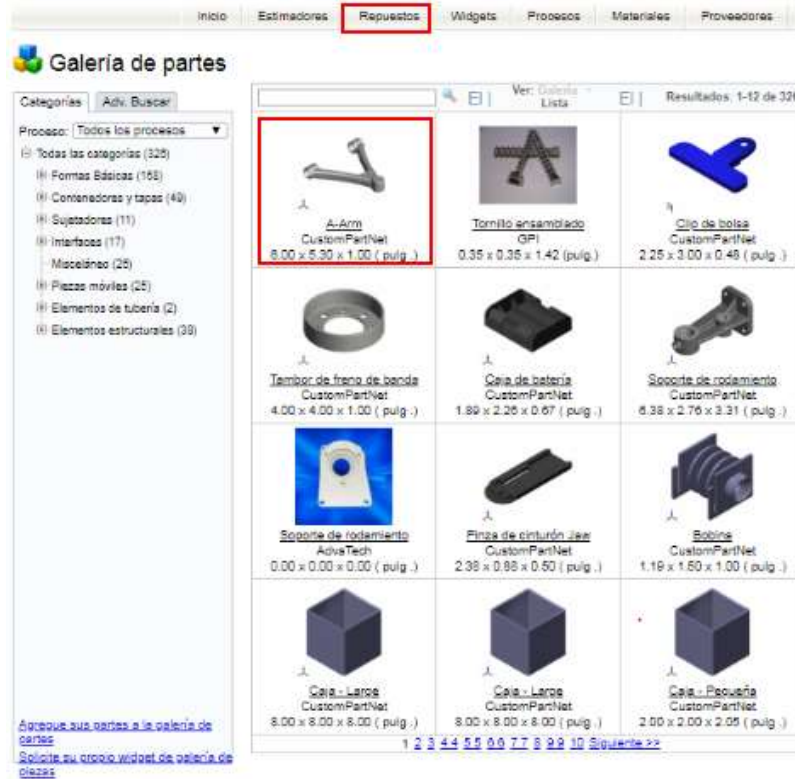
- **Estimadores.** Teniendo en cuenta el proceso de manufactura a realizar, el módulo presenta una manera de estimar los costos que se generan en la producción. En la Figura 10 es posible comprender el funcionamiento de este, una vez seleccionado el tipo de proceso, el sistema le presenta la posibilidad de generar costos para una pieza nueva o para una pieza que se encuentre en la base de datos del software.

Figura 10. Módulo estimador de costos.

Fuente: CUSTOMPART.NET. [sitio web]. Maryland, Selector de procesos. [Recuperado en 14 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

- **Repuestos.** El módulo de repuestos permite observar la galería de partes encontradas en la industria manufacturera, permitiendo ahorrar tiempo en el proceso de búsqueda y selección, ya que existen piezas básicas y comerciales encontradas en el mercado. Una vez localizada una pieza, es posible encontrar la información general, información del patrocinador, costos de la pieza seleccionada.

Figura 11. Galería de partes.



Fuente: CUSTOMPART.NET. [sitio web]. Maryland, Selector de procesos. [Recuperado en 14 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

- Materiales.** El selector de material proporciona acceso a una base de datos de materiales de metales (ferrosos y no ferrosos), polímeros (termoplásticos, termoestables y elastómeros), materiales compuestos y cerámicas. La base de datos se puede filtrar por tipo de material y mostrar propiedades del mismo como densidad, dureza, resistencia a la tracción y límite elástico. Se pueden ingresar los límites superior e inferior para cualquier propiedad de material para filtrar los resultados y las entradas del glosario están disponibles para obtener información adicional. Por último, se pueden ver comparaciones en paralelo de las hojas de datos de materiales seleccionando materiales y haciendo clic en "Comparar". En la Figura 12, se observa una porción de la lista de materiales con alguna de las propiedades establecidas.

Figura 12. Módulo de materiales.

Tipo: Todos los materiales	Densidad	Fuerza de rendimiento compr	Constante dieléctrica
Comparar	lb / in ³	psi	
<input type="checkbox"/> ABS / aleación de poliuretano	0,0397		
<input type="checkbox"/> Aleación ABS / PVC	0,0423	3050	3,3
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, 10% reforzado con fibra de vidrio	0,0538	9570	3,8
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, 20% reforzado con fibra de vidrio	0,0553	10800	4,4
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, 30% reforzado con fibra de vidrio	0,0582	10700	4,4
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, impacto modificado	0,0495		4,1
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, relleno de PTFE	0,0531	5710	3,7
<input type="checkbox"/> Copolímero de acetato, sin refuerzo	0,0508	12900	3,7
<input type="checkbox"/> Homopolímero de acetato, sin refuerzo	0,0509	16000	3,7
<input type="checkbox"/> Homopolímero de acetato, sin refuerzo, grado de impacto	0,0513		
<input type="checkbox"/> Acrílico, resistente a la radiación gamma, moldeado	0,0419		3,2
<input type="checkbox"/> Acrílico, uso general, moldeado	0,0428	16000	3,2
<input type="checkbox"/> Acrílico, resistente al calor, moldeado	0,043		3,6
<input type="checkbox"/> Acrílico, alto flujo, moldeado	0,0428	13800	2,8
<input type="checkbox"/> Acrílico, modificado por impacto, moldeado	0,0415	9820	3,1
<input type="checkbox"/> Acrílico, grado óptico, moldeado	0,0419	11300	3,6
<input type="checkbox"/> Aleación de acrílico / policarbonato	0,0428		
<input type="checkbox"/> Acrílico, Estabilizado a UV, Moldeado	0,043		3,2
<input type="checkbox"/> Acilonitrilo butadieno estireno (ABS), 10% de fibra de carbono llena	0,0405	14300	

Fuente: CUSTOMPART.NET. [sitio web]. Maryland, Selector de procesos. [Recuperado en 14 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

- Procesos.** El selector identifica los procesos de fabricación compatibles con los requisitos de diseño de la pieza; la selección del proceso depende de varios factores, incluida la geometría y el material de la pieza, así como la cantidad de producción deseada y el tiempo de entrega.

En la Figura 13, se muestra la tabla de ingreso de parámetros, una vez registrado los parámetros de entrada, el software indica si un proceso es recomendado, factible o incompatible con cada uno de sus requisitos ingresados. Compara las selecciones mostradas por el software, de tal forma que permite ver en paralelo de las capacidades del proceso, así como las ventajas / desventajas y aplicaciones para cada proceso.

Figura 13. Módulo de procesos.

Selector de proceso

Producción | Creación rápida de prototipos

El selector de proceso de producción identificará los procesos de fabricación que sean compatibles con los requisitos de diseño de su pieza. La selección del proceso depende de varios factores, incluida la geometría y el material de la pieza, así como la cantidad de producción deseada y el tiempo de entrega. La siguiente tabla interactiva indicará si un proceso es recomendado, factible o incompatible con cada uno de sus requisitos. Seleccione varios procesos y haga clic en "Comparar" para ver una comparación en paralelo de las capacidades del proceso, así como las ventajas / desventajas y aplicaciones para cada proceso. ▲

Forma: Sólido: cilíndrico ▼ Acabado superficial - Ra (µin): 1-2 ▼ Cantidad: 1-100 ▼

Material: Acero carbono ▼ Tolerancia (en): ± 0,002 ▼ Tiempo de espera: Horas ▼

Espesor máximo de pared (en): 4

Legenda: ■ Recomendado ■ Factible ■ Incompatible

Fuente: CUSTOMPART.NET. [sitio web]. Maryland, Selector de procesos. [Recuperado en 14 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

❖ **GROOVER, Mikell.** Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 481-536, 938-952. ISBN. 978-970-106-240-1.

GROOVER es un libro muy complejo, que brinda una visión muy amplia e incluyente sobre los procesos de manufactura. Incluyendo los principales procesos de remoción de material tales como, el torneado, fresado y taladrado. El libro, enfoca la ingeniería de manera cuantitativa, permitiendo visualizar la variedad de aplicaciones de las ecuaciones que abarcan dichos procesos industriales.

Una porción importante del libro discute sobre los sistemas que apoyan la manufactura, con el fin de solucionar conflictos en la parte técnica o logística, tales como en los procesos de planeación, los pedidos de material, el control de la producción y el aseguramiento de que los productos de la compañía satisfagan las especificaciones de calidad requeridos. Además, introduce la planeación de los procesos de manera tradicional o de forma asistida por computadora (*CAPP*); este último, es el que se basa para la realización de este proyecto, donde el diseño de un sistema *CAPP* permite solucionar problemas que generalmente son solucionados por personas experimentadas en el campo de aplicación.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 MATERIALES

La industria metalmecánica se dedica al aprovechamiento de los materiales para la fabricación de piezas y/o partes para maquinarias y equipos, cada material presenta sus características que son influidas debido a aleaciones, tratamientos térmicos y dureza que presentan; estas características son importantes a la hora de la selección de la herramienta de mecanizado, y sus parámetros de corte.

3.1.1 Aceros de baja aleación (ISO P). Los aceros de baja aleación presentan propiedades mecánicas superiores como resistencia, dureza, resistencia al desgaste, tenacidad, entre otras propiedades que mediante un tratamiento térmico son mejoradas. Los principales elementos de aleación que se agregan al acero son cromo (Cr), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y vanadio(V), la maquinabilidad de esta familia de acero depende de su contenido aleado y su respectivo tratamiento térmico. Se presenta la designación AISI/SAE para los aceros.

Figura 14. Designaciones AISI/SAE para los aceros.

Código	Nombre del acero	Análisis químico nominal, %							
		Cr	Mn	Mo	Ni	V	P	S	Si
10XX	Al carbono		0.4				0.04	0.05	
11XX	Resulfurado		0.9				0.01	0.12	0.01
12XX	Resulfurado, refosforado		0.9				0.10	0.22	0.01
13XX	Manganeso		1.7				0.04	0.04	0.3
20XX	Aceros al níquel		0.5		0.6		0.04	0.04	0.2
31XX	Níquel cromo	0.6			1.2		0.04	0.04	0.3
40XX	Molibdeno		0.8	0.25			0.04	0.04	0.2
41XX	Cromo molibdeno	1.0	0.8	0.2			0.04	0.04	0.3
43XX	Ni-Cr-Mo	0.8	0.7	0.25	1.8		0.04	0.04	0.2
46XX	Níquel molibdeno		0.6	0.25	1.8		0.04	0.04	0.3
47XX	Ni-Cr-Mo	0.4	0.6	0.2	1.0		0.04	0.04	0.3
48XX	Níquel molibdeno		0.6	0.25	3.5		0.04	0.04	0.3
50XX	Cromo	0.5	0.4				0.04	0.04	0.3
52XX	Cromo	1.4	0.4				0.02	0.02	0.3
61XX	Cr-vanadio	0.8	0.8			0.1	0.04	0.04	0.3
81XX	Ni-Cr-Mo	0.4	0.8	0.1	0.3		0.04	0.04	0.3
86XX	Ni-Cr-Mo	0.5	0.8	0.2	0.5		0.04	0.04	0.3
88XX	Ni-Cr-Mo	0.5	0.8	0.35	0.5		0.04	0.04	0.3
92XX	Silicio-manganeso		0.8				0.04	0.04	2.0
93XX	Ni-Cr-Mo	1.2	0.6	0.1	3.2		0.02	0.02	0.3
98XX	Ni-Cr-Mo	0.8	0.8	0.25	1.0		0.04	0.04	0.3

Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 105-106.

Los aceros de baja aleación son materiales habitualmente usado en la industria del mecanizado, de tal manera su uso es muy frecuente en ejes y husillos, como también en gran parte la aplicación en la industria automotriz, en la fabricación de piezas tales como bielas, levas, piñones de dirección, y cubos de ruedas. En la Figura 15, se observa un perfil de acero de baja aleación 8620, como materia prima para luego ser transformada en una pieza por medio de los diferentes procesos metalmeccánicos.

Figura 15. Acero de baja aleación 8620.



Fuente: ENGRATEH. Aceros de baja aleación. [En línea] (Recuperado en 18 enero 2020)
Disponible en: <http://www.engranedemexico.com/producto/acero-baja-aleacion-8620/>

3.1.2 Aceros inoxidables (ISO M). Son materiales altamente aleados que permiten tener una mayor resistencia a la corrosión, el cromo (Cr) y el níquel (Ni) son los principales elementos que contribuyen a proteger de la corrosión. Se dividen en tres grupos que dependen de la fase predominante de la aleación, los cuales son:

❖ **Inoxidables austeníticos.** Su composición más común es 18% Cr y 8% Ni, este grupo permite una mayor resistencia a la corrosión, adecuada soldabilidad y buenas propiedades a altas temperaturas. Son materiales habitualmente usados en

piezas para la industria química y piezas que requieran alta resistencia a la corrosión.

❖ **Inoxidables ferríticos.** Poseen entre 12-18% de contenido de Cr, bajo contenido de carbono y sin porcentaje de níquel. Son menos resistentes en comparación a los austeníticos y poseen propiedades magnéticas. Por lo general son usados en ejes para las diferentes bombas y turbinas de la industria, así como para la industria alimenticia.

❖ **Inoxidables martensíticos.** Poseen mayor porcentaje de carbono, hasta un 18% Cr y nada de Ni, por lo que son materiales más duros y resistentes a la fatiga, pero posee menos resistencia a la corrosión que los austeníticos y ferríticos. Habitualmente son usados para piezas y/o instrumentos de corte, tales como instrumentos quirúrgicos.

En la siguiente Figura 16 se muestran los componentes y propiedades mecánicas de los grupos de los aceros inoxidables, la Figura 17 muestra los diferentes perfiles de aceros inoxidables para la fabricación de piezas.

Figura 16. Componentes y propiedades mecánicas de aceros inoxidables.

Tipo	Análisis químico, %						Resistencia a la tensión		
	Fe	Cr	Ni	C	Mn	Otro ^a	MPa	lb/in ²	Elongación, %
Austenítico									
301	73	17	7	0.15	2		620	90 000	40
302	71	18	8	0.15	2		515	75 000	40
304	69	19	9	0.08	2		515	75 000	40
309	61	23	13	0.20	2		515	75 000	40
316	65	17	12	0.08	2	2.5 Mo	515	75 000	40
Ferrítico									
405	85	13	—	0.08	1		415	60 000	20
430	81	17	—	0.12	1		415	60 000	20
Martensítico									
403	86	12	—	0.15	1		485	70 000	20
403 ^b	86	12	—	0.15	1		825	120 000	12
416	85	13	—	0.15	1		485	70 000	20
416 ^b	85	13	—	0.15	1		965	140 000	10
440	81	17	—	0.65	1		725	105 000	20
440 ^b	81	17	—	0.65	1		1 790	260 000	5

Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 107-108.

Figura 17. Perfiles de aceros inoxidable.



Fuente: ACINOX. Acero inoxidable. [En línea] (Recuperado en 18 enero 2020) Disponible en: <https://www.acinox.com.co/>.

3.1.3 Aleaciones de aluminio (ISO N). Las aleaciones de aluminio son materiales ligeros, poseen altas conductividades térmicas y eléctricas, muy dúctiles, además de poseer resistencia a la corrosión debido a una película superficial de óxido. Los aluminios poseen baja dureza, lo que permite una facilidad a la hora de mecanizar, ya que las fuerzas de corte y potencia de mecanizado son bajas, también posee velocidades de corte altas. Frecuentemente son aplicados en piezas que requieren poco peso, en la Figura 18 se presentan diferentes tipos de perfiles de aluminio que dependen de su aplicación, forma y tamaño, algunos ejemplos de aplicaciones son:

- ❖ Contenedores.
- ❖ Piezas para construcción.
- ❖ Poleas.
- ❖ Piezas automotrices.

Figura 18. Perfiles de aluminio.



Fuente: ALUCOL S.A. Perfiles varios. [En línea] (Recuperado 18 enero 2020) Disponible en: <http://www.alucol.com.co/producto-categoria/12/Perfiles-varios>

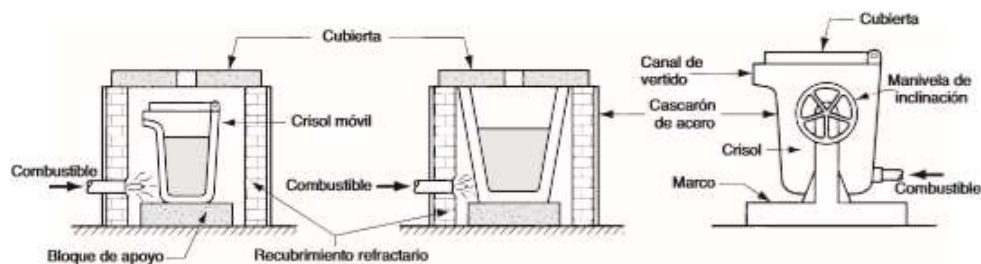
3.1.4 Fundiciones (ISO K). En la industria metalmecánica, un grupo de piezas se realizan utilizando la fundición para obtener el elemento; sin embargo, no es posible en su totalidad, debido a que muchas de estas requieren procesos de mecanizado con el fin de conseguir acabados, agujeros entre otros procesos deseados.

Los materiales de fundición son aleaciones de hierro, carbono y silicio, estos materiales son frágiles y poseen una alta dureza, resistentes a la corrosión, al desgaste y son más fáciles de maquinar en comparación con los aceros; La Figura 19 presenta los tipos de crisoles, los cuales son hornos que funden el metal sin que tenga contacto directo con una mezcla combustible. A continuación, se presentan dos tipos de fundición:

❖ **Fundición gris.** El carbono se presenta en forma de grafito laminar, poseen baja ductilidad, habitualmente se aplican en piezas que se encuentran a la intemperie, ya que posee resistencia a la corrosión.

❖ **Fundición nodular.** Este tipo de material son de mayor elasticidad y resistencia mecánica en comparación con la fundición gris, entre las cuales se destaca, resistencia al impacto y a la tenacidad, se encuentran en piezas que donde la resistencia y la ductilidad son factores importantes.

Figura 19. Tipos de crisoles.



Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 235-236.

Las fundiciones se encuentran en diferentes piezas y/o elementos mecánicos y para la industria tales como:

- ❖ Poleas.
- ❖ Cigüeñales.
- ❖ Colectores de escape.
- ❖ Carcasas de diferencial.
- ❖ Discos de embrague.

3.2 PROCESOS DE REMOCIÓN DE MATERIAL

3.2.1 Fundamentos de maquinado. Muchas piezas fabricadas mediante fundición, moldeado o formado de metales sufren procesos extras para que puedan cumplir su funcionalidad en el mercado, pues los procesos anteriores no cuentan con la capacidad de producir una serie de operaciones adicionales, se mencionan algunas características ventajosas de dichas operaciones:

- ❖ Generar superficies lisas muy precisas.
- ❖ Construcción de orificios de pequeñas dimensiones.
- ❖ Fabricación de roscas, en superficies exteriores o interiores.
- ❖ Mecanizado de superficies acabadas o texturas personalizadas.

Sin embargo, hay ciertas desventajas ligadas a los procesos de remoción de material:

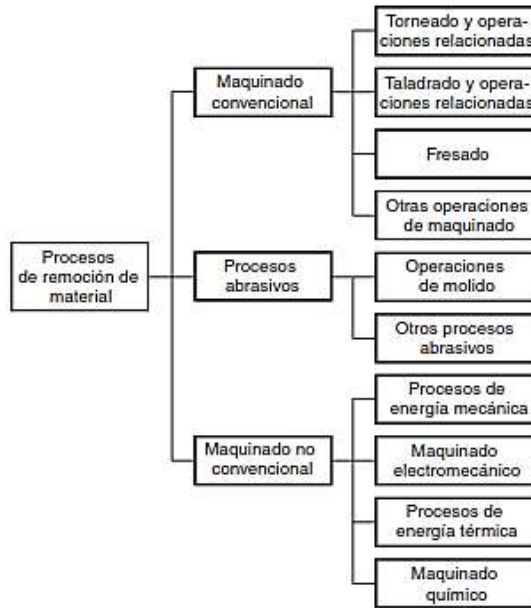
- ❖ **Consumo de tiempo.** Generalmente estos procesos de remoción de material requieren más tiempo a la hora de fabricación, debido a los acabados finales y las operaciones especiales de la pieza.

- ❖ **Desperdicio de material.** El material desprendido de la pieza (viruta) suele ser reciclado o clasificado como chatarra en los centros de mecanizado o talleres metalmecánicos.

Los procesos de remoción de material se basan en retirar cierta cantidad de material de una pieza parcial, con el fin de obtener una pieza final; en la Figura 20 se aprecia

una clasificación de los procesos de remoción de material; el proceso más común es el *maquinado convencional*.

Figura 20. Clasificación de los procesos de remoción de material



Fuente: Clasificación de los procesos de remoción de material. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 482. ISBN. 978-970-106-240-1.

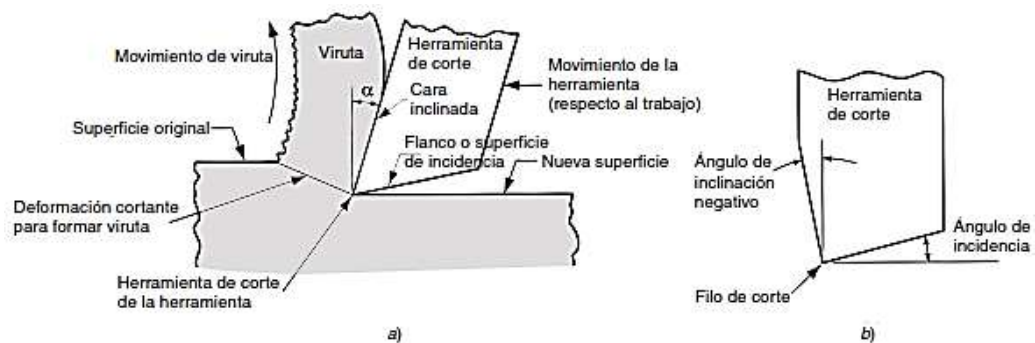
El *maquinado convencional* abarca una serie de procesos, que consiste en modificar las superficies de una pieza generalmente metálica, mediante una *herramienta de corte* logrando acabados y texturas deseadas. El maquinado recurre a la deformación plástica y compresión debido a las fuerzas cortantes del material formando la viruta, una vez expulsada dicha viruta, se genera una superficie nueva con diferente acabado. Lo explicado anteriormente, es plasmado en la Figura 21. Para generar una nueva superficie, es necesario ciertos movimientos relativos; el primer movimiento es la *velocidad de corte* (V_c); es decir, la velocidad que percibe la herramienta de corte cuando la pieza de trabajo se encuentra en rotación y el segundo movimiento es el *avance* (f), dicho movimiento está dado por parte de la herramienta de corte, además, la profundidad de penetración de la herramienta en la pieza de trabajo permite producir la superficie buscada.

Los factores influyentes en el proceso de maquinado son:

- ❖ El material de la pieza de trabajo.
- ❖ La herramienta de corte, específicamente la geometría y propiedades de esta.
- ❖ Tipo de interacción herramienta-pieza de trabajo.

Los principales procesos del maquinado son: torneado, taladrado y fresado; existen otras operaciones secundarias como el escariado o el perfilado. Estos procesos son realizados en las *Máquinas herramientas* (torno, taladro y fresadora).

Figura 21. Proceso de maquinado



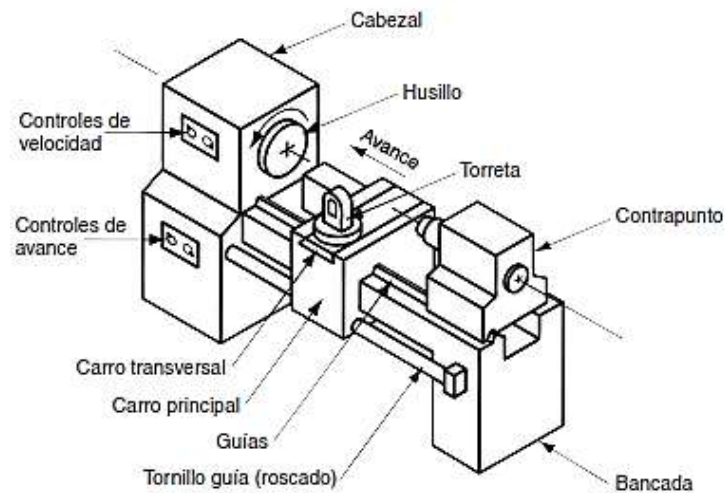
Fuente: a) Sección transversal de proceso de maquinado. b) Herramienta con ángulo de inclinación negativo. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 482. ISBN. 978-970-106-240-1.

3.2.2 Máquinas herramientas en el mecanizado. La industria metalmecánica ha evolucionado en los niveles productivos, muchos productos generados con procesos de remoción de material son aplicados en el área de la manufactura industrial para producciones elevadas, es necesario máquinas especializadas y automatizadas, Sin embargo, el maquinado convencional sigue en pie; en el área metropolitana de Bucaramanga muchas medianas empresas fabrican sus productos con máquinas herramientas convencionales, dichas máquinas herramientas, tienden a ser poco especializadas, entre ellas están el torno, la fresadora y las taladradoras.

Máquina herramienta se entiende como equipo impulsada por un elemento motriz capaz de sostener la pieza de trabajo, posicionar la herramienta de corte y generar la potencia adecuada para realizar múltiples procesos para conformar el metal por medio de impacto, presión y corte; existen algunas consideraciones a tener en cuenta para seleccionar la máquina herramienta adecuada, sujeción del componente o pieza de trabajo, potencia, par, estabilidad, suministro de refrigerante.

❖ **Torno.** Máquina herramienta donde la pieza de trabajo rota mientras es mecanizada por una herramienta de corte, dicha herramienta penetra la pieza siguiendo movimiento rectilíneo cierta longitud deseada. El movimiento rectilíneo generalmente es paralelo al eje de rotación de la pieza de trabajo; algunas superficies que se pueden obtener con el torno son, perfiladas, cónicas, cilíndricas, roscadas, estéticas. En la Figura 22 se aprecia el diagrama de un torno convencional con sus partes.

Figura 22. Torno convencional

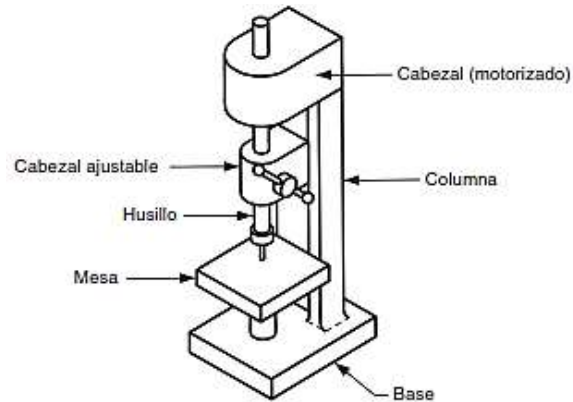


Fuente: Clasificación de los procesos de remoción de material. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 512. ISBN. 978-970-106-240-1.

Las partes principales de un torno convencional o paralelo son:

- **Cabezal fijo.** Parte muy importante del torno, posee la unidad motriz que permite dar movimiento giratorio al husillo. El *husillo* se encuentra ubicado en el cabezal fijo, este recibe el movimiento del motor con el fin de acoplar la pieza de trabajo.
- **Cabezal móvil.** Se encuentra en la parte opuesta al cabezal fijo, tiene unas guías que lo permiten mover y fijar de acuerdo a las dimensiones de la pieza a mecanizar, además, cuenta con un elemento en la parte superior llamado *contrapunto*; en este elemento se instala un centro que permite sostener con precisión el lado opuesto de la pieza de trabajo
- **Carro principal.** Elemento que se desliza por las guías del torno, con el fin de brindarle el movimiento rectilíneo a la herramienta de corte, dicho movimiento es paralelo al eje de rotación de la pieza de trabajo. El carro principal está compuesto por el *carro transversal*, siendo el encargado de avanzar la herramienta de forma perpendicular al eje de rotación de la pieza. Finalmente, el carro transversal posee la *torreta*, la torreta se encarga de sostener la herramienta de corte.
- **Bancada.** Es el bastidor de la máquina herramienta, su armazón es rígido por las velocidades elevadas que se alcanzan permitiendo obtener estabilidad y amortiguar las vibraciones existentes a la hora de maquinar.
- ❖ **Taladradora.** Máquina herramienta encargada del proceso del taladrado, solo puede generar este proceso; hoy en día existen máquinas herramientas capaces de ejecutar la operación del taladrado. La herramienta de corte (broca) gira y avanza con movimiento rectilíneo paralelo al eje de rotación de esta. La Figura 23, se encarga en ilustrar una prensa taladradora convencional, con sus partes principales.

Figura 23. Prensa taladradora.



Fuente: Prensa taladradora vertical. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 512. ISBN. 978-970-106-240-1.

Los componentes principales de una prensa taladradora son:

- **Columna.** Es el soporte de la máquina herramienta, básicamente permite sostener los demás componentes (husillo, cabezal, cabezal ajustable).
- **Cabezal (motorizado).** Transmite el movimiento desde el motor al husillo, permitiendo variar las velocidades de giro mediante un juego de engranajes o en algunos casos poleas escalonadas.
- **Husillo.** Recibe el movimiento rotativo desde el cabezal motorizado, en él se instala la herramienta de corte (broca)
- **Cabezal ajustable.** Parte que permite al husillo desplazarse según lo requiera el operador, generando el movimiento de avance de la herramienta de corte. Se compone de una cremallera y una rueda engranada.
- **Mesa.** Su función principal es sostener la pieza de trabajo mediante unas ranuras de fijación.

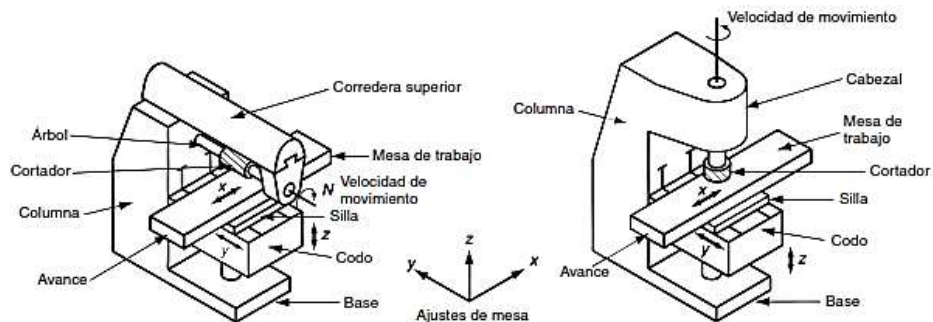
❖ **Fresadora.** Máquina herramienta de movimiento continuo muy utilizada en el campo metalmeccánico, destinada al maquinado de operaciones no rotativas específicamente para el fresado, mediante la herramienta de corte *fresa*, permitiendo crear superficies cóncavas, planas, convexas y muchas más.

Las fresadoras cuentan con un husillo que permite el giro de la fresa, una mesa que soporta, posiciona y hace avanzar la pieza de trabajo. En la industria existen máquinas automatizadas, que realizan la mayoría de los procesos explicados anteriormente (CNC). En los talleres metalmeccánicos debido a su proceso productivo, poseen máquinas más versátiles y convencionales, en el caso de las fresadoras; existen dos tipos:

- **Verticales.** Donde el husillo de trabajo se encuentra orientado perpendicularmente hacia la mesa de trabajo que sostiene la pieza.
- **Horizontales.** El husillo de trabajo se encuentra orientado de forma paralela a la superficie de la mesa, siendo una máquina muy versátil.

En la Figura 24, es posible notar las diferencias entre ambas máquinas herramientas y sus diferentes componentes principales.

Figura 24. Fresadora horizontal y fresadora vertical



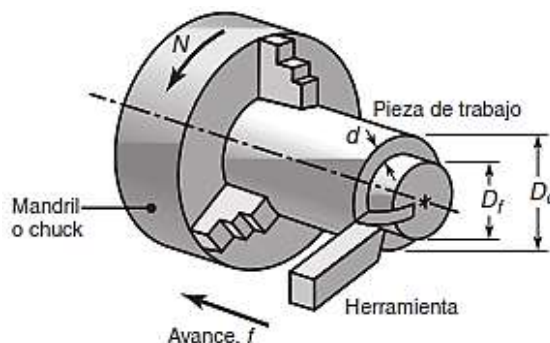
Fuente: Dos tipos básicos de fresadora de codo y columna. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 527. ISBN. 978-970-106-240-1.

Los componentes principales de las fresadoras son:

- **Columna.** Este componente tiene la función de soportar el husillo para fresar.
- **Codo.** Llamado así por su parecido al codo humano, sostiene la mesa de trabajo.
- **Árbol.** En las fresadoras horizontales, el árbol permite sostener el cortador o la fresa; recibiendo el giro desde el husillo y así transmitiendo el movimiento hacia la herramienta de corte.

3.2.3 Operaciones de torneado. El torno es la máquina herramienta responsable de generar las operaciones de torneado, donde una herramienta de corte remueve material de la superficie de una pieza cilíndrica en rotación, mientras esta se desplaza con un movimiento rectilíneo paralelo al eje de rotación. La herramienta de corte permanece estática, mientras la pieza de trabajo gira. El proceso de torneado se observa en la Figura 25.

Figura 25. Esquema del proceso de torneado.



Fuente: Esquema de la operación básica de torneado. KALPAKJIAN, S; SCHMID, S. Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Prentice hall, 2008. p 607-611.

A continuación, se hablarán de las principales operaciones de torneado.

❖ **Tronzado.** Operación de corte de metales en el torno, donde la herramienta de corte avanza perpendicularmente al eje de rotación de la pieza de trabajo, buscando partir, separar o seccionar la pieza del extremo de una parte. A la hora de seleccionar la herramienta de tronzado, se busca que dicha herramienta sea lo más estrecha posible; para evitar el derroche de material maquinado.

Según SANDVIK² el éxito de un buen tronzado sin rebabas, ni tetones; se debe a las siguientes consideraciones:

- **Tipo de tronzado.** El tipo de tronzado depende del diámetro de la barra que se desea tronzar, puede ser tronzado superficial, medio y profundo.

- ✓ **Tronzado superficial.** Para diámetros <12 mm, son tronzados poco profundos. Recomienda utilizar plaquitas de 3 filos.

- ✓ **Tronzado medio.** Para diámetros <40 mm, recomienda plaquitas de 2 filos y una sujeción por tornillo.

- ✓ **Tronzado profundo.** Para diámetros <112 mm, debido a las altas fuerzas presentes, SANDVIK recomienda plaquitas de 1 filo y sujeción de efecto elástico.

- **Radio de punta.** Con el fin de evitar rebabas y tetones, se recomienda utilizar un radio de punta pequeño.

² SANDVIK COROMANT. Herramientas y soluciones para el mecanizado. [En línea] (Recuperado en 15 enero 2020) Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/parting-grooving/pages/parting-off.aspx>

- **Voladizo.** Recomienda seleccionar el menor voladizo posible; para evitar la flexión de la herramienta de corte, debido a las fuerzas presentes en la operación. Lo anterior, aumenta la estabilidad en el tronzado. En la Figura 26 se observa el voladizo (OH).

Figura 26. Voladizo (OH).



Fuente: Tronzado de tubos y barras. SANDVIK COROMANT. Herramientas y soluciones para el mecanizado. [En línea] (Recuperado en 15 enero 2020) Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/parting-grooving/pages/parting-off.aspx>

- **Ancho de plaquita.** Lo ideal es un ancho pequeño de la plaquita, para reducir los desperdicios de material.
- **Altura central de la herramienta.** Recomendable tener la herramienta centrada ± 0.1 , especialmente al tronzar hacia el centro.
- ❖ **Refrentado.** Operación de maquinado, donde la herramienta de corte o plaquita avanza axialmente hacia el centro, mecanizando una superficie plana perpendicular al eje de giro de la pieza de trabajo.

SANDVIK recomienda las siguientes consideraciones para un buen refrentado:

- **Forma de la plaquita.** Seleccionar la plaquita con el ángulo de punta más grande posible, con el fin de obtener buena estabilidad en el torneado.
- **Portaherramientas.** Seleccionar un portaherramientas con plaquitas cuadradas y un ángulo de inclinación de 75° como recomendación con el fin de optimizar la operación.

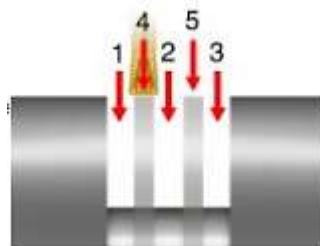
❖ **Cilindrado.** Es la operación clásica del torneado, también se le llama torneado longitudinal. Consiste en mecanizar un cilindro de diámetro inicial y reducir su diámetro a uno final, en el cilindrado el avance de la herramienta es paralelo al eje de rotación de la pieza de trabajo. Para el cilindrado de interiores, aplica el mismo concepto. El esquema de la operación de cilindrado se puede visualizar en la Figura 25.

❖ **Ranurado.** Es una operación muy similar al tronzado, no busca separar o partir la pieza, sino crear ranuras ya sea exterior o interiormente. Existen ciertas recomendaciones a la hora de ranurar una pieza:

- **Ranurado con un solo corte.** Es mucho más económico realizar un solo corte, en casos de ranuras poco profundas

- **Ranurado múltiple.** Para el caso donde la profundidad de la ranura es mayor al ancho de la misma; se recomienda el ranurado múltiple. El ranurado múltiple se visualiza en la Figura 27.

Figura 27. Ranurado múltiple



Fuente: Ranurado exterior. SANDVIK COROMANT. Herramientas y soluciones para el mecanizado. [En línea] (Recuperado en 15 enero 2020) Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/parting-grooving/pages/external-grooving.aspx>

❖ **Roscado.** Es una operación exigente del torneado, donde una herramienta de corte avanza con un movimiento rectilíneo sobre una superficie

cilíndrica generando otra superficie resaltada en forma de hélice. El paso de la rosca se controla variando la relación del tornillo patrón y la velocidad del husillo principal. El roscado exterior es más sencillo que el roscado interior, sus consideraciones para mecanizar son:

- **Buena alineación de la altura central y la herramienta de corte.**
- **Voladizos cortos.** Evita las vibraciones presentes en el roscado, obteniendo una rosca con buenos acabados.
- **Paso de rosca.** La velocidad de corte debe ser igual al paso de la rosca mecanizada.

- **Numero de pasadas y profundidad.**

El roscado interior es más complejo, pues se necesita evacuar la viruta sin problemas; además las herramientas son más complejas y delgadas, algunas consideraciones a tener en cuenta en el proceso de roscado interior son:

- **Voladizos cortos.** Igual que el roscado exterior, es necesario evitar vibraciones e inestabilidades; para ello, se recomienda seleccionar voladizos cortos.
- **Evacuación de la viruta.**
- **Numero de pasadas y profundidad.**
- **Buena alineación de la altura central y la herramienta de corte.**

❖ **Ranurado frontal.** Operación de mecanizado que hace parte del ranurado convencional; donde la herramienta de corte o plaquita avanza de manera axial o paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo.

Los procesos explicados anteriormente, son los más utilizados en la fabricación de piezas; existen otros procesos como el perfilado, chaflanado, moleteado, mandrinado, torneado cónico, entre otros. Donde el desarrollo del proceso se debe al mismo concepto del torneado.

Tabla 4. Procesos comunes de torneado.

PROCESOS COMUNES DE TORNEADO.					
Tronzado	Refrentado	Cilindrado	Ranurado	Roscado	Ranurado frontal
					

3.2.4 Operaciones de taladrado. El proceso de taladrado se puede realizar en una prensa taladradora o en un torno convencional; donde la herramienta de trabajo (broca), avanza a lo largo de su eje mientras rota. La operación de taladrado es aparentemente sencilla; pero resulta compleja, pues al sobrepasar la vida útil de la herramienta puede traer fallas durante la operación y sus acabados. El taladrado se da cuando la pieza de trabajo se encuentra estática y la herramienta avanza.

Las operaciones de taladrado más comunes son:

❖ **Centrado.** También llamado taladrado central, consiste en general una superficie cónica con una holgura en el fondo; esta operación se realiza con el fin de establecer precisamente el lugar donde se va a taladrar el siguiente agujero. La broca para centros es la encargada de maquinar la pieza de trabajo.

❖ **Escariado.** Operación del taladrado, que permite aumentar las dimensiones de los diámetros de los agujeros, con el fin de mejorar sus acabados y tolerancias. El escariador es el encargado de generar dicho proceso de maquinado.

- ❖ **Avellanado.** El avellanado busca producir un agujero cónico con el fin de apertar tornillos de cabeza plana, este proceso es similar al abocardado.
- ❖ **Abocardado.** Operación de taladrado donde se genera un agujero más grande sobre otro, el abocardado es similar al avellanado por el agujero no es cónico; con esta operación se busca asentar los pernos en el agujero, sin que sus cabezas sobresalgan de la superficie lisa.
- ❖ **Refrentado.** El refrentado de agujeros, es una operación de maquinado parecida al fresado, busca maquinar superficies planas sobre el agujero.
- ❖ **Roscado interior.** Es un machuelo, la herramienta de corte que interviene en esta operación de maquinado, es otra operación para generar roscas internas en agujeros.

En la Tabla 5, es posible observar cada uno de los procesos del taladrado tabulado con sus esquemas de operación.

Tabla 5. Procesos comunes del taladrado

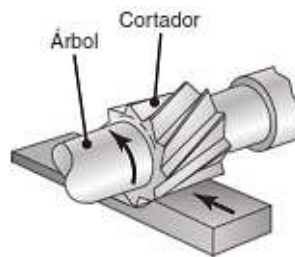
PROCESOS COMUNES DE TALADRADO					
Centrado	Escariado	Avellanado	Abocardado	Refrentado	Roscado interior
					

3.2.5 Operaciones de fresado. El fresado es un proceso de mecanizado, que se da pasando una herramienta de corte (fresa) frente a una pieza de trabajo. Es una operación de corte interrumpido; ya que los dientes cortan y se retiran de la pieza de trabajo, este proceso se repite cuantas veces sea necesario

Según GROOVER³, existen dos tipos de operaciones de fresado, *fresado frontal* y *fresado periférico*. Dependen de la disposición de la herramienta de corte a la hora de maquinar la pieza de trabajo.

❖ **Fresado periférico.** Llamado también fresado simple o plano, la disposición de la herramienta de corte (fresa) es paralela a la superficie de la pieza de trabajo, observar la Figura 28; donde los dientes se encuentran en el contorno del cortador; dichos dientes se construyen rectos o helicoidales; generalmente son helicoidales, por la forma de penetrar y atacar la pieza de trabajo de manera parcial.

Figura 28. Fresado periférico.



Fuente: Algunos tipos básicos de cortadores y operaciones de fresado. KALPAKJIAN, S; SCHMID, S. Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Prentice hall, 2008. p 725.

A continuación, se mencionan algunas operaciones de fresado periférico:

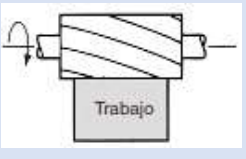
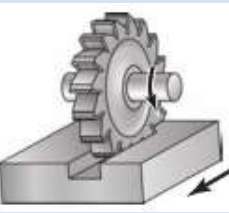
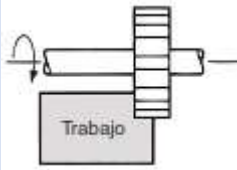
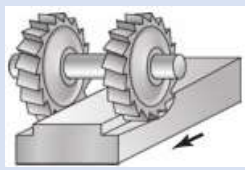
- **Fresado plano o de placa.** La herramienta de corte se encuentra paralela a la pieza de trabajo, es la operación más común del fresado periférico; es posible generar superficies planas. Además, una característica en este proceso se centra en el cortador, donde el ancho del cortador es más grande al de la pieza de trabajo, en la Tabla 6 se aprecia un fresado plano, con un cortador de dientes helicoidales.
- **Fresado de ranuras.** Como el nombre la operación indica, la herramienta de corte (fresa) genera sobre la superficie de la pieza de trabajo ranuras o cavidades

³ GROOVER, Op. Cit, p 939.

específicas, la ubicación de la herramienta sigue siendo paralela a la superficie a mecanizar. El ancho de la fresa es menor al ancho de la pieza de trabajo como se observa en la Tabla 6, una fresa con dientes rectos generando una ranura. La operación de ranurado es muy similar al *cortado o aserrado*, donde se busca separar dos secciones de la pieza de trabajo.

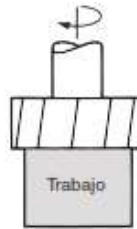
- **Fresado lateral.** El concepto de la operación es la misma, ahora la fresa mecaniza el lado de la pieza de trabajo.
- **Fresado paralelo simultaneo.** Es un proceso anexo al fresado lateral, pues la herramienta de trabajo remueve material en los laterales de la pieza de trabajo; el árbol soporta dos cortadores simultáneamente, observar la Tabla 6.

Tabla 6. Procesos de fresado periférico.

PROCESOS DE FRESADO PERIFERICO			
Fresado plano	Fresado de ranuras	Fresado lateral	Fresado paralelo simultaneo
			

❖ **Fresado frontal.** Operación del fresado muy versátil por la cantidad de superficies que se pueden generar; la diferencia con el fresado periférico es la posición de la fresa, el eje del cortador es perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. En la Figura 29 se observa una fresa helicoidal realizando un fresado frontal convencional.

Figura 29. Fresado frontal



Fuente: Fresado frontal. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 524. ISBN. 978-970-106-240-1.

Las operaciones del fresado frontal visualizadas en la Tabla 7, se mencionan a continuación:

- **Fresado parcial.** El fresado parcial se da cuando la herramienta de corte mecaniza un solo lado de la pieza de trabajo, es un proceso muy similar al fresado lateral periférico.
- **Fresado de perfiles.** El fresado de perfiles consta en hacerle recortes a la pieza de trabajo por el contorno de la misma, es decir, por su periferia; generando perfiles alrededor de esta.
- **Fresado de contorno.** Una herramienta de corte con punta de bola, es la encargada de generar una trayectoria curvilínea; donde la fresa avanza de atrás hacia adelante durante ciertas pasadas. Con esta operación, se fabrican superficies en relieve o tridimensionales.

Tabla 7. Procesos de fresado frontal

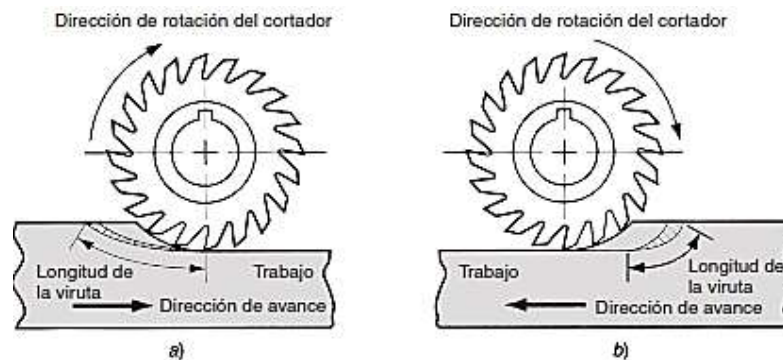
PROCESOS DE FRESADO FRONTAL		
Fresado plano	Fresado de ranuras	Fresado lateral
		

Anteriormente, se explicó las diferentes operaciones de fresado, se procede a explicar dos métodos de fresado, donde rigen las direcciones de rotación de la fresa y el avance de la pieza de trabajo:

- **Fresado convencional.** El fresado convencional es aquel donde los movimientos son opuestos; es decir, la dirección de rotación de la fresa es inversa a la dirección del avance de la pieza de trabajo. La viruta saliente de la pieza de trabajo pasa por un proceso creciente, inicia delgada y crece; además, la viruta es mucho más larga.
- **Fresado descendente.** Es un fresado donde las direcciones son iguales, los avances están a favor. La viruta es decreciente en el tamaño, y su longitud es inferior al fresado convencional

En la Figura 30. es posible notar las diferencias en ambas modalidades de fresado, siendo a) el fresado convencional y b) el fresado descendente.

Figura 30. Fresado convencional y fresado descendente



Fuente: Fresado de perfiles. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 524. ISBN. 978-970-106-240-1.

3.3 PARAMETROS DE CORTE

En los procesos de mecanizado influyen parámetros de corte que se deben tener en cuenta a la hora de realizar una operación, una correcta selección de estos permite obtener resultados satisfactorios, pues con estos parámetros los operarios, maquinas herramientas automatizadas realizan los procesos de maquinado.

Los parámetros de corte dependen de factores importantes tales como el material de la pieza de trabajo (aceros, fundiciones, aluminios, etc.), la herramienta de corte (fresas, plaquitas, brocas) y la máquina herramienta (torno, prensa taladradora, fresadora).

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los diferentes parámetros de corte en los procesos de mecanizado con sus respectivas definiciones y variables; además es posible observar las ecuaciones a tener en cuenta de cada parámetro de corte.

Tabla 8. Parámetros de corte.

Parámetros	Concepto	Formula
Velocidad de corte (Vc)	Velocidad lineal de la pieza que está en contacto con la herramienta.	$Vc = \frac{Dm \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ (m/min)}$ $Vc = \frac{Dm \cdot \pi \cdot n}{12} \text{ (pies/min)}$ <i>Dm</i> = diámetro de mecanizado. <i>n</i> = velocidad del husillo.
Avance (f)	Distancia de avance de la herramienta de corte por revolución del husillo.	La unidad del avance se expresa en unidades de longitud. (mm, in)
Avance por diente (fz)	Se calcula a partir del valor recomendado para el grosor de viruta máximo.	El avance por diente se expresa en unidades de longitud. (mm, in).

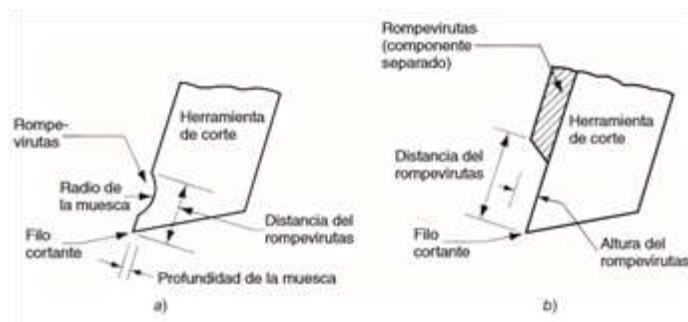
Profundidad de corte (ap)	Cantidad de material removido por una pasada de la herramienta.	Se expresa en unidades de longitud. (mm, in)
Velocidad de avance (Vf)	Velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, velocidad con la que se ejecuta el corte.	Se expresa en unidades de $\frac{mm}{min}$ o $\frac{in}{min}$.
Número de pasadas	Coeficiente entre la profundidad a mecanizar sobre la profundidad de corte, es decir la cantidad de pasadas de la herramienta sobre la pieza.	No posee unidades.
Tiempo de ciclo.	Se define como el tiempo en el que se ejecuta un proceso.	<p>$T_{ciclo} = T_{operación} + T_{ajuste}$.</p> <p>$T_{operación} = \frac{L_c}{f_n * n}$.</p> <p>$L_c$ = longitud de mecanizado.</p> <p>f_n = avance por revolución.</p> <p>n = velocidad del husillo.</p> <p>T_{ajuste} = Tiempo requerido para ajuste de herramientas y de la máquina herramienta.</p>

3.4 FUNDAMENTOS EN HERRAMIENTAS DE CORTE

En los diferentes procesos de mecanizado explicados con anterioridad se utilizan las herramientas de corte, las cuales son las responsables de extraer o remover el material de la pieza, mediante procesos de arranque de viruta tipo muesca (a) o tipo

obstrucción (b) que se pueden observar en la Figura 31. Las herramientas de corte varían dependiendo de la máquina herramienta, dureza de los materiales y procesos a realizar. Una herramienta de corte funcional y eficaz se compone de dureza más resistencia; pues, de nada sirve que la herramienta tenga un buen filo y corte muy bien, sino posee la resistencia adecuada para soportar las fuerzas de corte que surgen a la hora de mecanizar la pieza de trabajo.

Figura 31. Métodos de arranque de viruta.



Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 559.

3.4.1 Herramientas de un filo. En el campo metalmecánico, las herramientas de un filo son los mismos *buriles*; una adecuada selección de ciertas características permite obtener la calidad y acabados en el mecanizado de los productos. El método de trabajo de las herramientas de corte para el torneado consiste en movimientos longitudinales y/o transversales mientras que la pieza a mecanizar gira.

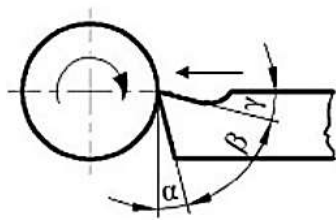
Los principales actores en el arranque de la viruta son:

- ❖ **Superficie de incidencia.** Cara de la herramienta, ubicada por encima de la nueva superficie maquinada.
- ❖ **Filo.** Encargado de generar el corte y desprendimiento de material.

- ❖ **Superficie de arranque.** Cara de la herramienta que permite evacuar la viruta o material desperdiciado.

En la Figura 32, se visualizan los ángulos influyentes de la herramienta de corte

Figura 32. Ángulos de la herramienta



DESIGNACION	
α	Angulo de Incidencia.
β	Angulo de Filo.
γ	Angulo de Ataque.
$\alpha + \beta$	Angulo de Corte.

Fuente: ALARCON. Martin. Herramientas de corte código ISO 1832 para insertos de corte. [En línea] (Recuperado 20 enero 2020) Disponible en:
http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/9538/mod_resource/content/1/presentaci%C3%B3n2.pdf

- ❖ **Angulo de incidencia (α).** Esta comprendido entre la superficie de incidencia de la herramienta y un plano perpendicular al movimiento de penetración de la herramienta. Si el ángulo α es chico; se producen altas temperaturas debido a la fricción entre ambas superficies, además los acabados se verían afectados. Si el ángulo α es muy grande, el filo de la herramienta es pronunciado y frágil, produciendo fallas en la pieza y la herramienta. Se recomienda un ángulo α pequeño, si el material de la pieza de trabajo es de alta dureza.

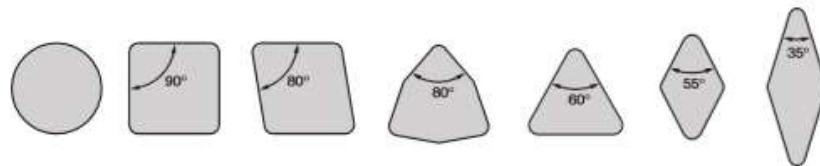
- ❖ **Angulo de filo o de la herramienta (β).** Como se visualiza en la Figura 32, está comprendido entre la superficie de incidencia y la superficie de ataque. Entre menor sea el ángulo β , las fuerzas de corte en el filo de la herramienta aumentan; generando fallas en esta. Un ángulo β muy grande, sería lo adecuado obteniendo una herramienta filosa y resistente.

❖ **Angulo de ataque o salida de la viruta (γ).** Como se observa en la Figura 32, se comprende entre un plano paralelo al movimiento de penetración de la herramienta y la superficie de ataque o desprendimiento. Un ángulo γ pequeño, genera obstrucciones de la viruta a la hora de fluir, además, produce altas temperaturas y malos acabados. Si γ es grande, la viruta fluye bien, pero la herramienta se debilita y puede fallar.

Factores importantes que influyen en la selección de una correcta plaquita son:

❖ **Forma de la plaquita.** Se selecciona en función del ángulo de avance y de la versatilidad de la herramienta. La selección de un mayor ángulo de punta de la plaquita ofrece una mayor resistencia, en la Figura 33 se presentan diferentes formas de plaquita.

Figura 33. Formas de plaquita.



Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 561.

❖ **Tamaño de la plaquita.** Se selecciona dependiendo de la cantidad y/o profundidad de material a mecanizar, se clasifican en:

- **Desbaste.** Operación para grandes avances y cantidades de material a remover, se realiza de forma rápida.
- **Acabado.** Operación a profundidades de corte pequeñas, se emplean para lograr dimensiones, tolerancias y rugosidades exigidas para la pieza.

❖ **Geometría de la plaquita.** Para la selección de la geometría se debe tener en cuenta avances y profundidades en el área de corte y el material de la pieza, por lo cual se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La selección de un mayor radio de punta permite obtener aristas de corte más robustas.
- Si existe tendencias a la vibración, se debe seleccionar un radio de punta menor.

❖ **Calidad.** La calidad de la pieza influye en la selección de la herramienta de corte, depende del tipo de operación (acabado o desbaste) y del material de la pieza.

3.4.2 Herramientas rotativas.

❖ **Herramientas de fresado.** En procesos de fresado, la herramienta de corte gira mientras que la pieza permanece estática. Los filos de las fresas están dispuestos de manera simétrica alrededor del eje, con la cual cumplen con la función de eliminar progresivamente el material de la pieza, hasta elaborarla a las dimensiones deseadas. Entre los movimientos básicos de las fresas encontramos.

- Fresado frontal.
- Fresado frontal y tangencial.
- Fresado tangencial en oposición.
- Movimiento de corte, avance y profundidad de pasadas.

Entre los tipos de herramientas, existen las fresas las cuales consisten en piezas giratorias con una serie de cuchillas espaciadas entre sí, las cuales mediante el movimiento remueven el material de la pieza a mecanizar, el otro tipo de herramienta son los insertos, los cuales mediante una fresa porta insertos se insertan plaquitas de corte, las cuales mediante el movimiento remueven material.

En la Figura 34, se presentan las clasificaciones de las fresas según la forma de sus dientes.

Figura 34. Clasificación de fresas

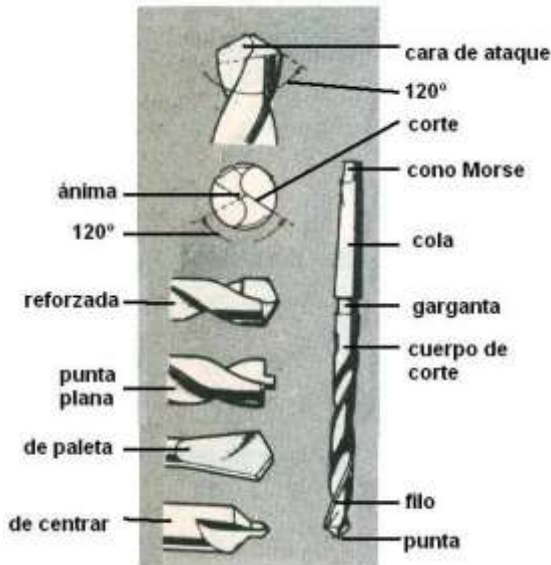


Fuente: CÓRDOVA, Alberto. Herramientas de corte para fresadora CNC. [En línea] (Recuperado 19 enero 2020) Disponible en: <http://www.alucol.com.co/producto-categoria/12/Perfiles-varios>

❖ **Herramientas de taladrado.** El proceso de taladrado consiste en realizar agujeros redondos sobre una pieza de trabajo, la herramienta de corte a utilizar recibe el nombre de broca, posee dos bordes cortantes en su extremo. La broca avanza mientras la pieza de mecanizado permanece quieta, la cual genera un agujero del diámetro que posee la broca.

Es recomendable el uso de un lubricante mientras la broca se encuentra en operación, para evitar fallas y mantener la vida útil de la herramienta. La hélice de la broca se encarga de evacuar la viruta al igual que cortar en pedazos más pequeños los residuos de la perforación de materiales metálicos. En la Figura 35, se observa las partes de una broca y diferentes formas que existen.

Figura 35. Partes de una broca



Fuente: ECURED. Barrena. [En línea] (Recuperado 19 enero 2020) Disponible en: https://www.ecured.cu/Barrena#Partes_componentes

3.4.3 Desgastes y modos de fallas de las herramientas de corte. A medida que las piezas de corte realizan trabajos, ocurren problemas de desgastes de la herramienta por diferentes causas, que afectan la calidad de los procesos, así como su vida útil, a continuación, se presentan diferentes causas que ocasionan desgastes en las herramientas:

- ❖ **Elevada sollicitación térmica y mecánica.** Se evidencian problemas tales como, fragmentación de los filos, formación de grietas paralelas a los filos, grietas en forma de peina y deformación plástica.
- ❖ **Adhesión.** Se produce por adhesión de partículas de material, que existen en las asperezas de la superficie de corte debido a altas presiones y temperaturas en la zona de corte.

❖ **Abrasión mecánica.** Se produce por la fricción, presión y temperaturas altas entre la pieza, herramienta y viruta.

❖ **Difusión.** A altas temperaturas las moléculas alcanzan una determinada movilidad, provocando un fenómeno de difusión de modo que sus cristales pueden modificar su forma y constitución.

❖ **Oxidación.** Cuando existen altas temperaturas, se forman carchas en la herramienta, produciendo oxidación la cual puede ser una causa de desgaste de esta.

Según GROOVER⁴, existen tres modos de fallas con las cuales podemos determinar las propiedades más importantes que debe poseer los materiales de las herramientas de corte.

❖ **Tenacidad.** Para evitar las fallas por fractura, el material de la herramienta debe tener alta tenacidad. La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material. Se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad del material.

❖ **Dureza en caliente.** La dureza en caliente es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas. Ésta es necesaria debido al ambiente de altas temperaturas en que opera la herramienta.

❖ **Resistencia al desgaste.** La dureza es la propiedad más importante que se necesita para resistir el desgaste abrasivo. Todos los materiales para herramientas de corte deben ser duros. Sin embargo, la resistencia al desgaste en el corte de metales no solamente depende de la dureza de la herramienta, sino también de otros mecanismos de desgaste.

⁴ GROOVER. Op. Cit. p. 549.

3.4.4 Materiales para herramientas de corte. Luego de estudiar y reconocer las propiedades a tener en cuenta en la selección del material de la herramienta de corte, en la Figura 36, se muestra un resumen de los materiales más usados con sus valores típicos de dureza a temperatura ambiente y resistencia a la ruptura transversal, la cual indica la tenacidad de los materiales duros.

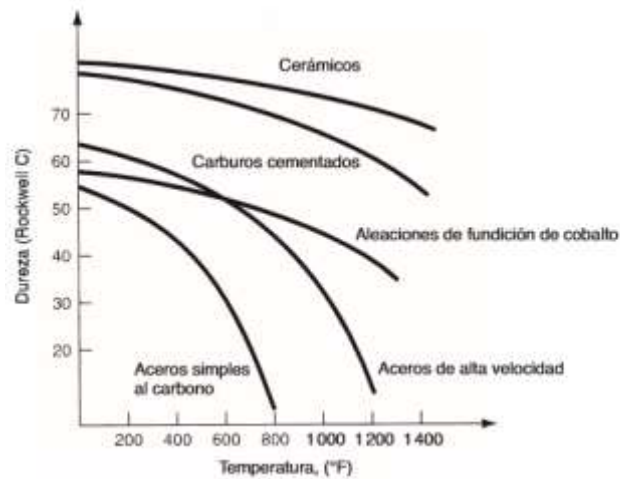
Figura 36. Tabla de materiales de herramientas de corte.

Material	Dureza	Resistencia a la ruptura transversal	
		MPa	lb/in ²
Acero simple al carbono	60 HRC	5200	750 000
Acero de alta velocidad	65 HRC	4100	600 000
Aleación de fundición de cobalto	65 HRC	2250	325 000
Carburo cementado (WC)			
Bajo contenido de Co	93 HRA, 1800 HK	1400	200 000
Alto contenido de Co	90 HRA, 1700 HK	2400	350 000
Cermet	2400 HK	1700	250 000
Alúmina	2100 HK	400	60 000
Nitruro cúbico de boro	5000 HK	700	100 000
Diamante policristalino	6000 HK	1000	150 000
Diamante natural	8000 HK	1500	215 000

Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 550.

Mientras que en la Figura 37, se puede observar la tendencia de los diferentes materiales a disminuir su dureza conforme aumenta la temperatura, gracias a esto, es posible conocer y seleccionar para cierto rango de temperatura, cual es el material óptimo para la herramienta de corte y así obtener operaciones de mecanizado más eficientes y de calidad.

Figura 37. Dureza vs temperatura de materiales de herramientas de corte



Fuente: GROOVER, MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 551.

3.5 PIEZAS METALMECÁNICAS

Las máquinas están compuestas por piezas mecánicas que ayudan a su funcionamiento y obtener un mayor desempeño, cada pieza cumple una función específica dentro de la máquina, por esta razón el diseño y fabricación de estas es factor importante para obtener un mayor funcionamiento de la máquina. A continuación, se presenta las piezas mecánicas seleccionadas para el desarrollo del proyecto.

3.5.1 Ejes. Un eje es una pieza mecánica de tipo rotatorio, de sección transversal circular, que cumple funciones de transmisión de potencia, de movimiento o de soporte para diferentes piezas tales como poleas, engranajes y/o elementos rotatorios.

Los aceros, son el tipo de material con el que habitualmente se fabrican los ejes, esta familia de material posee un módulo de elasticidad constante, el cual es factor importante para la rigidez del material. Los aceros más comunes son los de bajo carbono, aceros estirado en frío, laminado en caliente, y la familia de aceros AISI 1020-1050. Entre las aplicaciones más importantes se encuentran los ejes de transmisión, el cual está diseñado para transmitir potencia generada por un motor hacia los demás actuadores o elementos de la máquina. Comúnmente son aplicados en la industria automotriz y aeroespacial. En la Figura 38 se presenta un ejemplo de este tipo de eje.

Figura 38. Ejes de transmisión



Fuente: RETEXCOS S.A.S. Ejes de transmisión. [En línea] (Recuperado 16 mayo 2020)
Disponible en: <https://retexco.com/ejes-de-transmision/>

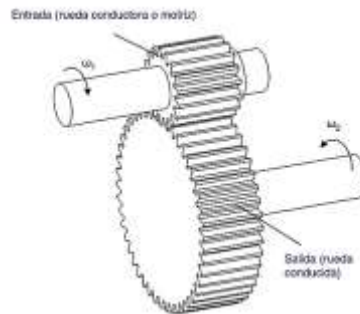
3.5.2 Engranajes. Los engranajes son mecanismo que tienen como objetivo la transmisión de la velocidad de rotación de un engranaje a otro, por medio del engrane de sus dientes, para que la transmisión sea correcta, los engranajes deben poseer el mismo módulo y paso. En este tipo de transmisiones existen dos tipos de engranajes.

❖ **Engranaje motriz y/o conductor.** Este engranaje posee el movimiento de entrada proveniente de un motor o de otro tipo de transmisión de movimiento.

❖ **Engranaje conducido.** Este tipo de engranaje es arrastrado por el motriz debido a la acción de engrane de sus dientes, el sentido de giro de los engranajes es contrario.

En la Figura 39, se ilustra una transmisión de movimiento por medio de engranajes.

Figura 39. Transmisión de engranajes.

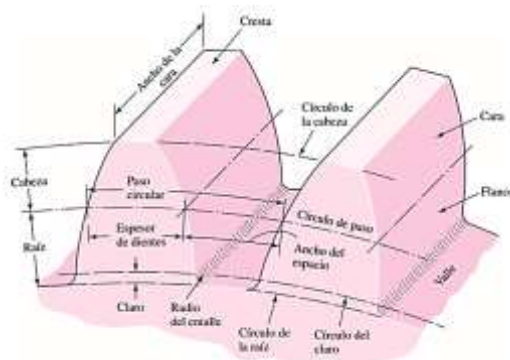


Fuente: XUNTA DE GALICIA. Engranajes. [En línea] (Recuperado en 16 enero 2020) Disponible en:

https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html

La Figura 40, ilustra la nomenclatura de un engranaje recto, en el cual se destaca las partes de un engranaje recto.

Figura 40. Nomenclatura de un engranaje recto



Fuente: Engranajes: descripción general. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill/interamericana, 2008. p. 656. ISBN-13. 978-970-10-6404-7.

A la hora de diseñar un engranaje se debe tener en cuenta dos conceptos importantes como lo son el módulo (m) y el paso diametral (P).

❖ **Módulo (m).** Señala el índice del tamaño de los dientes el cual se representa en la relación del diámetro de paso y el número de dientes.

$$m = \frac{d}{N}$$

❖ **Paso diametral (P).** Es el recíproco del módulo, el cual también representa una normativa para el tamaño de los dientes, en el cual a medida que el tamaño del diente aumenta, el paso diametral disminuye.

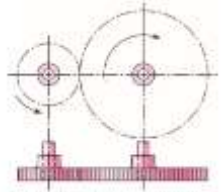
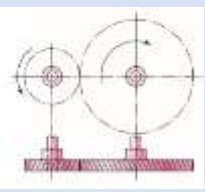
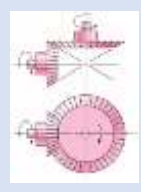
Existen diferentes tipos de engranaje que dependen del tipo de dientes, en el cual encontramos los engranajes rectos, helicoidales y cónicos; como se visualizan en la Tabla 9.

❖ **Engranajes rectos.** Sus dientes son paralelos al eje de rotación, de tal manera que transmiten su movimiento entre ejes paralelos.

❖ **Engranajes helicoidales.** Sus aplicaciones son similares a la de los engranajes rectos, su ventaja es que genera menos ruido gracias a que sus dientes están inclinados con respecto al eje de rotación.

❖ **Engranajes cónicos.** Los dientes se encuentran en superficies cónicas, este tipo de engranajes se usan para transmitir movimiento entre ejes que se interceptan.

Tabla 9. Tipos de engranajes

TIPOS DE ENGRANAJES		
Recto	Helicoidal	Conico
		

Los engranajes se encuentran en la industria automotriz, en aplicaciones tales como cajas de velocidades y diferenciales, reductores de velocidad, también están aplicados en bombas y motores hidráulicos.

3.5.3 Poleas. Las poleas son mecanismos de transmisión de fuerzas y movimientos que por medio de correas y/o cuerdas, reducen la fuerza para levantar cargas, transmiten fuerzas y velocidades por medio de poleas motrices y conducidas debido al rozamiento que genera la correa con la polea.

La transmisión de fuerza se obtiene gracias al montaje y al número de poleas, que por medio de cuerdas reducen la capacidad de fuerza que se debe ejercer para levantar una carga, a continuación, se va a mostrar diferentes tipos de montajes para este tipo de transmisión.

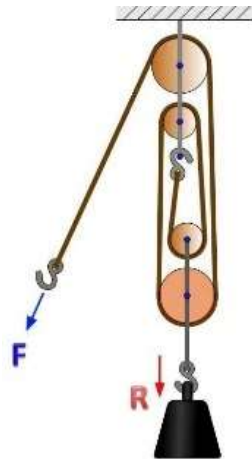
❖ **Polea fija.** Este tipo de montaje consta de una polea y una cuerda en la cual está suspendida una carga, en este caso, la fuerza requerida para poder vencer la carga es igual al peso de la carga, por lo que en este tipo de montaje no hay una reducción de fuerza.

❖ **Polea móvil.** Consta de dos poleas, una fija, y una móvil que se desplaza linealmente al subir y bajar una carga, esta configuración la fuerza requerida para

vencer una carga se reduce a la mitad, por lo cual tenemos una ganancia en la reducción de fuerza.

❖ **Polipastos.** Los polipastos son un conjunto par de poleas fijas y móviles, esta configuración me permite levantar altas cargas, entre mayor sea el número de poleas, menor será la fuerza requerida a ejercer, esta configuración la podemos encontrar en aplicaciones tales como grúas y ascensores. En la Figura 41, se ilustra el conjunto de poleas de un polipasto.

Figura 41. Polipasto

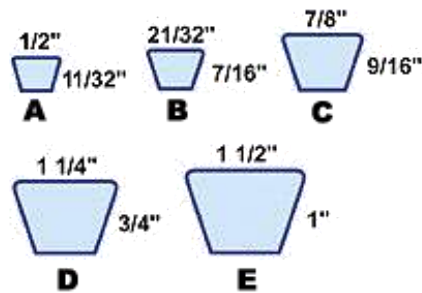


Fuente: XUNTA DE GALICIA. La polea. [En línea] (Recuperado en 16 enero 2020) Disponible en: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/22_la_polea.html

En esta aplicación $F = \frac{R}{2^n}$, donde n es el número de poleas móviles.

La transmisión de fuerzas y velocidades se consigue gracias a poleas motrices y conducidas, por medio del tallado de un canal o llanta, que soporta la correa, y el rozamiento de esta con la polea se logra la transmisión. Este tipo de canal varía dependiendo del perfil de la correa, entre más se adapte la correa al canal, se evita el deslizamiento de esta. La Figura 42 presenta diferentes tipos de perfiles trapezoidales, el cual se adaptan mejor a los canales.

Figura 42. Perfiles trapezoidales.



Fuente: MANGUERAS Y BANDAS. Correas trapezoidales. [En línea] (Recuperado en 16 enero 2020) Disponible en:

<http://manguerasybandas.com.co/index.php/productos/correas/product/view/5/31>

3.6 FUNDAMENTO DE SOFTWARE SPPM

La industria metalmecánica como sector económico es vital para el desarrollo del país; debido a su importancia, es necesario mejorar la calidad y producción de los productos. Las medianas y pequeñas empresas del sector metalmecánico, por lo general carecen de soportes y estándares de producción. Un problema por abordar, es una adecuada selección de los procesos y parámetros de maquinado en la fabricación de partes o piezas; por medio de SPPM, es posible resolver dicho problema.

3.6.1 CAPP. SPPM es un CAPP (Planeación de Procesos Asistido por Computador), el cual tumba la planeación de procesos convencional, donde se caracterizaba por:

- ❖ Una planeación realizada por ingenieros de manufactura familiarizados con los procesos particulares en la fábrica con capacidad de leer planos
- ❖ Conocimiento, habilidad, y experiencia, desarrollo de las etapas del proceso en la secuencia más lógica para fabricar cada pieza.

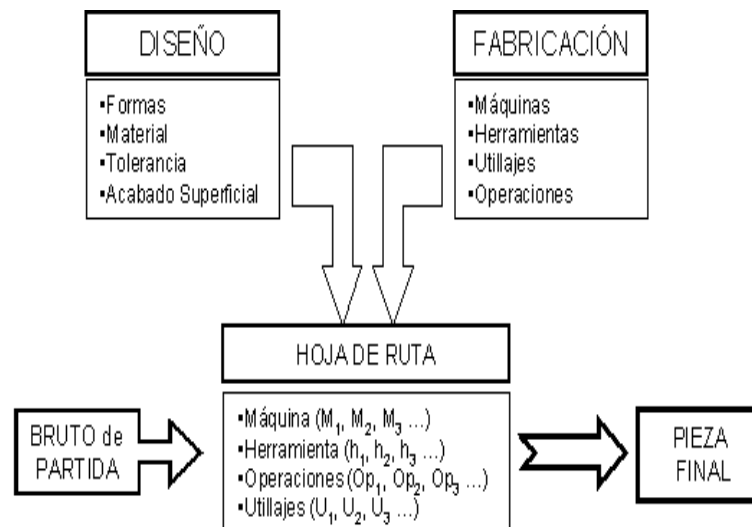
- ❖ Algunos detalles son delegados frecuentemente a especialistas, incluso a diseñadores de herramientas.

Los CAPP son sistemas que capturan las capacidades de un ambiente manufacturero específico y principios manufactureros ingenieriles, con el fin de crear un plan para la manufactura física de una pieza previamente diseñada. En la **Figura 4**, se observa un ejemplo de modelo de CAPP. Los CAPP se especifican en:

- ❖ Herramientas de corte
- ❖ Parámetros de mecanizado (V_c , a_p , f , T_{ciclo} , etc.)
- ❖ Procesos de mecanizado jerarquizados, estructurados en *Hojas de ruta*
- ❖ Maquinas herramientas.

En la Figura 43, se observa el funcionamiento de un CAPP

Figura 43. Funcionamiento CAPP



Fuente: Implementación de un software para la planeación de procesos asistida por computadora CAPP en la manufactura de la empresa Marcos Milán S.A.S. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016.

3.6.2 Hoja de ruta. Es un soporte sobre el cual se establece un plan organizado, mejorando la estructura funcional de una empresa, en el ANEXO A se observan las hojas de ruta, para la elaboración de las piezas. El objetivo de SPPM, es mostrar una hoja de ruta conteniendo todos los aspectos importantes a la hoja de fabricar una pieza o producto relacionado a la empresa. En el sector metalmecánico, los aspectos o factores influyentes contenidos en las hojas rutas son:

- ❖ Nombre del producto o pieza.
- ❖ Nombre del planificador/operario.
- ❖ Características de la pieza. Material, dimensiones principales, tolerancias.
- ❖ Imagen de la pieza.
- ❖ Máquina herramienta
- ❖ Procesos de mecanizado.
- ❖ Parámetros de mecanizado

3.6.3 Pieza compuesta. SPPM es un CAPP capacitado para obtener hojas de ruta en la elaboración de piezas metalmecánicas; tales como, ejes, poleas y engranajes. Su estructura funcional se debe a la creación de una base del conocimiento; el cual posee la información acerca de un determinado problema, adquirida de libros, catálogos y expertos en el dominio del área de remoción de materiales para luego ser almacenados en una base de datos.

El enfoque de desarrollo de SPPM se basa en la *Tecnología de grupos*, el cual identifica y agrupa las piezas según las similitudes existentes entre ellas, relacionando los procesos de fabricación, geometrías y el tipo de producción de las piezas. El principio tomado de la Tecnología de grupos para el desarrollo del sistema computacional es el concepto de *Pieza Compuesta*; tratándose de una pieza ideal que posee todos los procesos y transformaciones posibles permitidas.

La ventaja que tiene el concepto de pieza compuesta es la capacidad de obtener una variación de piezas a la hora de fabricar; es por esto, que SPPM diseñara tres

(3) piezas compuestas para; ejes, poleas y engranajes. En la Figura 2, se observa el concepto de manera gráfica, el cual posee todos los procesos posibles para su fabricación, dichos procesos están en la Tabla 1.

Presentados los conocimientos del funcionamiento de SPPM, se procede a explicar de manera muy general, las herramientas que permiten la elaboración del software.

3.6.4 Lenguaje de programación. En el desarrollo de aplicaciones en este nuevo entorno tecnológico Microsoft brinda herramientas conocido .NET Framework SDK, incluye compiladores de lenguajes como C#, Visual Basic.NET, Managed C++ y JScript.NET. El núcleo de la plataforma.NET es el CLR (Common Language Runtime), es una aplicación similar a una máquina virtual encargada de la gestión a la hora de ejecutar las aplicaciones. A estas aplicaciones les ofrece numerosos servicios que facilitan su desarrollo y mantenimiento y favorecen su fiabilidad y seguridad.

3.6.5 Word Wide Web. El sistema WWW (W3 o Web) creado por el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN) con el objetivo de que los físicos europeos pudiesen compartir información a través de Internet, mediante documentos de hipertexto. Es un sistema de intercambio de información mediante técnicas de hipermedia, utilizando como vínculo los documentos de hipertexto (páginas Web).

3.6.6 Lenguaje de marcas de hipertexto (HTML). Lenguaje de marcas diseñado para estructurar textos y presentarlos en forma de hipertexto, que es el formato estándar de las páginas web. El texto se presenta de forma estructurada y agradable, con enlaces que conducen a otros documentos o fuentes de información relacionadas, y con inserciones multimedia (gráficos, sonido...) La descripción se

basa en especificar en el texto la estructura lógica del contenido (títulos, párrafos de texto normal, enumeraciones, definiciones, citas, etc) así como los diferentes efectos que se quieren dar (especificar los lugares del documento donde se debe poner cursiva, negrita, o un gráfico determinado) y la presentación final de dicho hipertexto se realice por un programa especializado o navegador (como Mosaic, o Netscape).

3.6.7 Preprocesador de hipertexto (php). Lenguaje interpretado de alto nivel embebido en páginas HTML y ejecutado en el servidor. El código PHP se incluye entre etiquetas especiales de comienzo y final que permiten entrar y salir del modo PHP. Lo que distingue a PHP de la tecnología JavaScript, es que el código PHP es ejecutado en el servidor, puede procesar la información de formularios, generar páginas con contenidos dinámicos, o mandar y recibir cookies.

3.6.8 MySQL. Gestor de base de datos sencillo de usar e increíblemente rápido. También es uno de los motores de base de datos más usados en Internet, la principal razón de esto es que es gratis para aplicaciones no comerciales.

3.6.9 Servidor web Apache. Programa que procesa las peticiones de información, típicamente solicitudes de páginas web. Características de Apache:

❖ **Independencia de plataforma.** Funciona en casi todas las plataformas actuales, se puede adaptar a las características, y también se puede cambiar de plataforma si en un momento determinado una plataforma ofrece más ventajas que la que se esté utilizando.

❖ **Autenticación de diferentes tipos.** Apache permite la autenticación de usuarios en varias formas. Apache permite el uso de bases de datos para la autenticación de usuarios. De esta forma se puede restringir el acceso a determinadas páginas de un sitio web de una forma sencilla y de fácil mantenimiento.

❖ **Respuestas personalizadas ante errores del servidor.** Permite modificar la respuesta ante los posibles errores que se puedan dar en el servidor.

❖ **Creación de contenidos dinámicos.** Crea sitios web dinámicos mediante el uso de lenguajes de Scripting como PHP, JavaScript, Pitón, Java y páginas jsp.⁵

3.6.10 Macromedia Dreamweaver 8. Herramienta para el diseño y desarrollo de sitios web y aplicaciones. Las funciones incluyen una visualización esquemática de las Hojas de Estilo en Cascada (CSS—según sus siglas en inglés—Cascading Style Sets), lo cual permite un diseño más sencillo, integración de fuentes de datos XML, un mejorado soporte para la sugerencia de código XML y XSLT, funciones de usabilidad mejoradas tales como zoom y colapso de código—para hacer más preciso el proceso de desarrollo—y formas más rápidas y mejores de incorporar contenido de video Flash en los sitios web. Las funciones de edición visual de Dreamweaver permiten agregar rápidamente diseño y funcionalidad a las páginas, sin la necesidad de programar manualmente el código HTML. Se puede crear tablas, editar marcos, trabajar con capas, insertar comportamientos JavaScript, etc., de una forma muy sencilla y visual.

⁵ EL SERVIDOR WEB APACHE 1.3. Disponible en: http://www.augcyl.org/gloI/old/N_1/apache.html

3.6.11 Macromedia Fireworks 8. Fireworks 8 permite lograr un equilibrio entre la máxima calidad de imagen y el mínimo tamaño de compresión a medida que se crean, editan y optimizan imágenes para un sitio Web con un control preciso.

Permite crear menús emergentes con las intuitivas herramientas visuales de Fireworks 8 y utiliza las funciones de edición integrales con Dreamweaver 8 y Flash Professional 8 para lograr más eficacia.

Las imágenes tienen la mejor apariencia posible en cualquier escenario de entrega con funciones de optimización tales como exportar, vista previa, vista previa gamma en distintas plataformas y compresión de JPG selectiva.

4. DISEÑO CONCEPTUAL

4.1 BASE DE DATOS GENERAL

Las bases de datos se desarrollaron en EXCEL, contienen los conocimientos tomados de la experiencia de técnicos, catálogos, libros del campo metalmeccánico.

La base de datos general, se clasifica de la siguiente manera:

- ❖ Materiales.
- ❖ Dimensiones.
- ❖ Procesos de fabricación.
- ❖ Hoja de ruta.

En la Tabla 10, se observan las bases de datos cuantificadas según el tipo de pieza a fabricar. En el caso de poleas y engranajes; existen tres bases de datos por proceso, debido a que estas piezas se clasifican por el tipo de llanta de la polea (A-B-C) y el módulo del engranaje (1-1.5-2).

Tabla 10. Base de datos general

BASE DE DATOS GENERAL							
PIEZA	MATERIALES		DIMENSIONES		PROCESOS	HOJA DE RUTA	
POLEA	ISO N ISO K	2	TIPO A TIPO B TIPO C	3	Tronzado (3)	27	1
					Refrentado (3)		
					Cil. Exterior (3)		
					Taladrado eje (3)		
					Cil. Ext + refrentado (3)		
					Ranurado frontal (3)		
					Taladrado orificios (3)		
					Tallado llanta (3)		
					Tallado chaveta (3)		

ENGRANAJE	ISO P ISO M	2	MOD 1 MOD 1.5 MOD 2	3	Tronzado (3) Refrentado (3) Cil. Exterior (3) Taladrado eje (3) Cil. Ext + refrentado (3) Ranurado frontal (3) Taladrado orificios (3) Tallado diente (3) Tallado chaveta (3)	27	1
EJE	ISO P ISO M	2	1		Tronzado (1) Cil. Exterior (5) Cil. Ext + Refrentado (1) Ranurado (1) Tallado de estrías (1) Roscado exterior (1) Roscado interior (1) Taladrado agujero (1)	12	1

En conclusión, son 82 bases de datos creadas para el desarrollo de SPPM:

- ❖ 33 bases de datos poleas
- ❖ 33 bases de datos engranajes
- ❖ 16 bases de datos ejes

4.1.1 Base de datos dimensiones. El prototipo del software cuenta con tres piezas diferentes, las cuales son; ejes, poleas y engranajes. Se recopiló información de los diferentes procesos y parámetros de mecanizado, en el cual se estableció una base de datos para cada pieza, detallando las dimensiones y características principales de estas. Las bases de datos se realizaron en EXCEL Office.

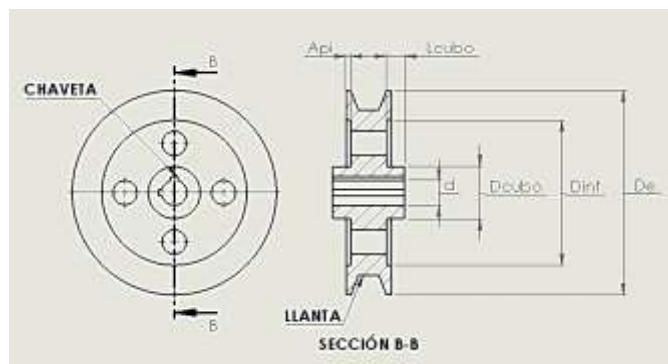
En el **ANEXO B** se observan las bases de datos según las dimensiones de las piezas, visualizándose los diferentes parámetros y características. Cada pieza cuenta con parámetros y características diferentes.

❖ **Base de datos dimensiones para poleas.**

Las poleas cuentan con los siguientes parámetros de dimensiones y características:

- *Tipo de llanta.* A – B – C
- *De.* Diámetro externo.
- *d.* Diámetro del eje.
- *Dcubo.* Diámetro del cubo.
- *Lcubo.* Longitud del cubo.
- *Dint.* Diámetro intermedio.
- *api.* Profundidad de corte del diámetro intermedio.

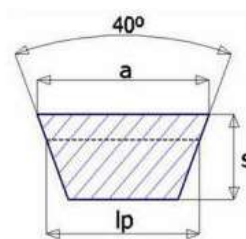
Figura 44. Parámetros de entrada polea.



En la Figura 45, se visualizan las siguientes dimensiones del canal:

- *a.* Ancho externo de llanta.
- *lp.* Ancho intermedio de llanta.
- *s.* Altura de llanta.

Figura 45. Dimensiones de la llanta



Fuente: MECAPEDIA. Correa trapezoidal. [En línea] (Recuperado en 20 enero 2020) Disponible en: http://www.mecapedia.uji.es/correa_trapezoidal.htm

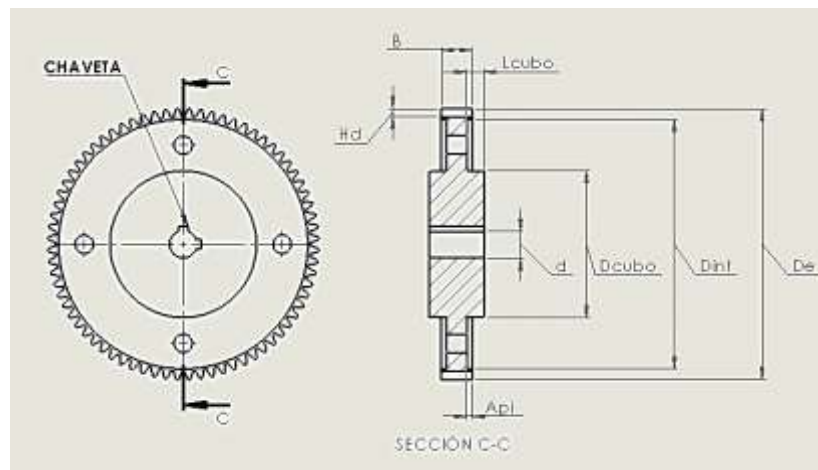
❖ **Base de datos dimensiones para engranajes.**

Los engranajes cuentan con los siguientes parámetros de dimensiones y características:

- *Modulo.* 1 – 1.5 – 2
- *Z.* Numero de dientes.
- *Hd.* Altura del diente.
- *B.* Ancho del engranaje.
- *De.* Diámetro externo.
- *d.* Diámetro del eje.
- *Dcubo.* Diámetro del cubo.
- *Lcubo.* Longitud del cubo.
- *Dint.* Diámetro intermedio.
- *api.* Profundidad de corte del diámetro intermedio.

En la Figura 46, se visualizan los parámetros de entrada del engranaje:

Figura 46. Parámetros de entrada del engranaje



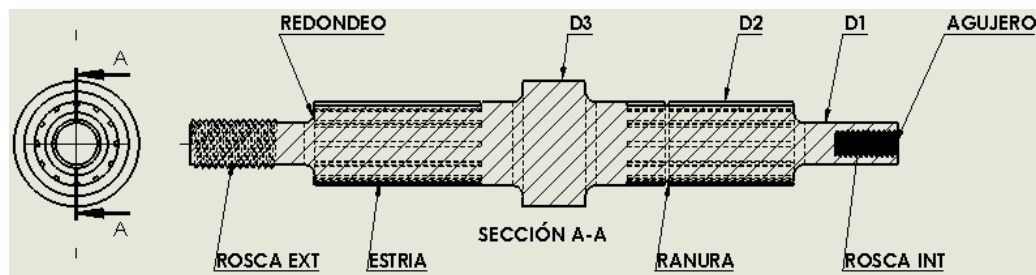
❖ **Base de datos dimensiones para ejes.**

Los ejes cuentan con los siguientes parámetros de dimensiones y características:

- *D1 – D2 – D3.* Diámetros de cambio de sección.

- *Redondeo*. Redondeo en el cambio de sección.
- *ap_ranura*. Profundidad de ranura.
- *L_ranura*. Longitud de ranura.
- *H_estria*. Altura de estría.
- *B_estria*. Ancho de estría.
- *L_estria*. Longitud de estría.
- *Tipo de rosca*.
- *Paso*. Paso de la rosca
- *D_agu*. Diámetro del agujero.
- *L_aguj*. Longitud del agujero.

Figura 47. Parámetros de entrada del eje



4.2 HOJA DE RUTA

En la elaboración de piezas metalmecánicas, se realizan una cantidad de procesos establecidos en un orden que son soportados en un documento llamado *hoja de ruta*, que posee las siguientes características.

- ❖ **Nombre de la pieza.** Eje, polea y engranaje.
- ❖ **Material.** Se ubica el nombre comercial del material (AISI 8620, AISI 301, 356,1, etc)
- ❖ **Planificador.** En esta casilla se ubica el nombre de la persona responsable de la fabricación de la pieza.

- ❖ **Características de la pieza.** Aparecen las características principales de cada pieza (modulo, numero de dientes, diámetro exterior, tipo de llanta, cantidad de llantas, diámetros de cambio de sección del eje).
- ❖ **Parámetros de corte.** En estas casillas se ubican los valores de parámetros para cada operación de mecanizado (Velocidad de corte, avance, profundidad de corte, herramienta, etc).
- ❖ **Operación.** Se encuentran ubicados los diferentes procesos de mecanizado para la elaboración y fabricación de las piezas (Refrentado, cilindrado exterior, taladrado del eje, etc).

En el **ANEXO A**, se visualizan las hojas de ruta de las piezas a fabricar, de igual forma se realiza en EXCEL Office.

4.3 PROCESOS

Para obtener los parámetros de corte que influyen en los diferentes procesos de mecanizado, se establecieron unos formatos en EXCEL Office visualizados en los **ANEXO C**, relacionando el tipo de material y los parámetros de entrada que influyen en cada proceso, por medio de esta relación se seleccionan los parámetros de corte necesarios para su desarrollo.

A continuación, se presentarán dos (2) ejemplos de selección de procesos de mecanizado para cada pieza. Permitiendo observar cómo se relacionan los parámetros de entrada y salida.

4.3.1 Procesos de mecanizado para la polea. Se exhibe el *proceso de tronzado* como ejemplo de selección de parámetros. La Figura 47 muestra la manera de encontrar los parámetros de salida, relacionando el material de la pieza de trabajo (*MN2*, localizado en el orden de las filas) con el diámetro exterior (*71 mm*, localizado en el orden de las columnas) de la polea. La intercepción de los recuadros son los parámetros de corte para el proceso de tronzado.

Figura 47. Selección de parámetros de tronzado de la polea

Material/ De [mm]	70	71	72	74
MN1	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125
	1530	1530	1530	1530
	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312
MN2	4,777	4,83	4,89	5,01
	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125
	1590	1590	1590	1590
MN3	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312
	4,777	4,83	4,89	5,01
	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125	N129G1-0900-0002-CM 1125
MN4	1560	1560	1560	1560
	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312	0,125 - 0,0312
	4,777	4,83	4,89	5,01

En el proceso de cilindrado exterior, ubicando el diámetro externo de la polea (72 mm) y el material de la pieza de trabajo (MN2), se obtienen los parámetros de corte para dicho proceso de mecanizado. Observar la Figura 48.

Figura 48. Selección de parámetros cilindrado exterior de la polea

RRA [µm]	1	1	1	1
a [mm]	13(+10)	13(+10)	13(+10)	13(+10)
Material/ De [mm]	70	71	72	74
MN1	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.
	905.	917.	930.	955.
	0,7-0,415.	0,7-0,415.	0,7-0,415.	0,7-0,415.
	1.	1.	1.	1.
MN2	1,704.	1,704.	1,704.	1,704.
	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.
	905.	917.	930.	955.
	0,7-0,415.	0,7-0,415.	0,7-0,415.	0,7-0,415.
MN3	1.	1.	1.	1.
	1,704.	1,704.	1,704.	1,704.
	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.	RCGX 10 T3 MO-AL H10.
	905.	917.	930.	955.

4.3.2 Procesos de mecanizado del engranaje. El engranaje posee una metodología de selección similar a la polea, mediante la intercepción de filas y columnas se obtienen los parámetros de salida.

Se muestran dos ejemplos de selección de parámetros de corte.

Figura 49. Selección de parámetros del refrentado para engranajes

RRA [μm]	1	1	1
Material/ De [mm]	70	71	72
MP1	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325
	457	457	457
	0,234	0,234	0,234
	1	1	1
MP2	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325
	380	380	380
	0,234	0,234	0,234
	1	1	1
MP3	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325
	373	373	373
	0,234	0,234	0,234
	1	1	1
MP4	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325	CNMG 12 04 16-XMR 4325
	356	356	356
	0,234	0,234	0,234
	1	1	1
	3,7	3,9	3,99

Figura 50. Selección de parámetros del taladrado para engranajes

Z	68	69	70	72
B [mm]	15	15	15	15
Material/ De [mm]	70	71	72	74
MP1	5100	5100	5100	5100
	40	40	40	40
	0,04	0,04	0,04	0,04
	107,1	108,675	110,25	113,4
MP2	5100	5100	5100	5100
	40	40	40	40
	0,04	0,04	0,04	0,04
	107,5	109,075	110,65	113,8
MP3	5100	5100	5100	5100
	40	40	40	40
	0,04	0,04	0,04	0,04
	107,623	109,198	110,773	113,923
MP4	5100	5100	5100	5100
	40	40	40	40
	0,04	0,04	0,04	0,04
	107,757	109,332	110,907	114,057

4.3.3 Procesos de mecanizado del eje. De igual manera, la metodología de selección se muestra en la Figura 51 y en la Figura 52. Para dos procesos de mecanizado en el eje de transmisión de potencia.

Figura 51. Selección de parámetros del ranurado del eje

PARAMETROS DE CORTE RANURADO - EJE						
D2 [mm]	26	28	30	32	34	
DME [mm]	23	25	27	29	31	
Material/ MP [mm]	40	42	44	46	48	
MP1	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	HERRAMIENTA
	248	248	248	248	248	Vc [m/min]
	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	f [mm/rev]
	3	3	3	3	3	ap [mm]
0,232	0,251	0,27	0,289	0,308	Tiempo [min]	
MP2	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	HERRAMIENTA
	206	206	206	206	206	Vc [m/min]
	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	f [mm/rev]
	3	3	3	3	3	ap [mm]
0,097	0,105	0,112	0,347	0,371	Tiempo [min]	
MP3	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	HERRAMIENTA
	202	202	202	202	202	Vc [m/min]
	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	f [mm/rev]
	3	3	3	3	3	ap [mm]
0,264	0,308	0,331	0,569	0,378	Tiempo [min]	
MP4	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	N123G2-0300-0004-TM4325	HERRAMIENTA
	193	193	193	193	193	Vc [m/min]
	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	f [mm/rev]
	3	3	3	3	3	ap [mm]
0,105	0,112	0,347	0,371	0,396	Tiempo [min]	

Figura 52. Selección de parámetros del roscado exterior del eje

PARAMETROS DE CORTE ROSCADO EXTERIOR - EJE						
L ROSCA [mm]	25	25	25	25	25	
D1 [mm]	21	23	25	27	29	
ROSCA	M20	M22	M24	M26	M28	
Material/ PASO [mm]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
MP1	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	HERRAMIENTA
	184	184	184	184	184	Vc [m/min]
	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	f [mm/rev]
	5	5	5	5	5	N° PASADAS P1
3,324	3,426	3,426	3,324	3,588	Tiempo [min]	
MP2	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	266RG-16MM02A150M1125	HERRAMIENTA
	153	153	153	153	153	Vc [m/min]
	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	f [mm/rev]
	5	5	5	5	5	N° PASADAS P1
3,174	3,426	3,672	3,924	4,176	Tiempo [min]	

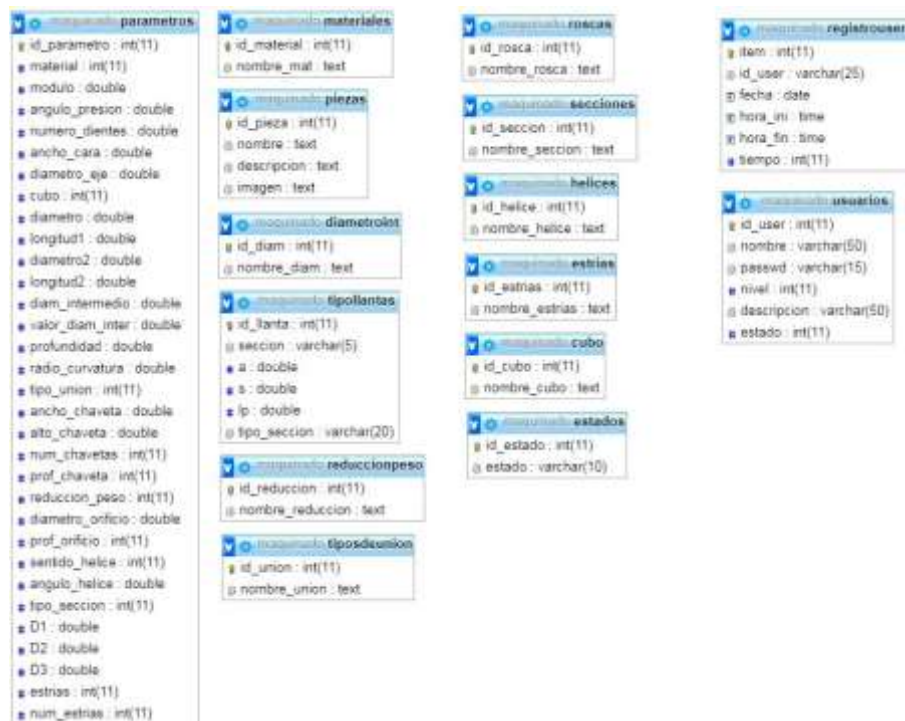
4.4 MODELO DE BASE DE DATOS

Un modelo de base de datos muestra la estructura lógica de la base, incluidas las relaciones y limitaciones que determinan cómo se almacenan los datos y cómo se accede a ellos. Los modelos de bases de datos individuales se diseñan con base a las reglas y los conceptos de cualquier modelo de datos más amplio que los

diseñadores adopten. La mayoría de los modelos de datos se pueden representar por medio de un diagrama de base de datos acompañante.⁶

SPPM presenta un esquema relacional en la base de datos, con el fin de enlazar las diferentes tablas que se requirieron en el diseño de la aplicación. En La Figura 53 se visualiza el esquema de la base de datos.

Figura 53. Esquema de la base de datos



4.4.1 Gestor de base de datos MySQL. MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional (RDBMS) de código abierto, basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL). MySQL se ejecuta en prácticamente todas las plataformas,

⁶ LUCIDCHART. Que es un modelo de base de datos. [En línea] (Recuperado en 21 enero 2020) Disponible en: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-modelo-de-base-de-datos>

incluyendo Linux, UNIX y Windows.

A pesar de que se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones, MySQL se asocia más con las aplicaciones basadas en la web y la publicación en línea y es un componente importante de una pila empresarial de código abierto llamado LAMP. LAMP es una plataforma de desarrollo web que utiliza Linux como sistema operativo, Apache como servidor web, MySQL como sistema de gestión de base de datos relacional y PHP como lenguaje de programación orientado a objetos (a veces, Perl o Python se utiliza en lugar de PHP).⁷

La utilización de MySQL como gestor de base de datos en SPPM, se debió a la facilidad que presenta para poder crear, almacenar y organizar las tablas dentro de un esquema de trabajo relacional. Igualmente, la plataforma de MySQL permite realizar otras tareas de gran utilidad como consultas en SQL, creación de esquemas y diccionario de datos.

4.5 REQUERIMIENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SPPM

El aplicativo web podrá hacerse público en Internet, con el fin que sea accedido por cualquier persona mediante conexión a este servicio mundial. Para este proceso es necesario contratar un servicio de hosting u hospedaje del sitio web.

También podrá ser utilizado sin necesidad de conexión a internet mediante la utilización de un servidor local teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Plataforma de operación requerida: Linux, Windows.
- ❖ Tipo de servidor web local: Apache.
- ❖ Scripts soportados: CGI, PHP, Java.
- ❖ Bases de datos soportadas: MySQL.
- ❖ Plataformas de operación soportadas: Mambo, Zen Cart, PHP-Nuke, etc.

⁷ TECHTARGE. MySQL. [En línea] (Recuperado en 21 enero 2020) Disponible en: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/MySQL>

- ❖ Espacio en disco requerido para la instalación: 700 Mb

Para acceder a la herramienta, los usuarios deberán poseer una identificación de usuario con su respectiva contraseña o clave de acceso. Estas serán asignadas mediante el *módulo de registro*.

Finalmente, en el **ANEXO D** se observa una especie de diccionario de datos generado por MySQL.

5. ESTRUCTURACION DEL SOFTWARE

SPPM posee una base de datos obtenida del conocimiento de expertos en el campo metalmecánico, libros, catálogos, etc. Dicha base de datos está comprendida por las herramientas de corte, parámetros de corte, procesos de mecanizado, materiales habituales en la fabricación de ejes, poleas y engranajes. El conocimiento es modelado y estructurado por los autores del proyecto, ya que es complicado obtener la información de los expertos del maquinado.

Un vistazo general a la estructura funcional del software es:

- ❖ **Obtención de conocimiento.** Adquirido de la experiencia, recursos bibliográficos, etc.

- ❖ **Transformación del conocimiento adquirido.** Proceso de cambio del conocimiento; pasando desde el ámbito empírico-coloquial hasta el técnico.

- ❖ **Creación de base de datos.** Computarizar en documentos de texto dicho conocimiento profesional y técnico, realizado por EXCEL.

- ❖ **Ingreso de parámetros de entrada.** Cada pieza (eje, polea, engranaje) se fabrica a su manera y sus procesos de transformación son diferentes; es por eso que existen parámetros de entrada diferentes.

- ❖ **Relación y parametrización del conocimiento.** Proceso de relación y agrupación del conocimiento, permite desarrollo funcional de SPPM.

- ❖ **Obtención de hoja de ruta (parámetros de salida).** Con el conocimiento estructurado y seleccionado según lo que el usuario desea, el software muestra los

diferentes parámetros de corte soportados en una hoja de ruta. Además, muestra características de fabricación, procesos y máquina herramienta.

Se procede a explicar las entradas y salidas de parámetros, comprendiendo el funcionamiento y estructura de SPPM.

5.1 ESPECIFICACION DE PARAMETROS DE ENTRADA Y SALIDA

SPPM es un prototipo, el cual busca seleccionar parámetros y procesos de mecanizado a tres (3) piezas metalmecánicas. Cada pieza posee procesos de fabricación diferentes, además algunas no se fabrican con los mismos materiales habitualmente. Esto Implica que cada pieza cuenta con ciertas cantidades de parámetros de entrada como de salida.

Figura 54. Entradas y salidas SPPM



5.1.1 Parámetros de entrada del engranaje recto. Los engranajes poseen características habituales; el módulo (m) y el número de dientes (z) que lo componen son algunas de ellas. A continuación, se muestran los parámetros de entrada principales que requiere SPPM para obtener la hoja de ruta respectiva:

- ❖ **Material.** El usuario en primer lugar ingresa el material de fabricación del engranaje (ISO P-M)

- ❖ **Modulo.** Es una característica específica de los engranajes, el usuario selecciona el módulo con el cual desea fabricar la pieza (Modulo 1- 1,5 - 2).

❖ **Numero de dientes.** Así como el módulo, el número de dientes es un dato específico de los engranajes, el usuario ingresa dicho valor (Dientes 60 – 65 – 70.)

Existen otros parámetros de entrada secundarios, que radican en la toma de decisiones del usuario y de la pieza a desarrollar, ellos son:

❖ **Cubo (Dcubo).** El usuario debe tomar la siguiente decisión:

- **NO TIENE CUBO.** El software salta a la siguiente decisión.
- **SI TIENE CUBO.** Seleccionar si es por *un lado* o *ambos lados*; luego salta a la siguiente decisión.

❖ **Diámetro intermedio (Dint).** El usuario ingresa la decisión:

- **NO TIENE DIAMETRO INTERMEDIO.** El software salta a la siguiente decisión.
- **SI TIENE DIAMETRO INTERMEDIO.** El software salta a la siguiente decisión.

❖ **Chaveta.** El usuario selecciona la opción específica:

- **NO TIENE CHAVETA.** El software salta a la siguiente decisión.
- **TIENE CHAVETA.** Seleccionar cuantas chavetas posee; una (1) *chaveta* o dos (2) *chavetas*; luego salta a la siguiente decisión.

❖ **Reducción de peso (DRP).** El usuario selecciona la opción específica:

- **NO TIENE REDUCCION DE PESO.** El software salta a la siguiente decisión.
- **TIENE REDUCCION DE PESO.** Seleccionar cuantos orificios posee; dos (2), tres (3) o cuatro (4) orificios.

Finalmente, el software no solicitara más parámetros de ingreso al sistema. En la Figura 46, se visualizan un plano de corte de un engranaje con los parámetros de entrada secundarios, con el fin de aclarar su concepto.

5.1.2 Parámetros de entrada de la polea. Las poleas, se parecen mucho en la fabricación a los engranajes rectos; poseen características habituales; tipo de llanta, diámetro exterior (De) de la polea. A continuación, se muestran los parámetros de entrada principales que requiere SPPM para obtener la hoja de ruta respectiva:

❖ **Material.** El usuario en primer lugar ingresa el material de fabricación de la polea (ISO K-N)

❖ **Tipo de llanta.** Es una característica específica de la polea, el usuario ingresa el tipo de llanta (Llanta tipo A-B-C).

❖ **Cantidad de llantas.** El usuario ingresa la cantidad de llantas que posee la polea.

❖ **Diámetro externo (De).** Es un dato ingresado o seleccionado por el usuario.

Los parámetros secundarios de la polea son los mismos a los del engranaje, que radican en la toma de decisiones del usuario y de la pieza a desarrollar, ellos son:

❖ **Cubo (Dcubo).** El usuario debe tomar la siguiente decisión:

- **NO TIENE CUBO.** El software salta a la siguiente decisión.
- **SI TIENE CUBO.** Seleccionar si es por *un lado* o *ambos lados*; luego salta a la siguiente decisión.

❖ **Diámetro intermedio (Dint).** El usuario ingresa la decisión:

- **NO TIENE DIAMETRO INTERMEDIO.** El software salta a la siguiente decisión.
- **SI TIENE DIAMETRO INTERMEDIO.** El software salta a la siguiente decisión.

- ❖ **Chaveta.** El usuario selecciona la opción específica:
 - **NO TIENE CHAVETA.** El software salta a la siguiente decisión.
 - **SI TIENE CHAVETA.** Seleccionar cuantas chavetas posee; una (1) *chaveta* o dos (2) *chavetas*; luego salta a la siguiente decisión.
- ❖ **Reducción de peso (DRP).** El usuario selecciona la opción específica:
 - **NO TIENE REDUCCION DE PESO.** El software salta a la siguiente decisión.
 - **TIENE REDUCCION DE PESO.** Seleccionar cuantos orificios posee; dos (2), tres (3) o cuatro (4) orificios.

SPPM no pedirá más parámetros de ingreso al sistema. En la Figura 44, se visualizan un plano de corte de los parámetros de entrada secundarios de la polea, con el fin de aclarar su concepto.

5.1.3 Parámetros de entrada del eje de transmisión. A continuación, se muestran los parámetros de entrada principales que requiere SPPM para obtener la hoja de ruta respectiva:

- ❖ **Material.** El usuario en primer lugar ingresa el material de fabricación del eje (ISO P-M)

- ❖ **Diámetros de cambio de sección.** El usuario ingresa el trio de diámetros (D1-D2-D3) con el fin de conocer los diferentes cambios de sección del eje.

- ❖ **Ranura.** El usuario ingresa la decisión:
 - **NO TIENE RANURA.** El software salta a la siguiente decisión.
 - **SI TIENE RANURA.** El software salta a la siguiente decisión.

- ❖ **Rosca.** El usuario selecciona la opción específica:
 - **NO TIENE ROSCA.** El software salta a la siguiente decisión.
 - **TIENE ROSCA.** El software salta a la siguiente decisión.

- ❖ **Agujero.** El usuario selecciona la opción específica:
 - **NO TIENE AGUJERO.** El software salta a la siguiente decisión.
 - **TIENE AGUJERO.** El software salta a la siguiente decisión.

- ❖ **Estrías.** El usuario selecciona la opción específica:
 - **NO TIENE ESTRIA.** El software finaliza.
 - **TIENE ESTRIA.** El software finaliza.

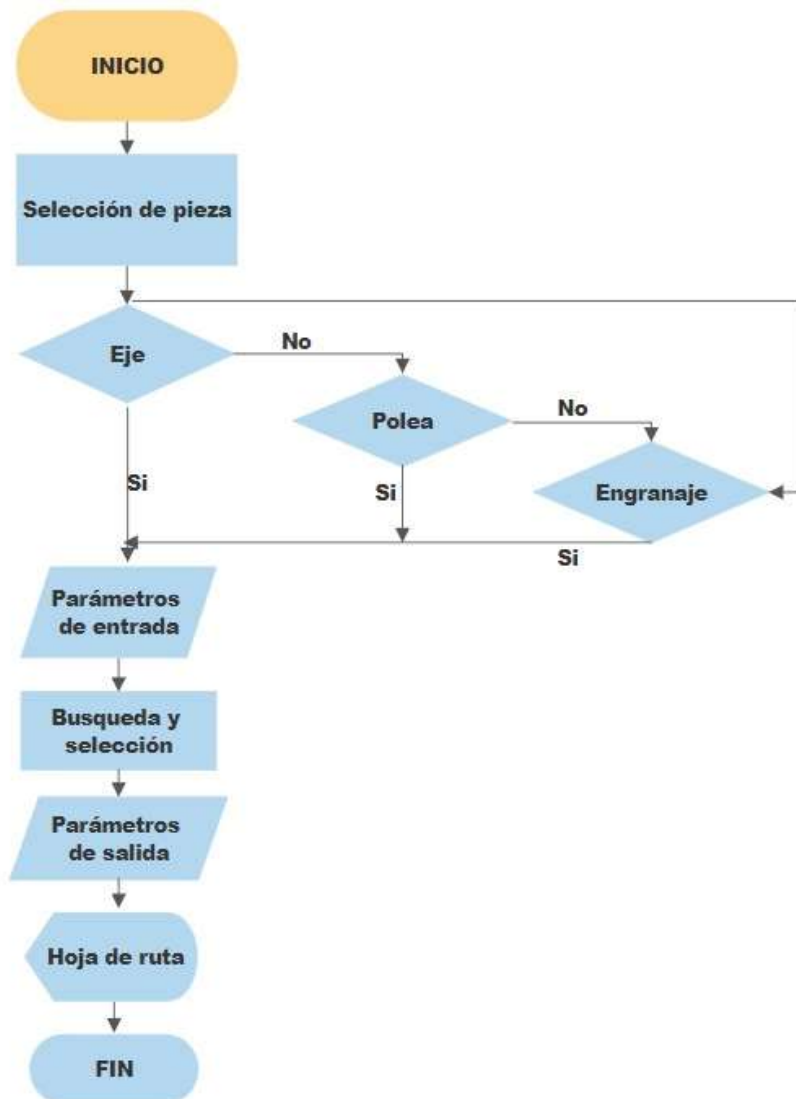
SPPM no pedirá más parámetros de ingreso al sistema. En la Figura 47, se visualizan un plano de lateral con los parámetros de entrada secundarios del eje de transmisión, con el fin de aclarar su concepto.

Una vez SPPM reciba los parámetros de entrada, realice la relación de conocimiento y parametrización; es la hora de mostrar los parámetros de salida en una hoja de ruta. En la hoja de ruta se muestran los parámetros de corte, dichos parámetros de corte son los de salida. Los parámetros de salida son:

- ❖ Velocidades de corte y avance
- ❖ Avance de corte y por diente
- ❖ Profundidad de corte
- ❖ Herramienta de corte
- ❖ Tiempo de ciclo

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL APLICATIVO

A continuación, se visualiza un diagrama de flujo de la estructura funcional general de SPPM.



Los procesos de BUSQUEDA Y SELECCIÓN de cada pieza, se visualizan en el **ANEXO F**; ahí es posible observar mediante diagramas de flujos, la serie de pasos y decisiones a tomar según los parámetros de entrada.

6. DESARROLLO

SPPM implementa diferentes módulos, los cuales se encargan de diferentes funciones dentro del software, desde el registro e ingreso de datos, hasta la generación de la hoja de ruta para las diferentes piezas que se presentan en él. Algunos módulos cuentan con submódulos surgidos durante la fase de diseño del software. En el **ANEXO G**, se visualiza el manual de operación de SPPM, en él es posible observar las diferentes funciones del software y sus submodulos.

6.1 INICIO DE SESION

El módulo de inicio permite a los usuarios registrados en la base de datos, ingresar al aplicativo mediante un usuario y contraseña. Los usuarios ingresan por medio de un único rol denominado administrador (*Admin*), dicho rol permite parametrizar las diferentes tablas de base de datos, generando cambios en ella, y ejecutar los módulos relacionados con el mecanizado de las piezas. En la Figura 55, se ilustra el módulo de inicio de sesión de SPPM.

Figura 55.Módulo de inicio de sesión



6.2 MENU PRINCIPAL

SPPM cuenta con un menú principal, permitiendo la interacción del usuario con el software, se diseñó de tal manera que sea fácil de entender. El menú cuenta con:

- ❖ Creación de piezas.
- ❖ Administrar usuarios.
- ❖ Registrar datos de piezas.
- ❖ Consultas.
- ❖ Parametrización.
- ❖ Desconectar.

Figura 56. Menú principal SPPM



6.3 MODULO DE ADMINISTRACION DE USUARIOS

SPPM cuenta con un módulo el cual se registran y/o modifican los datos para usuarios nuevos. El rol de cada usuario es de administrador, el cual tiene acceso completo al software, tanto como la modificación de base de datos, como en la ejecución y creación de nuevas piezas. En la Figura 57, se ilustra el módulo de administración de SPPM.

Figura 57. Administración de usuarios SPPM



- ❖ **Crear usuarios.** Permite ingresar a la base de datos nuevos usuarios.
- ❖ **Modificar usuarios.** Altera la base de datos de los usuarios, permitiendo cambiar ciertas características o eliminar.
- ❖ **Salir.** Abandona el módulo de administración de usuarios, enviando al menú principal.

6.4 MODULO DE REGISTRO DE PIEZAS

El módulo de registro permite al usuario administrador crear nuevas piezas que pueden ser utilizadas dentro de la parametrización, por ejemplo, tornillos, engranajes cónicos, etc. Se procede a crear la pieza, posteriormente se agrega su información a la base de datos, de esta manera generar la parametrización y hojas de ruta de fabricación de la nueva pieza. Esto permite que el software sea actualizable para futuros cambios y/o creación de nuevas piezas para las empresas.

Figura 58. Módulo de registro de piezas



6.5 MODULO DE PARAMETRIZACION

Inicialmente el usuario selecciona la pieza a fabricar, luego es dirigido a un formato de parametrización dependiendo de la pieza seleccionada. Mediante el uso de botones de selección y cajas de texto, procede a la caracterización del maquinado. En la Figura 59, se observa el formato de parametrización para una polea.

Figura 59. Módulo de parametrización

Parametrización::Polea
Registro No. 34
PARÁMETROS INICIALES

Material:

Tipo de Lantas:

Num. Lantas:

Diametro Externo(mm):

Diametro del Eje:

Diámetro Intermedio:

Diámetro Intermedio(mm):

Profundidad(mm):

Cubo:

Diametro 1(mm):

Longitud1:

Diametro 2(mm):

Longitud2:

PARAMETROS DE UNION Y PESO

Tipo de Unión:

Ancho:

Alto:

Reduccion de Peso:

Diametro del orificio(mm):

Profundidad orificio(mm):

Finalizada la parametrización, el usuario puede:

Vista previa. Permite observar la visualización previa de la parametrización por medio de una imagen.

Cancelar. Dirige al usuario al menú principal, cancelando la parametrizado realizada.

Imprimir. SPPM imprime la parametrización como se visualiza en la Figura 59.

Inserta registro. El usuario guarda la parametrización, dirigiéndola al módulo de consultas.

6.6 MODULO DE CONSULTAS

En el módulo de consultas se aprecian todos los registros guardados por el usuario, por cada parametrización, registrado de piezas, materiales y usuarios que se efectúe.

Figura 60. Módulo de consulta




En el submódulo de Hoja de ruta, como se visualiza en la Figura 61, se muestran los diferentes registros de parametrización de piezas. El icono ubicado en la sección derecha con forma de ojo permite visualizar las hojas de ruta respectivas para cada pieza, observar la Figura 62.


Figura 61. Submódulo de hoja de ruta

 CONSULTA DE MOVIMIENTOS






MAQUINADO DE ENGRANAJES RECTOS

ID Parametro	Pieza	Material	Diámetro Exterior	Hoja de Ruta
				

MAQUINADO DE EJES

ID Parametro	Pieza	Material	Diámetro Exterior	Hoja de Ruta
				

MAQUINADO DE POLEAS

ID Parametro	Pieza	Tipo Usado	Material	Diámetro Exterior	Hoja de Ruta
11	Polea	A	556.3	100	
13	Polea	A	590.3	87	
9	Polea	A	A399.1	70	
12	Polea	A	A413.0	78	
10	Polea	A	A413.2	74	

6.7 MODULO DESCONECTAR

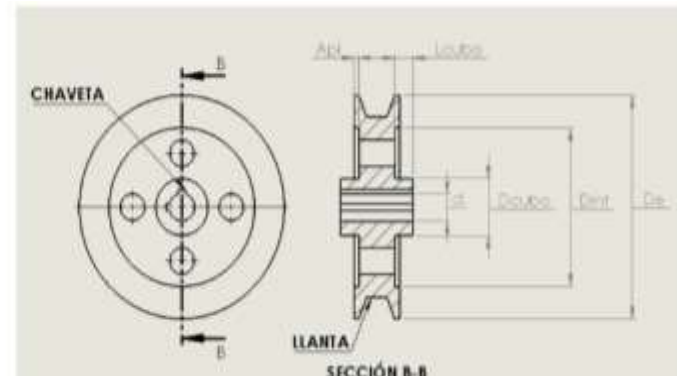
Dirige al usuario afuera de SPPM, específicamente al módulo de inicio de sección.

Figura 62.Hoja de ruta

No. PIEZA		NOMBRE DE PIEZA		CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA																											
3		Poles		TIPO DE LLANTA (A-B-C) A																											
MATERIAS		PLASTIFICADOR		ALLANTASO(2-9) 1																											
356.1		Admin		DIAMETRO EXTERIOR (D _e) 102																											
No. PROCESO		OPERACION		MAQUINA		HERRAMIENTA		PARAMETROS DE CORTE																							
								V _c (m/min)	V _c 2(m/min)	V _c 3(m/min)	f _z (mm/rev)	f _z 2(mm/rev)	f _z 3(mm/rev)	f _z 4(mm/rev)	f _z 5(mm/rev)	f _z 6(mm/rev)	f _z 7(mm/rev)	f _z 8(mm/rev)	f _z 9(mm/rev)	f _z 10(mm/rev)	f _z 11(mm/rev)	f _z 12(mm/rev)	f _z 13(mm/rev)	f _z 14(mm/rev)	f _z 15(mm/rev)	f _z 16(mm/rev)	f _z 17(mm/rev)	f _z 18(mm/rev)	f _z 19(mm/rev)	f _z 20(mm/rev)	Tiempo de Corte (min)
1		TRONZADO DE BARRA	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	N1281-0308-0002-CM 1125	2500	0	0	0.1250	0.0312																						6.660
2		REFRENTADO DE CARA	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	KCGX 03 T5 540-AL H10	2500	0	0	0.7000	0.4150																						3.150
3		CILINDRADO EXTERIOR	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	KCGX 03 T5 540-AL H10	2500	0	0	0.7000	0.4130																						1.7642596
4		TALADRAO DEL EJE	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	870-1500-15-PN2 4334	188	0	0	0.2000																							1.44844
5		CILINDRADO EXTERIOR - REFRENTADO DEL CUBO 1	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	CCGX 09 T5 98-AL H10	844	328	883	0.2500	0.1650	0.165																					25.980
6		CILINDRADO EXTERIOR - REFRENTADO DEL CUBO 2	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	CCGX 09 T5 98-AL H10	844	328	883	0.2500	0.1670	0.165																					25.980
7		ELABORAZO FRONTAL DIAMETRO INTERMEDIO	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)		0	0	0																								0
8		TALADRAO DE REDUCCION DE PESO	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	870-1400-14-2P 4334	116	0	0	0.3170																							0.770
9		TALLADO DE LA LLANTA DE LA POLEA	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	N1010-0308-0004-TF H11A	1480	0	0	0.1000	0.2000																						2.280
10		TALLADO DE CHAVETA	TORNO 03-MED (PORTAPIEZA 6-12)	2P120-0400-NC H10F	228	0	0																								0.990

Imprimir Salir

POLEA			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	356.1	D. Eje - d	15
Tipo de Llanta	A		
Número de Liantas	1		
Diámetro Exterior	102		
Cubo	Ambos Lados	Dcubo - Lcubo	50 - 20
Diámetro Intermedio	Presenta	DINT	78
Reducción de Peso	4	DRP	14
Chaveta	3	Ancho - Alto	4 - 3



7. PRUEBAS Y ANALISIS ECONOMICO

7.1 PRUEBAS DE INTEGRIDAD DE DATOS

En este capítulo, se comprueban las fases de diseño, parametrización y desarrollo del software, realizando las pruebas de validación de datos. *SPPM* inicia con la selección del *material de la pieza*, el usuario ingresa los *parámetros de entrada* y finaliza con la generación de la *hoja de ruta*, donde se exponen los parámetros de salida. Sin embargo, la parametrización varía según la pieza seleccionada, pues cada una de ellas posee características y operaciones de fabricación específicas.

Las pruebas consisten en obtener hojas de ruta para cada una de las piezas, comparando la integridad de los datos. Este proceso permite ratificar que *SPPM*, parametriza exitosamente los valores tomados de la base de datos, y son mostrados según lo esperado.

Las siguientes tablas mostraran los parámetros de entrada para realizar la integridad de datos:

7.1.1 Prueba 1 integridad de datos

Tabla 11. Parametrización de entrada de la polea

POLEA			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	356.1	D.eje - d	15
Tipo de llanta	A		
Numero de llantas	1		
Diámetro exterior	102		
Cubo	Ambos lados	DME - Lc	50 - 20
Diámetro intermedio	tiene	DINT - ap	78 - 4

Reducción de peso	Tiene 2 orificios	DRP	14
Chaveta	Tiene 1 chaveta	Ancho - Alto	4 - 3

Tabla 12. Parámetros de salida de polea.

No. PROCESO	HERRAMIENTA	VC1 -VC2-VC3 [m/min]	f1-f2-f3 [mm/rev]	FZ [mm/rev]	ap1-ap2-ap3 [mm]	Vf [mm/min]	N° PASADAS [P1-P2-P3]	Tiempo de Ciclo [min]
1	N123G1-0300-0002-CM 1125	1530 - -	0,125 - 0,0312 -	-	---	-	1 - -	6,66
2	RCGX 10 T3 M0-AL H10.	1330 - -	0,7-0,415 -	-	1 - -	-	1 - -	3,75
3	RCGX 10 T3 M0-AL H10.	1310 - -	0,7-0,415 -	-	1 - -	-	1 - -	1,933
4	870-1500-15-PM 4334.	188 - -	0,293 - -	-	---	1170	1 - -	1,5
5	CCGX 09 T3 08-AL H10	1250-628-1280	0,25-0,165-0,165	-	1,45-1,4-1,4	-	17 -1 -1	25,98
6	CCGX 09 T3 08-AL H10	1250-628-1280	0,25-0,165-0,165	-	1,45-1,4-1,4	-	17 -1 -1	25,98
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	N123J2-0500-0004-TF H13A.	1490 -	0,16-0,26 -	-	-	-	1 - -	2,28
10	2P120-0400-NC H10F.	226.	-	0,046	3.	-	1 - -	0,996

7.1.2 Prueba 2 integridad de datos

Tabla 13. Parametrización de entrada del engranaje

ENGRANAJE			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	AISI 8620	D.eje - d	15
Modulo	1		
Numero de dientes	75		
Diámetro exterior	77		
Cubo	Ambos lados	DME - Lc	50 - 20
Diámetro intermedio	Tiene	DINT - ap	62,67 - 3
Reducción de peso	Tiene 2 orificios	DRP	10
Chaveta	Tiene 1 chaveta	Ancho - Alto	4 - 3

Tabla 14. Parámetros de salida del engranaje

No. PROCESO	HERRAMIENTA	VC1 -VC2-VC3 [m/min]	f1-f2-f3 [mm/rev]	FZ [mm/rev]	ap1-ap2-ap3 [mm]	Vf [mm/min]	N° PASADAS [P1-P2-P3]	Tiempo de Ciclo [min]
1	QD-NG-0300-0003-CR 1125	196 --	0,15 - 0,0375-	-	---	-	1 --	6,48
2	CNMG 12 04 16-XMR 4325	457 --	0,234 --	-	1 --	-	1 --	3,756
3	CNMG 16 06 16-PM 4325	447 --	0,234 --	-	2 --	-	1 --	2,4436
4	870-1500-15-PM 4334	127 --	0,306 --	-	---	842	1 --	1,392
5	CNMG 16 06 08-PM 4325	409 -494 -494	0,3 -0,165 -0,165	-	3,89 -2,12 -2,12	-	3-1- 1	9,9
6	CNMG 16 06 08-PM 4325	409 -494 -494	0,3 -0,165 -0,165	-	3,89 -2,12 -2,12	-	3-1- 1	9,9
7	QFT-H-0400-03-TF 1125	223 --	0,1 --	-	3 --	-	1 --	3,006
8	-	-	-	-	---	-	---	-
9	5100	40	0,04 --	-	---	-	---	118,125
10	2P342-0400-PA 1730	178-0-0	-	0,222	3 --	-	1 --	2,052

7.1.3 Prueba 3 integridad de datos

Tabla 15. Parametrización de entrada del eje

EJE			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	AISI 5155		
D1 – D2 – D3	25 – 30 - 40		
Ranura	Tiene	ap – L	3 - 3
Estría	Tiene	b–h-L-Numero	3-2-30-12
Chaveta	No tiene		
Rosca ext	Tiene	Tipo - paso	M24 – 1,5
Rosca int	No tiene	Tipo - paso	M14 – 0,5
Agujero	Tiene	Dagujero	15

Tabla 16. Parametros de salida del eje

No. PROCESO	HERRAMIENTA	VC1 -VC2-VC3 [m/min]	f1-f2-f3 [mm/rev]	FZ [mm/rev]	ap1-ap2-ap3 [mm]	Vf [mm/min]	N° PASADAS [P1-P2-P3]	Tiempo de Ciclo [min]
1	QD-NE-0200-0003-CR 1125.	130 --	0,13-0,0325-	-	-	-	1	3,91
2	CNMG 16 06 16-PM 4335	230-283-	0,4-0,234-	-	3,63-2,24-0	-	2-1-	18,12
3	CNMG 12 04 16-PM 4325.	230-283-	0,4-0,234-	-	2,55-1,9-0	-	2-1-	10,2
4	CP-B1108-M5W 4325.	325 --	0,33- -	-	2-0-0	-	1	1,56
5	CNMG 12 04 16-PM 4325.	230-283-	0,4-0,234-	-	2,55-1,9-0	-	2-1	5,16
6	CNMG 16 06 16-PM 4335	303-364-	0,4-0,234-	-	3,63-2,24-0	-	2-1	3,834
7	CNMG 12 04 04-PM 4335.	297-297-337.	0,2-0,2-0,117.	-	1,79-1,42-1,42.	-	2-1-1	2,13
8	N123G2-0300-0004-TM 4325	206- --	0,12 --	-	3-0-0	-	1	0,112
9	2P342-0400-PA 1730	135 --	-	0,0185	2-0-0	-	1	42,048
10	266RG-16MM02A150M 1125	153 --	1,5-0-0	-	-	-	5 --	3,672
11	870-1500-15-PM 4334	106 --	0,285-0-0	-	-	639	1	3,324
12	-	-	-	-	-	-	-	-

Teniendo en cuenta los parámetros a ingresar y obtener, a continuación, se exponen los pasos para la parametrización en la selección de procesos y parámetros de corte en la patea; para las demás piezas, la metodología es igual. En primer lugar, el administrador ingresa al software registrando el *usuario* y *contraseña* suministrada; dicho paso se observa en la Figura 55.

7.1.4 Proceso de integridad de datos patea. En el módulo *Parametrización*, el administrador ingresa los datos de entrada de cada pieza, en este caso se visualiza el proceso de parametrización de la patea:

❖ **Selección de pieza.** El usuario selecciona la pieza a fabricar, de esta manera *SPPM* filtra la parametrización adecuada para cada pieza. Al seleccionar la pieza;

aparece el formato de parametrización adecuado, ratificando la integridad en la selección. En la Figura 63 se visualiza lo explicado con anterioridad.

Figura 63. Selección de piezas.

Identificación de la Pieza:

- Seleccionar Pieza
- Engranaje recto
- Eje de transmisión
- Polea**

Parametrización: Polea

Registro No. 34

PARÁMETROS INICIALES

Material:

Tipo de Llantas:

Num. Llantas:

Diametro Externo(mm):

Diametro del Eje:

Diámetro Intermedio:

Diámetro Intermedio(mm):

Profundidad(mm):

Cubo:

Diametro 1(mm):

Longitud1:

Diametro 2(mm):

Longitud2:

PARAMETROS DE UNION Y PESO

Tipo de Unión:

Ancho:

Alto:

Reduccion de Peso:

Diametro del orificio(mm):

Profundidad orificio(mm):

❖ **Selección de material.** Una vez se selecciona la pieza a fabricar, SPPM filtra los materiales para cada pieza por medio de una lista desplegable; el usuario selecciona el material de la pieza (polea). La selección del material no genera cambios en la hoja de parametrización. El material seleccionado es una aleación de aluminio 356.1.

Figura 64. Selección de material de la pieza.

Parametrización::Polea
Registro No. 36
PARÁMETROS INICIALES

Material:	356.1
Tipo de Llantas:	Seleccionar
Num. Llantas:	356.1
Díametro Externo(mm):	A360.2
Díametro del Eje:	A380.1
Díametro Intermedio:	A413.0
Díametro Intermedio(mm):	A413.1
Profundidad(mm):	A413.2
Cubo:	N45B
Díametro I(mm):	N50B
	N55B
	100-70-30

Material: 356.1
 Tipo de Llantas: Seleccionar
 Num. Llantas:
 Ancho de la Cara(mm):
 Díametro Intermedio: Seleccionar
 Díametro Intermedio(mm):
 Profundidad(mm):

❖ **Tipo de llanta.** Es un parámetro de entrada de la polea, el cual muestra los tres (3) tipos de llantas posibles a fabricar. Como se observa en la Figura 60, se fabricará una polea tipo A.

Figura 65. Selección del tipo de llanta.

Parametrización::Polea
Registro No. 36
PARÁMETROS INICIALES

Material:	356.1
Tipo de Llantas:	A
Num. Llantas:	Seleccionar
Díametro Externo(mm):	A
Díametro del Eje:	B
Díametro Intermedio:	C
	Seleccionar

Parametrización::Polea
Registro No. 36
PARÁMETROS INICIALES

Material:	356.1
Tipo de Llantas:	A
Num. Llantas:	Seleccionar
Díametro Externo(mm):	<input type="text"/>
Díametro del Eje:	15
Díametro Intermedio:	Seleccionar

❖ **Numero de llantas.** Teniendo en cuenta el tipo de llanta, una lista desplegable, permite al usuario seleccionar la cantidad de llantas que posee la polea. En este caso particular la polea tiene una (1) llanta.

Figura 66. Selección del número de llantas.

Parametrización::Polea
Registro No. 36
PARÁMETROS INICIALES

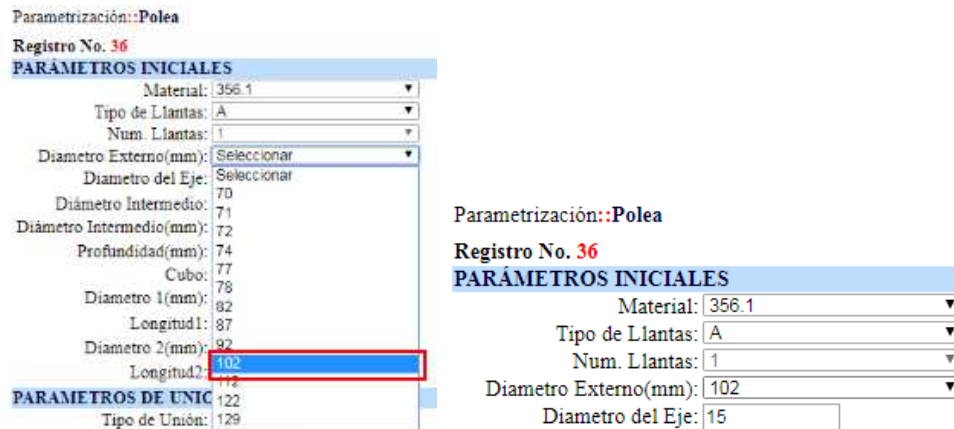
Material:	356.1
Tipo de Llantas:	A
Num. Llantas:	Seleccionar
Díametro Externo(mm):	Seleccionar
Díametro del Eje:	1
Díametro Intermedio:	2
Díametro Intermedio(mm):	3
	<input type="text"/>

Parametrización::Polea
Registro No. 36
PARÁMETROS INICIALES

Material:	356.1
Tipo de Llantas:	A
Num. Llantas:	1
Díametro Externo(mm):	Seleccionar
Díametro del Eje:	15
Díametro Intermedio:	Seleccionar

❖ **Diámetro exterior.** El diámetro externo de la polea es un parámetro que está sujeto al tipo de llanta seleccionado. Para cada tipo de llanta, existen ciertos diámetros exterior de polea. El usuario, selecciona de una lista desplegable el diámetro exterior de la polea. Automáticamente, se establece el parámetro del *diámetro del eje*. Este valor se encuentra consolidado por la base de datos de la polea.

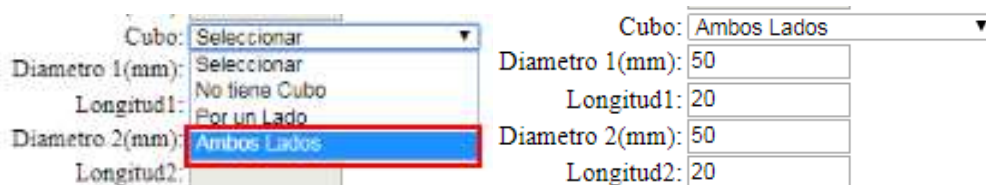
Figura 67. Selección del diámetro exterior



SPPM solicita al usuario una serie de decisiones en la fabricación de la pieza, permitiendo completar la parametrización:

❖ **Cubo.** Una lista desplegable, solicita al usuario si la pieza no tiene o tiene cubo en un lado o en ambos lados de la polea. Los valores del *diámetro del cubo* y *longitud del cubo* aparecen una vez seleccionada la opción tomada. En el ejemplo ilustrativo, la polea cuenta con ambos cubos.

Figura 68. Selección de cubo



Los valores del *diámetro del cubo* y *longitud del cubo* aparecen una vez se toma la decisión. En el ejemplo ilustrativo, la polea cuenta con ambos cubos.

❖ **Diámetro intermedio.** SPPM pide al usuario seleccionar si la pieza *tiene* o *no tiene diámetro intermedio*. Los valores del *diámetro intermedio* y *la profundidad* se establecen según la decisión tomada como se observa en la Figura 69.

Figura 69. Selección del diámetro intermedio.

❖ **Reducción de peso.** El software brinda al usuario las opciones presentes en la Figura 70; de igual forma, el *diámetro de los orificios* y *la profundidad* de estos surge según la opción seleccionada. Para el caso de la polea, selecciono dos orificios como reducción de peso

Figura 70. Selección de reducción de peso.

❖ **Chavetas.** El usuario ingresa si la pieza carece o posee chavetas; si tiene chaveta, ingresara el número de chavetas (1 - 2). En la Figura 66, se observa que hay una (1) chaveta para la pieza de la polea.

Figura 71. Selección de chavetas.

SPPM permite al usuario visualizar la pieza creada, dirigiéndose al botón *Vista previa* permitiendo observar la pieza antes de generar el registro. En *insertar registro* se generan las hojas de ruta; para visualizar los resultados, el usuario se dirige al módulo de *consultas/Parametrización* y busca en las consultas existentes la hoja de ruta que desea ver. Finalmente, es posible imprimir dicho formato de parametrización con el fin de generar un modelo de planeación de procesos, presionando el botón *imprimir*.

Comparando la integridad de los datos de las Tablas 11, 12, 13, 14, 15 y 16 con los valores obtenidos en la hoja de ruta de las Figura 72, 73 y 74. Es posible notar, el éxito de parametrización y desarrollo de SPPM; pues se esperaba obtener dichos parámetros de corte soportados en la hoja de ruta.

Figura 72. Hoja de ruta prueba 1 (Polea)

No. PIEZA		NOMBRE DE PIEZA		CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA														
3		Polea		TIPO DE LLANTA [A-B-C] A														
				# LLANTAS [D-2-3] 1														
				DIÁMETRO EXTERIOR [D _e] 102														
MATERIAL		PLANIFICADOR		PARAMETROS DE CORTE														
356.1		Admin																
No. PROCESO	OPERACION	MAQUINA	HERRAMIENTA	V _{C1} [m/min]	V _{C2} [m/min]	V _{C3} [m/min]	f _t [mm/rev]	f _d [mm/rev]	f _d [mm/rev]	F _Z [mm/rev]	ap1[mm]	ap1[mm]	ap2[mm]	V _f [mm/min]	F1	F2	F3	Tiempo de Ciclo (min)
1	TRONZADO DE BARRA	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	1412301-0950-0003-CA1 1125	1530			0.125	0.0312										6.66
2	REFRENTADO DE CARA	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	RCGX 30 T2 ME-AL H10	1370			0.7	0.415			1							2.75
3	CILINDRADO EXTERIOR	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	RCGX 30 T2 ME-AL H10	1370			0.7	0.415			1							1.8726
4	TALADRADO DEL EJE	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	870-1500-15-PM1 4034	188			0.293							3370				3.5
5	CILINDRADO EXTERIOR + REFRENTADO DEL CUBO 1	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	CCGX 06 T3 08-AL H10	1250	620	1280	0.25	0.360	0.160		1.40	1.40	1.40		17	1	1	25.00
6	CILINDRADO EXTERIOR + REFRENTADO DEL CUBO 2	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")	CCGX 06 T3 08-AL H10	1250	620	1280	0.25	0.360	0.160		1.40	1.40	1.40		17	1	1	25.00
7	PLANURADO FRONTAL DIÁMETRO INTERMEDIO	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")																
8	TALADRADO DE REDUCCIÓN DE PESO	TORSO 63-MED (PORTAPUNZA 6-12")																
9	TALLADO DE LA LLANTA DE LA POLEA	CENTRO DE MECANIZADO UNV	N1332-0500-0004-TF H15A	1490			0.16	0.26										2.28
10	TALLADO DE CHAVETA	CENTRO DE MECANIZADO UNV	2P120-0400-NC H10F	310							0.046	3						0.990



POLEA			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	356.1	D.eje - d	15
Tipo de llanta	A		
Numero de llantas	1		
Diámetro exterior	102		
Cubo	Ambos lados	DME - Lc	50 - 20
Diámetro intermedio	tiene	DINT - ap	78 - 4
Reducción de peso	Tiene 2 orificios	DRP	14
Chaveta	Tiene 1 chaveta	Ancho - Alto	4 - 3

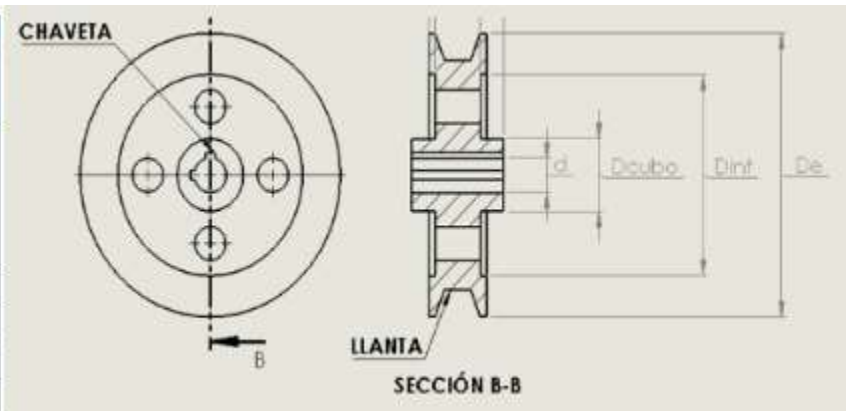
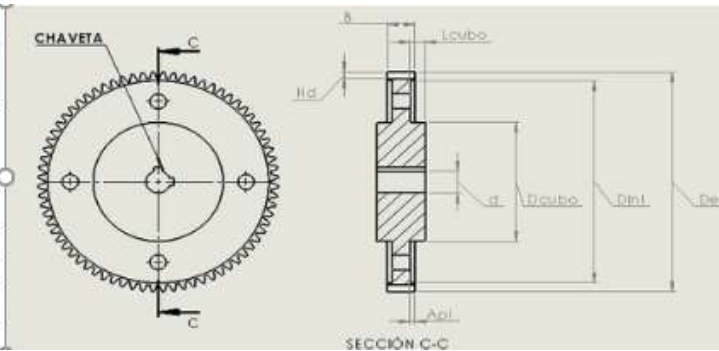


Figura 73. Hoja de ruta prueba 2 (Engranaje)

No. PIEZA		NOMBRE DE PIEZA		CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA														
3		Engranaje recto		MODULO [m]		1												
				# DIENTES [z]		75												
MATERIAL		PLANIFICADOR		DIAMETRO EXTERIOR [De]		77												
AISI 8620		Admin		PARAMETROS DE CORTE														
No. PROCESO	OPERACION	MAQUINA	HERRAMIENTA	VC1[m/min]	VC2[m/min]	VC3[m/min]	f1[mm/rev]	f2[mm/rev]	f3[mm/rev]	FZ[mm/rev]	ap1[mm]	ap2[mm]	ap3[mm]	Vf[mm/min]	P1	P2	P3	Tiempo de Ciclo (min)
1	TRONZADO DE BARRA	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	QD-NG-0300-0003-CR 1125	196			0.15	0.0375							1			6.48
2	REFRENTADO DE CARA	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	CNMIG 12 04 16-XMR 4325	457			0.234				1				1			3.756
3	CILINDRADO EXTERIOR	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	DNMIG 15 06 16-PM 4325	447			0.234				2				1			2.4436
4	TALADRADO DEL EJE	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	870-1500-15-PM 4334	127			0.306							842	1			1.392
5	CILINDRADO EXTERIOR + REFRENTADO DEL CUBO 1	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	CNMIG 19 06 08-PM 4325	409	494	494	0.3	0.165	0.165		3.89	2.12	2.12		3	1	1	9.9
6	CILINDRADO EXTERIOR + REFRENTADO DEL CUBO 2	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	CNMIG 19 06 08-PM 4325	409	494	494	0.3	0.165	0.165		3.89	2.12	2.12		3	1	1	9.9
7	RANURADO FRONTAL DIAMETRO INTERMEDIO	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")	QFT-H-0400-02-GF 1125	223			0.1				3				1			3.006
8	TALADRADO DE REDUCCION DE PESO	TORNO 03-MED (PORTAPINZA 6-12")																
9	TALLADO DE DIENTES	CENTRO DE MECANIZADO UNV	5100	40			0.04								1			118.125
10	TALLADO DE CHAVETA	CENTRO DE MECANIZADO UNV	2P342-0400-PA 1730	178						0.222	3				1			2.052

Imprimir Salir

ENGRANAJE			
PARAMETROS DE ENTRADA	SELECCIONADO	VALORES FIJOS/ESTABLECIDOS	
Material	AISI 8620	D.eje - d	15
Modulo	1		
Numero de dientes	75		
Diámetro exterior	77	DME - Lc	50 - 20
Cubo	Ambos lados		
Diámetro intermedio	Tiene	DINT - ap	62.67 - 3
Reducción de peso	Tiene 2 orificios	DRP	10
Chaveta	Tiene 1 chaveta	Ancho - Alto	4 - 3



7.2 ANALISIS ECONOMICO

A continuación, se procede a realizar el proceso de identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Herramientas financieras como el VPN (valor presente neto) y la TIR (tasa interna de retorno), permiten determinar de forma general la viabilidad económica de un proyecto bajo condiciones y eventos puntuales que se exponen posteriormente.

Inicialmente se requiere establecer el valor total de la inversión requerida, en el cual se tiene en cuenta cada uno de los componentes necesarios para su instalación.

Tabla 17. Costo total de instalación.

COSTO TOTAL DE INSTALACION	
ELEMENTO	VALOR
Licencia del Software	\$9'000.000
Computador.	\$1'500.000
Mano de obra del programador.	\$700.000
Consumo energético mensual (aprox).	\$70.000
Costos por mantenimiento preventivo y correctivo.	\$100.000
Complementos en el espacio de instalación.	\$200.000
SUBTOTAL	\$11'570.000
Imprevistos (10%)	\$1'157.000
TOTAL	\$12'727.000

7.2.1 Viabilidad económica del proyecto.

❖ **Recuperación de la inversión.** Inicialmente, es necesario consultar con talleres de mecanizado la cantidad de piezas que fabrican mensualmente y el tiempo que se invierte en cada una. Posteriormente se realiza el mismo análisis teniendo en cuenta la implementación de software propuesto y comparar el número de piezas mecanizadas en un mismo periodo de tiempo.

Tabla 18. Análisis comparativo del tiempo de mecanizado entre la selección manual y la implementación del software.

PIEZA	ESPECIFICACIONES	TIEMPO SELECCIÓN MANUAL	TIEMPO SOFTWARE
Engranaje	AISI 304 LN Mod 1 127 dientes De=129 mm	480 min	435,16 min
Polea	Fundición 100-70-03 Tipo de llanta C 3 llantas De=148 mm	180 min	153 min
Eje	AISI 304 LN D1= 29 mm D2= 34 mm D3= 44 mm	350 min	308,18 min

A continuación, se compara el número de piezas fabricadas mensualmente con el estimado implementando el software propuesto, suponiendo que se invierte la misma cantidad de tiempo. De esta manera se determina un excedente en las piezas mecanizadas que garantizan la optimización del sistema.

Tabla 19. Análisis comparativo de la cantidad de piezas mecanizadas mensualmente.

PIEZA	No. piezas vendidas selección manual	No. piezas vendidas con el software	Excedente
Engranaje	30	33	3
Polea	50	58	8
Eje	60	68	8

Para determinar un tiempo aproximado en el cual se recupera la inversión realizada, se tiene en cuenta el costo de cada pieza y se asume que las ganancias son atribuidas al 35 % de ese valor, como se expone en la siguiente tabla.

Tabla 20. Ganancias atribuidas al software propuesto.

PIEZA	No. De piezas excedentes.	Precio de venta de cada pieza.	Precio total de las piezas	Ganancias mensuales (35%)
Engranaje	3	\$170.000	\$510.000	\$178.500
Polea	8	\$70.000	\$560.000	\$196.000
Eje	8	\$120.000	\$960.000	\$336.000
GANANCIAS TOTALES				\$710.500

Tabla 21. Tiempo estimado de recuperación de la inversión.

MES	GANANCIAS MENSUALES.	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN
0	\$710.500	\$ (12'727.000)
1	\$710.500	\$ (12'016.500)
2	\$710.500	\$ (11'306.000)
3	\$710.500	\$ (10'595.500)
4	\$710.500	\$ (9'885.000)
5	\$710.500	\$ (9'174.500)
6	\$710.500	\$ (8'464.000)
7	\$710.500	\$ (7'753.500)
8	\$710.500	\$ (7'043.000)
9	\$710.500	\$ (6'332.500)

10	\$710.500	\$ (5'622.000)
11	\$710.500	\$ (4'911.500)
12	\$710.500	\$ (4'201.000)
13	\$710.500	\$ (3'490.500)
14	\$710.500	\$ (2'780.000)
15	\$710.500	\$ (2'069.500)
16	\$710.500	\$ (1'359.000)
17	\$710.500	\$ (648.500)
18	\$710.500	\$ 62.000

❖ VPN Y TIR

Para determinar los ingresos anuales después de implementar el software que se propone, se tiene en cuenta que mensualmente se mecanizan 33 engranajes, 58 poleas y 68 ejes. Para el flujo de egresos se asumen unos costos operacionales del 93% ya que se considera un 7% de ganancias atribuidas al proceso de selección de parámetros y procesos de mecanizado. Así mismo, se establece que anualmente se invierte un 35% del costo total de instalación para realizar mantenimiento preventivo y correctivo.

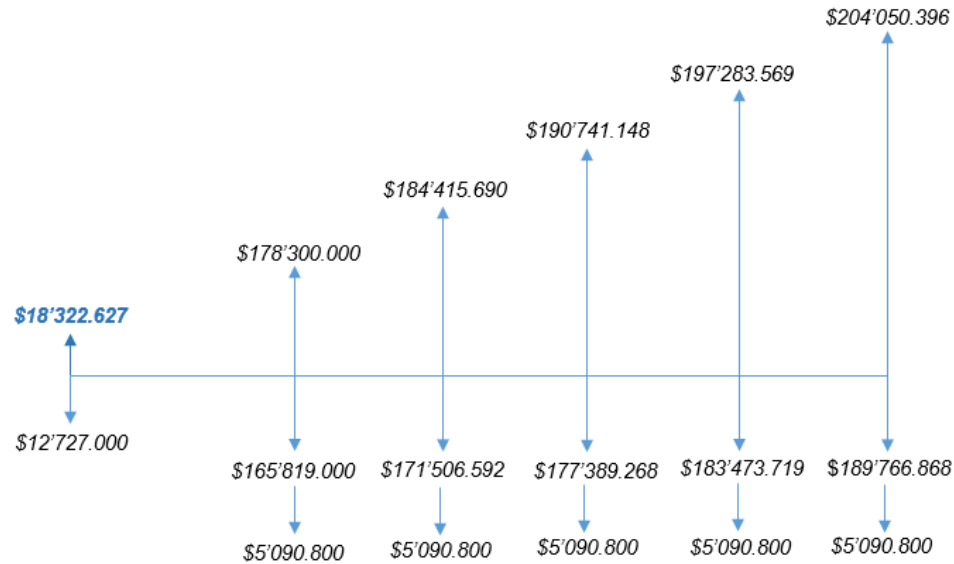
En el flujo de ingresos del año 1 se tienen las ventas de la cantidad de piezas producidas al año. En el año 2 se asumen los mismos ingresos del año 1 con un aumento del 3,43%, que corresponde a la inflación anual del IPC (Índice de precios al consumidor).

Tabla 22. Cálculo del flujo efectivo neto.

AÑO	FLUJO INGRESOS	FLUJO EGRESOS	
		Costos operativos	Costos por mantenimiento
1	\$178'300.000	\$165'819.000	\$5'090.800
2	\$184'415.690	\$171'506.592	\$5'090.800

3	\$190'741.148	\$177'389.268	\$5'090.800
4	\$197'283.569	\$183'473.719	\$5'090.800
5	\$204'050.396	\$189'766.868	\$5'090.800

Figura 75. Diagrama ingresos-egresos para el cálculo del VPN.



Para calcular el VPN se establece una tasa de interés del 10% y la inversión inicial ya calculada de \$12'727.000. Se obtiene un valor de **\$18'322.627** para el valor presente neto, del cual se concluye que además de recuperar la inversión, se obtiene el retorno buscado al establecer la tasa (\$12'727.000 más el 10%) y un remanente sobre el retorno requerido (\$18'322.627), por lo tanto, el proyecto es económicamente rentable.

Por último, se seleccionan los valores del flujo efectivo neto y la inversión inicial para obtener la tasa interna de retorno (TIR) mediante la siguiente ecuación

$$I_0 = \frac{U_1}{1 + TIR} + \frac{U_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{U_3}{(1 + TIR)^3} + \frac{U_4}{(1 + TIR)^4} + \frac{U_5}{(1 + TIR)^5}$$

la cual indica la tasa máxima de descuento que se puede aplicar para que el proyecto sea rentable y, a su vez, la tasa que corresponde a la rentabilidad, rendimiento o beneficio que se tendrá sobre la inversión realizada en el periodo de tiempo analizado.

El valor arrojado por el cálculo es de **55%**, al no ser menor o igual a la tasa de interés establecida, indica que el proyecto es viable financieramente.

8. CONCLUSIONES.

- ❖ El desarrollo de SPPM aportó a la misión de la escuela de ingeniería mecánica UIS, mediante el uso de herramientas tecnológicas permite el crecimiento productivo en el campo metalmecánico.

- ❖ La generación de una base de conocimiento ayuda a la recolección de información crucial en el campo metalmecánico; conceptos ambiguos, conocimientos adquiridos por operarios experimentados del área, métodos y procedimientos empíricos. Convirtiéndose en una herramienta muy útil para las empresas, permitiendo obtener una data unificada y segura en la selección de parámetros de corte y procesos de mecanizado. SPPM cuenta con 82 bases de datos o registros, siendo gran aporte para el desarrollo del software.

- ❖ La herramienta software, teniendo en cuenta los parámetros de entrada para cada pieza, logra una adecuada parametrización de la información; permitiendo obtener las hojas de rutas. Dichas hojas de ruta, contiene los parámetros de salida (*parámetros de corte*); según la pieza a fabricar, *SPPM* busca, filtra, parametriza y proyecta los valores adecuados de parámetros de corte. Confirmando así, la funcionalidad y éxito del aplicativo *SPPM*.

- ❖ Por medio del desarrollo de módulos de trabajo, *SPPM* permite obtener al usuario:
 - Visualización clara de la base de conocimientos.
 - Organización de la base de conocimientos.
 - Facilidad del manejo del conocimiento.
 - Seguridad del manejo de la información.
 - Actualización y proyección del software.
 - Parámetros de mecanizado según las indicaciones del usuario.

- Ahorro de tiempo, material
- Ganancias de producción

❖ Elaborando un manual de operación de *SPPM* permite comprender; los módulos de operación, su funcionamiento y el alcance de estos. Evidenciando la implementación de un trabajo interdisciplinario en un fuerte de la ingeniería mecánica soportado con bases de *IA (Inteligencia Artificial)*; concluyendo que ambas ramas pueden estar relacionadas en la solución de problemas en el campo de la ingeniería.

BIBLIOGRAFIA

BROCATE, Jefferson; RADUALES, Arturo. Implementación de un software para la planeación de procesos asistida por computadora CAPP en la manufactura de la empresa Marcos Milán S.A.S. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016. 188 p.

CUSTOMPART.NET. Maryland, Selector de procesos. [En línea] (Recuperado en 14 septiembre 2019). Disponible en: <https://www.custompartnet.com/process-selector>

GAMBOA, Jenny; GOMEZ, Andrés. Software para la planeación de procesos asistida por computador (CAPP) en industrias Acuña LTDA. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010. 184 p.

GROOVER, Mikell. Fundamentos de la Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw-Hill/interamericana, 2010. p. 481-536, 938-952. ISBN. 978-970-106-240-1.

KALPAKJIAN, S; SCHMID, S. Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Prentice hall, 2008. p 149-163, 170, 261-315.

OROZCO, Ross; REYES, Norberto. Sistema experto que apoya la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizados SHEC. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006. 174 p.

SANDVIK COROMANT. Herramientas y soluciones para el mecanizado. [En línea] (Recuperado en 15 enero 2020) Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/parting-grooving/pages/parting-off.aspx>

TABARES, Héctor, MONSALVE, Duvan y GOMEZ, Daniel. Modelo de Sistema Experto para la Selección de Personal Docente Universitario. [En línea]. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano. 2012. (Recuperado en 15 junio 2019). Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992013000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.