

*SISTEMA EXPERTO QUE APOYA LA SELECCIÓN DE
HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE MECANIZADO.*

SHEC

019

ROSS NELCY OROZCO CELIS
NORBERTO REYES RIVERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		No Clasificación
BIBLIOTECA		5 10716
No Adquisición	Fecha Recibo	
	20 SET. 2001	
No Inventario *	Precio	Dpto Solicitante
100422		

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELAS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE SISTEMAS
BUCARAMANGA

2001

BIBLIOTECA UIS

***SISTEMA EXPERTO QUE APOYA LA SELECCIÓN DE
HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE MECANIZADO.***

SHEC

ROSS NELCY OROZCO CELIS

NORBERTO REYES RIVERA

*Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar a los títulos de
Ingeniero de Sistemas e Ingeniero Mecánico respectivamente.*

Director

ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico.

Codirector:

MARTHA VITALIA CORREDOR M.

Doctora Ingeniera de Telecomunicación.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELAS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2001

SISTEMA EXPERTO QUE APOYA LA SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE MECANIZADO SHEC

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Director

Calificador

Calificador

Para mi pequeña familia:
Mis viejos Luis y Ana Blanca,
Diana, Gustavo, Olga, Francisco,
Leonor, Yolanda, Alvaro, Ana,
Rosa y Manuel.

Norberto.

BIBLIOTECA UIS

BIBLIOTECA UIS

A DIOS, quien ha guiado mi camino.

*A mis padres Rosa y Victor, por su
Comprensión, apoyo y colaboración
Incondicionales.*

ROSS.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto agradecen a todos los que colaboraron de una o otra forma con su desarrollo, y de manera especial a:

Doctor: Isnardo González Jaimes. Por servirnos de manera atenta y diligente como guía y director en el desarrollo del presente trabajo.

Doctora Martha Vitalia Corredor. Quien nos ilustró, brindó su apoyo y valiosa colaboración como Codirectora del proyecto.

Ing. Leonardo Jaimes. Por asesorarnos con su valioso conocimiento en el área del mecanizado y su disponibilidad de recursos en INDUSTRIAS TANUZI.

Ing. Germán Duran. Quien nos transmitió y permitió acceder a valiosa información en DANA TRANSEJES COLOMBIA.

Profesor: Mario Jiménez. Por aportarnos de manera incondicional su conocimiento y facilitar los recursos del SENA.

Profesor: Edgar Rodríguez. Quien nos proporcionó información, y asesoría sobre los procesos de mecanizado desde el INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DAMAZO ZAPATA.

Sr. Brian Orzechowski. KENNAMETAL INC. Corporate Center Dock por enviarnos información clave sobre herramientas y procesos de mecanizado.

Ing. Martha Liliana Jerez. Departamento de Mercadeo de la Compañía General de Aceros. Quien nos proporcionó importante información sobre materiales.

Compañeros y amigos por su valiosa colaboración.

CONTENIDO.

✓INTRODUCCIÓN ✓	1
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO ✓	3
1.1 ANTECEDENTES ✓	4
1.1.1 Área de sistemas.	4
1.1.2 Área de las herramientas y mecanizado.	5
1.2 JUSTIFICACIÓN ✓	6
1.3 OBJETIVOS ✓	7
1.3.1 Objetivos Generales.	7
1.3.2 Objetivos específicos.	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO ✓	9
2.1.1 Principios del mecanizado. ✓	9
2.1.2 Máquinas herramientas para el mecanizado. ✓	10
2.1.2.1 El torno.	10
2.1.2.2 La fresadora. ✓	15
2.1.2.3 La taladradora.	17
2.1.3 Sistemas de manufactura en el mecanizado.	21
2.1.3.1 Máquinas de transferencia.	21
2.1.3.2 Sistemas de disposición de máquinas convencionales.	21
2.1.3.3 Centros de mecanizado. ✓	22
2.1.3.4 Máquinas herramientas con control numérico.	22
2.1.3.5 Los sistemas de línea de flujo.	23
2.1.3.6 Tecnología de grupo.	23
2.1.4 Herramientas de corte para el mecanizado. ✓	24

2.1.4.1	Materiales de las herramientas de corte. ✓	24
2.1.4.2	Caracterización de las herramientas. ✓	28
2.1.4.3	Temperaturas de corte en las herramientas. ✓	39
2.1.4.4	Duración y desgaste de las herramientas. ✓	41
2.1.4.5	Control de la viruta. ✓	45
2.1.5	Operaciones de mecanizado estándar. ✓	46
2.1.5.1	Operaciones de torneado.	46
2.1.5.2	Operaciones en la fresadora. ✓	50
2.1.5.3	Operaciones en la taladradora.	56
2.1.6	Materiales para piezas mecanizadas. ✓	60
2.1.6.1	Normalización de piezas. ✓	60
2.1.6.2	Selección del material de la pieza a mecanizar. ✓	60
2.1.6.3	Formas de los materiales. ✓	61
2.1.7	Fluidos de corte.	61
2.1.7.1	Acción de los Refrigerantes.	62
2.1.7.2	Acción de los Lubricantes.	62
2.2	ASPECTOS DE LA SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE ✓	63
2.2.1	Operación de mecanizado. ✓	64
2.2.2	Materiales y Formas de la pieza. ✓	65
2.2.2.1	La maquinabilidad.	66
2.2.2.2	Formas de los elementos.	67
2.2.3	Máquina herramienta. ✓	69
2.2.4	Condiciones de corte. ✓	69
2.2.5	Acabado requerido de la pieza. ✓	71
2.2.5.1	Aspereza superficial ideal.	72
2.2.5.2	Aspereza superficial natural.	73
2.2.5.3	Medición de la rugosidad superficial.	74
2.2.6	Estabilidad general. ✓	75
2.2.6.1	El traqueteo.	75
2.2.6.2	Los choques.	76

2.2.7 Costos de mecanizado. ✓	77
2.2.7.1 Factores influyentes en los procesos de producción.	77
2.2.7.2 Determinación de los costos del mecanizado.	78
2.3 FUNDAMENTOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	79
2.3.1 Problemas De Estudio De La I.A.	79
2.3.2 Representacion del conocimiento (RC).	80
2.3.3 Reglas de producción.	82
2.3.3.1 Mecanismo de Inferencia.	83
2.3.3.2 Sistemas de reglas encadenadas hacia adelante.	83
2.3.3.3 Sistemas de reglas encadenadas hacia atrás.	83
2.3.4 Sistemas Expertos (SE)/Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC).	84
2.3.4.1 Características de los S.E./SBC y sus diferencias con los programas convencionales.	85
2.3.4.2 Limitaciones de los S.E./SBC.	86
2.3.4.3 Clasificación de los SE/SBC.	86
2.3.4.4 Estructura de un S.E./SBC.	88
2.3.4.5 .Construcción de un Sistema Experto.	90
3. DISEÑO Y DESARROLLO DE SHEC.	95
3.1 ANÁLISIS Y DISEÑO	95
3.1.1 Análisis Previo.	95
3.1.1.1 Estrategia de Desarrollo.	95
3.1.1.2 Dominio y Tareas Específicas.	95
3.1.2 Análisis de la Tarea.	96
3.1.3 Desarrollo del Prototipo.	97
3.1.4 Requerimientos de software y hardware.	98
3.2 DESARROLLO DEL SISTEMA	99
3.2.1 Base de conocimiento.	99
3.2.1.1 Implementación de la Base de Datos.	99
3.2.1.2 Implementación de las Reglas.	101

BIBLIOTECA DE INVESTIGACIONES

3.2.2 Motor de inferencia.	104
3.2.3 Módulo de justificación de respuestas.	107
3.2.4 Módulo de actualización de la BC.	107
3.2.5 Interfaz de usuario.	108
3.2.5.1 Módulo de consulta.	108
3.2.5.2 Módulo de Justificación.	109
3.2.5.3 Módulo de BC.	110
3.3 ANALISIS DE RESULTADOS	111
4. CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	117

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama de funcionamiento y elementos de un torno.	11
Figura 2. Principales movimientos en el torno.	15
Figura 3. Fresadora vertical universal.	16
Figura 4. Descripción de movimientos principales en la fresadora.	17
Figura 5. Prototipo de taladro vertical de múltiples husillos.	18
Figura 6. Relación de costos de fabricación y el tamaño del lote para varios sistemas de fabricación.	22
Figura 7. Prototipo de un centro de mecanizado.	23
Figura 8. Variación de la dureza del material en función de la temperatura.	24
Figura 9. Resistencia a la tracción para diferentes materiales.	25
Figura 10. Geometría descriptiva de las herramientas de un filo.	29
Figura 11. Tipos de fresas de insertos intercambiables disponibles en el mercado.	32
Figura 12. Angulos básicos de corte en las fresas.	33
Figura 13. Tipo de fresa de dientes postizos.	34
Figura 14. Tipos de fresas para planear.	35
Figura 15. Esquema de las partes de una broca helicoidal.	37
Figura 16. Tipos de herramientas que se utilizan en el taladrado.	38
Figura 17. Diferentes tipos de escariadores.	39
Figura 18. Diagrama de generación de calor en la acción de corte.	40
Figura 19. Distribución de la temperatura en la pieza y viruta en el corte de acero dulce.	41
Figura 20. Zonas de desgaste de las herramientas en el corte de metales.	42
Figura 21. Algunas características del desgaste en una herramienta de un solo filo en el torno.	43
Figura 22. Tipos de virutas que se obtienen en el mecanizado, para diferentes materiales y condiciones de corte.	45
Figura 23. Operaciones de Cilindrado en el Torno.	46
Figura 24. Operación de Refrentado con diferentes ángulos de posición.	46
Figura 25. Operaciones de Mandrinado.	46

Figura 26. Tipos de Roscas que se mecanizan.	47
Figura 27. Operaciones básicas de ranurado que se ejecutan en el torno.	47
Figura 28. Operación básica de corte de materiales o Tronzado en el torno.	47
Figura 29. Detalle de planeado de superficies con fresas frontales.	51
Figura 30. Diagrama de las operaciones de ranurado y tronzado.	52
Figura 31. Tipos de fresas y chaveteros que se realizan en la fresadora.	52
Figura 32. Tipos de Perfilado en la fresadora.	52
Figura 33. Operaciones de mandrinado en interpolación circular.	53
Figura 34. Fresado en interpolación helicoidal.	53
Figura 35. Tipo de fresas para el tallado de engranajes.	53
Figura 36. Diagrama de la acción de corte y de la sección de la viruta en el proceso de fresado.	54
Figura 37. Algunas operaciones que se ejecutan en el taladro.	57
Figura 38. Factores que determinan la selección de la Herramienta de corte y las condiciones de corte.	64
Figura 39. Forma general de elementos.	67
Figura 40. Algunas formas de mecanizar discos.	68
Figura 41. Clasificación de piezas según su forma básica.	68
Figura 42. Diferentes rugosidades de superficie para varios tipos de geometría de la herramienta.	71
Figura 43. Diagrama de valores de Ra para la combinación del avance y del radio de punta de la herramienta.	72
Figura 44. Tipo de superficie producida por una herramienta en condiciones ideales.	73
Figura 45. Instrumento Comparador utilizado para medir la rugosidad de superficies.	74
Figura 46. Diagrama de Transformación del conocimiento de un experto a un sistema SE/SBC.	85
Figura 47. Representación del conocimiento mediante los diagramas de decisión.	89
Figura 48. Requerimientos necesarios para desarrollar Sistemas Expertos.	91
Figura 49. Diagrama de justificación para el desarrollo de un S.E	92
Figura 50. Entidades y sus respectivos atributos creados para el manejo de material de pieza.	100
Figura 51. Relaciones entre entidades creadas en SHEC para el manejo del material de pieza.	100

Figura 52. Forma de representación de reglas para seleccionar la geometría de corte de la herramienta.	103
Figura 53. Entidades de tipos de rompevirutas.	103
Figura 54. Entidad de tipo de materiales utilizada para seleccionar el rompeviruta.	104
Figura 55. Diagrama de interacción de los elementos que intervienen en la selección de herramientas	121
Figura 56. Forma de inicio de SHEC.	125
Figura 57. Pantalla del menú del módulo de consulta.	126
Figura 58. Pantalla para seleccionar el material de la pieza.	127
Figura 59. Pantalla para seleccionar la operación de mecanizado.	128
Figura 60. Pantalla para seleccionar el tipo de pieza.	129
Figura 61. Pantalla para seleccionar el tipo de superficie y procesos de mecanizado.	129
Figura 62. Pantalla para seleccionar la máquina herramienta.	130
Figura 63. Pantalla para especificar las características de la pieza a mecanizar.	131
Figura 64. Pantalla para especificar los requisitos superficiales de la pieza.	132
Figura 65. Ventana para recomendar la profundidad por pasada.	133
Figura 66. Ventana para seleccionar el tipo de rosca a mecanizar.	133
Figura 67. Página de datos adicionales para ingresar información del método de producción en operaciones de roscado.	134
Figura 68. Forma para seleccionar el tipo de inserto y el tipo de penetración en operaciones de roscado.	135
Figura 69. Forma para seleccionar el tipo de la superficie del material en bruto.	136
Figura 70. Forma para determinar las condiciones de discontinuidad del corte.	136
Figura 71. Pantalla para mostrar los resultados de la consulta.	137
Figura 72. Forma de salida de las características de pastillas.	138
Figura 73. Forma de salida de los datos de corte de una consulta.	139
Figura 74. Pantalla para mostrar justificación de los resultados de la consulta para la pastilla.	139
Figura 75. Ventana que se despliega para guardar la consulta.	140
Figura 76. Forma de presentación de los informes de las consultas.	140
Figura 77. Forma para presentar una consulta existente.	141
Figura 78. Pantalla del menú principal del módulo de Base de conocimiento.	142
Figura 79. Ventana que permite acceder a usuarios autorizados a los módulos SHEC.	143

Figura 80. Pantalla para actualización de la máquina herramienta.	145
Figura 81. Pantalla que permite mostrar las diferentes pruebas de verificación de las máquinas herramientas.	146
Figura 82. Ventana para actualizar categorías de máquinas herramientas.	148
Figura 83. Pantalla para actualizar los materiales de fabricación de piezas.	149
Figura 84. Ventana que permite actualizar nuevos estados de material.	150
Figura 85. Ventana de actualización de tipos de superficies del material en bruto de la pieza.	151
Figura 86. Pantalla de actualización de pastillas y herramientas.	152
Figura 87. Ventana para actualizar los fabricantes de las herramientas.	154
Figura 88. Ventana para actualizar materiales de las herramientas.	155
Figura 89. Ventana para actualizar el rompeviruta.	156
Figura 90. Ventana para actualizar los tipos de pastillas.	157
Figura 91. Ventana para actualizar los ángulos de incidencia de las herramientas.	157
Figura 92. Ventana para actualizar las diferentes formas de pastillas.	158
Figura 93. Ventana para actualizar los tipos de roscas.	159
Figura 94. Ventana para actualizar los diferentes pasos según el tipo de rosca.	159
Figura 95. Ventana para actualizar la profundidad del perfil y número de pasadas para roscas.	159
Figura 96. Ventana para actualizar las placas de apoyo de las pastillas de roscar.	160
Figura 97. Pantalla de actualización de reglas para determinar el material de la herramienta.	160
Figura 98. Pantalla de actualización de las reglas de selección de rompevirutas de las pastillas.	162
Figura 99. Pantalla para actualizar la velocidad de corte y avance.	162
Figura 100. Pantalla de actualización de operaciones de mecanizado para la combinación de ángulos de posición y formas de las pastillas.	164
Figura 101. Pantalla para actualizar los porta pastillas.	165
Figura 102. Ventana para actualizar el sistema de sujeción de los porta pastillas.	168
Figura 103. Ventana para actualizar los sistemas de sujeción de pastillas.	169
Figura 104. Ventana para actualización de ángulos de posición de los porta pastillas	169
Figura 105. Ventana de actualización de la geometría de corte de los porta pastillas.	170
Figura 106. Pantalla de actualización de reglas de selección del porta pastilla.	171

SIN
 A
 T
 A
 C
 I
 O
 N
 E
 S

Figura 107. Pantalla de actualización de los sistemas de montaje de pastillas en los porta pastillas.

171

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Valores promedios del exponente n en la ecuación de Taylor.	44
Tabla 2. Formas de representar el conocimiento con sus características.	81
Tabla 3. Operaciones de mecanizado involucradas en la selección de herramientas en SHEC.	96
Tabla 4. Diseño de la tabla de material de piezas.	101
Tabla 5. Tipo de relaciones implementadas en SHEC.	102

TÍTULO: SISTEMA EXPERTO QUE APOYA LA SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE MECANIZADO

AUTORES: OROZCO CELIS, Ross Nelcy y REYES RIVERA, Norberto.

PALABRAS CLAVES:

Sistema basado en el conocimiento
Sistemas Expertos
Procesos de mecanizado
Selección de herramientas.
Herramientas de corte

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo es un Software para la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizado. Está conformado por un módulo de consulta que permite obtener las herramientas y las condiciones de corte adecuadas para datos de entrada de máquina herramienta, pieza y condiciones de mecanizado específicos y un segundo módulo de actualización que permite conservar y validar conocimientos que se relacionan con los procesos de torneado, fresado y taladrado. Se elaboró aplicando las técnicas de Inteligencia Artificial relacionadas con los Sistemas Expertos y Sistemas Basados en el Conocimiento, permitiendo simular los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y acción de un experto humano en la rama del mecanizado

Objetivos: Identificar conceptos, reglas de decisión, procedimientos y métodos relacionados con la selección de las herramientas de corte para procesos de mecanizado de torneado, fresado y taladrado, con base en las nuevas tecnologías; construir una base de conocimiento teniendo en cuenta lo anterior y desarrollar un sistema basado en el conocimiento para apoyar la selección de las herramientas de corte y determinar las respectivas condiciones de trabajo, permitiendo justificar sus respuestas.

Resultados obtenidos: Se obtuvo una herramienta de apoyo confiable y dinámico que asegura la selección correcta de las herramientas de corte en procesos de mecanizado; se parte de la interacción de variables involucradas en el proceso, relacionadas con las características de la pieza a mecanizar, la máquina herramienta, condiciones de estabilidad del conjunto pieza - máquina y montaje, requeridas mediante una interfaz del sistema que proporciona ayudas gráficas. Las soluciones de una consulta pueden ser múltiples, dando la posibilidad de mantener herramientas alternativas. La base de conocimiento es actualizable permitiendo hacer correcciones de parámetros de corte, crear y modificar reglas de decisión. Se abre campo para la aplicación de las mismas técnicas en el diseño y planeamiento de procesos.

PROYECTO DE GRADO.

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS. DIRECTOR: ING. ISNARDO GONZÁLEZ, CODIRECTOR: ING. MARTHA VITALIA CORREDOR.

TITLE: EXPERT SYSTEM THAT SUPPORTS THE CUTTING TOOLS SELECTION FOR MACHINING PROCESSES.

AUTHORS: OROZCO CELIS, Ross Nelcy and REYES RIVERA, Norberto. **

KEY WORDS:

Knowledge Based Systems.

Expert systems.

Mechaning Processes.

Tools Selection.

Cutting tools.

DESCRIPTION:

The present work is a Software for the cutting tools selection for machining processes, is conformed by a consultation module that allows to obtain the suitable cutting tool and the conditions for specific datas about machine tool, piece and conditions of machining and a second module of update that allows to conserve and to validate knowledge that are related to the turning, milling and drilling processes. It was developmented using Artificial Intelligence techniques related to the Expert systems and Knowledge based systems allowing to simulate the learning, memorization, reasoning, communication and action processes of a human expert in the branch of machining.

Objectives: To identify concepts, decision rules, procedures and methods related to the cutting tool selection for the machining processes of turning, milling and drilling, with base in the new technologies; to develop a knowledge base considering the previous thing and to develop a knowledge based system to support the cutting tools selection and to determine the respective conditions of work, allowing for justifying its answers.

Obtained results: A suitable and dynamic tool of support was obtained, that assures the correct cutting tools selection for machining processes; It beginning whit the interaction of variables involved in the process, related to features of the piece to machaning, the machine tool, conditions of stability of the joint piece - machine and assembly, required by means of an interface that provides graphical aids. The solutions can be multiple, giving the possibility of maintaining alternative tools. The knowledge base is updateable allowing to make corrections of cutting parameters, to create and to modify decision rules. This give an oportunity to the application of the same techniques in the design and planning of processes.

* PROYECTO DE GRADO.

** FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS. DIRECTOR: ING. ISNARDO GONZÁLEZ, CODIRECTOR: ING. MARTHA VITALIA CORREDOR.

INTRODUCCIÓN

En la industria metalmecánica local, son pocas las empresas que tiene infraestructura para desarrollar productos de alta calidad a bajo costo, debido a la limitación de los recursos disponibles, como maquinaria, accesorios, herramientas y recurso humano preparado para manejar las últimas tecnologías aplicables a los procesos de mecanizado. Los lotes de fabricación producidos por nuestra industria son de baja escala, satisfaciendo el mercado de fabricación de piezas para la reparación de maquinaria.

Las empresas de mecanizado que utilizan nuevas tecnologías en materiales de herramientas y de insertos intercambiables, en general, no tienen estandarizados los procedimientos de selección de herramientas y las respectivas condiciones de corte, debido a la dificultad para la identificación y medición de las variables del proceso, como también por la falta de formación en el manejo de esta tecnología que es cerrada y posee características propias de cada fabricante de herramientas. El proceso de selección de herramientas también se ve afectado por la baja formación de los operarios de las máquinas herramientas en cuanto a aplicación de criterios de selección de las herramientas de corte.

Con el objetivo de facilitar y mejorar el proceso de selección de las herramientas y determinar las condiciones de corte adecuadas para una aplicación específica, se ha desarrollado este proyecto empleando las técnicas de la inteligencia artificial, mediante la implementación de un sistema basado en el conocimiento, siendo esta una de las mejores alternativas que permiten desarrollar soluciones que se aproximan al comportamiento de un experto humano en un campo específico, al permitir simular los procesos de aprendizaje y razonamiento del experto, sin los errores de éste.

El contenido de este documento se ha organizado de la siguiente forma: Un primer capítulo introductorio que presenta una descripción general del trabajo, sus objetivos generales y específicos y la justificación del mismo.

El capítulo dos resume el marco teórico sobre el cual se fundamenta el trabajo del proyecto, tanto en el aspecto del mecanizado, como en el de los sistemas basados en el conocimiento dentro de la

rama de la Inteligencia Artificial. En el capítulo tres, se presenta el diseño y el desarrollo del sistema SHEC, la metodología empleada y la arquitectura del sistema. Por último se presentan las conclusiones del proyecto.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El Software de Selección de Herramientas de corte para mecanizado, **SHEC** es una herramienta dirigida al sector metalmecánico y personas interesadas en el campo del mecanizado con conocimientos básicos en el área. Está conformado por dos módulos principales: Módulo de consulta y Módulo de actualización, que permiten obtener resultados en la selección de las herramientas, las condiciones de corte adecuadas y conservar el conocimiento que se relaciona con el mecanizado, según la observación de los expertos en el campo y la información suministrada por fabricantes de las herramientas.

El proyecto se elaboró con la herramienta de programación DELPHI Versión 5.0 que proporciona los elementos adecuados para la construcción de la base de conocimiento, conformada por bases de datos y un conjunto de reglas de decisión bajo ambientes amigables de trabajo. Los elementos que hacen parte del sistema son:

- *Base de Conocimiento:* En la cual se estructuran todos los conocimientos que maneja el sistema y el acceso a una Base de Datos que contiene información sobre las herramientas disponibles en el mercado, de máquinas herramientas, tales como tornos, fresadoras taladradoras y centros de mecanizado y de los materiales de fabricación en ingeniería.
- *Motor de inferencia:* Corresponde a los algoritmos para la toma de decisiones y obtención de conclusiones basadas en los datos introducidos por el usuario y en los datos almacenados en la Base de Conocimiento.
- *Subsistema de Explicación:* Útil en el momento de ofrecer justificaciones al usuario sobre el resultado de la consulta basado en los diagramas de decisión.
- *Interfaz del usuario:* Se relaciona con la captura de datos del usuario y su correspondiente transformación para que sea entendible al sistema y viceversa en el caso de las respuestas; se maneja un ambiente amigable mediante el empleo de gráficos, ventanas, cuadros de diálogo, manejo de ratón, etc.

Subsistema de actualización: permite modificar el conocimiento existente y agregar nuevo.

Este software, partiendo de la necesidad de elaborar una pieza mediante operaciones de mecanizado sucesivas dado un material específico, sus características dimensionales y de acabado superficial; máquina herramienta indicada y las condiciones de mecanizado definidas, le permite al usuario obtener la(s) herramienta(s) para la ejecución de dicho propósito con las condiciones apropiadas de trabajo como son su velocidad de corte, avance y profundidad requeridas, entre otras, así como algunas sugerencias relacionadas con la determinación de las condiciones de mecanizado y de operación.

1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 Área de sistemas. Entre los sistemas basados en el conocimiento desarrollados en la UIS pueden citarse los siguientes:

- Sistema basado en el conocimiento para el diagnóstico de enfermedades genéticas asociadas a dismorfias. (1999).
- Sistema de apoyo en el aprendizaje y la toma de decisiones en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares (1999).
- Sistema basado en el conocimiento para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades gastrointestinales (1999).
- Base de conocimiento, módulo pedagógico e interfaz con el usuario para un sistema inteligente de enseñanza asistida por computador en la materia de anatomía humana (1999).
- Sistema basado en el conocimiento que apoya el aprendizaje en la solución de problemas surgidos de los aspectos contractuales, para el área de legislación laboral, (2000).
- Sistema basado en el conocimiento para el análisis de estudios de suelos, recomendación de cultivos y su mejoramiento. (1993)

Los anteriores trabajos de grado se caracterizan por buscar la estructuración del conocimiento y por ser una herramienta de aprendizaje para nuevos especialistas en el área, buscando optimizar

el resultado de la consulta. Por estas mismas características que presentan las operaciones de mecanizado y la selección de herramientas, se estimó la aplicación de la técnica de Sistemas basados en el conocimiento para desarrollar un prototipo de sistema experto en la selección de herramientas de corte para procesos de mecanizado.

1.1.2 Área de las herramientas y mecanizado. En los últimos años se han desarrollado trabajos en el área de los procesos de mecanizado. Los siguientes tratan sobre las herramientas de corte:

- Software Gerenciador de herramientas para los procesos de torneado fresado y taladrado en el sector metalmeccánico, "SOGHER". (Escuelas de Ing. Mecánica y sistemas 1999): Es una herramienta software que permite registrar y consultar en una base de datos la información correspondiente a las herramientas de corte, accesorios, materiales de piezas, máquinas herramientas, montajes y datos de corte, permitiendo obtener estadísticas de su manipulación y efectuar cálculos de variables de operación. Su objetivo es gerenciar de manera integral los recursos de un centro de mecanizado. Desarrollado en DELPHI 3 e INTERBASE.
- Base de datos de herramientas de corte y materiales de mecanizado "BYCH" (Ing. Mecánica 1998): Le permite consultar en forma genérica las herramientas por procesos, operación de mecanizado, grupo de materiales aplicables y tipo de acabado, no proporciona tipos de cálculos, y los datos de corte son rangos de referencias dispersos. Desarrollada en la herramienta ACCESS.

En los anteriores trabajos se requiere que la persona que utiliza el sistema sea experto, ya que los resultados que genera en cada caso deben ser interpretados de manera directa por el usuario final, en cuanto a la selección de la herramienta y los parámetros de corte y define las cualidades de la herramienta a utilizar independientemente de las condiciones que se tienen de la pieza en bruto y de las deseadas al final del proceso, máquina y sistema de fijación.

En la práctica, cada operación de mecanizado requiere especial diseño en la selección de la herramienta y fijación de los parámetros de corte. Como sistemas de información tienen la ventaja del gerenciamiento de los recursos de una empresa del sector metalmeccánico, sin embargo, se requiere una herramienta que oriente la formación de criterios de selección de las herramientas y que posibilite la consulta a personas que no sean expertas en este tipo de actividades.

En la industria local hay pocas empresas que están trabajando con las nuevas tecnologías de materiales y herramientas dentro de las cuales se destacan TRANSEJES e INDUSTRIAS TANUZI y los procedimientos de selección no se han estandarizado debido a su complejidad, tomando como base las recomendaciones de los fabricantes de las herramientas de corte.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

En el gerenciamiento de recursos de la industria metalmecánica toma cada día mayor fuerza el manejo de herramientas de corte en los procesos de mecanizado; dado que este factor representa una inversión considerable en esta industria y teniendo en cuenta que es necesario minimizar las herramientas redundantes, evaluar el rendimiento del herramental perecedero y que, además, el éxito de los procesos de mecanizado se basa en gran medida en la adecuada selección de las herramientas de corte; se considera necesaria la implementación de un SBC/SE (Sistema Basado en el Conocimiento/ Sistema Experto) como la alternativa adecuada para apoyar el proceso de selección de herramientas, ya que por sus características de simular el proceso de aprendizaje, de memorización, razonamiento y acción de un experto humano, es la herramienta adecuada para dicha labor, solucionando los conflictos que se presentan actualmente con relación a la selección de una herramienta de corte para una operación de mecanizado específica.

Entre las ventajas que se obtienen con la implementación de este Sistema basado en el Conocimiento se encuentran:

- ✓ Se facilita en gran medida la modificación y/o actualización de los conocimientos relacionados con las máquinas herramientas, materiales de las piezas, de las operaciones de mecanizado y de las herramientas de corte que se recopilan y organizan para su fácil manipulación.
- ✓ Se dispone de una metodología clara aplicada al proceso de selección de una herramienta de corte, teniendo en cuenta los criterios necesarios para tener una operación de mecanizado mejorada.
- ✓ Permite seleccionar una o varias alternativas de herramientas de corte para un conjunto específico de máquina herramienta – pieza.

- ✓ Se facilita el proceso de formación de nuevos operarios de máquinas herramientas, ya que el operario es guiado paso a paso por el sistema y obtiene la explicación de los resultados de la consulta realizada.

El desarrollo del presente proyecto trae consigo aportes y beneficios desde el punto de vista tecnológico, académico e industrial, al permitir conocer y empezar a utilizar las nuevas tecnologías utilizadas en la fabricación de herramientas de corte, bajo condiciones adecuadas de trabajo empleando para ello una herramienta software a la vanguardia de los sistemas de información basados en el conocimiento.

El beneficio académico se encuentra reflejado en la recopilación, estructuración y unificación de los conocimientos que se hallan dispersos en gran parte de la literatura y en los talleres del área metropolitana relacionados con el proceso de mecanizado, materiales de herramientas y factores para la selección de herramientas de corte, en un sistema de fácil utilización y óptima confiabilidad en el desarrollo del proceso.

Industrialmente, las empresas pueden aprovechar de mejor manera sus recursos tanto humanos como técnicos, ya que pueden utilizar la herramienta apropiada para elaborar una pieza de calidad específica con la máxima utilización de la máquina herramienta, menor desperdicio de materia prima y optimización del tiempo del operario ya que los procesos de selección se reducen en tiempo al utilizar la herramienta computacional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 *Objetivos Generales*

- Desarrollar un sistema basado en el Conocimiento que apoye la selección de las herramientas de corte cuyos resultados sean efectivos y eficientes, disminuyendo así los grados de dificultad del proceso de fabricación por mecanizado.
- Proporcionar una herramienta software que contribuya al gerenciamiento de las herramientas de corte y al mejoramiento de las condiciones de trabajo de las máquinas herramientas que puedan reflejarse en un aumento de la productividad del sector industrial metalmeccánico de la región.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar conceptos, reglas de decisión, procedimientos y métodos relacionados con la selección de las herramientas de corte para procesos de mecanizado, que utilicen máquinas herramientas tipo torno universal paralelo, fresadora de eje vertical y taladro radial con base en las nuevas tecnologías y materiales.
- Construir una base de conocimiento que tenga en cuenta los conceptos, reglas de decisión, procedimientos y métodos identificados en la selección de herramientas de corte para procesos de mecanizado que utilicen máquinas herramientas tipo torno universal paralelo, fresadora de eje vertical y taladro radial.
- Desarrollar el software con la base de conocimiento construida de tal forma que apoye la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizado mediante máquinas herramientas, de manera que involucre, elementos multimediales, interactividad con el usuario, posibilidad de modificaciones a la base de conocimiento y justificación de respuestas o decisiones a las que llegue el sistema.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO

2.1.1 Principios del mecanizado. El maquinado es en esencia, el proceso de remover el metal no deseado de barras, piezas forjadas o piezas vaciadas para producir la forma y dimensión deseadas. Es uno de los cuatro procesos principales de conformación de metales. Los otros procesos de conformado son: La deformación en caliente o en frío, el vaciado de metales fundidos y la metalurgia de polvos. El maquinado se hace desprendiendo metal en trozos pequeños, a los que se llama viruta, usando herramientas de corte muy duras y máquinas herramientas rígidas y potentes. Lo característico del proceso de mecanizado, es la precisión que no puede alcanzarse, en general, en los demás procesos de conformación.

Las herramientas pueden mantenerse fijas o moverse transversalmente a una pieza de trabajo en rotación, ó bien la pieza puede sostenerse rígidamente y moverse para pasar frente a una herramienta en rotación o movimiento, existen variantes de estos principios.

El mecanismo de formación de viruta de un metal con una herramienta de corte consiste básicamente en compresión y deformación plástica debido a fuerzas cortantes, esta acción da como resultado una falla continua al cortante de material de trabajo justo antes o en la punta de la herramienta. En este proceso de formación de viruta intervienen tres factores:

- La forma y propiedades de las herramientas de corte.
- Las propiedades del material de trabajo.
- La interacción de la herramienta y pieza de trabajo.

Debido a las altas fuerzas necesarias para el corte de los metales, se genera una gran cantidad de calor en la punta de la herramienta. La mayor parte del calor se elimina en la viruta y el resto se conduce hacia dentro de la herramienta y de la pieza de trabajo. Desde luego si se usan refrigerantes, se elimina gran parte del calor.

La forma y ángulos de las herramientas de corte deben ser muy precisos con el fin de que tengan suficiente resistencia en el borde cortante, se forme viruta y haga un ángulo de incidencia adecuado de modo que la herramienta corte dentro de la pieza y no raspe; algunas veces es necesario el rompeviruta para controlar la formación de la misma.

La dureza de los metales maquinables varía desde la suavidad del aluminio hasta la dureza de los aceros para herramientas con tratamiento térmico. Esto demuestra la necesidad de una gran variedad de materiales de herramientas de corte; algunos deben ser muy duros, mientras que otros deben ser resistentes para soportar la acción intermitente del corte.

2.1.2 Máquinas herramientas para el mecanizado. Los productos de maquinado que implican arranque de viruta metálica se usan no solamente en el campo de la manufactura de productos, sino también en lo que se llama maquinado común. El maquinado a gran escala de artículos como engranes, cubiertas y otros dispositivos mecánicos es el de reducir costos de manufactura por medio de producciones elevadas. En algunas operaciones, los costos pueden reducirse aún más mediante el maquinado automático o controlados por computadora. Las máquinas de alta producción requieren mecánicos, operadores y técnicos especializados. El maquinado común consiste en el uso de máquinas versátiles no especializadas como tornos, fresadoras, taladradoras y otras. Los operadores de estas máquinas requieren gran habilidad para producir partes maquinadas de precisión a partir de dibujos mecánicos. Un oficio aún más especializado es el de seleccionar las herramientas y dispositivos, llevado a cabo por un técnico general especializado en procesos de mecanizado.

2.1.2.1 El torno. El torno es una máquina herramienta en la que la pieza es sometida a un movimiento de rotación para ser mecanizada por la herramienta, la cual es animada por un movimiento rectilíneo de avance, normalmente paralelo al eje de rotación de la pieza.

La pieza a trabajar se fija sobre la parte giratoria de la máquina (plato), mientras la herramienta, casi siempre de un solo corte se fija en la parte móvil de traslación longitudinal y transversal (carro); el husillo proporciona al plato el movimiento principal de rotación. Con el torno se pueden obtener superficies de tipo cilíndrica, plana, cónica, esférica, roscada, y perfilada. En la figura 1 se aprecia la estructura funcional de un torno.

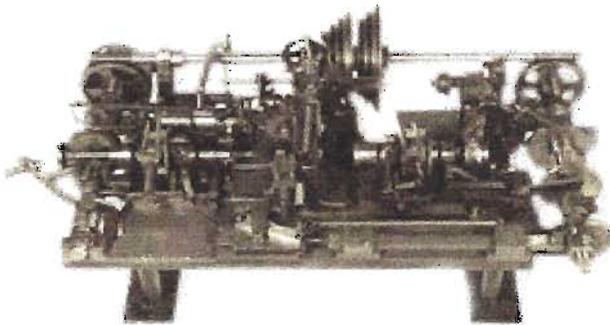


Figura 1. Diagrama de funcionamiento y elementos de un torno.

2.1.2.1.1 Componentes principales del torno. Las partes de un torno paralelo, denominado también torno cilíndrico, torno de puntas o torno horizontal son las siguientes:

- **Bancada:** Es una pieza compacta de fundición que lleva móvil el carro porta herramientas, lleva nervaduras de cierta disposición para darle mayor rigidez y estabilidad; esta característica de robustez es importante para permitir velocidades de corte o/y avances elevados, a causa de las vibraciones producidas. Las guías constituyen la parte más delicada de la bancada, pues a ésta se debe en parte la precisión.
- **Cabezal fijo:** Formado generalmente por una caja de fundición, fija al extremo izquierdo de la bancada. Este cabezal contiene el eje principal (husillo), en cuyo extremo van los órganos de sujeción de la pieza. El husillo recibe el movimiento del motor a través de una serie de engranajes, montados también en el cabezal. El extremo del husillo es roscado exteriormente para el acople de los platos.
- **Cabezal móvil:** Se encuentra opuesto al cabezal fijo sobre las guías del torno, pudiendo deslizar en toda su longitud. Este cabezal está formado por dos partes principales, una sirve de soporte y contiene las guías de apoyo y dispositivos de fijación para movilizarlo; la otra parte superior, de forma alargada, posee un eje colineal al eje principal. Sobre este eje se apoya el contrapunto, que constituye el otro apoyo de la pieza a mecanizar.
- **Carro porta-herramienta:** Es el que lleva la herramienta y el que comunica los movimientos de avance y penetración. Está formado por tres carros superpuestos: El carro principal o longitudinal, desliza sobre las guías de la bancada, en su parte delantera lleva los mecanismos

para producir los movimientos de avance y profundidad de pasada, tanto manual como automático. El carro transversal desliza en sentido transversal al torno sobre las guías del carro principal. El carro superior está formado por tres partes, la base, el porta herramientas y el charriot. La base va apoyada sobre la plataforma giratoria fija en el carro transversal, con lo que puede orientarse en cualquier posición; esta base lleva una guía sobre la que desliza el carrito charriot, donde va montado el porta herramienta propiamente dicho.

- **Cambio de velocidades:** Tienen por objetivo comunicar el movimiento del árbol del cabezal fijo al tornillo patrón o de roscar y la barra de cilindrar, permite obtener una mayor variación de velocidades en la barra de cilindrar y roscar; la barra de cilindrar permite obtener los movimientos de los carros del porta herramienta y el tornillo patrón permiten interactuar con la barra de cilindrar y producir los movimientos automáticos longitudinales y transversales.

La fijación de la pieza en la máquina, se puede realizar por varios procedimientos:

- Entre puntos: para torneados exteriores.
- Con copas, platos o mordazas: para piezas grandes, y de forma irregular.
- Con boquilla o pinzas: para piezas delgadas cilíndricas o poligonales.
- Con mandrinos auxiliares: Se emplea para tornear exteriormente una pieza con agujero coaxial.
- Por medio de platos ranurados y escuadras: Para piezas irregulares.

2.1.2.1.2 Clasificación de los tornos. Aparte del torno paralelo o cilíndrico convencional, se fabrican otros tipos que son especiales para realizar determinados trabajos que dado el peso o tamaño de las piezas no es posible emplear los tornos corrientes.

- **Tornos al aire:** Los tornos de este tipo se emplean en la producción individual y en talleres de reparación para maquinado de piezas de pequeña longitud y grandes diámetros. En ellos se puede tornear superficies exteriores cilíndricas y cónicas, refrentar superficies frontales, cilindrar interiores; la longitud de los tornos al aire es corta, mientras el diámetro del plato es grande.
- **Torno vertical:** Son tornos en los cuales la pieza gira en un eje vertical, y están provistos de un plato horizontal robusto para soportar el peso de la pieza, diseñados para tornear componentes de gran tamaño, que por su peso no es posible tornearse en un torno paralelo.

Según las dimensiones pueden tener dos o más columnas por donde deslizan el porta carros, en estos carros se pueden realizar las mismas operaciones de un torno paralelo pero de mayor peso.

Tornos semiautomáticos: Esta clasificación de los tornos se refiere al grado de autonomía de la máquina para realizar las operaciones de maquinado. Los tornos son automáticos, cuando después de su puesta a punto (generar y enmarcar todas las variables adecuadas para su normal funcionamiento), todos los movimientos relacionados con el ciclo de trabajo de la pieza, así como la colocación de la pieza en bruto y la extracción de la pieza terminada, se efectúan sin la intervención del operario; mientras que en los semiautomáticos, el operario usualmente coloca la pieza en bruto y quita la terminada. En general las ventajas que ofrecen estas máquinas son el aumento de la velocidad de operación, mayor uniformidad y precisión de las piezas y sensible reducción del costo al disminuir los gastos de producción por ahorro de la mano de obra. Los tornos más corrientes son los tornos con copiador y los tornos revolver.

El torno con copiador: Pueden ser tornos ordinarios con dispositivos que le dan a la herramienta desplazamientos automáticos, de acuerdo con las características geométricas de la pieza a trabajar, y gracias a la utilización de una plantilla patrón. Los sistemas de mando de los copiados se basan en tres categorías que son los mandos por tensión elásticas (resortes), mandos por transmisión eléctrica, los de transmisión hidráulica y los mandos de híbridos de electrónica- hidráulica.

- **Torno revolver:** Están diseñados para el trabajo de piezas en serie por lo general de pocos procesos de mecanizado, la diferencia con respecto a los tornos paralelos, es que poseen una torre, en vez de cabezal fijo, en donde se montan las herramientas con que se efectúa el ciclo de trabajo a medida que gira la torre y se ubica en posiciones determinadas para operar otra herramienta. Estos tornos van provistos de dispositivos para abreviar el tiempo de maniobra y automatizarlos en lo posible.
- **Tornos automáticos:** Cuando se trata de producciones grandes, es ventajoso utilizar los tornos completamente automáticos que ejecutan por sí solos todos los ciclos de mecanizado, requiriendo algún tipo de supervisión. Los husillos que se han venido implementando son los tornos de uno y de varios husillos. Los tornos de un solo husillo tienen el inconveniente que mientras actúa una herramienta, las restantes permanecen inactivas. En los tornos de múltiples husillos, cada husillo porta una barra que gira periódicamente en tiempos establecidos en cada

estación delante de una misma herramienta que ejecuta constantemente una operación. Los mecanismos de accionamiento normalmente utilizados en estos tornos son los de levas de configuraciones diferentes.

- **Tornos de control numérico CN:** Los actuales sistemas con mayor acogida son los tornos de control numérico y los de control numérico con computadora (CNC). En nuestro medio se justifica el uso de esta tecnología para la producción de lotes. Como su nombre lo indica, el control numérico se basa en información numérica que especifica la posición relativa de la herramienta y de la pieza. Hay dos tipos de sistemas de CN, el punto a punto o de posición y el de trayectoria continua o contorneado. El primero es aplicado cuando la trayectoria de la herramienta no es importante y solo se especifican las coordenadas del punto inicial y final, de cada movimiento (taladradoras verticales y fresadoras pequeñas). Mientras el segundo se aplica cuando la posición de la herramienta relativa a la pieza debe controlarse durante todo el mecanizado (tornos y fresadoras verticales). El control numérico es aplicado normalmente a lo largo o alrededor de dos y tres ejes.

2.1.2.1.3 *Movimientos en el torneado:* Para realizar la operación de mecanizado la herramienta debe penetrar en el material y para esto son necesarios diversos movimientos.

- El movimiento de rotación de la pieza se denomina movimiento de corte o movimiento principal. La velocidad con que se mueva la pieza contra la herramienta al arrancar la viruta se llama velocidad de corte.
- La herramienta avanza longitudinalmente, paralelo al eje de la pieza a velocidad uniforme de modo que se produce una viruta continua, este movimiento se denomina avance.
- La herramienta se gradúa a la profundidad que se desee, este movimiento se llama de penetración, ajuste o profundidad.

Se distingue entre el avance en dirección del eje de rotación, llamado avance longitudinal y el avance normal al eje de rotación, llamado también, avance plano. Según sea uno u otro movimiento, la operación se denomina cilindrado o refrentado respectivamente. De la profundidad o espesor de la viruta y de la magnitud del avance por cada revolución de la pieza, se deduce la sección de viruta. Ver figura 2.

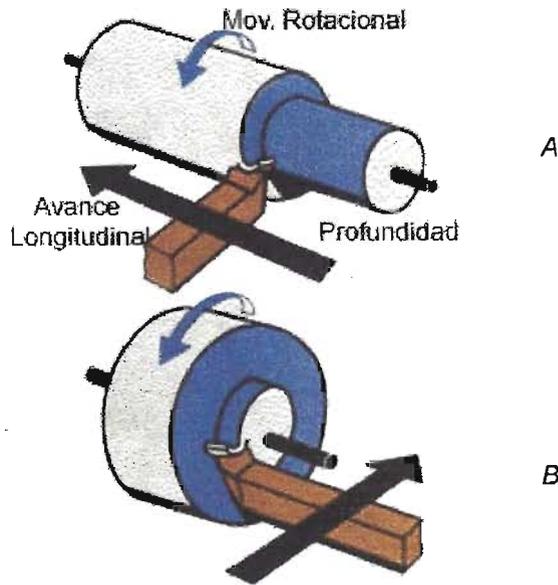


Figura 2. Principales movimientos en el torno. (A) Operación de Cilindrado y (B) Operación de Refrentado.

2.1.2.2 La fresadora. En la mecanización de piezas para maquinaria en general, juega un papel importante la operación denominada fresado. Esta máquina ha adquirido una importancia fundamental tanto para los trabajos en serie como para los especiales, gracias a sus altas posibilidades de desarrollo, manifestándose su óptimo resultado en los perfiles irregulares, con las fresas, que producen millares de piezas dentro de las tolerancias exigidas en los elementos intercambiables de los modernos mecanismos que funcionan a altas velocidades y extremas precisiones. Muchas piezas quedan directamente terminadas por medio de operaciones de fresado, otras veces se completan con otras operaciones que se realizan en otras máquinas, para dejar la pieza acabada. El éxito depende de realizar racionalmente cada operación en la máquina apropiada. Desde este punto de vista se presenta la descripción completa de las fresadoras, sus variantes en el diseño y funcionalidad y desde luego las operaciones comúnmente realizadas en este tipo de máquina herramienta.

2.1.2.2.1 Componentes principales de las fresadoras: Específicamente para una fresadora horizontal que se caracteriza por tener el husillo horizontal y que puede realizar toda clase de trabajos de fresado, los componentes principales son los siguientes:

- **Cuerpo de la fresa:** Soporta el husillo de fresar, su configuración y diseño dinámico, aseguran la estabilidad y rigidez de la máquina:

Husillo de fresar: Es soportado por cojinetes de deslizamiento o por cojinetes de rodadura. Para garantizar un funcionamiento silencioso y estable se realiza en dimensiones que le dan robustez. Para sujetar la herramienta de fresar la cabeza del husillo tiene un cono interior y uno exterior.



Figura 3. Fresadora vertical universal.

- **Mecanismo de accionamiento principal:** Le proporciona al husillo de fresado el movimiento de rotación o movimiento principal. Con el objeto de que la fresa pueda trabajar con la velocidad de corte más apropiada, el número de revoluciones es variable. Las máquinas antiguas van provistas de un sistema escalonado de poleas. Las modernas son accionadas por una polea o por el motor directamente acoplado y con auxilio de un sistema de ruedas dentadas, se puede establecer hasta 12 o más número de revoluciones, sin mas que accionar una palanca.
- **Mecanismo de accionamiento de avance:** La pieza se sujeta sobre la mesa de fresar o mesa de sujeción. Para poderla acercar a la fresa, la mesa consola se desplaza en altura. El carro transversal lo hace en sentido lateral y la mesa en sentido longitudinal. Para conseguir estos movimientos se utilizan husillos accionados con palancas de mano. La mesa de fresar puede, además, ser movida por medio de un mecanismo de avance. Este recibe su accionamiento directamente del mecanismo de accionamiento principal o por medio de un motor independiente para el avance. Para enlazar el mecanismo de avance con el husillo de la

mesa de fresar se utiliza un eje extensible y un mecanismo de tornillo sin fin. La longitud el avance puede limitarse por topes. Ver figura 4.

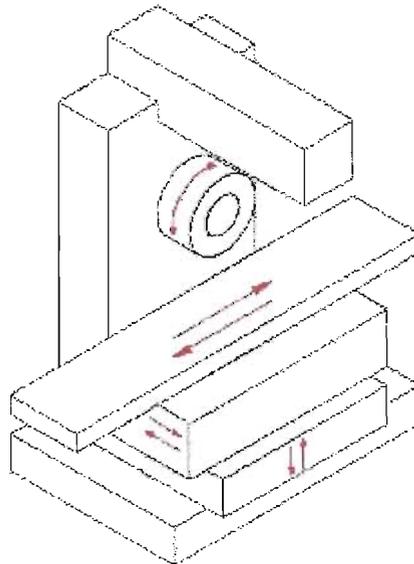


Figura 4. Descripción de movimientos principales en la fresadora.

2.1.2.2.2 Clasificación de las fresadoras:

- **Fresadora vertical:** Con esta máquina se realizan principalmente trabajos de fresado frontal. El husillo está dispuesto verticalmente en el cabezal porta fresas. Este cabezal puede girar de tal modo que el husillo puede adoptar también una posición inclinada. Los mecanismos de accionamiento principal y de avance no difieren de los de la fresadora horizontal.
- **Fresadora universal:** las características principales de esta máquina es la de que la mesa de fresado puede girar hacia la derecha o hacia la izquierda. Con este hace posible la ejecución de muchos más trabajos, como por ejemplo el fresado de ranuras en espiral.

2.1.2.3 La taladradora. Una taladradora sólo puede realizar operaciones donde la herramienta gire y avance a lo largo de su eje de rotación. La pieza permanece siempre fija durante el proceso de mecanizado. En muchas máquinas la herramienta se avanza manualmente con una palanca situada a la derecha del cabezal. Tanto el cabezal como la mesa, pueden desplazarse verticalmente para trabajar piezas de diferentes alturas, la figura 5, presenta una taladradoras verticales de múltiples husillos.



Figura 5. Prototipo de taladro vertical de múltiples husillos.

2.1.2.3.1 Componentes principales del taladro.

- **Soporte:** Tiene forma de columna en la cual van dispuestos el husillo de taladrar, los mecanismos para el movimiento principal y el de avance y la mesa de taladrar.
- **Husillo de taladrar:** Va dispuesta la broca. Ese husillo va alojado en el casquillo de guía del husillo. En su parte inferior va provisto de un taladro cónico en que entra el mango de la herramienta.
- **Mecanismo de movimiento principal:** Transmite al husillo de taladrar el movimiento principal de giro procedente de un motor eléctrico o de una transmisión. Con objeto de poder utilizar distintas velocidades de rotación va dispuesto ese mecanismo en forma de poleas escalonadas o de un engranaje.
- **Mecanismo de avance:** Le da al husillo de taladrar el movimiento de avance rectilíneo. En el casquillo guía del husillo va dispuesta una cremallera en la cual engrana una rueda dentada que recibe su giro por medio de una palanca de mano. El casquillo puede moverse hacia arriba y hacia abajo permitiéndose que el husillo siga este movimiento.
- **Mesa de taladrar:** Soporta la pieza de trabajo. Se sujeta la pieza mediante ranuras de fijación. Una canal de captación recoge el agua utilizada para refrigerar la herramienta. Mediante una

manivela que actúa sobre un mecanismo de rueda dentada y cremallera se mueve la mesa hacia arriba y hacia abajo, con auxilio de una palanca se puede fijar la mesa en una posición determinada.

2.1.2.3.2 Clasificación de las taladradoras. Según la posición del husillo porta herramientas se distinguen entre taladradoras horizontales y verticales, entre estas dos categorías se derivan otras para determinadas tareas.

- **Taladradora vertical:** Existen diversos tipos de máquinas de taladrar con el husillo principal dispuesto en posición vertical.
- **Taladradora de columna:** Se emplea generalmente para agujeros hasta 25 mm de diámetro. Resulta desventajosa para agujeros profundos, debido a que el husillo porta herramienta sobresale mucho de sus cojinetes y da lugar a que la broca se desvíe fácilmente.
- **Taladradora de sobremesa:** Tiene su sitio generalmente sobre el banco de trabajo y se presta para la ejecución de agujeros hasta de 10 mm de diámetro.
- **Máquina de taladrar de columna:** El bastidor, cuerpo de la máquina es muy rígido y se presta para realizar agujeros grandes; el avance viene realizado por el carro porta herramienta que esta apoyado siempre a lo largo de la columna lo que le permita realizar agujeros profundos.
- **Taladradora de múltiples husillos:** El cabezal va provisto de varios husillos accionados por el husillo principal. En una sola carrera de trabajo se pueden taladrar varios agujeros. Esta máquina se emplea para la producción en serie. Ver la figura 5.
- **Taladradora en serie:** En una pieza puede haber necesidad de realizar varios procedimientos de trabajo (taladrado, avellanado, escariado etc.), esta máquina se emplea para la producción en serie.
- **Taladradora radial:** Se utiliza para piezas de gran tamaño. El carro de taladrar es soportado por el brazo y puede desplazarse sobre ésta en forma radial. El brazo puede girar alrededor de la columna de la máquina y moverse verticalmente. El husillo es accionado por medio de un motor directamente acoplado sobre el carro. La pieza se fija sobre la mesa, en virtud de las

muchas posibilidades de movimiento puede taladrarse en los sitios más diversos sin necesidad de cambiar la sujeción de la pieza.

- **Máquina taladradora con plantilla:** En estas máquinas se realizan taladros con distancias entre centros muy precisas (hasta 0.011mm). El husillo de taladradora está bien soportado y la pieza se sujeta sobre una mesa movable transversal y longitudinalmente por medio de husillos.
- **Máquinas horizontales de taladrar:** Se emplean estas máquinas para piezas de trabajos de gran tamaño en el taladrado; el husillo porta herramienta está dispuesto horizontalmente, recibe su movimiento de un motor directamente acoplado y puede desplazarse longitudinalmente. La mesa posee movimientos de rotación y en ambas direcciones en un plano horizontal, de modo que se pueden realizar varios trabajos sin soltar la pieza.

2.1.2.3 Movimientos del taladro: Con el objeto de que los filos de la herramienta puedan arrancar viruta, se necesitan dos movimientos simultáneos.

- **Rotación de la broca:** Llamado también movimiento de corte principal. En casos especiales, el movimiento de giro lo hace la pieza, como ocurre en el torno. El movimiento se mide por la velocidad de corte en mm/min. Ésta es máxima en el punto más exterior de la herramienta (brocas), y disminuye hacia el eje de la misma.
- **Movimiento de avance:** Determina el espesor de la viruta. Aunque también puede tener lugar con el movimiento de la pieza contra la herramienta animada de movimiento de rotación (en máquinas pequeñas por elevación de la mesa). El avance se mide en mm/rev.

En los trabajos de taladrado cabe distinguir entre la ejecución de agujeros en material lleno (no ha sido previamente perforado) y la segunda pasada a un agujero practicado con anterioridad. Para dar la segunda pasada se utilizan generalmente herramientas de varios filos.



2.1.3 Sistemas de manufactura en el mecanizado

Se ha venido automatizando¹ la mayoría de los centros de mecanizado en busca de una mayor productividad. La eficiencia de los sistemas de manufactura pueden medirse con tres criterios básicos:

- **Costos de manufactura:** Incluye los costos de mecanizado, ensamblaje, costos de transporte de la pieza de una máquina a otra y el almacenamiento temporal etc. Estos costos se ven afectados por la eficiencia de los varios procesos de manufactura, costos de mano de obra y la calidad de diseño del producto.
- **Productividad:** Se refiere a la eficiencia con que se utiliza la mano de obra, generalmente denominada productividad promedio hora-hombre.
- **Utilidad:** se refiere a la ganancia de la empresa. Esta se ve afectada por los cambios en los costos de manufactura o en la productividad.

Estos tres criterios se relacionan entre sí y por lo general no pueden maximizar o minimizarse simultáneamente, ya que encuentran condiciones diferentes para cada caso. Los sistemas básicos disponibles para la manufactura de partes son los siguientes:

2.1.3.1 Máquinas de transferencia: Es el método más apropiado para flujo continuo de piezas idénticas o muy semejantes, en la producción en masa de bienes de consumo. Son básicamente sistemas para propósitos especiales donde las piezas se trasladan automáticamente de un cabezal de mecanizado a otro, mediante una mesa divisora circular o en línea. Cada cabezal ejecuta una operación hasta alcanzar la pieza al final de la línea.

2.1.3.2 Sistemas de disposición de máquinas convencionales: Empleado para la producción de lotes, es llamado a menudo el sistema de proceso orientado o funcional. En este sistema las máquinas se agrupan por tipos, tales como tornos, fresadoras, taladradoras, etc. Los lotes de piezas pasan por algunos de estos grupos de acuerdo a una ruta planeada.

¹ Entendido automatización como cualquier medio para ayudar a los operadores a realizar las tareas más eficientemente

Cada máquina tiene su operario y requiere ser alimentada constantemente para alcanzar plena utilidad. El principal problema de este sistema está en los costos por manejo de la pieza y el almacenamiento temporal.

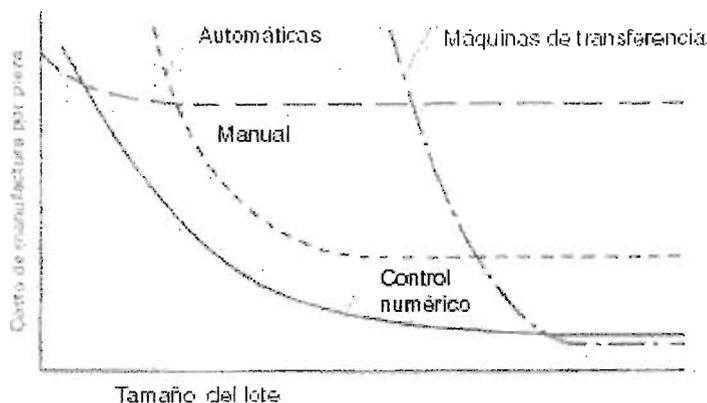


Figura 6. Relación de costos de fabricación y el tamaño del lote de piezas para varios sistemas de fabricación².

Los demás sistemas son aplicables en la producción de lotes y encontrar el más apropiado depende de la naturaleza de la pieza y las operaciones requeridas. Opitz Wiendahl demostró como pueden aplicarse los conceptos a los diferentes tipos de piezas en la producción de pequeños lotes. La figura 6 muestra la relación de costos de mecanizado y el tamaño del lote de piezas, para varios sistemas de fabricación.

2.1.3.3 Centros de mecanizado: La elaboración de piezas principales es costosa debido al valor considerable del material y porque requieren gran cantidad de mecanizado. El mecanizado de estas piezas se efectúa en un centro de mecanizado, porque resulta generalmente más económico, ya que el centro integra una variedad de funciones de mecanizado en una sola máquina, la ventaja es que la pieza sólo tiene que sujetarse una sola vez; la máquina es capaz entonces de efectuar varias operaciones en todas las caras de la pieza, con excepción de la base. La figura 7 muestra este tipo de centros de mecanizado.

2.1.3.4 Máquinas herramientas con control numérico: Para la producción de lotes pequeños de las piezas intermedias tanto las máquinas de control numérico como los sistemas de

² GEOFFREY Boothroyd. *Fundamentos de corte de metales y las máquinas*. McGraw Hill, 1986. p. 259.

línea de flujo son los sistemas más económicos; estas piezas no necesitan gran variedad de operaciones y requieren diferentes herramientas y posiciones de la pieza; este sistema se aplica a piezas pequeñas y permite realizar lotes relativamente grandes.

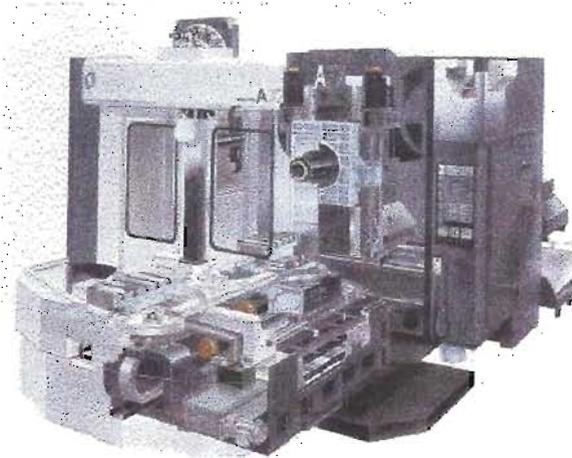


Figura 7. Prototipo de un centro de mecanizado.

2.1.3.5 Los sistemas de línea de flujo: Son máquinas convencionales dispuestas en la secuencia principal de operación, a diferencia de los sistemas de transferencia que trabajan un ciclo de tiempo constante y la ventaja con respecto al sistema convencional de disposición de máquinas es que se reduce el movimiento de piezas entre procesos de mecanizado.

2.1.3.6 Tecnología de grupo: Es el reconocimiento de que muchos problemas son semejantes y que agrupando los problemas semejantes puede encontrarse una solución única, ahorrando así esfuerzo y tiempo. En manufactura esto quiere decir que se aplica el análisis y agrupamiento de trabajos en familias y la formación de grupos de máquinas para fabricar estas familias con el objeto de minimizar el tiempo de ajuste y pasadas. Estos grupos de máquinas pueden disponerse en dos formas:

- Sistema de disposición en grupo (célula), de tal forma que cada grupo pueda realizar todas las operaciones necesarias en una familia de piezas.
- Sistema de grupo en línea, dispuestas en la secuencia de operaciones y están comunicadas por un transportador.

2.1.4 Herramientas de corte para el mecanizado

2.1.4.1 Materiales de las herramientas de corte. El desenvolvimiento en el área de los materiales para las herramientas procura mejores características en las propiedades exigidas e impone a su vez nuevos desarrollos y perfeccionamientos de las máquinas herramientas, cuyo objetivo final es reducir el tiempo y los costos de maquinado.

Los materiales usados en la fabricación de herramientas para maquinado, exigen tener una elevada dureza en frío y en caliente, bastante superior a la del material a mecanizar, resistente a la abrasión, baja oxidación y difusión, además de la obtención de precios competitivos. En la práctica se verifica que estas características no pueden ser reunidas en mas alto valor en un solo material. Frecuentemente ocurre que si presentan altos valores de una propiedad específica, representan un cierto perjuicio para las otras. Un material de herramienta debe, por tanto, ser seleccionado en función del material de la pieza a maquinar y el tipo de operación de mecanizado. En la fase de selección es importante identificar cuáles son las exigencias fundamentales y las secundarias que él debe satisfacer.

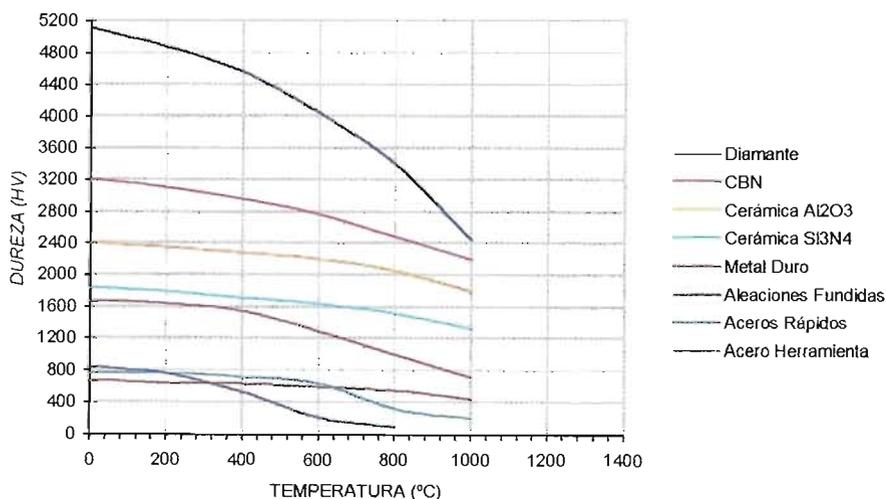


Figura 8. Variación de la dureza del material en función de la temperatura.

La figura 8 presenta la dureza en función de la temperatura y en la figura 9 la resistencia a la flexión para diferentes materiales de herramientas.

El mercado ofrece una serie de diferentes materiales para herramientas de mecanizado, las cuales pueden reunirse en los siguientes grupos:

- Aceros al carbono
- Aceros Rápidos
- Aleaciones fundibles
- Metal Duro
- Cerámica
- Nitrato de boro cristalino cúbico (CBN)
- Diamante

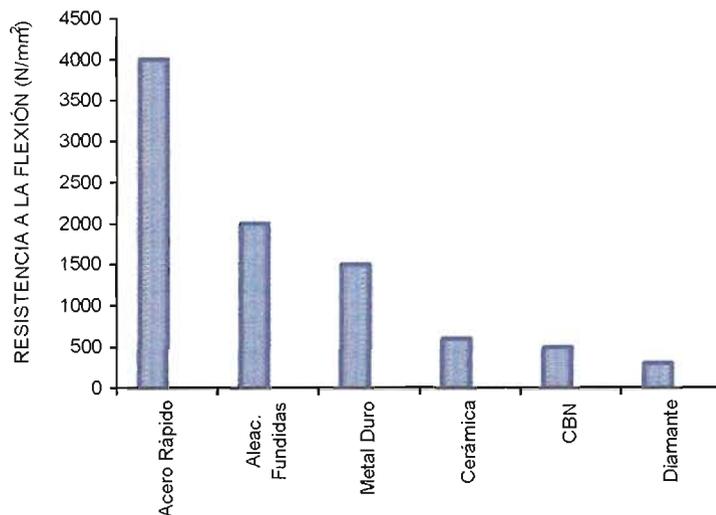


Figura 9. Resistencia a la tracción para diferentes materiales.

En cada grupo existen materiales con diferentes propiedades mecánicas y/o físicas, resultantes de la variación de la composición química y de los procesos de fabricación.

2.1.4.1.1 Aceros al carbono: Forman los primeros materiales industrialmente usados en la fabricación de herramientas de mecanizado. Se presentan subgrupos los cuales son: sin elementos aleantes o ferrosos y con elementos aleantes.

Los aceros sin aleantes presentan como principal elemento estructural el hierro; carbono con 0.8% a 1.5% y pequeñas cantidades de silicio y magnesio. El carbono es el principal responsable de la dureza de estos aceros; para temperaturas superiores a 200°C ellos pierden rápidamente su

dureza, lo que limita la utilización a bajas velocidades de corte en materiales duros. Las mejoras con respecto a los aceros con baja aleación no son significativas. (250°C).

2.1.4.1.2 Aceros Rápidos. Su denominación (año 1900) se debió a que permitió mecanizar a velocidades superiores a las del acero al carbono y mantener la dureza hasta temperaturas de 600 °C. Se consiguieron mejores propiedades con la adición de cobalto. La influencia de los elementos aleantes son las siguientes:

- ✓ Tungsteno: aumenta la resistencia al revenido y al desgaste.
- ✓ Molibdeno: aumenta la templabilidad y la tenacidad.
- ✓ Vanadio: aumenta la resistencia al desgaste, utilizado en acabados.
- ✓ Cobalto: posibilita durezas en caliente a temperaturas más elevadas.

Los aceros rápidos con revestimiento (carbonato de titanio, nitrato de titanio) se consiguen herramientas con superficies muy duras (2000 a 2500 Vickers) y sustratos tenaces, mediante las técnicas de deposición química de vapor pero presentan desmoronamiento del recubrimiento debido a la falta de adherencia fuerte.

2.1.4.1.3 Aleaciones fundidas: Son materiales que contienen 45-50% cobalto, 15-20% Tungsteno, 25-30% Cromo; obtenidos por fusión y envasados en moldes. Su principal ventaja es que mantienen elevada dureza a 700 y 800 °C; se establecen como un intermedio entre los aceros rápidos y el metal duro.

2.1.4.1.4 Metal duro: Están hechos de partículas duras, generalmente carburos (carburos de tungsteno, titanio, tantalio, niobio etc.), unidas por un aglomerante, es un producto pulvimetalúrgico que presenta grandes variaciones en sus propiedades si se utilizan con recubrimientos.

El carburo de Tungsteno le da la dureza al metal duro puro, posee gran resistencia al desgaste, no se utiliza para el mecanizado de aceros debido a su afinidad química que a altas temperaturas se produce el efecto de desgaste de cráter en la cara de desprendimiento de la herramienta, para este caso se utilizan herramientas de carburo de Titanio que presenta menor efecto de difusión, pero es frágil. Los carburos de Tantalio y Niobio mejoran el tamaño de los granos y por tanto la tenacidad. El cobalto es el principal aglomerante utilizado y responsable de la tenacidad en el metal duro.

Dependiendo de la composición, tipo y tamaño de las partículas, tipo y proporción del aglomerante, de la técnica de fabricación del tipo de recubrimiento y de la calidad se obtiene el metal duro que se utiliza para el mecanizado de fundiciones, materiales no ferrosos y de aceros. La afinidad con los materiales de la pieza, las altas temperaturas que se alcanzan, es el nivel que limita la aplicación de las calidades del metal duro.

2.1.4.1.5 Materiales cerámicos. Las herramientas son hechas a partir de óxido de aluminio (Al_2O_3) con óxido de Circonio (ZrO_2), compactadas en frío y denominadas cerámica blanca. Una segunda clase, denominada cerámica mixta, se crea a partir de aluminio y carbonato de titanio o con nitrato de titanio y compactados en caliente. La tercera clase se denomina Cermet, compuesto de una cerámica y un metal (Carbonato o Nitrato de Titanio más Níquel y carbonato de Molibdeno). Una cuarta clase y más reciente en la cerámica base de Nitrato de Silicio (Si_3N_4). Los productos ofrecen diferentes composiciones químicas y procesos de fabricación que proporciona diferentes propiedades físicas y mecánicas.

Las cerámicas ofrecen elevada dureza, aún a altas temperaturas, resistencia al desgaste y estabilidad química, se aplica en el mecanizado de hierros fundidos y aceros en funciones de fresado y torneado, generalmente a velocidades de corte medianas y altas (3000 m/min.), esto permite reducir los tiempos de mecanizado y en algunos casos evitar la operación de rectificación; específicamente las cerámicas mixtas se utilizan en metales duros donde exige fluido de corte debido a requisitos dimensionales o donde necesita una herramienta más tenaz. El Cermet se usa en el mecanizado de aceros en operaciones de desbaste y acabado. La cerámica a base de nitrato de silicio, se usa en el mecanizado de hierro fundido y aceros resistentes al calor a velocidades superiores de 2000 m/min. Las restricciones son para el mecanizado de aluminio y aceros en general por su afinidad química con el Al_2O_3 , compuestos de magnesio berilio y circonio, los cuales son inflamables a temperaturas de trabajo de cerámicos.

La aplicación con éxito de la cerámica depende del tipo de operación, condiciones del mecanizado, material de la pieza a mecanizar, estabilidad general, método utilizado para mecanizar y preparación del filo de corte.

2.1.4.1.6 Nitruro de boro cúbico cristalino (CBN). Es el segundo material más duro que se conoce, después del diamante, es un material sintético, obtenido de la reacción de halógenos de boro con amoniaco. Es el indicado para el mecanizado de materiales ferrosos (aceros forjados, fundiciones endurecidas, metales pulvimetalúrgico con cobalto y hierro rodillos de fundición perlítica y aleaciones de alta resistencia el calor) con dureza entre 45-65 HRC, donde el diamante

no es recomendado a pesar de su dureza, debido a problemas de estabilidad química y térmica. Comparado con la cerámica, es más duro pero no tiene tan buena resistencia térmica ni química, se analiza cuidadosamente su selección, puesto que, cubren ambas ocasionalmente la misma aplicación pero una será económicamente ventajosa; se realizan herramientas con aglomerante a base de cerámicas o metal duro y con material de CBN que le dan características únicas de las originales familias. Algunas denominaciones comerciales para el CBN son el Amorbite, Sumiboron o Borazon.

2.1.4.1.7 El diamante. El diamante natural se clasifica en carbonados, balios y bortos. Los carbonados se utilizan en aplicaciones especiales (trabajos en fibra, cauchos y plásticos), los balios se utilizan en herramientas de corte y muelas de afilar. El diamante borto se utiliza para mecanizado de materiales livianos, bronce, latones, cobres, láminas de estaño, caucho, vidrio, plástico y piedras. El principal campo de aplicación es el mecanizado fino. Las velocidades de corte pueden variar entre 100-3000 m/min. ; el avance entre 0.01- 0.02 mm, en ciertos casos puede ir hasta 1 mm.

El diamante sintético posee una dureza inferior a la del diamante natural. Se trata de transformar la estructura del grafito en una estructura cúbica más dura, mediante la misma técnica de la elaboración del CBN; este material presenta las mismas desventajas del diamante natural (grafitización y afinidad del carbono con el hierro en materiales ferrosos), esto limita su aplicación a materiales no ferrosos, sintéticos y otros. Tiene los siguientes nombres comerciales: Syndite y Sumidia.

El diamante policristalino es un material sintético, obtenido mediante la sinterización de cristales de diamante, especialmente utilizado en aleaciones abrasivas de silicio y aluminio, cuando se requiere buen criterio de acabado superficial y precisión; otros materiales son mecanizados con estas herramientas, como composites, resinas, plásticos, carbón, cerámicos y metales duros presinterizados.

2.1.4.2 Caracterización de las herramientas

2.1.4.2.1 Herramientas de un filo. Las herramientas más comúnmente utilizadas en nuestro entorno, es el buril, el cual presenta ciertas características que lo hacen funcional

2.1.4.2.1.1 Características geométricas de las herramientas de corte: Para una herramienta elemental como lo es un buril, tiene los siguientes elementos principales (Ver figura 10):

- Filo o arista cortante.
- Superficie de desprendimiento, que es la cara de la cuña sobre la cual se desliza la viruta.
- Superficie de incidencia, cara que queda frente a la superficie trabajada de la pieza.

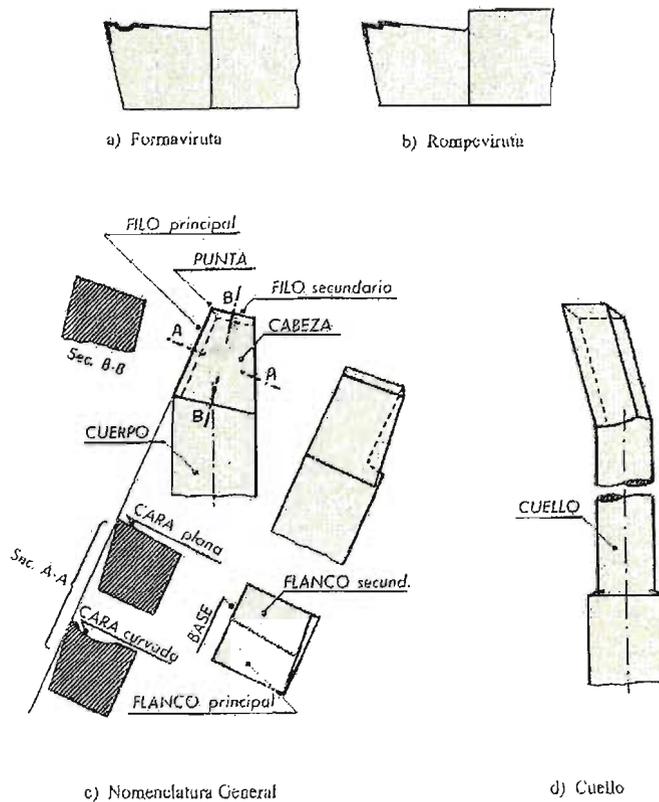


Figura 10. Geometría descriptiva de las herramientas de un filo.

La geometría de la herramienta se describe en función de los ángulos que conforman la intersección de los planos ó caras y el eje de la herramienta, denominados de la siguiente manera:

- Ángulo de incidencia del filo principal (α): Formado por la superficie de incidencia y un plano perpendicular al plano base que pasa por el filo.
- Ángulo de filo (β): Formado por las superficies de incidencia y de desprendimiento.

- Ángulo de desprendimiento o de ataque (φ): Formado por la superficie de desprendimiento y un plano paralelo a la base que pasa por el filo. Se cumple que:

$$\alpha + \beta + \varphi = 90^\circ$$

- Ángulo de corte (δ): Comprendido entre la superficie de desprendimiento y un plano perpendicular al plano de la base que pasa por el filo. Se define por en la siguiente relación:

$$\delta = \alpha + \beta$$

Otros ángulos:

Ángulo de oblicuidad del filo principal (θ)

Ángulo de oblicuidad del contrafilo (θ')

Ángulo de punta (ϵ)

Ángulo de inclinación longitudinal (λ)

Ángulo de posición o de ataque del filo principal. (χ)

2.1.4.2.1.2 Influencia de los ángulos principales de la herramienta.

- Ángulo de incidencia del filo principal (α). Si es pequeño el ángulo dificulta la penetración de la herramienta y produce roce excesivo con la pieza, elevación de la temperatura y pérdida de filo prematuro. Si es grande el ángulo, se obtienen un filo muy frágil, lo que origina el desmoronamiento de éste. Es decir que es más perjudicial un ángulo de incidencia muy grande, que muy pequeño. El ángulo correcto depende del material de la herramienta y del material a mecanizar, por cuanto más duro sea el material que se mecaniza, más pequeño debe ser (α).
- Ángulo de desprendimiento o de ataque (φ): Influye en el doblado de la viruta, para valores pequeños la herramienta sufrirá calentamiento excesivo. Si el valor de (φ) es grande, el filo se debilitará pero a la vez facilitará el desprendimiento de la viruta mejorando el acabado de la pieza. En conclusión el valor adecuado es máximo que resista la herramienta, esto depende de los siguientes factores:
 - Por el material de la herramienta, por cuanto más pequeño sea el ángulo, la fuerza de corte actuará en una zona más alejada del filo y por ende la sección resistente de la herramienta también será mayor. Para materiales de herramientas de poca resistencia a la tensión o al corte, conviene emplear ángulos pequeños. Para materiales de herramientas

frágiles (carburos metálicos sintetizados), conviene usar valores de ángulos nulos o negativos, para conseguir que las fuerzas actúen a compresión sobre la herramienta.

- Influencia del material a mecanizar: para materiales duros se debe emplear ángulos (ϕ) pequeños debido a las fuerzas generadas en el corte.
- El avance también influye por cuanto el espesor de la viruta es proporcional a éste; para avances grandes el valor del ángulo debe ser pequeño para soportar las fuerzas de corte.
- Ángulo de oblicuidad del filo principal (θ): Corresponde al mismo ángulo de posición cuando el eje de la herramienta es normal a la pieza mecanizada. Influye las condiciones iniciales de trabajo, para el caso de que se trabaje con fundiciones moldeadas cuya capa externa es muy dura y abrasiva por la presencia de inclusiones, o para torneear piezas excéntricas, conviene utilizar ángulos intermedios entre 0° y 90° .

La fuerza de corte depende del avance, cuanto mayor sea el avance, mayor es la fuerza de corte y la reacción del material sobre la herramienta. Para materiales muy duros se deben emplear avances pequeños y poco material arrancado, para compensar la reducción del avance, se recurre a aumentar la anchura, utilizando herramientas de oblicuidad muy pequeñas, de esta manera la fuerza de corte por unidad de longitud resulta pequeña.

- Ángulo de oblicuidad del contrafilo (θ'): Este ángulo suele ser de 5° para asegurar la máxima duración de la herramienta. El ángulo efectivo de la arista secundaria depende, no solo del ángulo que tenga la herramienta, sino también de la inclinación con que se fija la herramienta en la máquina y de la dirección del avance en el caso de no ser éste paralelo al eje de la pieza. Se recomienda mantener al ángulo de posición del contrafilo en los 5° , en una faceta de 1 a 2 mm y dar al resto del contrafilo el ángulo negativo necesario para compensar la inclinación del avance.
- Ángulo de inclinación longitudinal (λ): En la dirección de salida de la viruta, ésta se desprende tangente a la superficie de desprendimiento, en ciertos casos el desviar la viruta resulta conveniente en especial cuando se trabaja con herramientas de carburo donde la producción de viruta es elevada y continua, las cuales pueden afectar al operario o la máquina. Respecto a los esfuerzos sobre la punta de la herramienta, si la inclinación es negativa, las fuerzas de corte actúan sobre una zona del filo trabajando a compresión en vez de cortadura o flexión, cuando el ángulo de inclinación es positivo, esto es muy importante cuando se trabaja con

herramientas de carburos metálicos, además reduce la vibración o cuando se trabaja interrumpidamente en la robustez de la punta de la herramienta y en la fuerza de deformación de la pieza.

2.1.4.2.2 Herramientas rotativas.

2.1.4.2.2.1 **Las fresas.** Las fresas son herramientas de revolución con múltiples dientes o cortes en su periferia y de las más variadas formas, según al trabajo a que se destina, están diseñadas para efectuar el mecanizado de piezas multiforme con gran rapidez y precisión.



Figura 11. Tipos de fresas de insertos intercambiables disponibles en el mercado.

La mayoría de las fresas se construyen en varios materiales; en la figura 11 se distinguen los filos (insertos), en materiales especiales y el resto de las partes (cuerpo), en acero corriente; esta tecnología permite mejor aprovechamiento de los materiales y facilita las reparaciones de las mismas. Las características físicas de las fresas son las siguientes:

- El cuerpo: En las fresas pequeñas, el cuerpo forma una sola pieza con los dientes cortados en la periferia. En las mayores, es independiente de los dientes que son insertos ya sea de acero rápido, plaquitas de metal duro, cerámicas, ó diamante.
- La periferia de una fresa cilíndrica es la envolvente imaginaria de su superficie exterior cortante que genera la zona de corte y determina su diámetro exterior, es paralela al eje de giro.

- El diámetro de una fresa se mide en los filos del diente. En las fresas cilíndricas es el diámetro que corresponde a la periferia de sus dientes, mientras en las frontales se mide en los lados de los dientes, teniendo en cuenta que los chaflanes o radios determinan el diámetro útil de corte. En las fresas de forma con relieve, hay que considerar el diámetro mínimo y el máximo, medidos con relación al eje de giro.
- Los dientes; el elemento principal de la fresa, es el diente de corte. En él se distinguen los flancos, cara, filo, ancho y los correspondientes ángulos, al igual que para las herramientas de un filo.

2.1.4.2.2 Características geométricas de las fresas. La fresa más sencilla que es la cilíndrica, puede asimilarse al trabajo que realiza el buñil, cada diente se caracteriza por los ángulos básicos, adicionalmente existe un ángulo (w) que define el número de dientes que tiene la fresa, este valor de ángulo depende del material a trabajar; para metales duros que dan virutas cortas y frágiles, convienen fresas de gran número de dientes, es decir que w pequeños, y para materiales blandos es ventajoso que el número de dientes sea pequeño. En las fresas helicoidales debe figurar el ángulo de inclinación de la hélice, formado por la tangente a la hélice y una línea paralela al eje. (Figura 12).

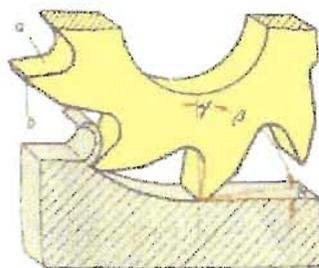


Figura 12. Ángulos básicos de corte en las fresas.

Las fresas cilíndricas poseen mejores características para cortar el material y amortiguar los choques de los dientes; el valor de la inclinación de la hélice (λ) está alrededor de los 20° para corte de materiales ferrosos, 30° para bronce y latones y 40° para metales ligeros, también se debe especificar el sentido de corte (a la derecha o izquierda).

2.1.4.2.2.3 Clasificación de las fresas. La variedad de operaciones de mecanizado mediante el fresado, requiere gran diversidad de estilos de las herramientas. Para identificar se pueden clasificar por aspectos constructivos.

□ Según clase de dentado:

- Fresas con dientes fresados: Se caracterizan por su perfil casi triangular, se puede amolar pero al efectuar esta operación de afilado se va modificando el perfil.
- Fresas con dientes destalonados: Llamadas también de perfil constante, tienen los dientes casi triangulares, su perfil corresponde a un sector de una espiral de Arquímedes, (en estas curvas las normales a ella pasan siempre por el eje). Estas fresas se afilan por su cara frontal o superficie de desprendimiento, manteniendo el perfil de la herramienta constante, lo que no sucede con la anterior.
- Fresa con dientes postizos: Tienen la ventaja que al inutilizarse un diente puede ser sustituido por otro sin afectar a los demás, este tipo de fresas es especialmente utilizado para mecanizar grandes superficies. Ver figura 13.



Figura 13. Tipo de fresa de dientes postizos.

□ Según el número de cortes.

- Fresas de un solo corte: Tiene una sola cara de corte ya sea en su periferia o en la superficie lateral, según el número de dientes y la inclinación que tenga, se emplean para mecanizar determinado tipo de materiales o para obtener mayor rendimiento en el mecanizado.
- Fresas de dos cortes: Tienen dos superficies de corte, normalmente sobre la periferia y en la superficie lateral.
- Fresas de tres cortes: Estas fresas presentan 3 superficies cortantes con dientes en la periferia

y en las dos superficies laterales, siendo más corriente en las fresas cilíndricas y de disco.

□ Según la manera de sujeción:

Está relacionada con la forma de construcción para su montaje y se pueden clasificar en fresas con agujero para montarlas sobre árboles porta fresas, fresa con mango cónico o cilíndrico etc.

□ Según su forma:

- Fresas cilíndricas: Pueden ser de dentado recto o helicoidal, siendo estas últimas las más comunes. Las fresas de gran tamaño, para anular el empuje axial se construyen con dos hélices en sentido contrario normalmente se les llama de planear, están indicadas para rebajar material en superficies planas Para materiales duros conviene fresa de poco diámetro y bastantes dientes y lo contrario para metales blandos.
- Fresas cónicas: Sirven para obtener superficies de perfil angular constante, como la cola de milano, están provistas de dos cortes, se puede aplicar en fresadoras verticales y horizontales.
- Fresas compuestas: Constituidas por dos o más fresas sencillas se emplean para efectuar en una sola operación perfiles de diferentes contornos.

□ Según su aplicación:

- Fresas para planear: Se utilizan las fresas cilíndricas de dentado recto o helicoidales y las cilíndricas frontales, estas últimas son especiales para obtener superficies de acabado liso, las fresas frontales cilíndricas se emplean preferiblemente para el fresado simultáneo de dos superficies en ángulo recto, se estandarizan los diámetros de las fresas entre 40 y 130 mm.

Figura 14 muestra los tipos de fresas.



Figura 14. Tipos de fresas para planear.

- Fresas para ranura: Existen varios tipos según la forma de la ranura a elaborar: Se fabrican para ranuras rectas en forma de T, en forma de cola de milano, para chaveteros, estrías, ranuras para machos etc.
- Fresas para cortar: Se distinguen de las fresas para roscar, la norma establece anchos de 0.25 a 6mm y diámetros de 10 a 120 mm.
- Fresa para perfilar: Este tipo de fresa es complementaria a las de disco que abren la ranura en profundidad. Después de usar aquellas, se aplican éstas para ensanchar la base en la forma deseada.
- Fresas para roscar: Para fresar roscas cortas, se emplean fresas madres de perfil constante, parecidas a las fresas madres de dentar engranajes. El trabajo de roscar con estas fresas en las máquinas especiales queda simplificado en gran manera con respecto al torno, ya que con un poco más de una vuelta de la pieza queda terminada la rosca de gran precisión y con tiempos mínimos de fabricación, también se pueden roscar interiores.
- Fresas para tallar engranajes: Las hay de perfil constante o modular y fresas madres; las primeras sirven para tallar engranajes de diente recto cuyo flanco del diente sigue en perfil de la envolvente de círculo. En los talleres se usan estas fresas estandarizadas en un juego de ocho fresas por módulo (sistema métrico) para obtener dentados aceptables según el número de dientes de la rueda, también existe el juego para dentados según "Diametral Pitch" (Sistema Inglés.) Existe también la fresa madre, llamada, "Tornillo Fresa", se utiliza en máquinas de dentar por generación, están normalizados los módulos en ambos sistemas. La ventaja de esta fresa con respecto a la de perfil constante, está en la capacidad para realizar cualquier cantidad de dientes con la fresa de su módulo.

2.1.4.2.2.4 Las brocas helicoidales. Obtiene su forma básica por el concurso de dos ranuras helicoidales. Mediante el afilado de la punta cónica se constituyen los filos principales o labios, que dan lugar al desprendimiento de viruta, la inclinación de las ranuras corresponde al ángulo de desprendimiento. Con el objeto de que los filos principales puedan introducirse en el material se afila, destalona o despulla el labio en el valor de lo que se llama ángulo de incidencia o destalonado o ángulo de afilado del labio en la periferia, además de los filos principales lleva la punta el filo transversal. Mediante los biseles de guía se disminuye el rozamiento de la broca en el interior del taladro. El mango utilizado para sujeción de la herramienta es cilíndrico para brocas

hasta los 10 mm. y cónico para las brocas mayores. En la figura 15 se muestra el esquema de una broca helicoidal.

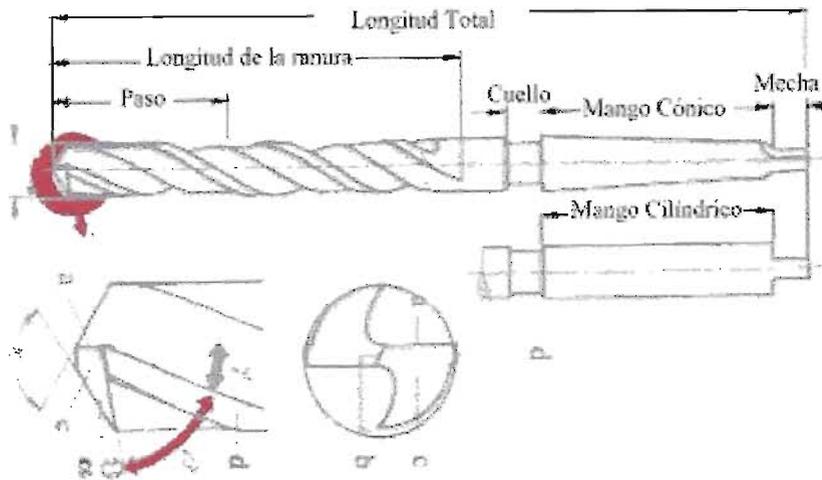


Figura 15. Esquema de las partes de una broca helicoidal.

Para elegir una broca se debe tener en cuenta la profundidad del taladrado a efectuar, el material de la pieza y el afilado de la broca. El material de la pieza a taladrar determina el ángulo de desprendimiento de la viruta y el de la punta (ϵ). El ángulo de desprendimiento (γ), viene constituido por el de inclinación de las ranuras. Los materiales duros exigen, por ejemplo, un ángulo de desprendimiento pequeño y los blandos un ángulo grande.

El desgaste de una broca se reconoce por el redondeamiento de los vértices exteriores de los filos principales, si se sigue trabajando con una broca embotada, se calienta fuertemente por el rozamiento y pierde su dureza, produciéndose como consecuencia la destrucción completa del filo de la herramienta, en este caso se acude al afilado a su debido tiempo.

Existe una variedad de herramientas para taladrar como las que se muestran en la figura 16 que se pueden clasificar así:

- Brocas para agujeros profundos: Es adecuada para la ejecución de huecos profundos y exactos, trabaja por un solo filo.
- Broca para centrar. Se emplean cuando el hueco ha de tener fondo plano, llevan una punta que le sirve como guía.

- Broca hueca: Recorta un núcleo en el material. Se emplea predominantemente en máquinas especiales de taladrar.
- Broca de recortar. Sirve para recortar agujeros.



Figura 16. Tipos de herramientas que se utilizan en el taladrado.

2.1.4.2.2.5 Barrenos. Las barras o ejes de taladrar están provistas de cuchillas postizas que se utilizan para ejecutar agujeros; para trabajar en máquinas horizontales, se emplean barrenos al aire y otras guías. Estas barras van rectificadas y templadas para que en cualquier sitio puedan deslizarse dentro de guías.

2.1.4.2.2.6 Aborcador y Avellanadores. Se realizan trabajos adicionales para requerimientos específicos que obligan la existencia de herramientas especiales para tal fin, es el caso del avellanado, que consiste en la elaboración de cajas de diferentes formas para guardar, por ejemplo la cabeza de un tornillo, ya sea, cónico o cilíndrico.

2.1.4.2.2.7 Escariadores. Son herramientas que pueden ser de mano o para usarse en la máquina, como los mostrados en la figura 17. Los escariadores de mano van provistos de dientes largos, hace que vayan bien guiados; mientras los escariadores de máquina tienen los filos más cortos, para sujetarlos a la máquina van provistos de un mango cónico o cilíndrico. Los grandes taladros se realizan con escariadores huecos o de casco.

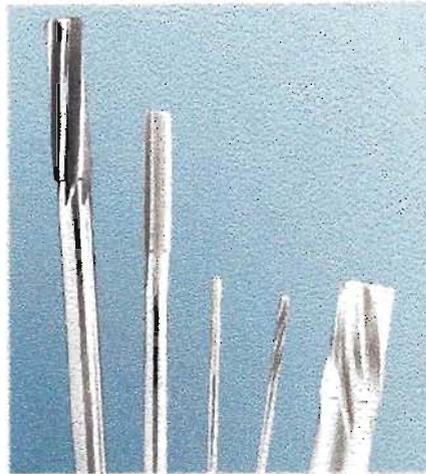


Figura 17. Diferentes tipos de escariadores.

La parte anterior algo apuntada de los dientes se llama "entrada"; esta parte del escariador hace la entrada fácil al taladro (hueco), y come el exceso de material dejado al taladrar o barrenar. La longitud de esa parte varía dependiendo del tipo de agujero, cuando se trata de agujeros ciegos y materiales tenaces y blandos, se usa una entrada corta y cuando el material es duro, una entrada larga. La parte inmediatamente siguiente a la entrada sirve para alisar la pared del agujero. Esta parte tiene un trozo que es cilíndrico con diámetro ligeramente decreciente hacia el mango.

2.1.4.3 Temperaturas de corte en las herramientas. Durante el corte de materiales se generan temperaturas elevadas en la región del filo de la herramienta, esto tiene influencia en el desgaste de la herramienta y la fricción entre la viruta y la herramienta.

Cuando el material es deformado elásticamente la energía requerida para hacerlo es almacenada en el material como energía de deformación y no genera calor. Sin embargo, cuando un material es deformado plásticamente, la mayor parte de la energía utilizada se convierte en calor. El material es sometido a grandes deformaciones en los procesos de corte de metales y la deformación elástica es pequeña comparada con la anterior, lo que puede suponerse que toda la energía es convertida en calor; la conversión de energía ocurre en las dos regiones principales de deformación plástica (ver figura 18): La zona de cizalladura o primaria AB, y la zona de deformación secundaria BC. Como la herramienta tiene la punta redondeada, se genera otra fuente de calor BD, debido a la fricción entre la herramienta y la superficie generada en la pieza; cuanto mayor sea el desgaste de la herramienta, mayor será la temperatura alcanzada.

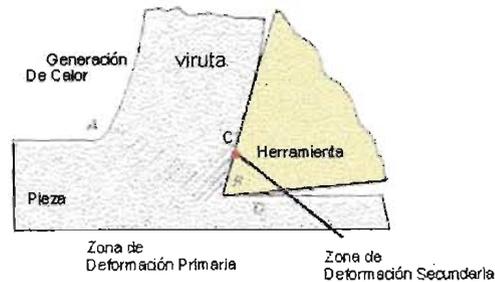


Figura 18. Diagrama de generación de calor en la acción de corte.

La Distribución de la temperatura en los cortes de metales se muestra en la figura 19 para la viruta y la pieza determinada experimentalmente en el proceso de corte ortogonal de un material³. Un punto X en el material que avanza hacia la herramienta, se acerca y pasa a través de la zona de deformación primaria, es calentado hasta que abandona la zona y arrastrado con la viruta. Un punto Y es calentado hasta abandonar la zona de deformación secundaria, entonces es enfriado en la medida en que el calor es conducido hacia la zona de la viruta que está a más baja temperatura y eventualmente pueda adquirir la temperatura uniforme. La temperatura máxima se alcanza en la cara de la herramienta a alguna distancia del filo. Un punto Z es calentado por conducción de calor en la pieza, desde la zona de deformación primaria.

La cantidad de calor conducida de la zona de deformación secundaria hacia la herramienta está dada por:

$$Q_m = \Phi_c + \Phi_w + \Phi_t$$

Q_m = Cantidad de calor total por unidad de tiempo.

Φ_c = Calor transportado por la viruta por unidad de tiempo.

Φ_w = Calor conducido hacia la pieza por unidad de tiempo.

Φ_t = Calor conducido hacia la herramienta por unidad de tiempo.

El material de la viruta cercano a la cara de la herramienta posee mayor capacidad para remover calor que la herramienta, porque está fluyendo rápidamente, por esta razón esta última componente del calor se constituye como una pequeña cantidad de calor del total y usualmente

³ *Ibid.*, p. 93.

despreciada, excepto para velocidades de corte bajas. La velocidad de corte tiene un efecto importante sobre la temperatura de la cara de la herramienta, por lo que se requiere que se use refrigerante en este sector para evitar que pierda el filo la herramienta.

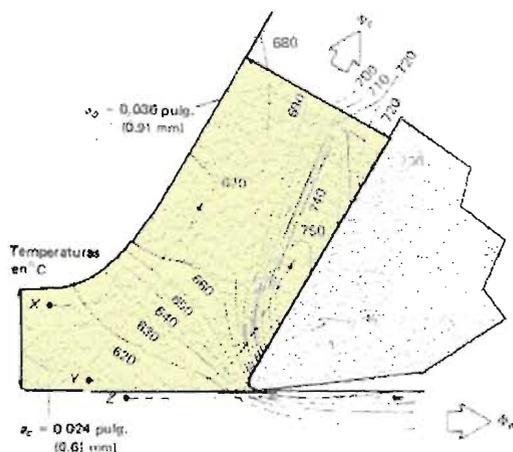


Figura 19. Distribución de la temperatura en la pieza y viruta en el corte de acero dulce.

2.1.4.4 Duración y desgaste de las herramientas. La duración de la vida de la herramienta es un factor analizado desde el punto de vista económico, por lo cual las condiciones de corte de las herramientas se escogen para obtener una duración de la herramienta bajo condiciones de desgaste progresivo de ciertas regiones en la cara y en el flanco de la herramienta o por fallas mecánicas.

2.1.4.4.1 Mecanismo de desgaste. El mecanismo de desgaste puede ocurrir de tres formas diferentes:

- **Desgaste por adhesión:** Es el desgaste ocasionado por la fractura de las asperezas de los dos materiales soldados entre sí. Esta unión se debe al efecto de la fricción.
- **Desgaste por abrasión:** Ocurre cuando las partículas endurecidas de la viruta pasan sobre la cara de la herramienta y remueven el material de ésta.
- **Desgaste por difusión:** Ocurre cuando los átomos de la red cristalina metálica se desplaza de una región de concentración atómica alta (herramienta) a una de concentración baja (pieza),

en consecuencia se debilita la estructura superficial de la herramienta. Este proceso depende de la temperatura y crece la difusión exponencialmente con el aumento de ésta.

2.1.4.4.2 Formas de desgaste de las herramientas. Existen dos formas por las cuales se da el desgaste progresivo de la herramienta figura 20.



Figura 20. Zonas de desgaste de las herramientas en el corte de metales.

- **Desgaste de la cara de la herramienta:** Se caracteriza por la formación de un cráter, el cual es el resultado de la acción de la viruta al fluir a lo largo de la cara. El cráter se ajusta a la forma de la viruta y en condiciones de temperaturas altas (proporcional a la velocidad de corte), las herramientas de acero se desgastan más rápidamente en razón del ablandamiento térmico del material; en materiales de carburo, aunque son más resistentes a altas temperaturas, la difusión en estado sólido ocasiona su rápido desgaste.
- **Desgaste de flanco:** Se forma una zona de contacto de desgaste por el rozamiento entre la herramienta y la superficie generada en la pieza. El ancho de la zona de desgaste generalmente se considera como la medida del desgaste.

2.1.4.4.3 Criterios de duración de la herramienta. Como criterio de duración de la herramienta se define un valor mínimo predeterminado del desgaste o la ocurrencia de un fenómeno. Dado que en las operaciones de mecanizado el desgaste de la cara y del flanco de la herramienta no es uniforme a lo largo del filo principal, se han establecido criterios normalizados por la ISO para determinar la duración de la herramienta. Ver la figura 21.

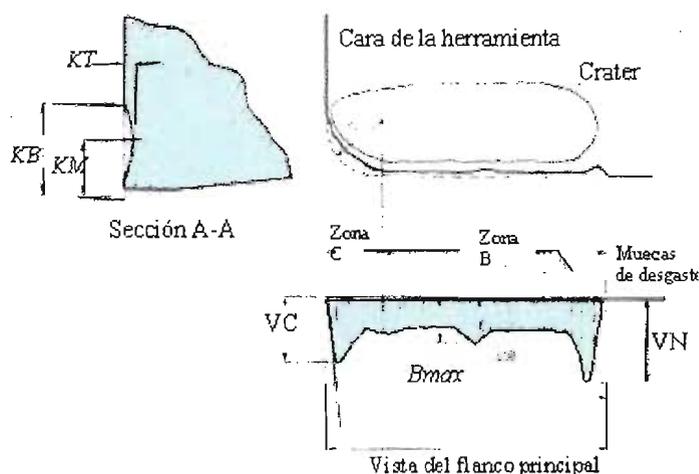


Figura 21. Algunas características del desgaste en una herramienta de un solo filo en el torno⁴.

- Criterios para herramientas de acero rápido:

$VB = 0.3$ mm. si el flanco está desgastado regularmente en la zona B .

$VB_{max} = 0.6$ mm. si el flanco está desgastado irregularmente, rayado, astillado o demasiado ranurado en la zona B .

- Criterios para herramientas de carburo sintetizado:

$VB = 0.3$ mm.

$VB_{max} = 0.6$ mm. si el flanco está desgastado irregularmente.

$KT = 0.06 + 0.3f$. siendo f el avance.

2.1.4.4.4 Vida de la herramienta. La duración de la herramienta se define como el tiempo de corte requerido para alcanzar un criterio de duración de la herramienta descrito anteriormente. La velocidad de corte es el factor que más influye en la duración, para una combinación dada de material de trabajo y herramienta, geometría de la herramienta y operación de mecanizado. Los estudios realizados por TAYLOR, condujeron a la siguiente relación:

$$VT^n = C$$

⁴ *Ibid.*, p110.

Donde:

V = Velocidad de corte, (pies/min) o (m/s).

T = Duración de la herramienta en minutos o segundos.

n = Exponente que depende de las condiciones de corte.

C = Constante ; velocidad de corte para un duración de herramienta igual a 1 min.

En la tabla 1 se muestran los intervalos aproximados para el exponente n .

Tabla 1 . Valores promedios del exponente n en la ecuación de Taylor.

Material herramienta	Material de trabajo	N
Acero Rápido	Acero	0.125
	Hierro colado	0.14
Carburo Cementado	Acero	0.20
	Hierro colado	0.25
Oxido Sinterizado	Acero	0.5

Los cambios importantes en la geometría de la herramienta (el filo y los ángulos), la profundidad de corte, el avance y la dureza del material alteran el valor de la constante C y pueden causar cambios en el valor del exponente. La siguiente relación⁵ considera estos cambios:

$$K = V * T^n * f^{n_1} * a^{n_2} * dB^{1.25}$$

Donde:

K = Constante de proporcionalidad.

f = Avance.

a = Profundidad del corte.

n_1 = Exponente de avance (0.5 - 0.8).

n_2 = Exponente de profundidad de corte (0.2 - 0.4).

dB = Dureza brinell del material.

La microestructura y el fluido de corte influyen en la vida de la herramienta, lo que hace complejo el cálculo real de la vida residual de la misma.

⁵ *Ibid.*, p.112.

2.1.4.5 Control de la viruta. A bajas velocidades de corte las formas continuas de la viruta no representan un problema, ya que poseen una curvatura natural y tienden a ser frágiles, sin embargo, a velocidades altas se hace necesario el control de la viruta, ésta puede resultar peligrosa para el operario, causar problemas con la herramienta o máquina, o si se está utilizando un fluido de corte, la viruta puede interferir su flujo causando calentamientos y enfriamientos alternativos del filo de la herramienta, y causar esfuerzos térmicos que reducen la vida de la misma. En la figura 22 se presentan las diferentes formas en que se producen virutas en los procesos de mecanizado.

Plana	Tubular	Espiral	Helicoidal plana	Helicoidal cónica	Arqueadas	Elementales	Ahusadas
Larga	Larga	Plana	Larga	Larga	Conexa		
Corta	Corta	Cónica	Corta	Corta	Inconexa		
Enredada	Enredada		Enredada	Enredada			

Figura 22. Tipos de virutas que se obtienen en el mecanizado, para diferentes materiales y condiciones de corte.

El control y la fragmentación de las virutas se logra con un rompevirutas, que se define como una modificación de la cara de la herramienta para controlar o fragmentar la viruta, ya sea en forma de ranura integral o en forma de obstrucción integral o postiza.

Un rompevirutas actúa controlando el radio de curvatura y dirigiéndola en una dirección apropiada para que se rompa en pedazos de longitud pequeña. Además del diseño apropiado del rompeviruta, se requiere que la herramienta posea la geometría (ángulo de inclinación efectivo del filo principal) precisa para que la viruta siga la trayectoria apropiada a través de la cara.

2.1.5 Operaciones de mecanizado estándar

2.1.5.1 Operaciones de torneado. Las principales operaciones realizadas en los tornos son:

- Cilindrado exterior e interior: Consiste en mecanizar un cilindro recto de longitud y diámetro determinados. Se pueden dar varias pasadas de desbaste para dejar la pieza muy próxima a la cota deseada y una operación de acabado permite fijar las dimensiones reales y alisado de la superficie, según el plano de diseño de la pieza. Ver figura 23.

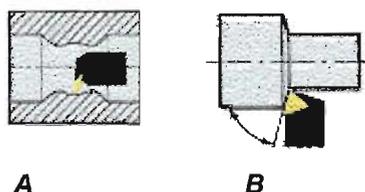


Figura 23. Operaciones de Cilindrado en el Torno: (A) Interior y (B) Exterior.

- Refrentado: Consiste en mecanizar una superficie plana perpendicular al eje de giro. En esta operación las herramientas tienen movimiento transversal, distinguiendo esta velocidad de la velocidad longitudinal (antes definida como velocidad de corte), sólo por la dirección, pero para efectos de selección son igualmente equivalentes. Ver figura 24.

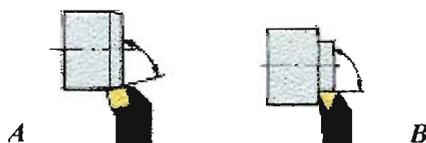


Figura 24. Operación de Refrentado con diferentes ángulos de posición: (A) 75° y (B) 90.°

- Mandrinado: Consiste en agrandar un agujero previamente elaborado. Esta operación se hace con el montaje de la pieza en la copa. Ver figura 25.



Figura 25. Operaciones de Mandrinado.

- Roscado: Consiste en producir un resalte o acanalado en forma de hélice sobre un cuerpo cilíndrico o cónico, mediante una herramienta adecuada según el tipo de rosca que se desea hacer. El paso de la rosca se fija variando la relación de velocidad entre el husillo principal y el tornillo patrón, mediante una serie de engranajes que relaciona el movimiento de los órganos. En la figura 26 se describen las operaciones de roscado interior y exterior.

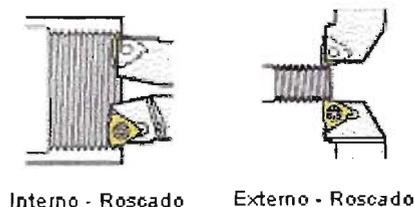


Figura 26. Tipos de Roscas que se mecanizan.

- Ranurado: Operación que consiste en abrir ranuras o gargantas en la pieza. Si las ranuras son angostas, las herramientas deben ir a la medida de los requerimientos de anchura, y cuando es ancha la ranura, es necesario darle movimiento de avance. El ángulo de ataque es de 0° para materiales frágiles y de 12° para materiales blandos, el ángulo de incidencia varía entre 3° y 8° . Ver figura 27.

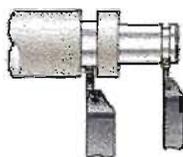


Figura 27. Operaciones básicas de ranurado que se ejecutan en el torno.

- Tronzado: Es el proceso de corte de metales en el torno. Con objeto de evitar la pérdida de material, la herramienta se hace estrecha. Cuando en la pieza cortada no debe quedar espiga alguna, la cuchilla recibe un afilado oblicuo. Ver figura 28

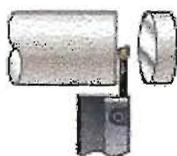


Figura 28. Operación básica de corte de materiales o Tronzado en el torno.

- Taladrado y escariado: Para efectuar esta operación se emplean escariadores o brocas, pero en este caso las herramientas van montadas en cabezal móvil en lugar del contrapunto.
- Torneado cónico: Esta operación de mecanizado se realiza para obtener piezas de forma cónica, se emplean diferentes métodos para la fabricación: Por rotación del carro porta herramienta, se emplea para conos externos e internos sin importar el grado de conicidad, el carro debe girar a la mitad del ángulo del cono; por desplazamiento del contrapunto, aplicado cuando el cono es largo y de poca conicidad; por medio de dispositivo copiador, se pueden realizar conos de hasta 30° y limitada la longitud del cono al de la regla guía.

2.1.5.1.1 Fuerzas y potencias absorbidas en las operaciones de torneado. La fuerza de corte que se le aplica a la herramienta de corte para efectuar el arranque de material es superior y de sentido contrario a la fuerza de reacción del material sobre la herramienta. Esta fuerza se descompone en los tres componentes que se originan al oponerse el material a la penetración en las tres direcciones.

Fuerza de corte tangencial (T): Es la resistencia que muestra el material a ser cortado, cuando la herramienta se desplaza o gira sobre la pieza; vencer esta componente consume la mayor potencia.

Fuerza axial (A): Es la reacción del material al avance de la herramienta, su incidencia en la potencia es pequeña, debido a las velocidades bajas de avance.

Fuerza en dirección radial (R): Es la que se opone a la penetración de la herramienta. Por ser de carácter estático no influye sobre la potencia.

La valoración de estas tres componentes se realiza experimentalmente, y la relación aproximada de las componentes es T: A : R = 5: 1: 2. Se ha comprobado que la fuerza total de corte (F) puede determinarse en términos de la fuerza específica de corte (**K**), definida en la siguiente expresión:

$$F = K * S = K * a * f$$

S = Sección de la viruta cortada

a = Profundidad

f = Avance

Los valores de la fuerza específica de corte dependen del material cortado, (el valor de la relación entre la fuerza específica de corte y la resistencia del material es aproximadamente 4.5 para los

aceros), de la sección de la viruta, de los ángulos de la herramienta de corte y de la velocidad de corte.

La potencia necesaria es igual a la suma de las potencias de cada una de las componentes (T, A, R), correspondientes de la fuerza resultante de corte.

P_T = Potencia para corte correspondiente a la componente de la fuerza tangencial (T).

P_A = Potencia para el avance correspondiente a la fuerza de avance (A).

P_R = Potencia para la penetración correspondiente a la fuerza de penetración. (R).

$P_T = T \cdot V_T$ V_T = Velocidad de corte tangencial.

$P_A = A \cdot V_A$ V_A = Velocidad de avance.

$P_R = R \cdot V_R$ $V_R = 0$, no hay movimiento en la dirección de penetración.

$P = P_A + P_T$ P = Potencia total

La potencia de avance P_A , es inferior al 5 % de la potencia efectiva de corte P_T . Una forma rápida, aunque no muy exacta que da la potencia de corte (P_C), absorbida por el mandril, consiste en buscar sobre tablas o diagramas la carga de desgarramiento K_s , por mm^2 , para el material a torneear, es decir, la componente tangencial de la fuerza específica de corte. Por tanto: La potencia absorbida por la máquina, incluyendo su eficiencia o rendimiento mecánico (η) del torno será:

$$P_C = T \cdot V_T = \frac{T \cdot V_T}{60 \cdot 75 \cdot \eta} = \frac{K_s \cdot a \cdot f \cdot V_T}{4500 \cdot \eta} \quad (\text{cv})$$

2.1.5.1.2 Determinación de tiempos de mecanizado. Para la determinación de los tiempos de mecanizado se utiliza el método analítico y el del empleo del cronómetro. El primer método obtiene sus deducciones analíticas apoyándose en la medición de tiempo con cronómetro.

Se distinguen dos tipos de tiempos que son: el tiempo de producción real, o activo y el tiempo pasivo o improductivo. El tiempo pasivo no sólo es conveniente preverlo mediante tablas, sino controlarlo con cronómetro directamente durante las fases de operación. Existen tablas que se usan en la práctica para determinar el tiempo total de torneado de una pieza

Se parte de la fórmula $l = a_p \cdot n$.

Donde:

l = Longitud de maquinado de una pieza en un minuto.

a_p = Avance en mm por cada revolución.

n = Velocidad del husillo en r.p.m.

Para cualquier longitud de torneado (L) se determina el tiempo activo de mecanizado (t), mediante:

$$t = \frac{L}{A * n}$$

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000}$$

En la fórmula no se relaciona la profundidad (a_p), sin embargo ésta determina cuántas pasadas se deben hacer para obtener las dimensiones y acabados deseados, lo que suma el tiempo por cada proceso al tiempo total activo de mecanizado. Generalizando, para la elaboración de una pieza con N números de procesos de mecanizado, y cada proceso con M pasadas, se tiene el tiempo total de mecanizado:

$$t = \frac{\pi}{1000 * V * a_p} D * L$$

$$t = \sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N \frac{\pi}{1000 * V_{ij} * a_{pij}} D_{ij} * L_{ij}$$

En la anterior ecuación se debe tener en cuenta que en el proceso de fabricación los diámetros de la pieza van variando, a medida que se realizan las pasadas se obtiene variaciones en la velocidad de rotación de la pieza, además cada operación requiere su propia herramienta con sus respectivos valores de velocidad, avance y profundidad. Este valor, junto con el tiempo pasivo de las etapas improductivas, determinan el tiempo total de mecanizado.

2.1.5.2 Operaciones en la fresadora

Existen dos posibles métodos de fresado que se emplean para realizar cada operación, estos son:

- **Fresado en oposición:** Resulta cuando el sentido de giro de la fresa y el avance del material se oponen. En cada vuelta de la fresa cada diente llega a un punto, donde toma contacto con el material y penetra en él con su filo; a partir de ese punto, con menor profundidad de corte, el espesor de la viruta aumenta cada vez más hasta llegar al punto donde se hace máximo.
- **Fresado en concordancia:** Aparece cuando el sentido de giro de la fresa y el sentido de giro del material concuerdan. En cada vuelta de la fresa, cada diente llega a un punto donde comienza a cortar con viruta gruesa; a partir de ese punto, el espesor de la viruta decrece hasta que se anula en el punto de salida de la fresa, debido a que la fresa gira más rápido de lo que el material avanza.

Existen diferencias entre estos dos métodos; entre las principales se tiene: Para las mismas condiciones de corte hay mejores terminaciones superficiales en la pieza cuando se fresa en oposición, pero cuando se fresa en oposición el diente necesita alcanzar una profundidad mínima para poder cortar, y antes de alcanzar esta profundidad se presenta un roce intenso entre el material y el filo de la herramienta, resultando reducida la vida útil de ésta. En el método de fresado en concordancia no se presenta el fenómeno de fricción. Otra diferencia está relacionada con el esfuerzo súbito que sufre la herramienta en el fresado en concordancia, mientras que en oposición el proceso se realiza suavemente. Para seleccionar el método se tienen en cuenta principalmente, el material a trabajar, las condiciones de estabilidad de la máquina herramienta y el acabado deseado. En las fresadoras se pueden realizar una amplia gama de mecanizados, si se cuenta con las herramientas y los dispositivos apropiados; entre las operaciones más usuales se encuentran:

- **Planeado:** Se logra obtener superficies planas mediante fresas cilíndricas y frontales. Se puede emplear cualquiera de los métodos de fresado, ya sea en concordancia o en oposición. Para determinar el diámetro de corte efectivo, se tiene en cuenta el ancho de la superficie a mecanizar y el tamaño de la pieza, normalmente éste diámetro debe ser mayor que 1.3 veces el ancho de cada pasada. Ver figura 29.

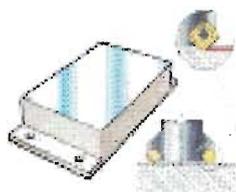


Figura 29 . Detalle de planeado de superficies con fresas frontales.

- *Ranurado y tronzado:* Dependiendo del tipo de ranura a efectuar se determina la fresa; si son ranuras rectas conviene una fresa de tres cortes, para ranuras de forma se utiliza la fresa de la respectiva forma. Ver figura 30.



Figura 30 . Diagrama de las operaciones de ranurado y tronzado. Detalles de de superficies con fresas frontales.

- *Chaveteros:* Según la forma del chavetero pueden emplearse fresas de mango o de disco. Ver figura 31.



Figura 31. Tipos de fresas y chaveteros que se realizan en la fresadora.

- *Perfilado:* Según la forma deseada se determina el tipo de fresa, normalmente se emplean fresas de corte periférico. Ver figura 32.



Figura 32. Tipos de Perfilado en la fresadora.

- *Mandrinado y Fresado circular:* Esta operación es llamada también contorneado, se realiza en las fresadoras provistas de un plato circular con movimiento de rotación automático. Su objetivo es agrandar orificios previamente mecanizados. Ver figura 33.

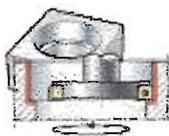


Figura 33. Operaciones de mandrinado en interpolación circular.

- Fresado helicoidal: Empleado cuando se requiere implementar ranuras helicoidales sobre cuerpos cilíndricos, (Fresado de brocas, engranajes etc.), pueden emplearse fresas de disco, cilíndrica o frontales. Ver figura 34



Figura 34. Fresado en interpolación helicoidal.

- Fresado de engranajes: Generalmente se realizan los engranajes en la fresadora, tradicionalmente con el uso de fresas de perfil constante, la cual tiene la forma del engranaje entre diente y diente (figura 35). También se fabrican los engranajes mediante procedimientos continuos en máquinas especiales.



Figura 35. Tipo de fresas para el tallado de engranajes.

- Taladrado y Escariado: Se pueden realizar estas operaciones montando las respectivas herramientas o montando cabezales universales en el porta herramienta de la fresadora.

2.1.5.2.1 *Fuerzas, momentos y potencia absorbida en el fresado:* Se emplea la relación de fuerza específica de corte con la sección de la viruta, esta sección de viruta es variable; la fuerza máxima corresponde a la sección máxima.

$$F = K * S$$

Donde:

K: Fuerza específica de corte (Kg/mm^2).

S: Sección de la viruta en mm^2 .

Como la sección de la viruta es variable la fuerza es máxima para el valor máximo de la sección (AB). De acuerdo a la figura 36 se tiene:

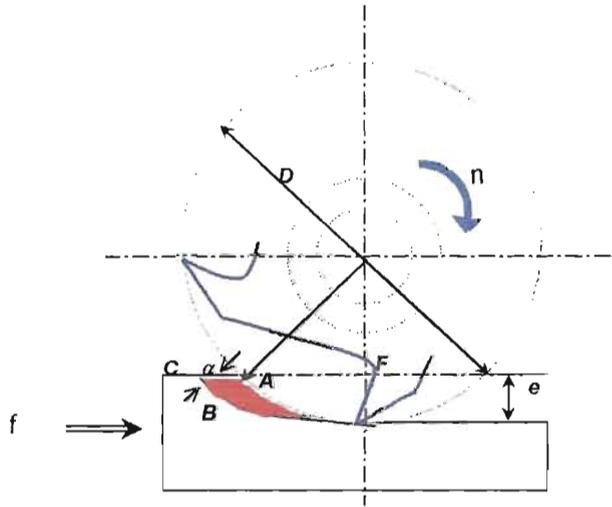


Figura 36. Diagrama de la acción de corte y de la sección de la viruta en el proceso de fresado.

$$S = AB * b = AC * \text{sen}(\alpha) * b$$

$$AB = AC * \text{sen}(\alpha)$$

Siendo:

b = Ancho de la viruta en mm.

z = Número de dientes de la fresa.

a = Avance de corte en m/min.

AC = Avance por diente.

$$AC = a \cdot \frac{1}{z * n}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación anterior tenemos:

$$S = \frac{a}{z * n} * \text{sen}(\alpha) * b$$

Expresando el valor del $\text{sen}(\alpha)$ en función del diámetro de la fresa (D) y del espesor de viruta (e) se tiene:

$$\overline{OA}^2 = \overline{FA}^2 + \overline{OF}^2 = \overline{OA}^2 * \text{sen}^2 \alpha + \overline{OF}^2$$

$$\overline{OA} = R$$

$$R^2 = R^2 * \sin^2 \alpha + (R - e)^2$$

$$\therefore \sin \alpha = \sqrt{\frac{R^2 - (R - e)^2}{R^2}} = \sqrt{\frac{2Re - e^2}{R^2}} = \frac{2\sqrt{e(D - e)}}{D}$$

Substituyendo el valor del $\sin(\alpha)$ en la ecuación (3) y la ecuación de la velocidad (n), tenemos:

$$S = \frac{a * 2 * \sqrt{e * (D - e)}}{z * n * D} * b$$

$$V = \pi * D * n / 1000$$

$$F = \frac{K * 2 * a * b * \pi * \sqrt{e * (D - e)}}{1000 * V * z} \quad (\text{Kg})$$

El momento torsor M_T

$$M_T = F * R = \frac{F * D}{2} \quad (\text{Kg} * \text{m})$$

La potencia absorbida en el fresado, teniendo en cuenta la eficiencia de la máquina es:

$$P = \frac{F * V}{4500 * \eta} = \frac{K * 2 * a * b * \pi * \sqrt{e * (D - e)} * V}{4500 * \eta} \quad (\text{Cv})$$

Dada la velocidad de corte (V), en m/min.

Estas fórmulas son aplicables tanto al fresado en oposición como para el fresado en concordancia.

BIBLIOTECA UIS

2.1.5.2.2 *Tiempos de fresado*: Dentro de los factores para calcular los costos del mecanizado está la determinación del tiempo de mecanizado, éste depende de los siguientes puntos:

- Tiempo de preparación de la máquina: Se estima el tiempo para poner la herramienta, hacer el montaje de la pieza y colocar la máquina en posición de trabajo; luego de terminar el trabajo de mecanizado, se requiere el tiempo para desmontar la pieza y dejar la máquina expedita para otro trabajo. Puede durar de 30 a 60 minutos.
- Tiempo de maniobra: Comprende todas las operaciones que se efectúan estando la máquina apagada, como efectuar mediciones, colocar la pieza en el montaje, etc. En general puede durar entre 1 y 3 minutos, en piezas largas se considera el tiempo de cambio de herramienta por desgaste.
- Tiempo de máquina: Se puede calcular en función de las características de la máquina en su gama de avances, el diámetro de la fresa y longitud de la pieza, añadiéndole suplementos por entrada, salida de la herramienta y retrocesos (en las fresadoras modernas son automáticos y acelerados). El tiempo de máquina se expresa por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{L + L_v + L_a}{a}$$

Donde :

t = Tiempo de corte en minutos.

L = Longitud de la carrera en mm.

L_v = Salida de la fresa en mm.

L_a = Entrada de la fresa en mm.

a = Avance de la mesa en mm por minuto.

El avance de la mesa es el factor más importante y varía según el material y forma de la fresa, el material de trabajo y el sistema de sujeción de la pieza, de manera que la determinación final del avance la hace el experto en la selección de la herramienta. La entrada de la fresa es la distancia desde el punto en que ésta entra en contacto con la pieza hasta el punto en que la fresa trabaja en toda su sección y depende del diámetro de la misma.

2.1.5.3 Operaciones en la taladradora. El taladrado es un procedimiento de arranque de viruta utilizado para ejecutar agujeros redondos en materiales metálicos y no metálicos, empleando herramientas cortantes animadas en su movimiento principal de rotación; también se

emplea el torno para realizar tal fin. Además del procedimiento para realizar agujeros por arranque de viruta, existen otros procedimientos que no entrañan formación de viruta, (estampado, punzonado o soplete) y pueden resultar más baratos estos procedimientos que el taladrado, sin embargo, el procedimiento de taladrado ofrece facilidades adicionales como realizar agujeros de diámetros determinados, distancia entre ejes fijada previamente y un acabado superficial específico. Son estas las razones por las cuales el taladrado constituye uno de los procedimientos de trabajo más importantes de la industria metalmeccánica. En la figura 37 se muestra el esquema de estas operaciones.

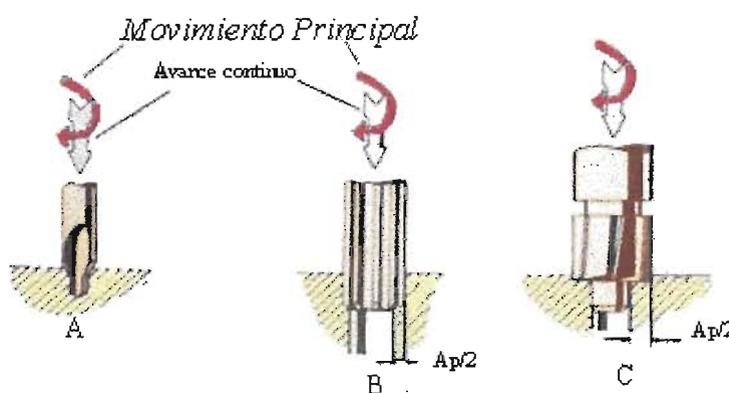


Figura 37. Algunas operaciones que se ejecutan en el taladro (A) Centrado, (B) Rimado y (C) Refrentado.

- Taladrado: La operación comúnmente realizada es el taladrado con broca helicoidal para generar una superficie cilíndrica interior; las brocas generalmente tienen dos filos, la calidad del agujero la determinan principalmente las condiciones de estos filos y poco se ve afectada por el estado de la punta; las virutas formadas por los filos toman forma helicoidal y fluyen a través de las ranuras de la broca. Este tipo de broca es apropiada para taladrar agujeros con longitud menor a cinco veces el diámetro, para agujeros más profundos se emplean brocas especiales.
- Taladrado con broca de centro: Esta operación produce una superficie cónica con holgura en el fondo, este agujero sirve para alojar un punto cuando la pieza se fija entre puntos o como guía para iniciar un agujero, pues, elimina la posibilidad de desviación de la broca. (figura 37A).
- Rimado: Llamado también escariado, se usa para el acabado de un agujero taladrado. Como se describió anteriormente, el escariador es similar a la broca pero tiene varios filos y las

ranuras son rectas. Esta herramienta deberá remover una pequeña cantidad de material de la pieza y mejora notablemente la precisión y el acabado superficial del agujero. (figura 37B).

- Refrentado: Se aplica para lograr una superficie plana alrededor de un agujero y perpendicular a su eje, con el propósito de dar asentamiento a una arandela o tuerca. (figura 37C).
- Barrenado, Penetrado y Avellanado: El Barrenado se define como la operación de aumentar el diámetro de un agujero por medio de una herramienta de un solo filo, efectuándolo de manera similar al torneado simple, si se ejecuta con herramientas rotativas de múltiples filos, tales como fresas, la operación se denomina mandrinado, este procedimiento de retaladrado se aplica cuando el diámetro deseado es muy grande y la máquina herramienta limita la potencia. El Penetrado, se define como la operación cuyo objetivo es profundizar los agujeros ya empezados, terminar agujeros que se han hecho de manera previa o que se han dejado en el anterior proceso de fundición; en el mercado se encuentran disponibles herramientas que permiten realizar penetraciones hasta cinco veces el diámetro de la broca y cuando se requieren agujeros de mayor profundidad, deben emplearse sistemas especiales de taladrado que permiten realizar agujeros profundos de hasta 100 veces el diámetro de la herramienta, manteniendo la rectitud del eje del agujero y acabado superficial muy bueno. El avellanado se refiere a la práctica de alojamientos para las cabezas de tornillos, ya sean de tipo cilíndrico o cónico, esta operación también es denominada abocardado.

2.1.5.3.1 *Fuerzas y potencias absorbidas en el taladrado.* Para fines de calcular las condiciones de operación, se emplean las siguientes expresiones.⁶

$$P_c = \frac{1}{60000} A_p * f * K_{cf} * V \left(1 - \frac{A_p}{D} \right) \quad (\text{KW})$$

$$K_{cf} = K_{c0.4} * \left(\frac{0.4}{f * \text{sen}(k_r)} \right)^{0.29} * \left(1 + \frac{6 + (\pm \gamma_n)}{100} \right) \quad (\text{N/mm}^2)$$

⁶ SANDVIK COROMANT. *Herramientas Rotativas. Dinamarca: 1995 p. 371.*

$$M = \frac{1}{2000} A_p * f * K_{cf} * D \left(1 - \frac{A_p}{D} \right) \quad (\text{Nm})$$

$$T = 0.5 * A_p * f * K_{cf} * \text{sen}(k_r) \quad (\text{N})$$

Donde:

P_n = Potencia de corte.

$K_{c0.4}$ = Fuerza de corte específica para avance de 0.4 mm.

K_{cf} = Fuerza de corte específica para avance por filo.

A_p = Profundidad de corte en mm

M = Momento Torsor.

T = Fuerza de Empuje.

f = Avance en (mm/rev).

D = Diámetro de la broca en mm.

V = Velocidad de corte (m/min.)

La fuerza específica de corte está definida para un caso particular de avance, ángulo de posición, ángulo de desprendimiento y material de pieza; por tal motivo se corrige en la segunda expresión para variaciones de estos parámetros.

Las profundidades de corte se definen de acuerdo a la operación que se esté ejecutando. Si es taladrado enterizo, el valor de la profundidad es el radio de la fresa. Si la operación es de retaladrado, el valor es la mitad de la diferencia de diámetros.

2.1.5.3.2 Determinación del tiempo de taladrado: El tiempo principal de mecanizado (t), es el tiempo de funcionamiento de la máquina mientras el filo de la herramienta arranca viruta. Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$t = \frac{L}{a * n} \quad \text{en min.}$$

$$L = l + 0.3 * D$$

Donde:

t = Tiempo de mecanizado.

L = Trayectoria de trabajo de la broca en mm.

l = Profundidad del agujero en mm.

D = Diámetro de la broca en mm.

n = Velocidad de rotación de la broca en rev/min.

α = Avance de la broca en mm/rev.

En el segundo término de la ecuación anterior se considera el tiempo que tarda la broca en cortar plenamente con los filos principales, que es función del diámetro de la broca. Adicional a este tiempo se debe sumar el tiempo de preparación y tiempos secundarios.

2.1.6 Materiales para piezas mecanizadas

2.1.6.1 Normalización de piezas. Una de las reglas para el diseño en la manufactura es diseñar de tal manera que se usen tantos elementos normalizados como sea posible, (tuercas, arandelas, pernos, tornillos, rodamientos, engranajes, etc.), pues el costo de estos elementos será menor que unos semejantes no normalizados. Una segunda regla es minimizar, si es posible, la cantidad de mecanizado con el preformado de piezas. Si no es posible emplear elementos normalizados o piezas preformadas normalizadas, el diseño de la pieza debe normalizar aspectos del mecanizado, esto significa, que estarán disponibles herramientas apropiadas, dispositivos y utilajes, los cuales pueden reducir costos de manufactura considerablemente. Ejemplo de estos son las roscas, chaveteros, asientos para rodamientos, ejes estriados etc.

2.1.6.2 Selección del material de la pieza a mecanizar. Cuando se escoge un material se considera la aplicabilidad, costos, disponibilidad, maquinabilidad y la cantidad de mecanizado requerido. Cada uno de estos factores influye al otro ó la selección óptima generalmente requiere un compromiso entre los factores críticos.

La aplicabilidad de los diferentes materiales depende de la función del elemento y se decide por factores como la resistencia a la tracción, resistencia al desgaste, a la corrosión, apariencia etc. Estos aspectos están fuera del presente trabajo, pero se parte del hecho de que existe la necesidad de fabricar una pieza mediante procesos de mecanizado y que se han aplicado previamente los anteriores criterios. En general, los costos del mecanizado serán más bajos si se usan materiales para piezas con mayor maquinabilidad.

La selección de la herramienta debe considerar factores que ayuden a minimizar el costo final del producto dado un material de trabajo específico. Por ejemplo, no debe suponerse que la herramienta más barata es la que dará siempre un menor costo; podría ser más económico escoger una herramienta que sea más resistente al desgaste aunque sea mas cara.

2.1.6.3 Formas de los materiales. Con excepción de las piezas que son parcialmente formadas antes del mecanizado mediante forjas, fundiciones y estructuras soldadas, la forma del material depende de su disponibilidad en el mercado; los materiales se venden en forma de platinas, barras y tubos en una amplia gama de tamaños normalizados.

Los elementos manufacturados de una barra, o tubo circular o hexagonal son generalmente mecanizados en máquinas herramientas que proporcionan el movimiento principal rotativo a la pieza. Estos tipos de elementos son llamados rotacionales, los elementos restantes, construidos en platinas, láminas, barras rectangulares etc. son llamados no rotacionales.

2.1.7 Fluidos de corte. Los fluidos de corte, generalmente en estado líquidos, se aplican en la zona de formación de viruta con el propósito de mejorar las condiciones de corte en comparación con el corte en seco. El fluido trabaja principalmente de dos maneras: como refrigerante y como lubricante. La mayoría de refrigerantes usados tienen como base aceites minerales y vegetales, siendo los más comunes los primeros; algunos de estos aceites se aplican emulsionados (para aceites solubles en agua) y el resto puros o con algún aditivo. Debido a su mayor capacidad de conducción de calor, se usan las emulsiones de agua-aceite, donde el requisito más importante es la refrigeración cuando se trabaja a altas velocidades. Los aceites no emulsionados se usan cuando la consideración más importante es la lubricación, es decir, que se restringe al uso en operaciones tales como roscado, fresado de engranajes, etc., donde las velocidades son bajas.

2.1.7.1 Acción de los Refrigerantes. Las ventajas que se obtiene usando refrigerante son:

- Incremento de la vida de la herramienta, debido a la reducción de la temperatura en la zona de corte.

- Reducción de la distorsión térmica debido a los gradientes de temperatura generados en el proceso de mecanizado.

2.1.7.2 Acción de los lubricantes. En condiciones de alta temperatura y presión, baja velocidad de deslizamiento, no se puede mantener la película hidrodinámica y por lo tanto se presenta contacto directo, y en consecuencia la resistencia al movimiento depende de la combinación del corte de las rugosidades y el corte viscoso del fluido; este fenómeno se conoce como lubricación límite, y es afectado por la naturaleza de la capa del fluido entre las superficies de los dos metales en contacto. Algunos lubricantes poseen ingredientes reactivos que pueden ofrecer una superficie de protección mayor durante el deslizamiento por la formación de una capa sólida de lubricante. Esta capa de lubricante sólido a menudo es producto de una reacción química entre el lubricante y la superficie del metal.

La aplicación de los lubricantes en los procesos de mecanizado ayudan a reducir la fricción en la cara de la herramienta y por lo tanto disminuir la potencia consumida, aumentar la vida de la herramienta y un mejoramiento en el acabado superficial de la pieza. Los productos químicos (como el Tetracloruro de carbono CCl_4 , el Cloroformo CHCl_3 , el Tricloroetano CH_3CCL_3), pueden tener influencia importante en los procesos de corte reduciendo el consumo de potencia hasta el 60%, si se usan a bajas velocidades de corte. Una excepción importante es el uso de estos lubricantes en el mecanizado del plomo, ya que la resistencia a la cizalladura del fluido es mayor que la del mismo material de trabajo. La principal desventaja de estos compuestos es su carácter tóxico, ya que cuando se somete a altas temperaturas se produce un gas venenoso.

El refrigerante se determina por el coeficiente de maquinabilidad del material que se trabaje. (Tomando como el 100 % la barra de Bessemer). Para metales ferrosos, aceros y fundiciones se consideran 4 grupos:

- Grupo I: 70% o más, aceites y compuestos solubles o emulsionables, aceites minerales, aceite de lardo.
- Grupo II: 50-70 %, aceite sulfurado y compuestos solubles.
- Grupo III: 40-50%, aceites sulfurados y compuestos solubles.
- Grupo IV: menos de 40%.

Para metales no ferrosos se consideran dos grupos:

- Grupo I: más del 100%, aceites y compuestos solubles o emulsionables, aceites minerales, ningún refrigerante.
- Grupo II: menos del 100%, aceites sulfurados, aceites y compuestos solubles o emulsionables.
- En el mecanizado de cobre se utiliza normalmente aceite de palma.

2.2 ASPECTOS DE LA SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

Hoy día existe una herramienta para optimizar cada operación de mecanizado que cortará un cierto material, bajo ciertas condiciones y de la mejor manera; de ahí la importancia de seleccionarla teniendo en cuenta los factores que afectan su comportamiento y los resultados de la misma. En general los factores son: (Ver figura 38)

1. Operación de mecanizado.
2. Forma de la pieza y material.
3. Máquina –herramienta.
4. Condiciones de corte.
5. Acabado superficial requerido.
6. Estabilidad general del conjunto.
7. Costos de mecanizado.

Cada uno de estos factores influye de manera diferente en el proceso de selección de la herramienta de trabajo, es así, que la operación de mecanizado determina los tipos de máquinas a utilizar, las formas de las herramientas, los montajes, las condiciones de corte entre otras.

La forma y material de la pieza de trabajo se caracterizan principalmente por el tipo de material, la estructura interna, la dureza, la resistencia, la composición química, el estado superficial y determinan el tipo de material de herramienta a utilizar de forma que no haya ningún tipo de afinidad con el material. El tipo de material de la pieza también participa en la selección de la geometría de la herramienta y en la fijación de las condiciones de corte. De la máquina herramienta se debe considerar la potencia, el torque, la rigidez, la capacidad de velocidad, el avance, etc. Las condiciones de corte están definidas por el grado de dificultad que ofrece el conjunto máquina – sistema de fijación de la pieza y herramienta y por los aspectos de irregularidades del corte y de la superficie a mecanizar atribuibles a la pieza. El acabado superficial y tolerancia deseados influyen en el tipo de material y geometría de corte de la herramienta, en el avance, el radio de punta del inserto. La estabilidad general del sistema de mecanizado formado

por la herramienta-pieza-máquina, ayudará a determinar lo fuerte que tiene que ser la arista de la herramienta para soportar los esfuerzos. Por último será necesario comprobar los costos de mecanizado mediante una vida de herramienta económica, los inventarios y la frecuencia de cambios de herramientas. A continuación se analiza cada uno de estos factores por separado.

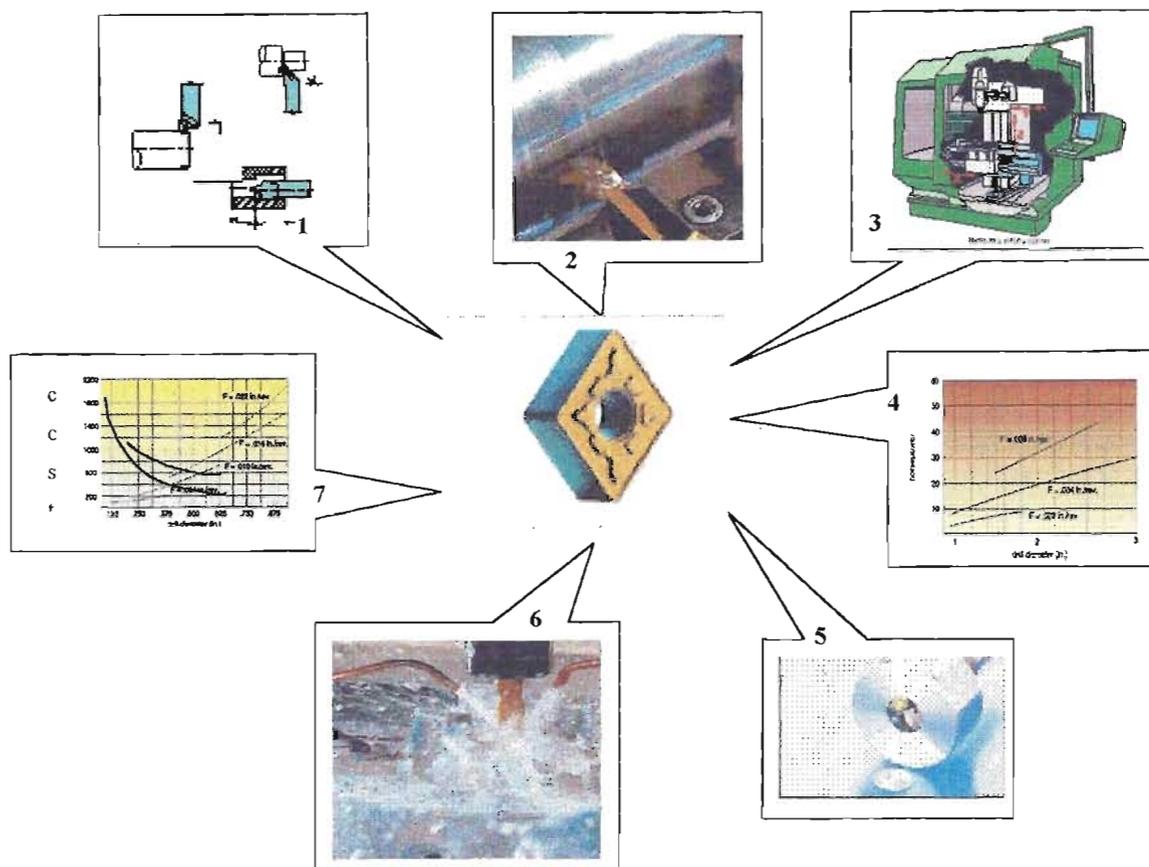


Figura 38. Factores que determinan la selección de la Herramienta de corte y las condiciones de corte: (1) operación de mecanizado, (2) forma y material pieza, (3) máquina herramienta, (4) Condiciones de corte, (5) Acabado superficial, (6) Condiciones de estabilidad del sistema Máquina – Pieza – Herramienta y (7) Costos de mecanizado.

2.2.1 Operación de mecanizado. Se tratan en el presente trabajo las operaciones básicas que se pueden realizar en los procesos de taladrado, fresado y torneado. Cada uno de estos grupos de trabajo, determina parámetros específicos para la selección del sistema empleado, la herramienta, las plaquitas y los datos de corte a utilizar. En general, para los tres principales procesos algunos de los factores a tener en cuenta son:

- Pieza a trabajar: La forma geométrica y naturaleza de la pieza permite clasificarlas en dos grandes grupos: elementos rotacionales y los no rotacionales, esta clasificación determina la máquina a utilizar para realizar las operaciones y si es la herramienta o la pieza, quien posee el movimiento principal de corte.
- En el proceso de taladrado, la profundidad del agujero determina el sistema de taladrado más adecuado, ya sea para agujeros profundos o cortos.
- En el torneado, la dirección del movimiento determina la operación de mecanizado, define los posibles ángulos de posición, las formas de las pastillas o insertos y los parámetros de cálculo, entre otras.
- Las operaciones de roscado son complejas en la determinación de la herramienta, pues se conjugan las características de la rosca, las dimensiones de la pieza, el método de producción, de penetrado, los parámetros de velocidad de corte y el número de pasadas.
- En los procesos de fresado y taladrado es recomendable seleccionar en primera instancia el porta herramienta y posteriormente los insertos; Mientras que para las operaciones de torneado, se selecciona la pastilla y después el porta herramienta.
- Cada operación demanda parámetros específicos de entrada de datos para la pieza, como para el porta herramienta, pastilla y datos de corte. Véase Cap. 2 - Numeral 2.1.5.
- Método de producción de mecanizado: Esto influye en las capacidades mínimas requeridas por la herramienta tal que trabaje económicamente; las posibilidades comúnmente utilizadas son: fresadoras, torno revolver, torno paralelo, tornos CN y CNC, centros de mecanizado y sistemas de mecanizado flexibles FMS. Véase Capítulo 2 – Numeral 2.1.3.

2.2.2 Materiales y Formas de la pieza. El material de trabajo influye en la formación de la viruta. Los materiales más tenaces y de mayor resistencia requieren fuerzas cortantes más altas, las cuales causan más desviación de la herramienta, mayor generación de calor y por lo tanto, mayores temperaturas de operación. Los materiales abrasivos o duros, pueden acelerar el desgaste de la herramienta. Los materiales suaves y dúctiles, como el aluminio puro o el acero al bajo carbono laminado en caliente, son algo "pegajosos" cuando se maquinan y tienden a desgarrar la viruta dando lugar a la rugosidad, a menos que se usen en la herramienta ángulos grandes de desprendimiento. Cuando se cortan materiales frágiles, como algunos bronce o hierro

colado, se produce una viruta fragmentada o discontinua. Los materiales más duros tienden a cortarse limpiamente.

El material de la pieza es determinante en el proceso de selección de la herramienta. Participa en la selección de la herramienta en características del material, la configuración geométrica del rompeviruta, los datos de corte de avance, velocidad de corte y otras; en la mayoría de casos se combina con otros factores para operar en la selección.

2.2.2.1 La maquinabilidad: Esta propiedad en los metales se define como la aptitud de los materiales para ser conformados por mecanización, se mide por medio de ensayos en los cuales se valoran algunas características en condiciones normales (duración del afilado de la herramienta, velocidad de corte para un tiempo, fuerza de corte de la herramienta, temperatura y producción de viruta). Se ha comprobado que la maquinabilidad de los aceros depende de los siguientes factores:

- ✓ Composición química del material: Los elementos que más influyen son el carbono, el magnesio, el azufre, el fósforo y el plomo; el cromo, el molibdeno, y el tungsteno hasta un 0.5% no los afecta pero en mayores proporciones la disminuye, el magnesio en un 10% lo hace muy difícil de mecanizar, el fósforo y el plomo hasta un 0.25% mejora dicha maquinabilidad.
- ✓ De la microestructura que posea: Según las inclusiones que contenga, la estructura perlita laminar facilita la mecanización, pero se tienen mejoras con la mezcla de cementita globular.
- ✓ Influencia de las inclusiones: Los compuestos de sulfuros la mejoran, los compuestos de silicato y alúmina la reducen por su efecto abrasivo.
- ✓ De la dureza y acritud: Las durezas favorables están comprendidas entre 140 y 200 BH; para valores bajos dificulta el desprendimiento de viruta, y para los valores altos dificulta el mecanizado. En cuanto a la acritud, son favorables los que están comprendidos en la relación 0.85 –0.93 % del límite de elasticidad sobre la resistencia mecánica.
- ✓ Del tamaño del grano: En general se considera que el aumento del tamaño del grano facilita la mecanización.

Estos factores influyen en el acabado superficial, la potencia requerida y la vida de la herramienta. Los aceros para maquinado se clasifican en una escala que tiene como base el acero con 0.12% de C y recocido (AISI B-1112), el cual representa el 100 de la escala. Los metales que se

maquinan fácilmente tienen números mayores que 100, mientras los más difíciles de maquinar se presentan por debajo de este valor.

2.2.2.2 Formas de los elementos: Se pueden clasificar los elementos normalmente mecanizados en los procesos de torneado, fresado y taladrado en rotacionales y no rotacionales.

Los componentes rotacionales son aquellos cuya forma básica pueden mecanizarse en los tornos, mandrinadoras o cualquier otra máquina que le proporcione movimiento rotacional principal a la pieza, la forma básica de un elemento rotacional es un cilindro con dimensiones suficientemente grandes para encerrar la forma final, figura 39 (A). La categoría de las formas no rotacionales incluyen todas las formas diferentes a las rotacionales, (el movimiento de la pieza es lineal), la forma básica de estos elementos es un prisma recto rectangular con dimensiones suficientemente grandes para encerrar la forma final, figura 39 (B).

Al considerar el diseño para el mecanizado es importante saber de qué manera las formas básicas pueden ser fácilmente combinadas por los procesos de mecanizado. El método desarrollado por Opitz⁷ permite identificar los elementos por números de código geométricos para efectos del análisis de sistemas completos de producción. Los números del código dependen del tipo de procesos de mecanizado requeridos para producir un elemento. El uso principal del sistema de clasificación es caracterizar y agrupar aquellos elementos que tienen semejanzas y requieren secuencias parecidas de operaciones de mecanizado.

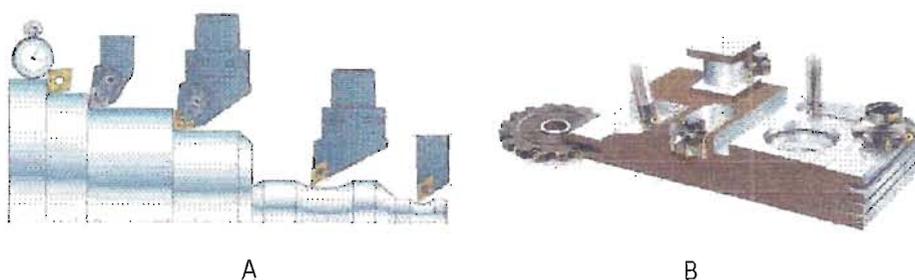


Figura 39. Forma general de elementos: (A) rotacionales y (B) No rotacionales.

En primer lugar se describe la clase de elemento (rotacional o no rotacional), y posteriormente se indican las propiedades de su forma general. Las principales familias de elementos, según su forma geométrica son:

⁷ OPITZ, H. "A clasificación system to describe workpiece". Nueva York: Pergamon Press. 1970

- **Elementos rotacionales ($L/D \leq 0.5$):** Pueden clasificarse como discos (figura 40). Las operaciones simples que se pueden ejecutar son el refrentado, taladrado, mandrinado o escariado y el roscado de un agujero concéntrico.

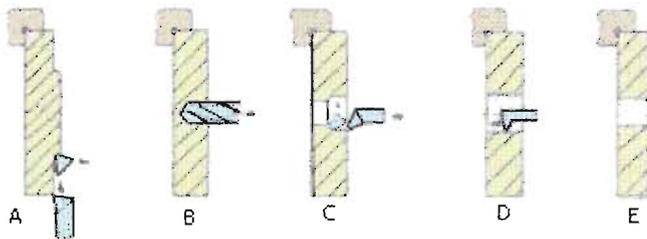


Figura 40. Algunas formas de mecanizar disco (A) Refrentado, (B) Taladrado, (C) Mandrinado, (D) Roscado y (E) Forma típica.

- **Elementos rotacionales ($0.5 \leq L/D \leq 3$):** Son llamados cilindros cortos, son apropiados para mecanizar en tornos comunes o tornos revolver. Ver Figura 41.
- **Elementos rotacionales ($L/D \geq 3$):** Estos elementos son llamados cilíndricos largos. Pueden mecanizarse en un torno y si la relación L/D es muy grande se deben emplear dispositivos adicionales para asegurar la rigidez del montaje y evitar las deflexiones de la pieza con las fuerzas generadas en el corte.

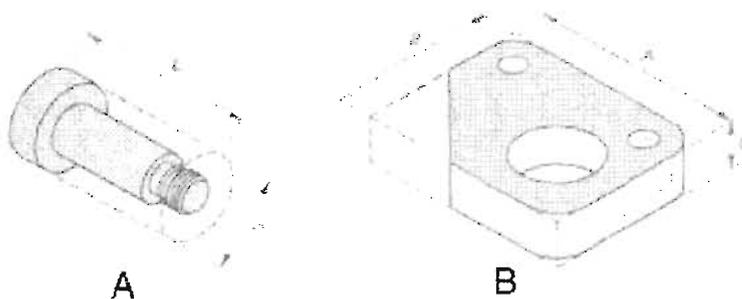


Figura 41. Clasificación de piezas según su forma básica: (A) Rotacional, (B) No rotacional.

- **Elementos no rotacionales ($A/B \leq 3$, $A/C \geq 4$):** A estos se le llama elementos planos, se mecanizan a partir de platinas o láminas y requieren mecanizado previo de los filos externos; (En un prisma rectangular el lado mayor es la longitud A y el más pequeño es C, ver la figura 41 B), estos elementos se pueden mecanizar en las fresadoras verticales u horizontales. En general, el diámetro mínimo para el fresado horizontal (alrededor de 50 mm.), es mucho mayor

que el diámetro mínimo de las fresas para fresado vertical (cerca de 12 mm.), así los radios pequeños requieren de fresado vertical.

- **Elementos no rotacionales ($A/B \geq 3$):** Estos son llamados elementos largos y pueden generarse a partir de una barra rectangular o cuadrada. Las operaciones más comunes son el taladrado y el fresado. Las superficies paralelas al eje principal del elemento deben evitarse debido a las dificultades para la sujeción longitudinal de la pieza.
- **Elementos no rotacionales ($A/B < 3$, $A/C < 4$):** Estos elementos se clasifican como elementos cúbicos y pueden ser a menudo de forma complicada. Pueden lograrse aristas agudas, internas y paralelas a la base pero se deben evitar las normales a la base. Para facilidades de mecanizado las superficies cilíndricas interiores deben ser concéntricas y decrecer de diámetro a partir de las superficies expuestas de la pieza. Otros aspectos de las formas, normalización y selección de los materiales de las piezas, se presentan en el Cap. 2 – numeral 2.1.6.

2.2.3 Máquina herramienta. La máquina herramienta es un factor importante para determinar la selección de la herramienta y las condiciones de operación de la misma; determina los tipos de operaciones que se pueden realizar, las condiciones máximas de trabajo respecto a dimensiones de la pieza y de la herramienta, la velocidad y el avance máximos, la potencia máxima de trabajo. Es decir, que fijando la velocidad recomendada para un acabado específico, y según las consideraciones anteriores, el incremento del avance máximo está determinado por la capacidad de la máquina herramienta, también puede suceder lo contrario, fijando el avance máximo para un radio de punta de herramienta determinado y un acabado específico de la pieza, la velocidad de corte y profundidad quedan limitados por potencia y rigidez de la máquina. La rigidez de la máquina se expresa cualitativamente e influye en la definición de las condiciones de mecanizado. Las expresiones matemáticas de potencia se presentaron en el Cap. 2, Números 2.1.5.1.1 – 2.1.5.2.1 y 2.1.5.3.1 para los procesos de Torneado, Fresado y taladrado respectivamente.

2.2.4 Condiciones de corte. Para determinar este parámetro de operación es necesario interactuar con diferentes factores, ya que la combinación de material herramienta, material pieza operación de mecanizado y tipo de acabado superficial, especifican la velocidad adecuada de trabajo, siempre y cuando se corrija por la capacidad de la máquina herramienta mencionado en el numeral anterior.

Con frecuencia se obtienen mejores acabados con herramientas a altas velocidades, mientras las velocidades bajas tienden a desgarrar el material y a producir acabados ásperos, así como a distorsionar los granos de la superficie (superficies irregulares y granos distorsionados hasta una profundidad de 0.006 pulgadas), lo cual puede provocar la falla temprana de una parte maquinada. Las velocidades de manufactura deben ser tan altas como se puedan mantener sin causar un desgaste excesivo de la herramienta y según lo permitido por la rigidez dinámica de la máquina.

El avance (f) o velocidad de alimentación, es el movimiento de la herramienta hacia dentro de la pieza de trabajo o viceversa. Como regla se establece la combinación tipo de acabado superficial deseado, radio de punta de la herramienta y combinación de material de pieza y de herramienta para determinar los valores de avance óptimos. Los avances para desbaste, (remoción rápida de metal), deben ser tan altos como pueda soportar el material de la herramienta sin que ésta se fracture y lo permita la máquina herramienta. Los avances de acabado superficial deben ser finos para producir el acabado deseado de la pieza de trabajo.

La profundidad de corte (A_p) junto a la elección correcta de la velocidad y el avance, influyen en la forma y tamaño de la sección de la viruta que se obtiene al multiplicar la profundidad por el avance; la sección de la viruta esta delimitada por la potencia de la máquina herramienta, por la calidad del material de la herramienta y por el tipo de acabado. Los rangos⁸ de operación normal en el mecanizado son:

A. *Super acabado:* $f = 0.05 - 0.15 \text{ mm/rev.}$
 $A_p = 0.25 - 1.0 \text{ mm}$

B. *Acabado:* $f = 0.1 - 0.3 \text{ mm/rev.}$
 $A_p = 0.5 - 2 \text{ mm}$

C. *Desbaste ligero:* $f = 0.2 - 0.5 \text{ mm/rev.}$
 $A_p = 2 - 4.0 \text{ mm}$

D. *Desbaste pesado:* $f \Rightarrow 0.4 \text{ mm/rev.}$
 $A_p \Rightarrow 4 \text{ mm}$

⁸ SANDVIK COROMANT, *Herramientas para Tornear*. Dinamarca: Stibo Graphic. 2000.

La profundidad en procesos de torneado se determina con la siguiente relación y dependiendo del valor, se clasifica en alguno de los anteriores grupos. Se determinan las pasadas necesarias de desbaste y la profundidad de la pasada de acabado:

$$d_{media} = \frac{(d + \cot a_{max}) + (d + \cot a_{mín})}{2}$$

$$a = \frac{D - d_{media}}{2}$$

En todos los casos debe balancearse el tiempo de maquinado mínimo contra el costo, el tiempo de falla de la herramienta y los límites de potencia de la máquina herramienta.

2.2.5 Acabado requerido de la pieza. Cuando se determina la precisión y el acabado de la superficie mecanizada, es necesario tener en cuenta la función asociada con la superficie. La especificación de tolerancias muy cerradas o superficies demasiado pulidas es una de las mejores formas de añadir costos innecesarios a la manufactura.



Figura 42. Diferentes rugosidades de superficie para varios tipos de puntas en la geometría de la herramienta.

La aspereza superficial obtenida al final de una operación de mecanizado puede considerarse como la suma de dos efectos independientes:

- La aspereza superficial "ideal" que es resultado de la geometría de la herramienta y del avance.
- La aspereza superficial "Natural" que depende de las irregularidades en la operación.

2.2.5.1 Asperidad superficial ideal. La aspereza superficial ideal representa el mejor acabado que se puede obtener de una forma de herramienta y avance; sólo puede alcanzarse si se elimina el filo recreado, la vibración, las imprecisiones en los movimientos de la máquina-herramienta, etc. En la figura 42 se ilustra este acabado para el mecanizado con herramientas de diferentes puntas.

Se representa la rugosidad de la superficie mecanizada en términos del índice del promedio aritmético R_a . La rugosidad de la superficie es directamente proporcional al avance. La figura 43 muestra el efecto del avance en la aspereza superficial ideal R_a , dado un radio de punta de la herramienta.

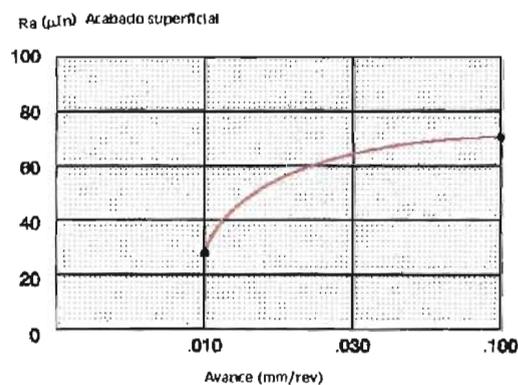


Figura 43. Diagrama de valores de R_a formados por la combinación del avance y del radio de punta de la herramienta.

Las herramientas de corte están generalmente dotadas de una punta redondeada y la figura 44 muestra la superficie producida por una herramienta de este tipo en condiciones ideales. La ecuación teórica⁹ que permite establecer R_a para esta superficie se muestra en la siguiente expresión:

$$R_a = \frac{0.0321f^2}{r_s}$$

r_s = Radio de la punta de la plaquira en pulgadas.

f = Avance de la herramienta en pulg/rev.

⁹ GEOFFREY, Boothroyd. *Fundamentos de corte de metales y máquinas herramienta*. McGraw Hill, 1986. p. 139

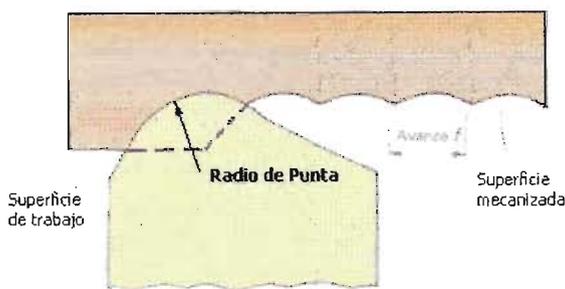


Figura 44. Tipo de superficie producida por una herramienta en condiciones ideales.

2.2.5.2 Aspereza superficial natural. Normalmente la aspereza superficial natural contribuye en gran medida en la aspereza real, siendo uno de los principales causantes el filo recrecido. Este puede crecer y romperse continuamente introduciendo las partículas fracturadas en la viruta o en la nueva superficie de la pieza. Cuanto mayor sea el filo recrecido, mayor es la aspereza en la superficie producida, los factores tendientes a reducir la fricción herramienta-viruta y eliminar o reducir el filo recrecido mejora el acabado superficial. Tales factores son: un incremento en la velocidad de corte, un cambio de herramienta de acero rápido por carburos, la introducción de materiales de corte libre como aceros resulturados o con plomo, la aplicación del lubricante correcto a velocidades de corte bajas, etc.

Otros factores que contribuyen comúnmente a la aspereza natural son:

- La presencia de vibraciones en la máquina herramienta.
- Imprecisiones en los movimientos de la máquina como por ejemplo en el carro longitudinal del torno.
- Irregularidades en el mecanismo de avance.
- Defectos en la estructura del mecanismo de avance.
- Formación discontinua de viruta cuando se mecanizan materiales frágiles.
- Ruptura del material de trabajo cuando se cortan materiales dúctiles a bajas velocidades de corte.
- Daños superficiales causados por el flujo de la viruta, etc.

Para las herramientas multifilo debe tenerse en cuenta que debido a las ligeras imprecisiones en la construcción de las mismas ó del movimiento principal de la máquina herramienta, un diente es el que desempeña un papel dominante en la generación de la superficie mecanizada, así, en el fresado circular o tangencial, por ejemplo, la aspereza superficial obtenida bajo condiciones ideales

se calcula suponiendo que la herramienta tiene solo un diente. Haciendo sustituciones apropiadas se obtiene:

$$R_a = \frac{0.0642}{d_t} \left(\frac{v_f}{n_t} \right)^2$$

Donde :

v_f = Velocidad de avance.

d_t = Diámetro de la herramienta.

n_t = Frecuencia rotacional de la herramienta.

2.2.5.3 Medición de la rugosidad superficial. Es necesario tener presente que pueden ocurrir otras clases de imperfecciones de la superficie llamadas fallas superficiales, que son irregularidades bastante separadas que se presentan al azar en la superficie, pueden ser grietas o rayaduras y ondulaciones que son una forma de imperfección regular donde la longitud de onda es mayor que un valor especificado, generalmente cerca de 1 mm.

Las rugosidades son irregularidades más finas que las ondulaciones y van superpuestas sobre éstas. Un término empleado en la medición superficial es el de **surcos**. Este corresponde a la dirección del patrón superficial predominante y está generalmente determinado por el método de mecanizado usado para producir la superficie. Las mediciones de una superficie se hacen en ángulos rectos a los surcos.



Figura 45. Instrumento Comparador utilizado para medir la rugosidad de superficies.

Pueden usarse instrumentos para obtener un trazado aumentado de las irregularidades superficiales; este trazado se conoce como *perfil superficial*. Estos instrumentos operan por la amplificación del movimiento vertical de un palpador que se desliza a través de la superficie, este tipo de aparatos es mostrado en la figura 45; puede producir una lectura directa de R_a , que se obtiene con un rectificador de onda completa y un circuito suavizador conectado a un galvanómetro y la ondulación es eliminada automáticamente por un dispositivo reductor de frecuencia.

2.2.6 Estabilidad general. En el mecanizado, el avance y el anclaje entre la herramienta y la pieza (profundidad de corte) son frecuentemente restringidas por las vibraciones. Este fenómeno consiste en un movimiento vibratorio indeseable entre la herramienta y la pieza y cuyo resultado es un acabado superficial irregular en la pieza, en casos extremos las vibraciones se constituyen en los principales limitantes en la productividad de las máquinas herramientas, influyen de manera directa sobre: La cantidad de remoción de material, la cantidad de mantenimiento que necesita la máquina y la calidad del producto terminado.

Las principales fuentes de vibración en las máquinas herramientas son:

- Las fuerzas externas: Tales como los choques transmitidos a través de la cimentación de las máquinas. Estas fuerzas pueden inducir en los componentes estructurales de las máquinas herramientas.
- El sistema de impulsión de la máquina: Incluyendo las vibraciones en los engranajes, desalineamientos en los componentes de transmisión tales como acoples, efectos mecánicos y eléctricos del motor etc. Todo esto puede transmitir cualquier fuerza indeseable que ocasione desbalanceo en los componentes de la máquina.
- El proceso de corte en sí: Esto puede generar traqueteo y vibración

Se considera que se parte de una máquina en estado adecuado, es decir, que no presenta las anteriores características y que las vibraciones se deben a la acción de corte de la herramienta.

2.2.6.1 El traqueteo. Es una vibración autoexcitada que ocurre entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo en ciertas operaciones de maquinado. Como el traqueteo es autoinducido, es decir, que no intervienen fuerzas externas, no está restringido a una condición de resonancia; por

ejemplo una vez que empieza el traqueteo en una máquina, si se aumenta la velocidad crecerá el traqueteo, mientras que la vibración causada por la resonancia se podría detener con el aumento en la velocidad. Esto se debe a que en la vibración ocasionada por la resonancia, cualquier cambio en la frecuencia en la fuerza que la excita, hace que se aleje de la frecuencia natural de la estructura y por lo tanto, reduzca la amplitud de la vibración.

El traqueteo es una inestabilidad dinámica retroalimentada por los movimientos oscilatorios pequeños que se originan en el proceso de corte. Este traqueteo puede ser un chillido de alta frecuencia o podría significar el enclavamiento fuerte de la herramienta en la pieza, lo que produciría el desgaste rápido de la herramienta y el mal acabado de la pieza. Aunque el traqueteo se origina en el proceso de corte, con frecuencia las vibraciones resultantes abarcan al tren propulsor (motor, engranajes y estructura de la máquina). Existen tres factores que influyen en todos los traqueteos y para una operación de torneado son.

- Velocidad de rotación de la pieza de trabajo.
- Velocidad de avance de la herramienta de corte.
- Profundidad de corte.

La vibración por traqueteo sólo se puede disipar con un desgaste severo de la herramienta y la amortiguación por histéresis interna en la transmisión y estructura interna de la máquina. También el operador de la máquina, cuando nota el traqueteo, podrá reducir una de las variables de operación anteriormente descritas. Un adelanto importante en el control del traqueteo, es la implementación de un servomecanismo con propiedades de retroalimentación, basados en la impedancia mecánica (IMC).

2.2.6.2 Los choques. Las vibraciones inducidas por los choques se producen por algún cambio brusco en la máquina herramienta, estas vibraciones pueden alterar la superficie de la pieza de trabajo si el choque es de suficiente intensidad o si la máquina no está bien aislada en sus cimientos. Por ejemplo los errores en las fresas maestras en las máquinas generatrices de engranajes o los perfiles de la pieza que se maquinan pueden ocasionar vibraciones, debido a que se interrumpe el corte. Existen dos métodos básicos para suprimir los choques en las máquinas herramientas:

- Los soportes o montantes aislantes: aísla la máquina contra los choques transmitidos a través del suelo o la cimentación.

- Los amortiguadores de aislamiento: Incluyen la adición de amortiguadores hidráulicos o neumáticos en paralelo con los soportes antes citados.

Una máquina robusta puede soportar velocidades de corte más altas que otra de construcción ligera. Las máquinas deben estar dispuestas de tal modo que pueda aplicarse en ella las condiciones de corte elegidas. Las consideraciones sobre sistema de sujeción de las herramientas son claves para asegurar una estabilidad en el proceso de mecanizado, por ejemplo si la herramienta está en voladizo, requiere un tipo especial de sujeción y porta herramienta, para evitar que haya vibraciones excesivas. En todos los casos debe sujetarse firmemente la pieza para que no se aflojen durante el trabajo y pueda darse lugar a que la pieza resulte inútil o a que se rompa la herramienta, lo que incrementa costos innecesarios del mecanizado.

2.2.7 Costos de mecanizado. Los aspectos económicos del mecanizado tienen estrecha relación con la utilización eficaz de los recursos requeridos en el proceso de mecanizado. Como el proceso de mecanizado es sólo una parte del proceso de producción, la economía del mecanizado puede verse afectada por un cambio en cualquier parte de ese proceso.

2.2.7.1 Factores influyentes en los procesos de producción:

- Máquinas herramientas: La inversión en máquinas herramientas modernas resulta necesario para garantizar el aprovechamiento del desarrollo tecnológico moderno, alcanzar una mejor productividad y minimizar los costos de producción. Pero la adquisición de máquinas más efectivas requiere una inversión elevada de capital. Entonces antes de decidir sobre nuevas máquinas, se debe considerar la posibilidad de incrementar la productividad utilizando las máquinas existentes de un modo más efectivo.
- El taller: Para mejorar el nivel de producción, es posible que se requiera una nueva disposición y reemplazo de la maquinaria. Debe tenerse en consideración las mejoras destinadas a otras áreas antes de cualquier cambio importante que se lleve a cabo en el taller.
- Mano de obra: Este punto abarca gran parte de los costos de producción y por consiguiente, es de vital importancia que la mano de obra sea competente, fiable y esté motivada. Las herramientas modernas, el equipo y los sistemas de mecanizado ayudan a incrementar la productividad y a reducir el contenido de mano de obra por pieza.

- **Productos y materiales:** Se deben considerar los costos de producción a la hora de seleccionar los materiales de trabajo con la mejor maquinabilidad y escoger la calidad de mecanizado correcta, por ejemplo, acabado superficial, tolerancias etc.
- **Gastos generales:** La partida más importante en gastos generales es el edificio y es difícil cambiar una vez instalada la fábrica. En los talleres se reduce los costos con niveles de inventario bajos.
- **Herramientas y equipos:** Es importante emplear la herramienta correcta para cada aplicación y que se aprovechen nuevos perfeccionamientos para asegurar siempre el mejor resultado. La introducción de una herramienta de corte moderna y correctamente aplicada, con velocidades de mecanizado altas y mayor duración de la herramienta, significa que se está asegurando la productividad.

2.2.7.2 Determinación de los costos del mecanizado. Para que las operaciones de mecanizado resulten económicas, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Obtener las piezas de forma y medidas exactas, con superficies limpias que no requieran retoques adicionales.
- Tiempos mínimos de fabricación (costos de maquinado).
- Mínimo consumo de energía.
- Máxima duración de la herramienta. (costos de las herramientas).
- Eliminar los tiempos improductivos y/o perturbaciones. (Costos de manipulación y cambio de herramientas).

El éxito de los trabajos se basa en la utilización de los medios apropiados, es decir, que la selección de todos los implementos, máquina, herramientas y demás, determinan la base de la economía. La aspereza superficial obtenida al final de una operación de mecanizado puede considerarse como la suma de dos efectos independientes.

Es necesario resolver racionalmente de antemano, por personal especializado, cada caso y utilizar luego los medios necesarios. La rutina y la improvisación deben ser cambiados por el orden y el método. Sólo en estas condiciones es posible acelerar la producción y conservar la calidad de la obra.

Lograr las condiciones óptimas al menor costo individual (de maquinado, de la herramienta, del cambio de herramienta, de manejo), es el objetivo de la economía del corte en metales. Se pueden usar dos criterios distintos para seleccionar la velocidad de corte para una operación de mecanizado, costos de producción mínimos y tiempos de producción mínimos; es decir que se establecen lo siguiente: tiempo mínimo de maquinado para máxima velocidad de corte ó mínimo consumo de herramientas máximo arranque de viruta. Ver otras consideraciones en CASPAR, Herich Estemer. Ferramentas de corte. 3° Edición. Páginas 190 – 199.-

2.3 FUNDAMENTOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia Artificial (IA) es una subdisciplina de la informática; una técnica de software que se utiliza en el desarrollo de programas para la solución de problemas complejos, mediante la aplicación de procesos que son análogos al método del razonamiento humano y por tanto las soluciones son en términos simbólicos¹⁰ más que numéricos.

Los programas de I.A. están diseñados para comprender conceptos, relación entre los mismos e ideas y basados en esto dar como salidas de su proceso, opiniones, análisis y recomendaciones. Efectúan tareas normalmente ejecutadas por profesionales muy escasos y costosos o tareas rutinarias y de altísima precisión, pero nunca sustituirán a las personas, sino que aumentan su potencial para que efectúen sus labores con mayor calidad.

A diferencia de la programación tradicional, en la cual se codifica la solución a un problema concreto y donde los cambios de la situación problema requieren modificar el programa, la IA proporciona un método de solución a problemas en los que hay procesamiento de información simbólica y toma de decisiones basadas en inferencias aplicadas a conocimientos del área específica y heurísticos proporcionados por los expertos, quienes los han construido a través de la experiencia.

2.3.1 Problemas De Estudio De La I.A. Una de las primeras áreas de investigación de la I.A. fueron los problemas que aparecen a diario, denominados de sentido común, que incluyen razonamiento sobre objetos físicos y sus relaciones, sobre acciones¹ y sus consecuencias. Otras

¹⁰CORREDOR, Martha Vitalia. *Principios de Inteligencia Artificial & Sistemas Expertos*. Bucaramanga: Ediciones UIS, 1992, p.3.

áreas de investigación que aparecieron con el tiempo fueron las que incluyen la percepción, comprensión del lenguaje natural y resolución de problemas especializados.

Las tareas de percepción relacionadas con la visión y el habla, presentan un alto grado de dificultad ya que involucran señales analógicas que generalmente vienen acompañadas de un alto contenido de ruido. Con relación a la comprensión del lenguaje natural, esto implica poseer un amplio conocimiento sobre el propio lenguaje y sobre el tema que se está tratando.

Además de estas tareas de la vida diaria, mucha gente puede también realizar tareas mucho más especializadas en las cuales es necesaria la adquisición de experiencia. Los programas que pueden resolver problemas sobre estos dominios están bajo la tutela de la Inteligencia artificial. Si bien las habilidades de un experto necesitan un conocimiento que la mayoría no poseemos, con frecuencia es mucho menor que el conocimiento necesario en las tareas más comunes, y con frecuencia más fácil de representar y tratar en los programas. Como consecuencia, las áreas donde la IA está prosperando como una disciplina práctica es precisamente en los dominios donde es necesario únicamente un conocimiento experto sin la ayuda del sentido común. Estos programas son llamados **SISTEMAS EXPERTOS**.¹¹

2.3.2 Representación del conocimiento (RC). Para resolver los complejos problemas con los que se enfrenta la inteligencia artificial, es necesario disponer tanto de una gran cantidad de conocimiento, como de una serie de mecanismos que permitan manipularlo con el fin de realizar las tareas que posibiliten las soluciones.

La Representación del conocimiento se refiere a "escribir en algún lenguaje o medio de comunicación, descripciones o cuadros que corresponden en forma casi exacta al mundo o al estado del mundo".¹²

Es necesario encontrar una forma de Representación del Conocimiento que sea adecuada y poderosa para expresar todo el conocimiento que hace parte del dominio de trabajo. Un buen sistema de representación del conocimiento en un dominio particular debe poseer las siguientes propiedades:

- **Suficiencia De La Representación:** Es la capacidad de permitir la representación de todos los tipos de conocimiento necesarios en el dominio.

¹¹ELAINE, Rich. *Inteligencia Artificial. Segunda Edición. Madrid: McGraw_Hill, 1994.*

¹²CORREDOR, Op. Cit., p.26

- **Suficiencia Deductiva:** Capacidad para manipular las estructuras de la representación con el fin de obtener nuevas estructuras que ofrezcan soluciones al usuario o se constituyan en nuevo conocimiento para la solución de nuevos problemas.
- **Eficiencia Deductiva:** Capacidad de incorporar información adicional en las estructuras de conocimiento con el fin de que los mecanismos de inferencia puedan seguir las direcciones más prometedoras.
- **Eficiencia En La Adquisición:** Capacidad de adquirir nueva información con facilidad.

Todavía no se ha encontrado un sistema de representación que optimice todos estos aspectos y que se pueda utilizar para representar cualquier tipo de conocimiento.

Existen cuatro enfoques de Representación del conocimiento que se presentan en la tabla 2 junto con sus características principales.

Tabla 2 . Formas de representar el conocimiento con sus características. (tomado de Principios de inteligencia artificial y sistemas expertos).

CARACTERÍSTICAS FORMAS DE RC	ESTRUCTURA REPRESENTAR EL CONOCIMIENTO	MÉTODO DE INFERENCIA Y CONTROL	ACTUALIZACIÓN A LA BASE DE CONOCIMIENTO	MANEJO DE HERENCIA	NATURALIDAD
LOGICA DE PREDICADOS	La mayor parte del conocimiento puede representarse	Reglas de inferencia y control de la lógica matemática	Facilidad para cambiar por la independencia de las declaraciones	No	Fácil de entender lo escrito en lógica
REGLAS DE PRODUCCIÓN	Normalmente se puede representar conocimiento de tipo reglas de decisión Si-luego	Métodos de búsqueda con encadenamiento adelante y atrás	Facilidad en adición y modificación	No	Reglas de decisión escritas casi en lenguaje natural
REDES SEMÁNTICAS	Estructura gráfica de características y relaciones de los objetos de un dominio	Algoritmo de confrontación	En ocasiones es necesario definir enlaces y nodos	Si	La gráfica ayuda a la comprensión
FRAMES	Organización jerárquica de la información del dominio	Algoritmo de confrontación	Facilidad en actualizaciones de la BC	Si	Representación estructurada de mucha información.

Normalmente es posible obtener varias representaciones de un determinado hecho en un sistema de representación dado. La elección depende en gran parte del tipo de deducciones que se

pretenda agilizar y del gusto de cada cual. La norma que siempre se debe respetar es el uso consistente de una determinada representación en toda la base de conocimiento.

La técnica de representación del conocimiento procedimental más utilizada en los programas de IA consiste en el uso de reglas de producción.

2.3.3 Reglas de producción. Esta es la forma más usada de representar el conocimiento ya que facilita procesos de inferencia. El uso de reglas de producción da origen a los llamados Sistemas de Producción que están compuestos por:

- **Una Base de datos:** que permite describir el estado del problema en cada momento a través de parejas atributo-valor. La base de Datos contiene información apropiada de la tarea en particular.
- **Las reglas de producción:** que permiten realizar inferencias y tienen la forma:

If **condicion(es)** then **conclusión(es)**

El antecedente está formado por las condiciones que deben cumplirse para que la regla se use, estas pueden estar ligadas por "and" o por "or".

El consecuente son acciones a realizar al usar la regla, pueden ser entrar condiciones de nuevos estados de la Base de datos, modificar las descripciones existentes, dar respuesta al usuario, etc.

Ejemplo:

```

If      Rigidez_máquina = Buena and
Superficie del material en Bruto = Premecanizada and
Nivel de seguridad del montaje = alto and
Continuidad o uniformidad de corte = continua
Then   Condiciones de Mecanizado = Favorables
  
```

- **Control:** reconoce, selecciona y ejecuta la regla cuyo antecedente se ha satisfecho y para eso compara los patrones atributo-valor de éste con datos de la base o con los datos suministrados por el usuario.

2.3.3.1 Mecanismo de Inferencia. Cuando se utiliza lógica al razonar, con frecuencia se está tratando de establecer la verdad de una sentencia o responder a una pregunta del usuario, basados en la intuición y el conocimiento que se tenga. La misma intuición y conocimiento del dominio que se emplea en lógica, se aplica a la inferencia con reglas.

Dado que las reglas tienen su antecedente y su conclusión, el proceso de inferencia consiste en crear reglas encadenadas donde la conclusión de la regla al final del encadenamiento unifica la hipótesis y las premisas de las reglas al comienzo del encadenamiento se prueba desde la base de hechos inicial, además se necesita unificar la cláusula en la conclusión de una regla con una cláusula en la premisa de otra regla y el problema de control de inferencia se convierte en decidir cuál premisa unifica con cuál conclusión.

Existen dos formas básicas de realizar la búsqueda, el encadenamiento hacia atrás y hacia delante:

2.3.3.2 Sistemas de reglas encadenadas hacia adelante. Proceso de búsqueda dirigido por la información o datos que se van incorporando. Se parte de los hechos conocidos buscando las reglas cuyo antecedente involucre estos hechos y se incluye la conclusión de estas reglas en la base de hechos para continuar el proceso de comparación. Una regla se usa si su antecedente coincide con los hechos de la base inicial y su uso genera la introducción de nuevo conocimiento.

La estrategia básica es enfocar la atención sobre las condiciones más que sobre las conclusiones.

2.3.3.3 Sistemas de reglas encadenadas hacia atrás. Los sistemas de reglas encadenadas hacia atrás resultan muy eficaces para la resolución de problemas dirigidos al objetivo. Las reglas se emparejan a través del procedimiento de unificación. La unificación intenta encontrar un conjunto de restricciones para las variables, y así igualar un subobjetivo con las cabezas de algunas reglas.

Una búsqueda inteligente consiste principalmente en saber elegir, de entre las diferentes reglas que se pueden aplicar en un punto determinado, las que tengan más probabilidades de alcanzar una solución final. Para elegir aquellas que se pueden aplicar en un punto dado, se requiere algún tipo de emparejamiento entre el estado actual y las precondiciones de las reglas.

En el caso del encadenamiento hacia delante cuando se tiene más de una regla como candidata a usar o en el encadenamiento hacia atrás cuando el objetivo unifica con conclusiones de varias reglas se debe aplicar **la resolución de conflictos** utilizando alguna de las siguientes estrategias:

- Escoger la primera que unifique.
- Ir haciendo e desarrollo de la búsqueda aplicando simultáneamente todas las reglas.
- Seleccionar la más específica o completa, la que tenga en cuenta más condiciones.
- Utilizar heurísticos o funciones que evalúen la potencia del uso de la regla para llevarnos rápidamente al objetivo y seleccionar aquella cuyo valor heurístico sea mayor.

2.3.4 Sistemas Expertos (SE) / Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC)

Los Sistemas Expertos son un campo de aplicación de la I.A. El término Sistema Experto se refiere a programas de computador que en cierto grado, intentan imitar el tipo de conducta exhibido por expertos humanos en la solución de un problema dentro de un dominio preestablecido.

Una de las definiciones conocidas y aceptadas sobre sistemas expertos es la que sigue: "Sistema informático que simula el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirlo y/o apoyarlo con unas ciertas garantías de éxito".¹³

Ya que el término Sistema Experto sugiere conceptos y características equívocas, que en la mayoría de oportunidades son sobrevaloradas, se prefiere hablar de **SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO (SBC)**, siendo que estos involucran mayor variedad de conocimientos ordinarios correspondientes al de un especialista en lugar del saber intuitivo o heurístico propio de los expertos.

El proceso de construcción de un SE/SBC es comúnmente llamado *ingeniería del conocimiento* que involucra una interacción entre dos personas diferentes: Un experto que tiene práctica en algún dominio y un ingeniero del conocimiento quien analiza el proceso de solución de problemas de los expertos y los codifica en un sistema de cómputo que es una extensa colección de reglas

¹³ CASTILLO Enrique y ACUARE Elena. *Sistemas Expertos: Aprendizaje e Incertidumbre*. Madrid: Paraninfo. 1989

heurísticas y hechos de un dominio específico que han demostrado utilidad en la solución de problemas especiales de alguna área técnica. Este proceso se representa en la figura 46.¹⁴



Figura 46. Diagrama de Transformación del conocimiento de un experto a un sistema SE/SBC. (Expert Systems, Waterman D.)

2.3.4.1 Características de los S.E./SBC y sus diferencias con los programas convencionales: Dentro de las características importantes de los S.E./SBC están su excelente ejecución y precisión, velocidad y costo-beneficio de las técnicas de adquisición de conocimiento.

Entre aquellas características importantes que a su vez los diferencian de los programas convencionales están:

- **La Experiencia:** Es la característica principal de un SE/SBC, su alto nivel de experiencia que proporciona para la solución de un problema. Esto le permite ser hábil al producir soluciones eficientes y efectivamente usando las técnicas y trucos que el especialista humano utiliza para eliminar los cálculos inútiles o innecesarios.
- **Razonamiento Simbólico:** Un SE/SBC maneja el conocimiento, como un conjunto de símbolos que apoyan la solución de problemas.
- **Profundidad:** Un SE/SBC tiene profundidad, es decir, opera efectivamente en un dominio limitado que permite la solución a ciertos de problemas.
- **Autoconocimiento:** Un SE/SBC tiene conocimiento que le permite razonar acerca de su propia operación más una estructura que simplifica este proceso de razonamiento. Este conocimiento es llamado metaconocimiento, lo cual solo significa conocimiento acerca del

¹⁴ WATERMAN, Donal. *A guide to expert Systems*. Addison_Wesley Publishing Company, 1986.

conocimiento. Esta habilidad de examinar su proceso de razonamiento y explicar sus operaciones es una de las características más importantes.

- **Los Sistemas Expertos Se Equivocan:** Esta es una importante característica que distingue a los SE/SBC de los programas convencionales y es precisamente que mientras los programas convencionales están diseñados para producir la respuesta correcta cada vez, los SE/SBC están diseñados para comportarse como especialistas, usualmente produciendo respuestas correctas pero algunas veces produce respuestas erradas.
- **Aproximación al procedimiento de razonamiento usado por los especialistas humanos.** Almacenando y manejando los datos y el conocimiento para obtener soluciones a la altura de los especialistas.
- **Habilidad para crecer gradualmente:** por la adición de nuevo conocimiento, permitiendo la fácil actualización de la base con la cual se trabaja.
- **Habilidad para proporcionar entrenamiento:** personal clave y miembros importantes del staff de una organización pueden ser entrenados, siempre y cuando tengan el conocimiento necesario, también puede adaptarse para entrenar novatos en tareas específicas. El sistema debe proporcionar una interfaz amigable al usuario.

2.3.4.2 Limitaciones de los S.E./SBC. Los problemas principales a los que se enfrentan los SE/SBC son:

- **Fragilidad:** Dado que sólo tienen acceso a un conocimiento altamente específico del dominio, no pueden acceder a un conocimiento más general cuando lo necesiten.
- **Ausencia de metaconocimiento:** Los SE/SBC no tienen un conocimiento profundo acerca de su propia gestión. Normalmente no pueden razonar sobre su campo de acción y limitaciones, haciéndolo más difícil frente a su fragilidad.
- **Validación:** La medición de los resultados de un SE/SBC es difícil porque no se sabe cómo cuantificar el uso del conocimiento.

2.3.4.3 Clasificación de los SE/SBC. Los SE/SBC han sido construidos para solucionar tipos diferentes de problemas en diferentes ramas del conocimiento, por esto se pueden clasificar según el tipo de actividad que realizan o por el tipo de problema que soluciona.

Las actividades básicas pueden agruparse dentro de categorías especiales, y de acuerdo a la categoría de desempeño de los SE/SBC se pueden clasificar en:

- Sistemas que realizan **interpretación**, tratan directamente con datos reales en lugar de representaciones simbólicas, estos datos se interpretan y analizan para deducir situaciones.
- SE/SBC dedicados a la **predicción**, infieren sobre las probables consecuencias de una situación dada.
- Sistemas de **diagnóstico**, utilizan comportamientos característicos, o conocimiento a cerca de los componentes para inferir probables causas del mal funcionamiento de un sistema.
- Sistemas para **diseño**, desarrollan configuraciones de objetos basados en un conjunto de problemas almacenados. Estos sistemas utilizan síntesis para construir diseños parciales y simulaciones para verificar o probar las ideas diseñadas.
- SE/SBC para la **planeación** de diseños, preparan una serie de acciones a ejecutar para alcanzar una meta. Uno de los objetivos generales de las acciones resultantes es el de minimizar la utilización de ciertos recursos.
- SE/SBC de **monitoreo**, que comparan el comportamiento actual de un sistema con el esperado. Los sistemas buscan conductas que confirmen sus expectativas sobre la conducta normal o sus presunciones sobre las posibles desviaciones.
- Sistemas que realizan **depuraciones o correcciones**, sugieren soluciones para corregir el mal funcionamiento de un sistema.
- SE/SBC para la **reparación**, siguen un plan para administrar algunas soluciones prescritas. Estos sistemas agregan al problema una dimensión de complejidad mayor, generalmente requieren capacidades de diagnóstico, depuración y planeación.
- Sistemas de **instrucción**, que diagnostican, depuran y corrigen el comportamiento de un estudiante.
- Sistemas de **control**, incluyen componentes de monitoreo para administrar el comportamiento del sistema todo el tiempo.

Debido a que la mayoría de S.E./S.B.C. ejecutan más de una de las actividades básicas simultáneamente, se tiene en cuenta otro tipo de clasificación según el tipo de problema que ayudan a resolver o el área de aplicación.

El dominio de trabajo de **SHEC** está enmarcado en el área de la Ingeniería, el cual orienta e instruye al usuario en el proceso a seguir en la selección de las herramientas de corte para los diferentes procesos de mecanizado y obtiene un conjunto de posibles soluciones a partir de la interpretación y análisis de los datos suministrados por el usuario; por lo cual se enmarca dentro de los sistemas de diagnóstico, en donde el problema es buscar la herramienta adecuada para una aplicación específica.

2.3.4.4 Estructura de un S.E./SBC. El corazón de un SE/SBC es el conocimiento que acumula durante su construcción, el cual está organizado para simplificar la toma de decisiones. Este conocimiento es explícito y accesible a diferencia de los programas convencionales.

El conocimiento está organizado en una forma que separa el conocimiento acerca del dominio problema del conocimiento acerca de cómo solucionar problemas o cómo interactuar con el usuario.

Dentro de los componentes de los SE/SBC se encuentran:

- **Base del Conocimiento (BC):** Contiene una gran cantidad de conocimiento a cerca del dominio problema. Está formada por el conocimiento de un área específica estructurado mediante una forma de representación del conocimiento (RC) adecuada.

Contiene el conocimiento del dominio que en el caso de SHEC se refiere a la información pertinente a las máquinas herramientas, porta herramientas, pastillas, materiales de uso en la ingeniería, operaciones, procesos y todos los demás aspectos que juegan un papel importante dentro de la selección de las herramientas para los procesos de mecanizado. Este tipo de conocimiento se obtiene de libros, catálogos, folletos, etc. y se almacena en una base de datos.

La BC también contiene un conjunto de reglas de decisión que abarcan hechos probados para el dominio, derivados de la experiencia del especialista; tal es el caso de las consideraciones tenidas en cuenta en los procesos de selección de herramientas para procesos de mecanizado, donde para la selección de una herramienta adecuada se deben cumplir ciertas condiciones. Este tipo de conocimiento se puede representar en diagramas de decisión, la figura 47 muestra los tipos de diagramas usados en SHEC.

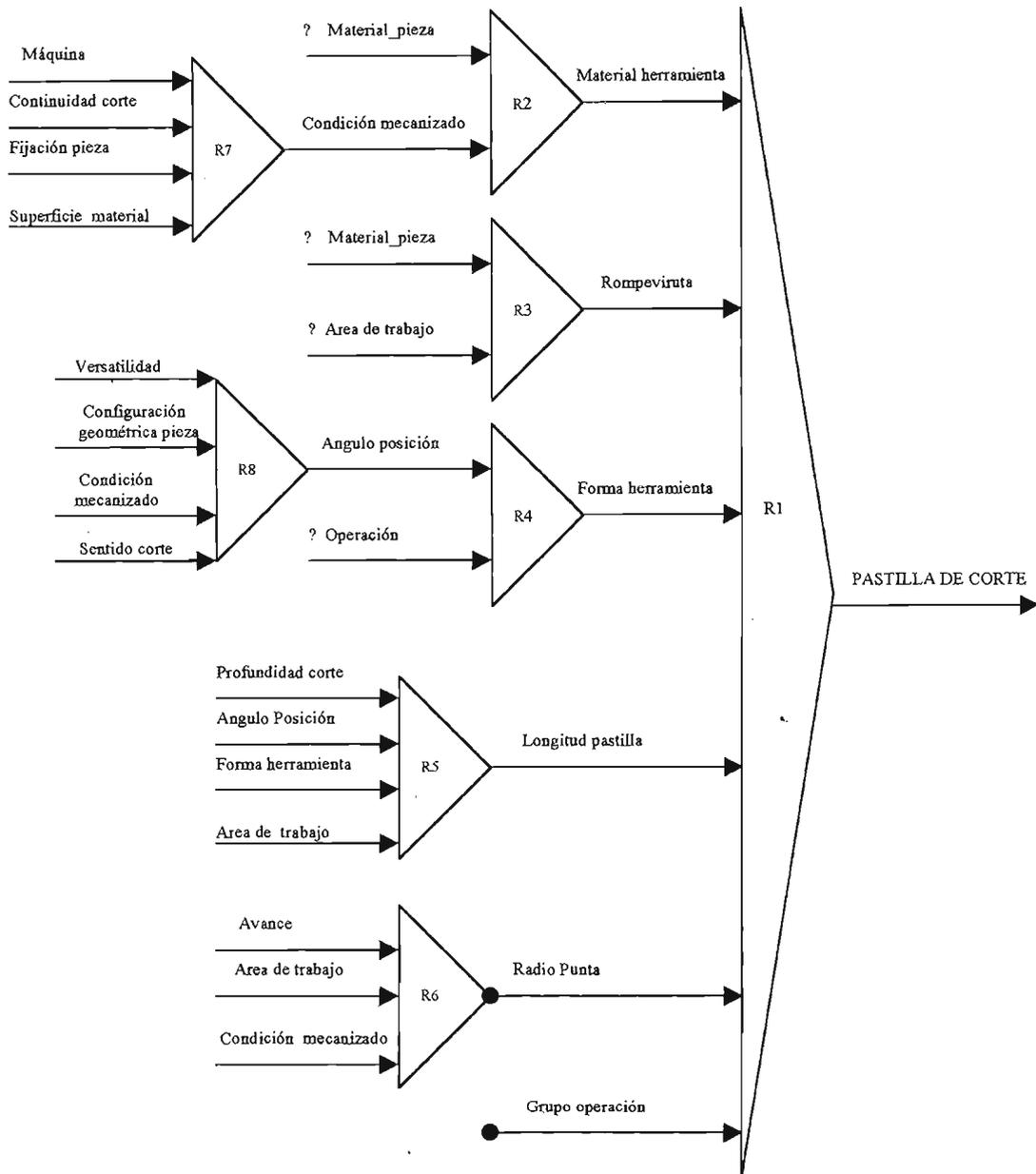


Figura 47. Representación del conocimiento mediante los diagramas de decisión.

- Motor de Inferencia (M.I.):** Constituye junto a la base de Conocimiento la parte central de un SE/SBC. Contiene conocimiento a cerca de cómo hacer uso efectivo del conocimiento del dominio. Presenta un mecanismo de búsqueda y algoritmos para deducir conclusiones o soluciones para el usuario basado en el conocimiento de la BC. La inferencia consiste en evaluar las reglas individuales y las interconexiones entre conceptos en la base de conocimiento para agregar a la memoria de trabajo.

BIBLIOTECA UIS

Para la selección de las pastillas adecuadas en el proceso de mecanizado de una pieza determinada, el motor de inferencia de SHEC, por ejemplo, recibe del usuario los datos referentes a la operación, al material de la pieza, al área de trabajo y con base a ellos y mediante la utilización de consultas a la base de conocimiento, obtiene datos complementarios que harán parte de un conjunto de condiciones o antecedentes posibles, los cuales serán buscados en las reglas establecidas para obtener una conclusión sobre condiciones de mecanizado, material de herramienta, rompeviruta, forma de la herramienta, longitud de la pastilla, radio de punta y grupo de operación, entre otras, que finalmente permitirán al sistema encontrar una solución óptima al problema inicial.

- **Interfaz de Usuario:** Permite la comunicación entre el sistema y el usuario final, a través de ella se solicita información al usuario de una forma clara y entendible para él, se recibe y se transforma para que el sistema pueda procesarla y obtener resultados que serán traducidos a una forma aceptable para dar respuesta al usuario. En su desarrollo predomina el uso de imágenes, sonido, animaciones, uso de elementos hardware como el mouse, empleo de ventanas de diálogo y menús, etc.

Como elementos complementarios en los SE/SBC se encuentran: **la memoria de trabajo** que apoya a la BC almacenando temporalmente datos o conclusiones hechas, las cuales varían en cada caso de estudio; **sistema de explicación**, que proporciona información al usuario sobre el tipo de datos requeridos y sobre los aspectos tenidos en cuenta para llegar a una solución y **un subsistema de actualización**, que permite que el especialista pueda ingresar nueva información a la base de conocimiento o generar nuevas reglas para el proceso de selección.

SHEC permite que el usuario después de obtener un conjunto de herramientas para la elaboración de la pieza determinada, visualice de forma esquemática el proceso realizado y las variables que juegan un papel importante en la selección de la herramienta o pastilla y de su respectivo porta herramienta. Ofrece también la posibilidad de que el especialista mediante el módulo de actualización de la base de conocimiento, introduzca nueva información correspondiente a los elementos participantes del proceso, así como también, pueda generar o enlazar nuevas condiciones o reglas que limitarán o aumentarán el conjunto de posibilidades al momento de realizar la selección, según su experiencia se lo indique.

2.3.4.5 Construcción de un Sistema Experto. La construcción de un SE/SBC se considera cuando su desarrollo es posible, justificado y apropiado.

2.3.4.5.1 *Cuándo es posible construir un S.E.* Las razones que posibilitan la construcción de un SE/SBC se muestran en la figura 48.¹⁵ De estas razones, quizá la de mas importancia es la existencia de especialistas en el dominio del problema, personas con varios años de experiencia encontrando soluciones al problema, estos especialistas generalmente utilizan trucos o caminos más cortos en la búsqueda de la solución, lo cual la hace más eficiente. Este conocimiento experto también puede obtenerse de otras fuentes como libros o catálogos especializados en el problema tratado.

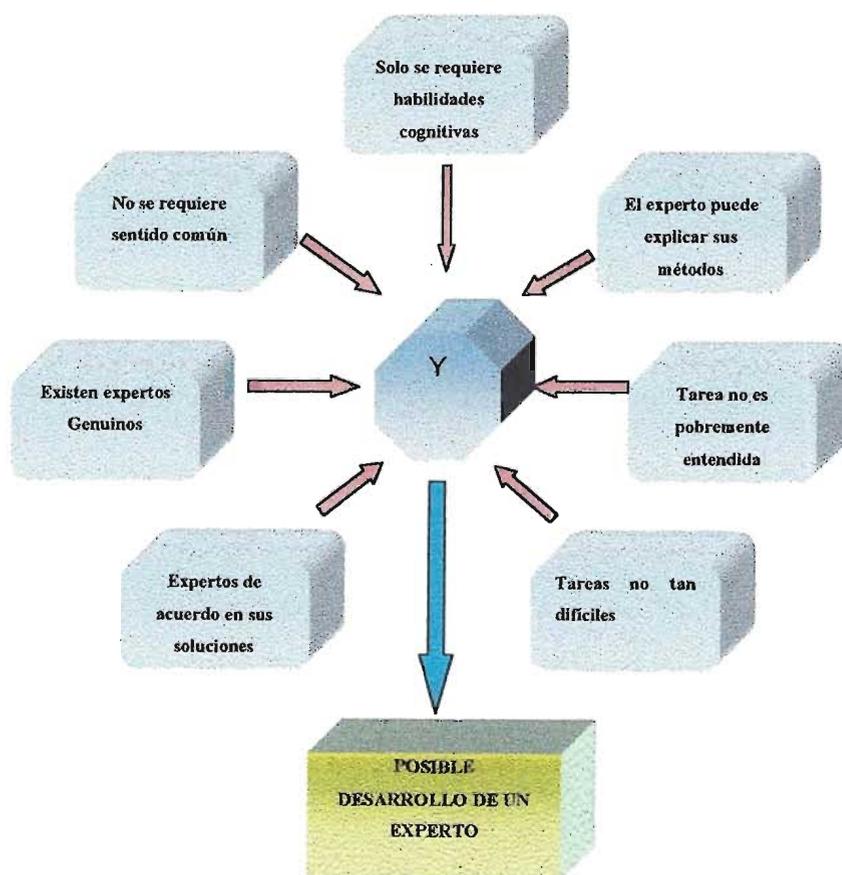


Figura 48 . Requerimientos necesarios para desarrollar Sistemas Expertos. (A guie to expert system, Waterman, D. Pag. 129)

El problema al que se le dará solución con la construcción del SE/SBC no debe ser tan complejo, debe permitir que el especialista sea capaz de transmitir su conocimiento y de enseñar sus

¹⁵ *Ibid.*, p. 129.

estrategias a una persona novata en el área de una forma clara, para así poder ser trasladada a un programa.

Para SHEC, el conocimiento se ha tomado de especialistas encontrados en empresas importantes para la industria del sector como son **TANUZZI, TRANSEJES, EL SENA**, las cuales llevan años de trabajo en el área del mecanizado. También se cuenta con la información distribuida directamente por los fabricantes de las herramientas de última tecnología empleadas en el proceso como son las empresas **SANDVIK, KENAMETAL CARBOLOY**, entre otras.

2.3.4.5.2 *Cuándo se justifica el desarrollo de un S.E/DBC.* Existen muchas formas para justificar el esfuerzo que implica el desarrollar un SE/SBC, como se ilustra en la figura 49.¹⁶

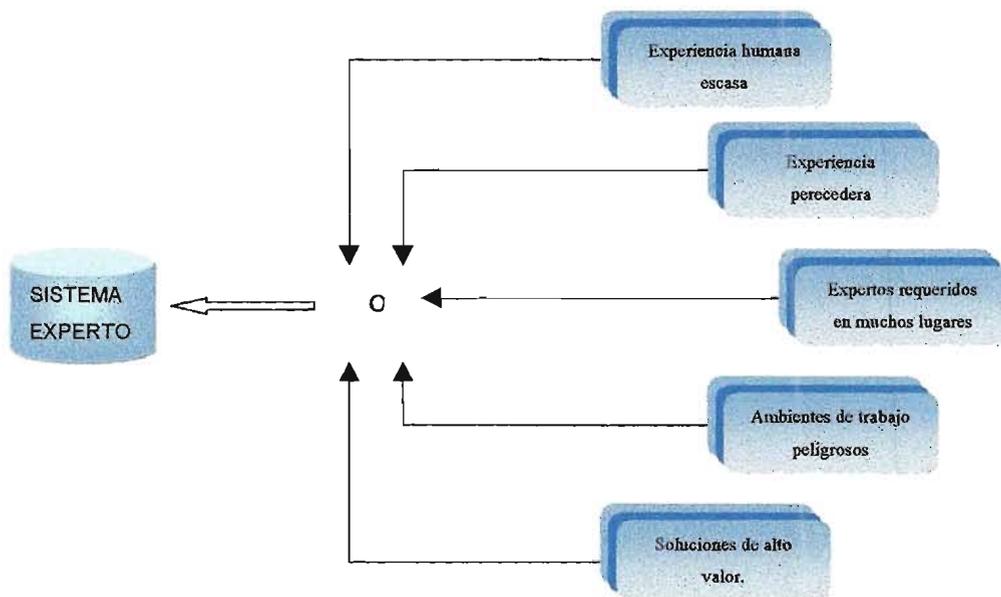


Figura 49 . Diagrama de justificación para el desarrollo de un S.E.

Una compañía justificaría el desarrollo de un SE/SBC cuando en la solución de la tarea existe la posibilidad de un alto costo que como en el caso del trabajo que efectúa SHEC, el trabajar con una herramienta inadecuada ocasiona resultados diferentes a los esperados en la pieza mecanizada, o para obtener resultados óptimos requiere más tiempo de mecanizado, o incluso trabajando con la herramienta adecuada pero a condiciones de trabajo que no son las apropiadas puede llevar al daño o pérdida de la herramienta, todo esto representa un alto costo para la empresa ya que se

¹⁶ *Ibid.*, p.130

desaprovecha tiempo de trabajo, materiales empleados, pérdida de herramientas que tienen un costo elevado en el mercado, afecta el nivel de productividad, etc.

La complejidad de un área problema y la escasez de verdaderos especialistas humanos también son factores motivantes, con frecuencia hay mucha demanda de ellos, lo cual los hace altamente costosos, a esto se le adiciona el hecho de necesitar experiencias similares en diferentes lugares simultáneamente. Esto puede ser solucionado cuando el especialista es un programa de computador, de esta forma el sistema resulta ser una forma efectiva y menos costosa de solucionar el problema. Construir un S.E./SBC. puede ayudar a sistematizar un gran volumen de conocimiento que puede ser amplia y fácilmente distribuido.

En muchas ocasiones cuando se cuenta con especialistas que en su trabajo han encontrado trucos y almacenado conocimientos referentes a la solución del problema y éstos se alejan de la organización, se llevan consigo toda esta información, lo cual se puede evitar si se han traducido a un SBC. En otros casos se justifica cuando el especialista debe tomar decisiones en lugares que son ambientes peligrosos u hostiles tales como plantas nucleares, estaciones espaciales, etc.

Los S.E./SBC son un buen medio para combinar la pericia de un grupo de especialistas para producir un sistema que es más efectivo que cualquiera de ellos trabajando solo.

La existencia de SHEC permite el entrenamiento adecuado de personal en el área de mecanizado, basado en el conocimiento recopilado de los especialistas del sector, de tal forma que el novato comprenda los factores que juegan un papel importante dentro del proceso de selección de las herramientas adecuadas para el mecanizado de una pieza de ciertas características y obtenga las condiciones de trabajo adecuadas para poder obtener los resultados más próximos a los esperados. Esto evita en un alto grado los costos por las pérdidas mencionadas anteriormente y disminuye la dependencia del especialista para su entrenamiento, cuyo tiempo es bastante limitado.

Adicionalmente gracias a la posibilidad de actualizar el contenido de la base de conocimiento de SHEC, es posible que nuevos conocimientos adquiridos en la experiencia por parte de los especialistas existentes o de los que están en proceso de formación sean agregados al sistema para así evitar la pérdida de esta valiosa información que puede optimizar el proceso de selección. Esto permitirá contar con un especialista actualizado y disponible en cualquier momento.

2.3.4.5.3 *¿Cuándo es apropiado desarrollar un Sistema Experto?* : Los factores claves para determinar si es apropiado el desarrollo de un Sistema Experto son la naturaleza, la complejidad y el alcance del problema a solucionar.

- **Naturaleza:** Un problema debe tener ciertas cualidades intrínsecas. Debe ser un problema que pueda resolverse naturalmente mediante la manipulación de símbolos y estructuras de símbolos. La habilidad para ejecutar razonamiento simbólico es una cosa que diferencia los SE/SBC de los programas convencionales. La mayoría de problemas apropiados para trabajar con SE/SBC son de naturaleza heurística, es decir, requieren el uso de reglas para llegar a soluciones aceptables dependiendo de una serie de condiciones.
- **Complejidad:** El problema no debe ser tan fácil, debe ser un problema serio en un dominio en el cual toma muchos años de estudio llegar al nivel de un experto. El problema debe tener la complejidad necesaria para justificar la inversión en el desarrollo de un sistema experto para darle solución.
- **Alcance:** El problema debe tener el alcance apropiado, debe ser lo suficientemente limitado para hacerlo manejable y lo suficientemente amplio para asegurar que tenga algún interés práctico. Escoger el alcance apropiado es crucial para el éxito del SE/SBC, uno de los peligros más latentes en la construcción de un sistema experto es el de escoger un problema demasiado amplio o general que dificulte su manipulación adecuada.

3. DISEÑO Y DESARROLLO DE SHEC

3.1 ANÁLISIS Y DISEÑO

El desarrollo de un SE/SBC abarca diferentes etapas desde la concepción de la idea de creación hasta la implementación del sistema. Cada una de estas etapas posee su propio grado de complejidad y permiten que el sistema mejore en cuanto a la organización y representación del conocimiento que se posee. A continuación se hace una descripción de las etapas de desarrollo de SHEC.

3.1.1 *Análisis Previo.* Esta etapa está relacionada con el diseño previo de SHEC.

3.1.1.1 *Estrategia de Desarrollo.* En esta fase se analizó el tipo y volumen de información disponible sobre el área de mecanizado para determinar el tamaño adecuado del software. Dada la información a la que se podía acceder, se decidió enfocar el sistema para manejar las operaciones más comúnmente efectuadas en los tres procesos de mecanizado dentro de la industria como son torneado, fresado, y taladrado. En este campo queda gran cantidad de procesos a los que puede aplicarse la misma técnica. El grupo de operaciones que se manejan para cada proceso se listan en la tabla 3.

3.1.1.2 *Dominio y Tareas Específicas.* Tomando en cuenta los objetivos del proyecto los cuales están orientados a proporcionar un SBC que apoye la selección de las herramientas de corte en procesos de mecanizado de torneado, fresado y taladrado, permitiendo mejorar las condiciones de trabajo de las máquinas herramientas y haciendo un análisis del problema en sí, se determinaron las tareas a realizar por SHEC, las cuales se pueden resumir como sigue:

- Permitir al usuario obtener la(s) herramienta(s) adecuada(s) para elaborar una pieza mediante operaciones de mecanizado, dado el material de la pieza y sus características dimensionales y

de acabado superficial, la máquina herramienta y las condiciones de mecanizado definidas, tales como fijación de la pieza.

- Proporcionar los datos de corte y condiciones apropiadas de trabajo, tales como la velocidad de corte, avance y profundidad requeridas y potencia consumida, tiempo de mecanizado y sugerencias relacionadas para la operación correcta de cada una de las herramientas previamente seleccionadas en el anterior ítem.
- Facilitar la consulta de toda la información registrada en la base de Conocimiento y que se involucra dentro del proceso de selección que efectúa SHEC.
- Proporcionar la posibilidad de actualización de la Base de Conocimiento.

Tabla 3. Operaciones de mecanizado involucradas en la selección de herramientas en SHEC.

TORNEADO	FRESADO	TALADRADO
Cilindrado Exterior	Planeado	Agujeros cortos
Cilindrado Interior	Planeado Escuadra	Agujeros Profundos
Refrentado	Perfilado en Fresa	Retaladrado
Tronzado	Ranurado	Trepanado
Ranurado Exterior	Tronzado	
Ranurado Interior	Contorneado	
Ranurado Frontal		
Roscado Exterior Derecho		
Roscado Exterior Izquierdo		
Roscado Interior Derecho		
Roscado Interior Izquierdo		
Copiado		

3.1.2 Análisis de la Tarea. Corresponde a la identificación de las ideas, los datos y los conceptos que son la base del razonamiento del especialista en el área de mecanizado de piezas, y la definición de conceptos, relaciones y mecanismos de control que son necesarios para describir la solución del problema de la selección de herramientas.

Se analizaron las subtareas y estrategias que tienen en cuenta los especialistas para encontrar las soluciones al problema y se prestó atención en determinar la forma de razonamiento del especialista, detectando cómo utiliza el conocimiento básico, cuáles son los hechos que considera

primero, qué tipos de cuestionamientos se hace, si se formula hipótesis, cómo procede para verificar estas hipótesis, si descompone las tareas a cumplir en subtareas ordenadas y si trata de aclarar los razonamientos inciertos.

Para recopilar todo este tipo de información se empleó el método de entrevista directa con especialistas, entre ellos se encuentran: el Ingeniero Mecánico **Leonardo James** de Industrias TANUZZI, **Germán Duran** de TRANSEJES, **Mario Jiménez** del SENA, **Edgar Rodríguez**, profesor de Taller del ITSDZ y consultas a los fabricantes de herramientas mediante catálogos e INTERNET.

3.1.3 Desarrollo del Prototipo. Para el diseño de prototipo fue necesario considerar todos el conocimiento e información recopilada de las fases anteriores.

Se inició el proceso de evaluación y selección de la herramienta de programación que permitiera desarrollar un sistema que cumpliera con las tareas ya previstas, que facilitara la comunicación con bases de datos y que adicionalmente permitiera una interfaz de usuario amigable, mediante la utilización de ventanas, imágenes, sonido, etc.

En el mercado existe un grupo especializado de herramientas para el desarrollo de SE/SBC, todos las herramientas de este grupo tienen diferentes características y grados de sofisticación y desarrollo, pero tienen como elemento común; un motor de inferencia predefinido para procesar la construcción de una base de conocimiento de acuerdo a las especificaciones del lenguaje. La primera opción considerada para el desarrollo del sistema pertenece a este grupo y se denomina **KAPPA PC**. Se descartó su uso debido a que versión con la cual se contaba no facilitaba la comunicación con los motores de bases de datos que se manejan actualmente. Adicionalmente no permitía el manejo de una interfaz interactiva ya que el manejo gráfico era bastante limitado. Dentro del presupuesto no se contó con dinero para comprar nuevas versiones.

Desechada esta opción se considero el manejo de **WINPROLOG**, que es un lenguaje diseñado también para la implementación de SE/SBC permitiendo el manejo de estructuras **if ... Then**. Desafortunadamente su ambiente de desarrollo no permite elaborar aplicaciones amigables para el usuario, lo cual llevó a descartarlo como herramienta de desarrollo.

Finalmente se determinó el desarrollo de **SHEC** bajo el entorno de programación proporcionado por la herramienta **DELPHI 5.0**. Este lenguaje basado en objetos proporciona las herramientas

adecuadas para el desarrollo de un sistema basado en el conocimiento con los requerimientos que tiene SHEC dada sus características y área de aplicación. Delphi es una herramienta de programación que permite realizar un sistema que sea agradable y amigable al usuario mediante el uso de un ambiente gráfico, manejo de ventanas y cuadros de diálogo, ayuda en línea, entre otros. Por otro lado posee un motor de base de datos potencial, lo cual facilita la implementación del motor de inferencia mediante comunicación con la Base de Conocimiento implementada en una Base de Datos, esta comunicación se hace mediante el uso de consultas en SQL. Adicionalmente por ser orientado a objetos permite el desarrollo de aplicaciones más rápidas mediante el uso de la herencia.

Habiendo determinado la herramienta de trabajo, se implementó la estructura básica del sistema haciendo uso de la forma de representación de conocimiento seleccionado que para el caso de SHEC el sistema de representación adecuado son las reglas de producción y el mecanismo de inferencia el encadenamiento hacia adelante.

3.1.4 Requerimientos de software y hardware.

Los requerimientos del sistema SHEC son como mínimo Windows 95 y con los siguientes elementos en hardware y software.

Hardware:

- Procesador Pentium, MMX o superiores.
- Memoria RAM de 64 MB como mínimo.
- Espacio libre en disco duro de 200 MB para su funcionamiento.
- Tarjeta de video de 1 MB o superiores
- Unidades de salida:
 - Monitor SVGA
 - Impresora.

Software:

- Sistema operativo Windows 95 ó 98.
- Plataforma de programación DELPHI 5.0
- Software de captura y edición de imágenes PHOTO SHOP 4.0

3.2 DESARROLLO DEL SISTEMA

En este proceso se crea el S.E./SBC para su aplicación productiva. Se lleva a cabo la implementación en el lenguaje seleccionado de todas las estructuras y consideraciones resultado de los procesos anteriores para que se generen las soluciones esperadas por parte del sistema. La arquitectura de SHEC presenta básicamente 5 módulos importantes a saber:

Base de conocimiento.

Motor de inferencia.

Módulo de justificación.

Módulo de actualización.

Interfaz de usuario.

3.2.1 Base de conocimiento. La forma de representación del conocimiento seleccionada para el desarrollo de SHEC, es las reglas de producción, la cual facilita el proceso de inferencia y ha sido usada con éxito en la implementación de otros SBC de la industria. Esta forma de representación permite organizar el conocimiento de la BC de la siguiente forma:

- Una base de datos que contiene información pertinente al dominio del problema, en este caso, todas las entidades con sus atributos respectivos que se involucren en el proceso que realiza el especialista en mecanizado de piezas para determinar la herramienta adecuada y las condiciones de operación recomendadas para obtener la pieza mecanizada de una forma satisfactoria.
- Un conjunto de reglas que permiten llevar a cabo inferencias para que dependiendo del cumplimiento de ciertas condiciones que dependerán de cada caso analizado en forma particular se realice una acción determinada, ya sea, generar una respuesta u obtener una nueva condición de entrada para el análisis de otra regla.

3.2.1.1 Implementación de la Base de Datos: La información relacionada con todo el proceso de selección de herramientas para procesos de mecanizado en los procesos de torno, fresa y taladro que maneja SHEC, está almacenada en una base de datos local en formato Paradox, la cual fue diseñada en Borland Database Desktop de Delphi.

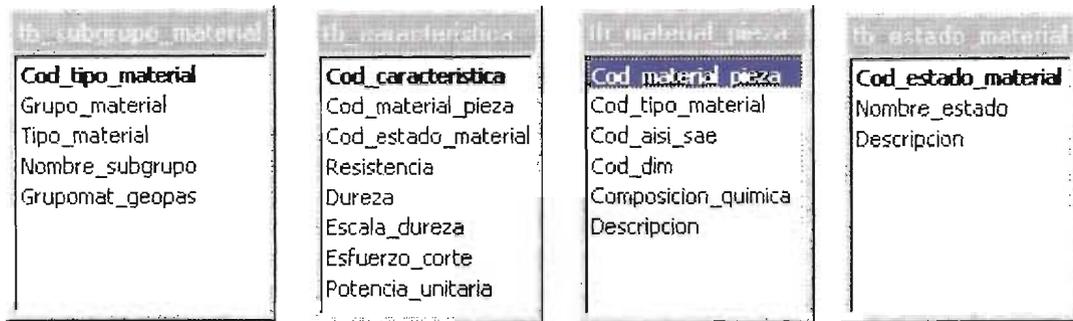


Figura 50 . Entidades y sus respectivos atributos creados en SHEC para el manejo de material de pieza.

- *Identificación de entidades y atributos:* Analizando la información que se involucra en la selección de una solución en SHEC, se identificaron las entidades con sus respectivos atributos. Dentro de las entidades principales se encuentran las pastillas y herramientas, máquinas, porta herramientas, fabricantes, materiales de piezas, etc. Para cada una de estas entidades, se han seleccionados los atributos que corresponden a las necesidades de SHEC, para que pueda inferir y calcular. En la figura 50 se muestran algunas entidades con sus respectivos atributos para el manejo de materiales de piezas.
- *Identificación de Relaciones y Cardinalidad:* Se analizaron las relaciones para determinar cómo se relacionan entre sí y establecer su cardinalidad e integridad referencial respectiva. La figura 51 muestra las relaciones entre entidades involucradas para el manejo del material de la pieza.

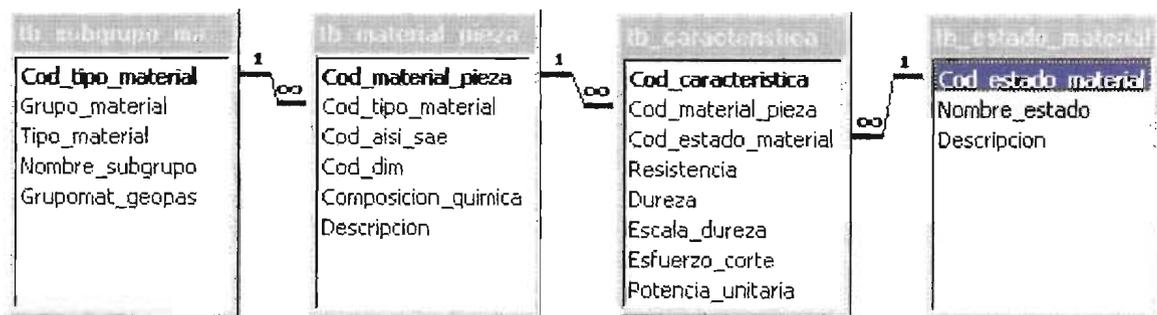


Figura 51 . Relaciones entre entidades creadas en SHEC para el manejo del material de pieza.

- *Normalización de la base de datos:* En esta fase se verificó que la base de datos cumpliera con las reglas de normalización de tal forma que:

- No existen atributos repetidos en la misma entidad.
 - Todos los atributos dependen en su totalidad del identificador principal de la entidad respectiva.
 - Todos los atributos no deben depender de otro atributo que no sea identificador único de la entidad.
- *Diseño de las tablas:* Se elaboró el diseño de tablas, estableciendo las características de los atributos para cada una de las entidades involucradas en el proceso de selección de la herramienta. En la tabla 4 se muestra el diseño de la tabla de material de pieza.

3.2.1.2 Implementación de las Reglas. Para la implementación de las reglas se consideró el tamaño de las posibles variaciones de los antecedentes para una determinada conclusión de tal forma que se encontraron dos estructuras de implementación que permitieran la fácil manipulación de las mismas dentro del mecanismo de inferencia establecido en SHEC. Dichas estructuras son:

- Manejo de reglas mediante el uso de tablas
- Manejo de la estructura condicional *IF Condición THEN conclusión*

Tabla 4. Diseño de la tabla de material de piezas.

TABLA DE MATERIAL DE PIEZA					
Campo	Tipo de datos	longitud	Llave principal	Llave foránea	Opcional
Cod_material_Pieza	+		SI	-	NO
Cod_tipo_material	I	Entero	-	SI	NO
Cod-aisi_sae	A	20	-	-	NO
Cod_dim	A	20	-	-	SI
Composición_quimica	M	100	-	-	SI
Observaciones	M	200	-	-	SI

3.2.1.2.1 Manejo de Reglas mediante el uso de Tablas: Esta estructura se implementó para el manejo de un alto porcentaje de las reglas de decisión que se tienen en consideración dentro de la ejecución de SHEC.

Cada una de las reglas implementadas de esta forma constan de un amplio número de combinaciones posibles en sus antecedentes que son necesarias considerar para llegar a una determinada conclusión. Esto hace que el manejo al interior del programa de las diferentes

posibilidades de entrada por parte del usuario sea bastante compleja y extensa, tarea que se facilita enormemente a través de este medio de implementación mediante tablas.

En la tabla 5 se presenta algunas de las reglas implementadas de esta forma, se muestran los antecedentes a tener en cuenta y el tipo de conclusión que se genera:

Tabla 5. Tipo de relaciones implementadas en SHEC.

<i>CODICIONES ANALIZADAS</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de material de la pieza - Condición de mecanizado 	Material de herramienta
<ul style="list-style-type: none"> - Material de la pieza - Tipo de acabado requerido 	Geometría de la pastilla/ geometría corte de porta pastilla
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de material de la pieza - Dureza mínima del material - Dureza máxima del material 	Factor de corrección para la velocidad de corte
<ul style="list-style-type: none"> - Operación - Tipo de material de pieza - Área de trabajo o acabado - Material de la herramienta 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de corte - Dureza de Referencia - Avance por diente (para casos de fresado)
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de inserto 	Sistemas de sujeción de la pastilla
<ul style="list-style-type: none"> - Operación - Longitud de filo de pastilla - Angulo de inclinación del inserto 	Placa de apoyo
<ul style="list-style-type: none"> - Rosca - Tipo de roscado 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad de corte - Número de pasadas
<ul style="list-style-type: none"> - Operación - Forma de la herramienta 	Angulo de posición
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de roscado - Tipo de inserto - Rango del paso de la rosca 	Longitud de Referencia de filo de la rosca

Las tablas constituyen una analogía de las reglas de producción que tienen la forma

IF Condición THEN Conclusión

Tomando como ejemplo la tabla de relaciones (ver la figura 52) para determinar la geometría de la herramienta tenemos:

f_geopas	Cod_material	Cod_area_trabajo	Cod_rompeviruta
3	1	1	16
4	1	1	17
5	1	1	18
6	1	2	2
7	1	2	6
8	1	2	20
9	1	3	3
10	1	3	7
11	2	1	8
12	2	1	16
13	2	1	17
14	2	1	18
15	2	2	9

Figura 52 . Forma de representación de reglas para seleccionar la geometría de corte de la herramienta.

Este conjunto de relaciones involucra elementos que se encuentran almacenados en otras tablas principales de la base de datos como son el caso del material de la pieza y el área de trabajo, de tal forma que para una combinación de material y área de trabajo se selecciona la geometría de la pieza adecuada. Cada registro de la tabla representa una regla que expresada de la forma tradicional quedaría:

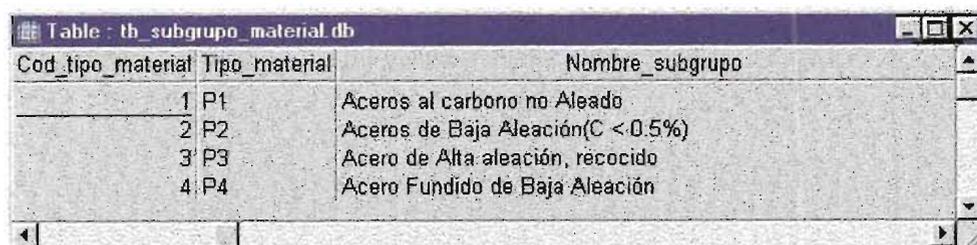
If ((tipo de material de la pieza =1) or
 (tipo material de la pieza = 2)) and
 (área de trabajo =1) then
 geometría de la pastilla = 16, 17 y 18

La tabla de relaciones se construye a partir de los identificadores de cada una de las entidades (ver figuras 53 y 54) que se involucran, teniendo esto presente la anterior regla luciría como sigue:

tb_rompe_viruta	Cod_rompe_viruta	Nombre_geometria
15	15	SA
16	16	FF1
17	17	F1
18	18	F2
19	19	MF1
20	20	MF2
21	21	STD ROSCAD
22	22	CF
23	23	CM
24	24	CR

Figura 53 . Entidades de tipos de rompevirutas que maneja SHEC, son la conclusión de la consulta de la geometría de la pastilla.

If tipo material de la pieza es P1(Acero al carbono) **or**
 Tipo material de la pieza es P2(Aceros de Baja Aleación C < 0.5%) **and**
 Área de trabajo es Acabado **then**
 Geometría de la pastilla es FF1, F1y F2



Cod_tipo_material	Tipo_material	Nombre_subgrupo
1	P1	Aceros al carbono no Aleado
2	P2	Aceros de Baja Aleación(C < 0.5%)
3	P3	Acero de Alta aleación, recocido
4	P4	Acero Fundido de Baja Aleación

Figura 54 . Entidad de tipo de materiales utilizada para seleccionar el rompeviruta.

3.2.1.2.2 Manejo de la estructura condicional IF Condición THEN conclusión: Este aspecto se refiere a que debido a la existencia de ciertas reglas en las cuales su implementación no justificaba la elaboración de una tabla de relaciones, siendo su programación directa de la estructura condicional del lenguaje, la forma más adecuada para enfocarla.

Por ejemplo para el caso de seleccionar la profundidad de corte para algunas operaciones de torneado donde dependiendo del área de trabajo, la profundidad de trabajo introducida por el usuario y de la potencia de la máquina se efectúa el calculo de la profundidad de corte adecuada analizando ciertos rangos de valores de las condiciones. En estos casos adicionalmente al manejo de la estructura condicional, en ocasiones es necesario realizar cálculos o utilizar otros medios de programación para llegar a la conclusión.

3.2.2 Motor de inferencia. El motor de inferencia es el conjunto de algoritmos utilizados por SHEC para seleccionar una herramienta de corte.

SHEC simula el proceso llevado a cabo por el especialista usando código en Delphi y consultas SQL. El mecanismo de inferencia implementado es la búsqueda con encadenamiento hacia adelante, el cual se concluyó de la observación en el trabajo de los especialistas.

El sistema parte de un conjunto de hechos introducidos por el usuario, de los cuales, algunos ayudan a determinar el conjunto de reglas a utilizar y otros servirán como entradas a las reglas

que se manejarán a través de las consultas para obtener nuevos antecedentes para otras reglas o soluciones parciales que harán parte de un proceso final para obtener un conjunto de soluciones.

Por ejemplo, en la selección de la herramienta para una operación de torneado el algoritmo de inferencia utilizado por SHEC (Véase figura 47), partiendo de los datos suministrados por el usuario realiza Consultas SQL para acceder los datos principales almacenados en la base de conocimiento y para acceder a las tablas de relaciones.

Uno de los datos importantes que permiten que el motor de inferencia utilice un grupo u otro de reglas es el proceso y tipo de operación que se va a llevar a cabo por el usuario. Si el proceso seleccionado por el usuario es Torneado y la operación pertenece a Torneado General entonces SHEC utiliza un grupo de reglas que producirán conclusiones que se convertirán en las condiciones de entrada para la regla principal de la selección de la pastilla. Entre las principales reglas manejadas por SHEC para esta situación de torneado general se encuentran:

a) Reglas para determinar las **condiciones de mecanizado** para la pieza en estudio.

Estas condiciones de mecanizado se establecen tomando como antecedentes los siguientes:

- *La rigidez de la máquina.*
- *La superficie del material en bruto.*
- *El factor de fijación de la pieza.*
- *La continuidad de corte.*

b) Reglas para establecer **el material de la herramienta** a utilizar en la elaboración de la pieza.

Estas reglas involucran como condiciones de entrada los siguientes aspectos:

- Tipo de material de pieza a trabajar.
- Condiciones de mecanizado.

De esta forma habrá una combinación importante de reglas con los diferentes valores que tomen los antecedentes para concluir un conjunto de materiales de herramienta indicados para el proceso.

c) Reglas para seleccionar **la geometría de la pastilla** de tal forma que se relacione con el material de la pieza y el acabado requerido por el usuario para su pieza en desarrollo. Los antecedentes son:

- Tipo de material a trabajar.
- Área de trabajo.

La solución generada por las posibles combinaciones de valores de los antecedentes en esta regla puede ser múltiple, única o vacía.

d) Reglas para seleccionar **la forma de la herramienta** adecuada. Las condiciones de entrada para el análisis de esta regla son:

- La operación que se está efectuando
- El ángulo de posición: este es el resultado generado por otra regla, la cual para su determinación depende del cumplimiento de las siguientes condiciones:
 - Versatilidad de la operación
 - Restricciones por configuración geométrica de la pieza
 - Las condiciones de mecanizado establecidas mediante la inferencia de reglas anteriores.
 - Otras variables del proceso como el sentido de corte de la operación.

e) Buscar **la longitud de la pastilla** que se acomode a las operaciones a realizar. Esto dependerá también de otro conjunto de reglas para las cuales sus entradas tienen referencia con:

- La profundidad de corte que a su vez depende del área de trabajo y de la operación de mecanizado, la profundidad de trabajo introducida por el usuario y de la potencia de la máquina.
- El ángulo de posición que se determinó anteriormente
- Forma de la herramienta
- Área de trabajo establecida por el usuario

f) Verificar **el Radio de punta** de la herramienta de tal forma que se encuentre dentro de un rango aceptable. El establecimiento de este rango depende de factores considerados con anterioridad como es el área de trabajo.

g) Teniendo definido ya un conjunto de condiciones que deben cumplirse se procede a seleccionar un conjunto de pastillas indicadas para que el usuario realice su tarea con seguridad. Para esto se realiza una consulta sobre la tabla principal de Pastillas y herramientas utilizando la base de conocimiento tomando como entradas los resultados de las reglas mencionadas en los puntos anteriores.

Para la selección de los respectivos Porta Herramientas y la determinación de las condiciones adecuadas de operación y trabajo de la pastilla SHEC trabaja de forma similar al proceso descrito para la pastilla en el proceso de torneado, es decir, busca en un grupo de reglas las conclusiones definidas para el cumplimiento de ciertas condiciones establecidas.

Es importante recordar que dependiendo de la tarea que se esté realizando SHEC utiliza o no cierto grupo de reglas de las existentes.

Los antecedentes correspondientes a cada una de las reglas(parámetros de entrada en las consultas SQL) son datos indagados por el sistema directamente al usuario, resultado de operaciones internas del sistema o conclusiones de otras reglas. Cada una de las condiciones que participan en las reglas pueden tomar diversos valores dependiendo del caso que se esté tratando, por lo cual el número de combinaciones es bastante grande.

3.2.3 Módulo de justificación de respuestas. Esta es una utilidad adicional de SHEC que complementa el proceso de selección de la herramienta, del porta herramienta y de las condiciones de trabajo para una operación de mecanizado.

En este módulo el usuario puede ver a través de un diagrama de decisión las principales variables que intervienen en el proceso de selección, los valores que tomaron dentro del proceso y a qué conclusión llevaron y su respectivo valor.

Esta utilidad permite que el usuario visualice el proceso de inferencia que llevó a cabo SHEC para obtener cada uno de los resultados, permitiéndole formar un criterio de selección, reconociendo la importancia de factores que alteran su aplicación; esto también permite reforzar que cualquier variación en las condiciones de mecanizado, afectan el resultado final, ya sea en la pieza, la vida de la herramienta o en la máquina.

3.2.4 Módulo de actualización de la BC. Teniendo presente que el conocimiento va creciendo día a día SHEC presenta este módulo de actualización, que le permite al especialista ampliar el contenido de la base de conocimiento agregando nuevos elementos resultado del avance tecnológico o introduciendo nuevas reglas de decisión fruto de nuevos conocimientos.

En este módulo se realizan los respectivos accesos a la base de datos, para cada una de las entidades que son actualizables, estableciendo los vínculos necesarios entre las diferentes tablas

que se relacionan, de manera que se facilite al usuario la tarea de llenado o edición de cada uno de los campos respectivos, asegurándose la correspondencia e integridad de la información.

3.2.5 Interfaz de usuario. Permite la comunicación entre el usuario y SHEC, está diseñada de una forma que sea amigable al usuario involucrando elementos texto, imágenes, manejo de páginas, botones, sonido, etc. A través de la interfaz el sistema indaga al usuario sobre ciertos aspectos que requieren ser conocidos para utilizarlos dentro de los procesos de inferencia, de igual forma el sistema le presenta al usuario el resultado de la ejecución del sistema.

Básicamente la interfaz está compuesta por los siguiente módulos principales:

- Módulo de consulta
- Módulo de Justificación
- Módulo de Base de Conocimiento

3.2.5.1 Módulo de consulta: El módulo le permite a usuarios y expertos realizar una nueva selección de herramientas o abrir una existente, la opción de salir lo remite al menú principal. En la barra de herramientas se encuentran los accesos directos a los dos módulos principales, la ayuda y la opción de salir de la aplicación.

El usuario puede realizar la selección de las herramientas de corte y las condiciones de operación adecuadas, dadas las características de la pieza y la operación de mecanizado a realizar.

- *Nueva Consulta:* En esta sección el usuario interactúa con el sistema para determinar sus necesidades de mecanizado y SHEC realiza la inferencia a la base de conocimiento para seleccionar un conjunto de posibles herramientas y las condiciones de operación adecuadas según los parámetros de entrada. Uno de los objetivos de SHEC es permitir el adiestramiento de nuevos operarios de máquinas herramientas y usuarios en el campo del mecanizado, como estudiantes, por lo cual es descriptivo en la mayor parte de su interfaz, permitiendo que reconozca las definiciones que utiliza el sistema, y de los procesos de mecanizado. Para un usuario experto y /o para realizar una selección específica, SHEC permite realizar el llenado de datos sin insistir en lo que ya conoce el usuario.

La entrada de datos se realiza en el orden establecido, empezando por material pieza, operación de mecanizado, máquina herramienta, pieza, condiciones de mecanizado, porta herramienta y datos adicionales.

Una vez llena cada página, se activa automáticamente la siguiente página con la posibilidad de editar y navegar sobre las páginas activas.

- *Consulta Existente:* Se ha diseñado con el fin de reproducir consultas que ya han sido elaboradas, permitiendo que se puedan guardar el conjunto de herramientas seleccionadas, sus respectivos porta herramientas y las condiciones de corte para cada combinación. Esta utilidad es funcional en caso de que la herramienta seleccionada y utilizada se agote y pueda emplearse otra con características similares y que haya sido producto de la misma consulta.

Para lograr este propósito se han elaborado diferentes tablas que permiten guardar los respectivos valores de la pieza, tales como:

- Material de la pieza
- Nombre de la selección.
- Características mecánicas.
- Dimensiones de mecanizado como profundidad, diámetro, longitud de mecanizado, etc.
- Operación de mecanizado.
- Códigos de las herramientas y los porta herramientas seleccionados.
- Los cálculos de operación para cada pareja de herramienta y pieza.
- Observaciones de operación.

El resultado de las consultas en los módulos anteriores, cuentan con la opción de ser impresos mediante un informe generado por el sistema, consta de las características mencionadas anteriormente.

3.2.5.2 Módulo de Justificación: En este módulo el usuario puede ver a través de paneles los diagramas de decisión con las principales variables que intervienen en el proceso de selección, los valores que tomaron dentro del proceso y a qué conclusión llevaron y su respectivo valor. Su diseño interactivo, permite conocer la forma en que se llega a la conclusión de usar determinada herramienta, de cómo se determinan las condiciones de corte y los requisitos de los porta pastillas aplicables.

3.2.5.3 Módulo de BC. El experto en el campo del mecanizado puede consultar la información existente, modificar o agregar nueva información a la base de datos, tanto en los elementos material pieza, pastillas, porta herramientas, máquinas herramientas y tablas de reglas de decisión.

Al ingresar se despliega la forma del menú principal de la base de conocimiento, las opciones disponibles son:

- Consultar BC
- Actualizar BC
- Agregar nuevo experto.

Consultar BC: Permite navegar sobre las tablas de la base de conocimiento, con acceso para todo tipo de usuario, permite tener una idea global de las herramientas, porta herramientas, máquinas herramientas, materiales de fabricación y demás accesorios del sistema. Las opciones de edición y agregar no están disponibles en esta sesión, con el objetivo de conservar la validez de la misma. Esta opción se denomina navegación.

Actualizar la base de conocimiento: Para actualizar la base de conocimiento, es necesario entrar como usuario experto, debidamente registrado con nombre y clave de acceso. Cuando se ingresa a este módulo, el sistema despliega en una ventana para entrar los datos del experto, en donde la clave es una cadena alfanumérica de máximo 8 caracteres. Una vez confirmados, el sistema queda disponible para seleccionar los elementos que van a ser actualizados.

- Máquinas herramientas
- Pieza
- Pastillas y herramientas
- Porta herramientas y accesorios
- Otras reglas.

Las opciones que hay disponibles en los formularios de actualización, son las mismas que para los formularios de consulta y adicionalmente se activan las opciones de manipulación de entrada y salida de datos.

3.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados que se obtienen del sistema SHEC, proporcionan un apoyo confiable y dinámico para asegurar la selección correcta de las herramientas de corte en procesos de mecanizado de torneado, fresado y taladrado, permitiendo asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Los resultados de la selección de herramientas son eficientes y se ajustan a condiciones de trabajo óptimas, pues se obtienen de la interacción de variables en el proceso, que involucran las características de la pieza a mecanizar, la máquina herramienta, condiciones de estabilidad del conjunto pieza - máquina y montaje.

La posibilidad de actualización de la base de conocimiento es muy amplia, ya que permite hacer correcciones de parámetros de corte, crear y modificar reglas de decisión, actualización a las tablas de herramientas de corte, sistemas de pastillas y porta herramientas, máquinas herramientas y demás elementos. Si hay variaciones en las condiciones de operación y se obtienen mejores resultados, que los datos arrojados por el sistema, es posible realimentar los parámetros directamente en la base de conocimiento. Esto con el objetivo de mantener al sistema optimizado.

Mediante la posibilidad de guardar consultas, se asegura la reproducción y estandarización en la aplicación de las herramientas y condiciones de corte cuando se fabrican piezas en serie y se tienen condiciones de mecanizado similares, obteniéndose el resultado final deseado en la producción, en el menor tiempo y fácil acceso.

Las soluciones de una consulta pueden ser múltiples, lo que permite mantener un número de herramientas alternativas que pueden realizar la operación en las mejores condiciones, ya que el sistema las ha seleccionado teniendo en cuenta los criterios para las características específicas de la tarea planteada.

La interfaz del sistema se ha elaborado teniendo en cuenta la posibilidad de ser consultada por operarios que no sean expertos en el proceso de selección, permitiendo interactuar gráficamente, dando definiciones descriptivas de los parámetros, proporcionando ayudas gráficas de selección etc.

Las condiciones de corte, resultado de la consulta, son entregadas teniendo en cuenta la optimización de los recursos, ya sea por aprovechamiento máximo de la herramienta o de la máquina, sin que ésta última sobrepase los límites de trabajo.

Las salidas del sistema están disponibles por medio de la pantalla y de impresión de informes, permitiendo llevar la información obtenida en la consulta hasta los sitios donde se necesitan para estar verificando la aplicación de las condiciones de corte y de las herramientas seleccionadas. Estos informes contienen datos de la pieza, máquina herramienta, pastillas, los porta herramientas y sus respectivas condiciones de corte.

4. CONCLUSIONES

Los resultados que se obtuvieron permiten definir las siguientes conclusiones:

1. Mediante el desarrollo del sistema SHEC, se tiene una herramienta para seleccionar herramientas de corte en procesos de mecanizado de torneado, fresado y taladrado, de manera confiable y eficaz, proporcionando las condiciones de trabajo óptimas. El tiempo empleado para realizar este proceso de selección con el apoyo de SHEC es bastante reducido en comparación al tiempo que actualmente gastan en las empresas.
2. El sistema permitió modelar el razonamiento que siguen los expertos en la selección de las herramientas y la definición de los parámetros de corte, complementándolos con las recomendaciones de fabricantes y a su vez, aplicando una metodología independiente de éstos, creando procedimientos estandarizados que pueden ser de utilidad para la formación de nuevos expertos.
3. El enfoque de creación de bases de conocimiento permite conservar valiosa información aplicable para los procesos planteados, se convierte en una herramienta de primera mano en las empresas de manufactura para seleccionar las herramientas y fijar los parámetros de corte.
4. La aplicación de la técnica de los sistemas basados en el conocimiento y de los sistemas Expertos para solucionar el problema de la selección de las herramientas de corte resulta ser exitosa, en la medida en que los expertos aporten su conocimiento; siendo esta aplicación de carácter investigativa, permitiría en posteriores mejoras adaptarla y modificar parámetros según la necesidad de cada empresa.
5. Se logró implementar un trabajo interdisciplinario entre la rama de la ingeniería mecánica y de sistemas, siendo el resultado de la fusión un sistema productivo en la resolución de problemas reales de la industria local y que aportó en la formación integral de los nuevos profesionales.
6. El trabajo presentado permitió practicar una metodología investigativa y desarrollar habilidades para la toma de decisiones en la resolución de problemas en el campo de la ingeniería, con base en la formación humanística y técnica del profesional de la UIS.

RECOMENDACIONES

1. Es posible integrar el sistema de selección de las herramientas con otros sistemas de selección de los dispositivos de fijación apropiado para cada tipo de pieza, tamaño del lote, máquina empleada, utilizando los recursos con que cuenta SHEC, es preferible que se implemente con la técnica de los sistemas expertos, ya que las variaciones y los conocimientos en el tema son de verdaderos especialistas, y el impacto sobre el éxito del mecanizado es muy importante.
2. Se debe realizar un diagnóstico real del estado de la máquina herramienta, para determinar su verdadero desgaste y comportamiento dinámico a velocidades de trabajo. Determinar si la máquina es estable depende del tipo de herramienta que se utilice, por lo tanto, debe tenerse en cuenta que se está trabajando con tecnología de insertos intercambiables y materiales que trabajan a altas velocidades.
3. Las operaciones consideradas en el proyecto son las estándar según los tipos de máquinas torno paralelo, fresadora y taladro radial. Las operaciones que hay adicionalmente y que son empleadas para fabricar determinadas formas de piezas son considerables, por lo tanto se puede extender la técnica y realizar mejoras al sistema para incluir otras operaciones.
4. Las utilidades de SHEC son de selección de herramientas, y es recomendable integrarlo a un sistema de planeamiento de la producción donde integre el orden de las operaciones y diseñe los parámetros de entrada al sistema SHEC, tales como número de pasadas, profundidad por pasada y demás dimensiones de la pieza para que permita seleccionar el conjunto de solución de las herramientas con ayuda de SHEC.
5. La estructuración del conocimiento en el área de mecanizado puede ser mejorada, puesto que los expertos en el tema son muy pocos y toman en su mayoría las recomendaciones de fabricantes, en la medida que más empresas empiecen a trabajar bajo las nuevas tecnologías, mayor será la oferta de conocimiento disponible para retroalimentar a SHEC. El desarrollo actual de SHEC sirve como base para formar nuevos especialistas.

BIBLIOGRAFÍA

La siguiente relación hace parte de la recopilación de libros, revistas y catálogos, que proporcionaron el fundamento técnico en la realización del presente proyecto.

BOHS, Lourival. y **GONZALEZ**, Isnardo. A seleção das ferramentas de usinagen sob uma optica de gerenciamiento de ferramentas. OCTAVO CONGRESO BRASILEÑO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Norte-Nordeste: 1995.

BOOTHROYD, Geoffrey. Fundamentos de corte de metales y de las máquinas herramientas. MCGRAW HILL., 1978. 352 p.

BURGHARDT; **AXELROD** y **ANDERSON**. Manejo de las máquinas herramientas II. 4ª Ed. Mcgraw Hill, 1965.

CORREDOR, Martha V. Principios de Inteligencia Artificial y S. Expertos. B/manga: UIS, 1992. 123p.

DATE, C.J. Introducción a los sistemas de base de datos. Addison Wesley Eberoamericana. 1986. 648 p.

DOMAZET. The Authomatic Tool Selection whit the production rules Matrix Methol. Mechanical Ingenieering Faculty Univerty of Nis/Yugoslavia.

GERLING, Henrich. Alrededor de las máquinas herramientas. México: Reverte, 1957. 224 p.

L. Mathied y **P. Bourdet**. Tool Automatic Choice. A Step to Elaborate automatically proceses planning. L.U.R.P.A. Cachan/France. 1987.

MAROUPOULUS, **P.G.** , DiplMecheng, MSc, PhD. Método de Selección inteligente de herramientas de corte (ITS) School of Engineering and Computer Science, University of Durham.

NEELY, John E. Materiales y procesos de manufactura. Limusa, 1992.

NEFEDOV, N., **OSIPOV**, K. Typical examples and problems in metal cutting and tool design. MIR PUBLISHERS. ,1987. 336 p.

NILSON, Nils. Principios de Inteligencia Artificial. 1987

REISDORPH, Kent. Aprendiendo Borland Delphi 4 en 21 días. Mexico: Pretince Hall, 1999. 944 p.

RICH, Elaine. **KNIGHT**, Kevin. Inteligencia Artificial. 2 Ed. Sao Paulo: Makron Books do Brasil., 1994. 703 p.

ROJAS, Hernán. Máquinas herramientas fresado y torno. Bucaramanga: Ediciones UIS., 1990.

SCORIAZZA, Emilio. La herramienta y factores diversos para la rápida producción. Barcelona: Científico-médica, 1962.

WATERMAN, Donal A. A guide to Expert Systems. California: Adison Wesley Publishing Company, 1986. 367 p.

SANDVIK-COROMANT. COROKEY . Guía de aplicación de herramientas. C-2903:4 SPA Suecia: Stibo Datagraphic. 1998.

SANDVIK-COROMANT. Herramientas para torneear. C-1000:7SPA. 2000.01 Dinamarca: Stibo Datagraphic, 2000.

_____ Herramientas rotativas. 94/95 C-1100:4-SPA. Dinamarca: Stibo Datagraphic, 1994.

_____ Hojas de condiciones de corte. Dinamarca: Stibo Datagraphic 1972.

CARBOLOY. Aplicación guide Threading. GT3-220 M-52-03M Sweden. 1997

_____ Turning. GT7-265 M-71-52. USA. 1997.

KENNAMETAL. Lathe tooling Catalog 6000. A96-64(130)J6. USA. 1996.

_____ Milling Catalog 5040. A96-78(60)K15. USA. 1996.

_____ Drilling Catalog 7061. A96-176(60)H6. USA. 1996.

SECO TOOLS A.B. Fresado. Fresas y Plaquitas. ST944738Sp. Suecia: 1994.

ANEXO A

***MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS
DE CORTE PARA MECANIZADO
SHEC.***

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA

SHEC

“Software de Selección de Herramientas de corte para mecanizado.”

BIBLIOTECA UIS

Este es el manual de usuario del sistema SHEC, desarrollado por NELCY OROZCO Y NORBERTO REYES, bajo la supervisión técnica del Dr. ISNARDO GONZALEZ y la Dra. MARTHA VITALIA.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Todos los derechos reservados

2001

CONTENIDO

GENERALIDADES	120
1. REQUISITOS DEL SISTEMA	123
1.1.1 Hardware.	123
1.1.2 Software.	123
2. SISTEMA DE ACCESO Y SEGURIDAD	124
3. INTERFACE DE USUARIO	125
3.1 INICIO DE UNA SESIÓN EN SHEC	125
3.2 MÓDULO DE CONSULTA.	125
3.2.1 Realizar Nueva consulta.	126
3.2.1.1 Selección de material de la pieza.	127
3.2.1.2 Determine la operación de mecanizado a realizar.	128
3.2.1.3 Seleccione la máquina herramienta.	130
3.2.1.4 Descripción de la pieza a mecanizar.	130
3.2.1.5 Determinación de las condiciones de mecanizado.	135
3.2.1.6 Consideraciones adicionales.	137
3.2.1.7 Resultados de consultas.	137
3.2.2 Abrir una consulta existente.	141
3.3 CONSULTAR BC.	142
3.4 ACTUALIZAR LA BASE DE CONOCIMIENTO (BC).	143
3.4.1 Máquinas.	144
3.4.2 piezas.	148
3.4.2.1 Materiales de piezas.	148
3.4.2.2 Estado del material.	150
3.4.2.3 Superficie material en bruto.	150
3.4.3 Pastillas y Herramientas.	151
3.4.3.1 Fabricante.	154
3.4.3.2 Material herramienta.	155

3.4.3.3	Rompevirutas.	156
3.4.3.4	Tipo de Inserto.	156
3.4.3.5	Ángulo de incidencia.	157
3.4.3.6	Forma herramienta.	157
3.4.3.7	Roscas.	158
3.4.3.8	Determinar material de herramientas.	160
3.4.3.9	Determinar el rompeviruta.	161
3.4.3.10	Determinar Velocidad corte.	162
3.4.3.11	Establecer Operación, ángulos de posición y forma pastillas.	163
3.4.4	Porta pastillas y accesorios.	164
3.4.4.1	Porta pastillas.	164
3.4.4.2	Sistemas de sujeción de porta pastilla.	168
3.4.4.3	Sistema montaje pastilla.	168
3.4.4.4	Ángulo de posición.	169
3.4.4.5	Geometría de corte.	170
3.4.4.6	Determinación de la geometría de corte del porta pastilla.	170
3.4.4.7	Determinación del sistema de montaje de la pastilla.	171

GENERALIDADES

¿Que es SHEC?

SHEC es un sistema basado en el conocimiento para la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizado que se pueden ejecutar en máquinas fresadoras, tornos y taladros.

La base de conocimiento de SHEC está conformada por información de los procesos de mecanizado, porta pastillas, las máquinas herramientas y de las herramientas de corte.

El motor de inferencia de SHEC es un algoritmo de búsqueda que permite en el módulo de consulta determinar el conjunto de soluciones de herramientas de corte, sus respectivos porta herramientas y las condiciones de corte apropiadas para satisfacer la producción de elementos mediante procesos estándar de mecanizado basándose en las características de la pieza suministradas por el usuario.

¿Cuáles son los objetivos de SHEC?

Objetivo general:

Orientar y facilitar el estudio, la identificación y la selección de las herramientas para los procesos de mecanizado a estudiantes y personal del sector metalmecánico, permitiendo operar en condiciones de eficiencia y efectividad a las empresas de la región bajo las nuevas tecnologías.

Objetivos específicos:

- Apoyar al usuario en la selección de las herramientas de corte para las operaciones de mecanizado y determinación de las condiciones de operación adecuadas para las características de la pieza a elaborar.
- Mostrar una metodología aplicable para determinar las condiciones de mecanizado y de los parámetros de selección de las herramientas de corte. Permitiendo conservar el conocimiento de los expertos en el área del mecanizado.

¿Cómo esta organizado?

SHEC está dividido en dos módulos que permiten cumplir con los objetivos mencionados.

- *Módulo de consulta:* El usuario puede realizar la consulta para determinar las herramientas de corte y las condiciones de operación adecuadas, dadas las características de la pieza y la operación de mecanizado a realizar, (Ver figura 55). Dentro de este módulo existe una sección de *Justificación* en la cual se presenta al usuario un resumen de las variables que se tuvieron en cuenta en el proceso de selección de la pastilla, del porta pastilla y de las condiciones de corte adecuadas para el conjunto pieza - máquina y herramienta; este resultado muestra en forma esquemática el nombre de la variable y el valor que tomó según el proceso.

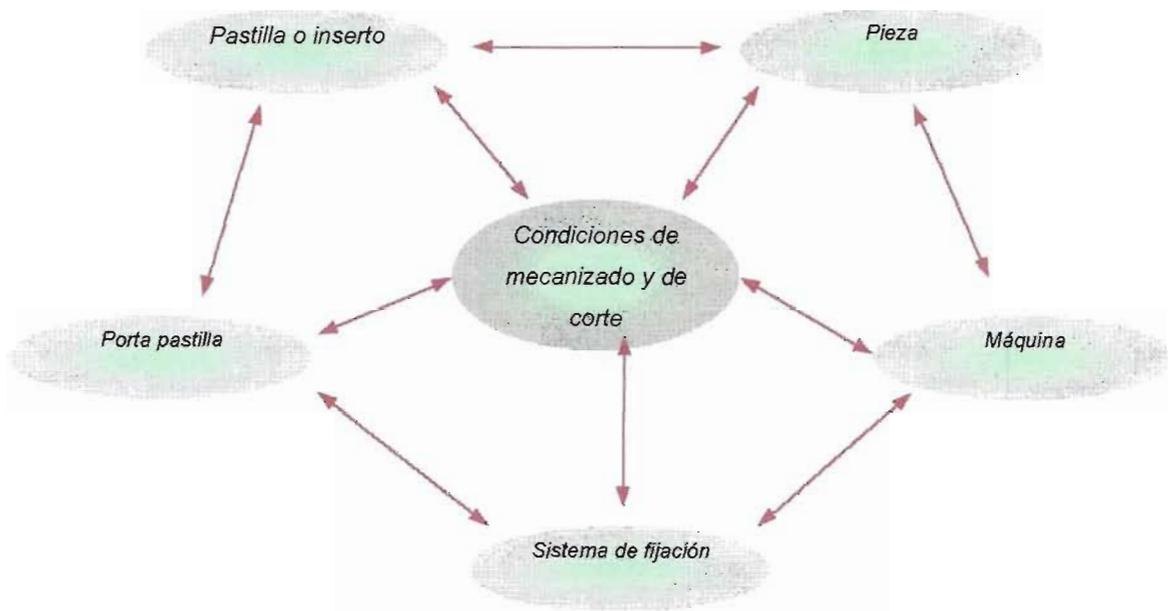


Figura 55. Diagrama de interacción de los elementos que intervienen en la selección de herramientas

- *Módulo de actualización.* El experto en el campo del mecanizado puede consultar la información existente, modificar o agregar nueva información a la base de datos, tanto en los elementos material pieza, pastillas, porta pastillas, máquinas herramientas y tablas de relaciones del subsistema de reglas de decisión.

¿Qué conocimiento maneja?

SHEC maneja información de los procedimientos estándar que se ejecutan en las máquinas herramientas comúnmente utilizadas en los talleres de mecánica, como tornos, fresadoras y taladros. Las variaciones que se presentan en las operaciones de mecanizado son amplias en la fabricación de piezas en serie y no se consideran en este trabajo, ya que las máquinas herramientas, los procedimientos, y las herramientas son normalmente especiales y adaptadas a necesidades específicas.

Para que los resultados de SHEC sean óptimos es necesario que el usuario conozca el manejo de las máquinas herramientas, de los dispositivos de fijación de piezas aplicables según sea el diseño de la pieza y de los procesos de mecanizado. Las herramientas y los criterios de selección están basados en las nuevas tecnologías de materiales y diseño, por cuanto en su mayoría los resultados de selección son herramientas compuestas por insertos o pastillas, los respectivos porta pastilla y las condiciones de operación de velocidad de corte, avance y profundidad de corte respectivos.

1. REQUISITOS DEL SISTEMA

La versión de SHEC requiere como mínimo Windows 95 y con los siguientes elementos en hardware y software.

1.1.1 Hardware.

- Procesador Pentium, MMX o superiores.
- Memoria RAM de 64 MB como mínimo.
- Espacio libre en disco duro de 200 MB para su funcionamiento.
- Tarjeta de video de 8 MB o superiores
- Unidades de salida:
 - Monitor SVGA
 - Impresora.

1.1.2 Software:

- Sistema operativo Windows 95 ó 98.
- Plataforma de programación DELPHI 5.0
- Software de captura y edición de imágenes PHOTO SHOP 4.0

2. SISTEMA DE ACCESO Y SEGURIDAD

SHEC restringe tres operaciones básicas durante su ejecución con el fin de controlar el acceso a cada una de ellas buscando mantener la integridad de la información que el sistema almacena y manipula. Estas operaciones están relacionadas con el ingreso al sistema para la realización de una consulta de selección, la actualización y modificación de la base de conocimiento y la asignación y administración de los permisos para los usuarios que puedan tener acceso a SHEC.

Para esto se tienen tres niveles diferentes de acceso a saber:

- ✓ **Nivel uno:** Corresponde al nivel de usuario. Permite al usuario consultar y navegar por el módulo de consulta, con la opción de salvar las consultas que haga para una pieza determinada y sólo podrá navegar en la base de conocimiento, esto significa que no tiene la posibilidad de agregar o modificar información en la misma. Es necesario que el usuario sea registrado para que pueda hacer uso de SHEC y obtener resultados de consulta por medio de la pantalla o impresión, ya que un objetivo de SHEC es fomentar la metodología para seleccionar herramientas a aprendices, practicantes y operadores de máquinas herramientas. El usuario deberá ingresar su nombre, clave y nivel de acceso al iniciar la aplicación.
- ✓ **Nivel dos:** Corresponde al nivel del Experto. SHEC le permite al experto en mecanizado adicionalmente de las facilidades del nivel de usuario, realizar actualizaciones a la base de conocimiento. El sistema restringe el ingreso al módulo de actualización a la base de conocimiento mediante una nueva solicitud de la clave de acceso para verificar que realmente sea un experto autorizado y no un usuario de nivel 1 quien opera en ese momento el sistema.
- ✓ **Nivel Tres:** Corresponde al nivel del administrador. El administrador será la persona autorizada para que además de poder acceder a los niveles 1 y 2, sea la encargada de autorizar nuevos usuarios y expertos, modificar los nombres de usuarios, claves y niveles ya asignados y eliminar usuarios autorizados. Nuevamente el sistema al intentar ingresar a esta sección interrogará al usuario por sus respectivos datos de autorización. El nombre del administrador y su clave serán asignadas inicialmente al momento de distribuir la aplicación.

3. INTERFAZ DE USUARIO

3.1 INICIO DE UNA SESIÓN EN SHEC

Al iniciar la sesión, SHEC muestra una pantalla de bienvenida y haciendo clic en cualquier punto de la pantalla se solicita los datos del usuario autorizado para hacer uso del sistema, si los datos son correctos se ingresa al menú principal de SHEC; puede solicitar información sobre el manejo del sistema oprimiendo el botón de ayuda ó salir de la aplicación pulsando en el botón *salir de la aplicación*. Desde el menú principal se accede a los módulos de consulta de herramientas y al de la base de conocimiento; ubicando el puntero sobre la imagen se despliega una descripción de cada módulo. (Ver figura 56).



Figura 56 . Forma de inicio de SHEC con opción de ingreso al módulo de consulta ó a la base de conocimiento.

3.2 MÓDULO DE CONSULTA.

Este módulo le permite a todo tipo de usuarios realizar una nueva consulta de herramientas o abrir una existente, la opción de salir lo remite al menú principal. En la barra de herramientas se

encuentran los accesos directos a los dos módulos principales, al software de ayuda y la opción para salir de la aplicación. Ver figura 57.

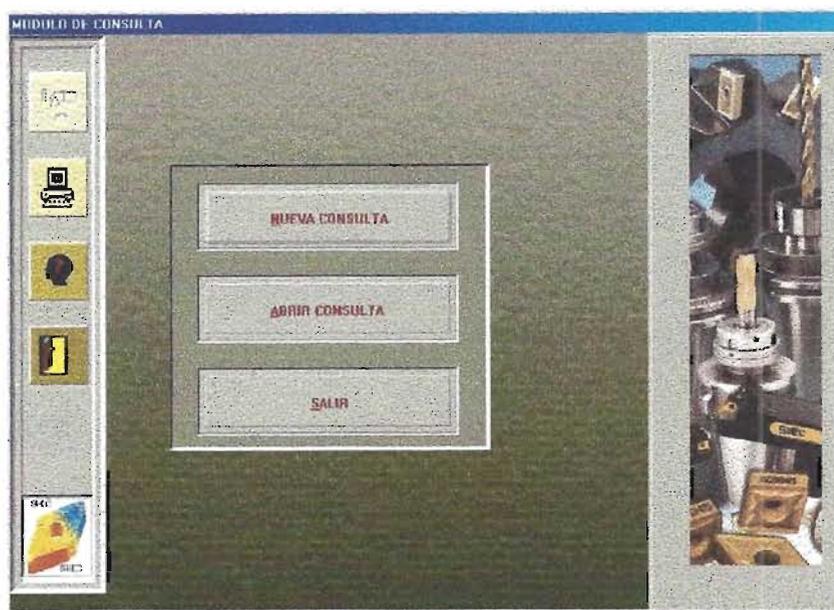


Figura 57. Pantalla del menú del módulo de consulta.

3.2.1 Realizar Nueva consulta: En esta sección el usuario interactúa con el sistema para determinar sus necesidades de mecanizado y SHEC realiza la inferencia a la base de conocimiento para seleccionar un conjunto de posibles herramientas y las condiciones de operación adecuadas, según los parámetros de entrada. Uno de los objetivos de SHEC es permitir el adiestramiento de nuevos operarios de máquinas herramientas y estudiantes en el campo del mecanizado, por lo cual es descriptivo en la mayor parte de su interfaz, permitiendo que reconozca las definiciones que utiliza el sistema y de los procesos de mecanizado. Para un usuario experto y/o para realizar una selección específica, SHEC permite llevar a cabo el llenado de datos sin redundar sobre lo que ya conoce el usuario.

La entrada de datos se realiza en el orden establecido, empezando por material pieza, operación de mecanizado, máquina herramienta, pieza, condiciones de mecanizado, y datos adicionales. Una vez llena cada página, se activa automáticamente la siguiente con la posibilidad de editar y navegar sobre las páginas activas.

3.2.1.1 Selección de material de la pieza.

Clasificación ISO del material: Defina el grupo ISO al cual pertenece el material a mecanizar, gran parte de las reglas de selección de la herramienta giran alrededor del criterio de material de pieza. Ver figura 58. Una vez seleccionado, cambia de color el panel de referencia, para ayudar a identificarlo. La norma establece la clasificación siguiente:

- P: Aceros
- M: Aceros inoxidable, Aleaciones
- Fundiciones y materiales no ferrosos, (aluminio, bronce, plásticos etc.)

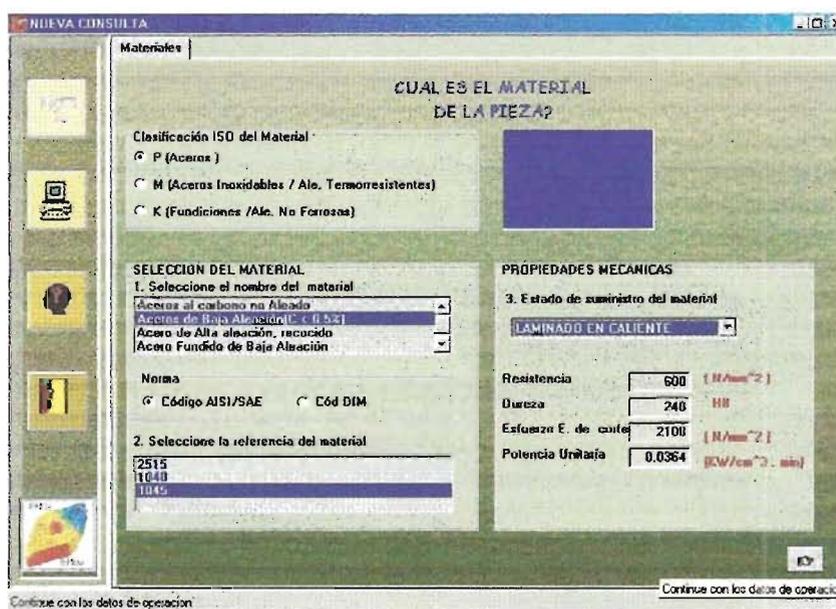


Figura 58. Pantalla para seleccionar el material de la pieza.

Seleccione nombre del material: Una vez seleccionado el grupo ISO, se puede seleccionar nombre del material de la lista que aparece, este nombre está relacionado con los diferentes materiales que tienen características mecánicas y químicas similares y que para efectos del mecanizado, son equivalentes para seleccionar el material de la herramienta, geometría de la pastilla, velocidad de referencia de corte, etc. Ver figura 58.

Seleccione la referencia del material: Puede seleccionar la referencia del material a trabajar según la opción de la norma escogida. Las normas establecidas son la AISI/SAE y la norma DIN por su mayor utilización (ver figura 58). Debe seleccionar la referencia específica del material a

trabajar. Si no se encuentra el material, debe ser actualizado por usuarios expertos en el módulo de la base de conocimiento, para permitir la modificación debe abandonar el módulo de selección.

Seleccione el estado de suministro del material: Un mismo material se provee en diferentes estados según sea el tratamiento térmico o de producción de la pieza que hacen cambiar sustancialmente las propiedades y afectan de manera directa la selección de la herramienta. Los estados que se muestran en la lista son los únicos que se encuentra para el material que va a trabajar, si no hay uno que se ajuste a las propiedades mecánicas, debe ser actualizado por usuarios expertos en el módulo de la base de conocimiento. Si los datos están incompletos, el sistema muestra un mensaje para advertir y no permite continuar con el proceso hasta completar los datos. Oprima el botón de avance para seguir con la página de Operación.

3.2.1.2 Determine la operación de mecanizado a realizar.

Se debe establecer la operación de mecanizado que requiere la pieza.



Figura 59. Pantalla para seleccionar la operación de mecanizado.

Seleccione el proceso de mecanizado: Las operaciones están clasificadas por procesos de torneado, fresado y taladrado, si ya tiene definido cuál proceso va a utilizar, seleccione la opción correspondiente, el sistema muestra un grupo de imágenes de operaciones para cada proceso.

Seleccione la operación: De acuerdo a su conveniencia seleccione la operación que requiera. En la figura 59 se muestra la pantalla para seleccionar la operación para el proceso de torneado.

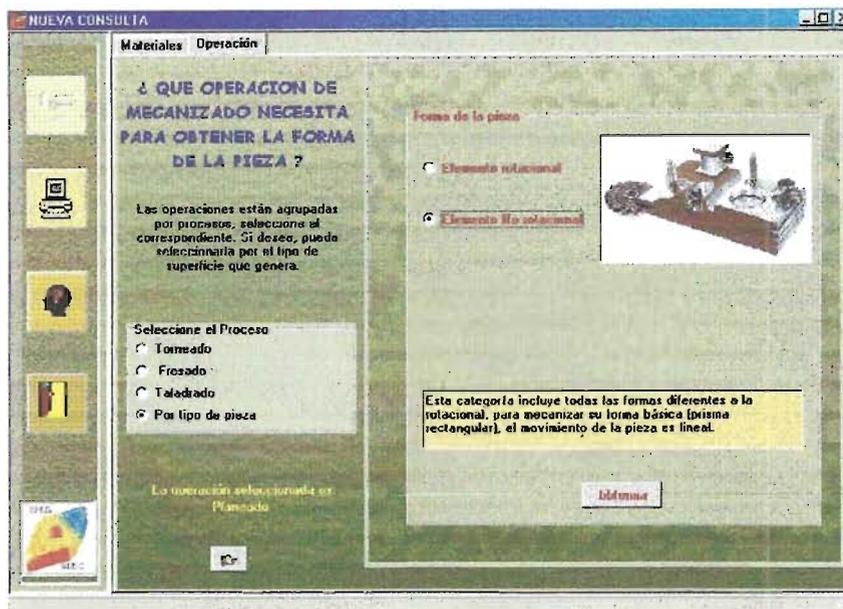


Figura 60. Pantalla para seleccionar el tipo de pieza, puede ser rotacional o no rotacional

La opción *Por tipo de pieza*, permite ver los diferentes tipos de superficies que genera cada operación, en el panel de forma de pieza seleccione la forma del elemento a mecanizar entre las opciones de rotacional o no rotacional; en la figura 60 se muestra la pantalla para tipo de piezas no rotacionales. Oprimiendo el botón forma se despliega una pantalla como la mostrada en la figura 61 para tipo de piezas rotacionales que le permite seleccionar el tipo de operación, ver la descripción respectiva y deducir el proceso adecuado. Oprima **OK** para aceptar la selección de la operación y **Cancelar** para no tenerla en cuenta. En ambos casos el sistema regresa a la forma de operaciones, para seguir con la consulta oprima el botón de avance. Ver figura 60.

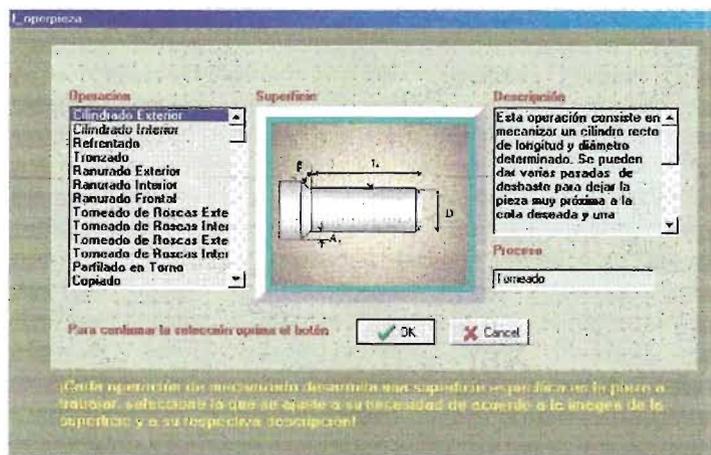


Figura 61. Pantalla para seleccionar el tipo de superficie y procesos de mecanizado.

3.2.1.3 Seleccione la máquina herramienta. Especifique la máquina herramienta que va a utilizar para realizar el mecanizado; están clasificadas por categorías de forma que se pueda ver la lista de máquinas que pertenezcan a dicho grupo o ver toda la lista de máquinas existentes en la base de datos (figura 62). A medida que recorre la lista de máquinas herramientas en el panel derecho se despliegan las principales características de la máquina, para ver las demás propiedades oprima el botón *otras características*. La máquina determina limitaciones de potencia, estabilidad de la operación, límites de velocidad del husillo, avance del porta herramienta, entre otros factores. Debe tener en cuenta los anteriores puntos y las dimensiones de la pieza para escoger la máquina tal que permita hacer el montaje apropiado.

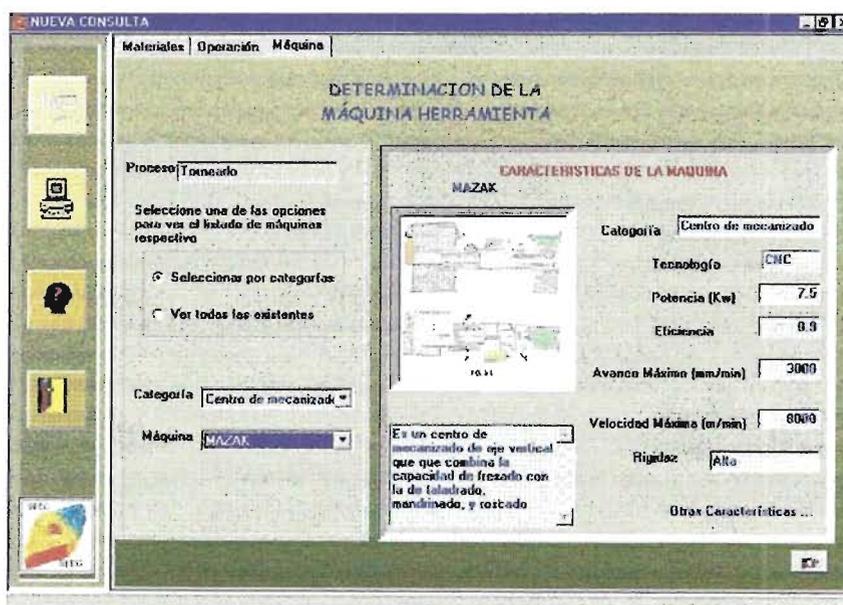


Figura 62. Pantalla para seleccionar la máquina herramienta.

3.2.1.4 Descripción de la pieza a mecanizar. Los requisitos dimensionales y de acabado superficial son especificados en esta fase para seleccionar la herramienta (figura 63).

Tipo de acabado: Se especifica el tipo de acabado requerido en la superficie de la pieza a mecanizar, considere que para mejor acabado superficial, el costo de mecanizado se incrementa. Hay tres áreas preestablecidas y rangos recomendados para los valores del acabado superficial en función de la rugosidad teórica R_t y de la profundidad de corte A_p . No sobrepasar estas recomendaciones en el mejor de los casos. Ver figura 64.

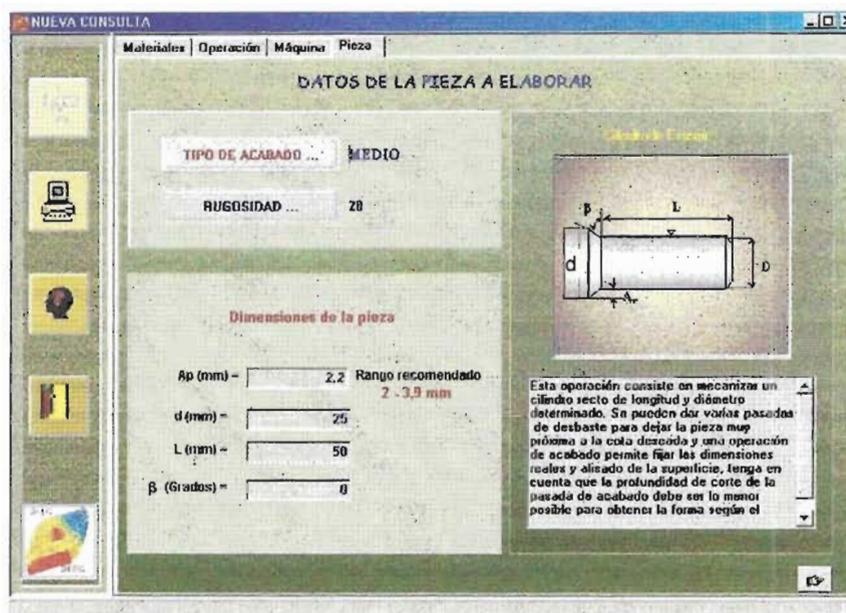


Figura 63. Pantalla para especificar las características de la pieza a mecanizar.

Acabado.

Simbología de triángulos = $\blacktriangledown\blacktriangledown\blacktriangledown$

Rugosidad teórica R_t = $(1.6 - 8.0) \mu\text{m}$

Profundidad de corte A_p = $(0.08 - 2.0) \text{mm}$

Medio

Simbología de triángulos = $\text{---}\blacktriangledown\blacktriangledown$

Rugosidad teórica R_t = $(9.0 - 25) \mu\text{m}$

Profundidad de corte A_p = $(2.0 - 3.9) \text{mm}$

Desbaste

Simbología de triángulos = \blacktriangledown

Rugosidad teórica R_t = $(25 - 50) \mu\text{m}$

Profundidad de corte A_p = $(3.0 - 10) \text{mm}$

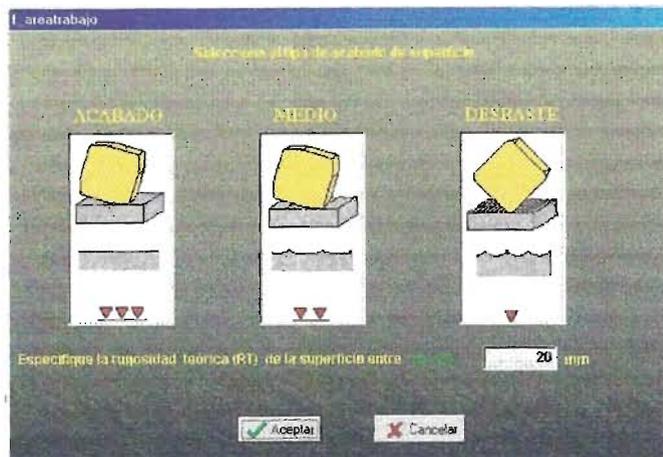


Figura 64. Pantalla para especificar los requisitos superficiales de la pieza.

Dimensiones de la pieza: Especifique las dimensiones de la pieza a mecanizar. Para cada operación hay una imagen representativa y sus respectivas variables. La figura 63 muestra la pantalla cuando la operación seleccionada es cilindrado exterior. Los datos son obligatorios, ya que son importantes para calcular datos de corte y de la herramienta; en caso de introducir valores no adecuados, el sistema despliega un mensaje y no permite el avance del proceso hasta corregir los datos. Para el ejemplo de cilindrado exterior se tiene: (según la figura 63).

A_p = Profundidad de corte. (mm).

d = Diámetro de la pieza. (Especifique el diámetro antes de mecanizar). D es el diámetro después de mecanizado.

L = Longitud de mecanizado (mm)

B = Ángulo que requiere la pieza al final de la longitud del cilindrado, su valor está comprendido entre 0° y 180° , este último caso cuando no requiere ningún tipo de escalón.

Tenga en cuenta la recomendación de la profundidad de corte A_p , si se sobrepasan estos valores el sistema despliega una forma como la figura 65 para confirmar o cambiar según otras recomendaciones sobre la profundidad por pasada.

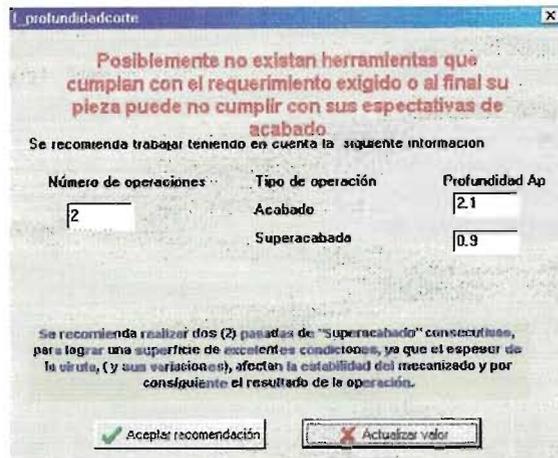


Figura 65. Ventana que se despliega para recomendar la profundidad por pasada

Para otras operaciones, como los roscados, se hace necesario especificar otros datos que son solicitados de manera automática por el sistema, los datos adicionales son:

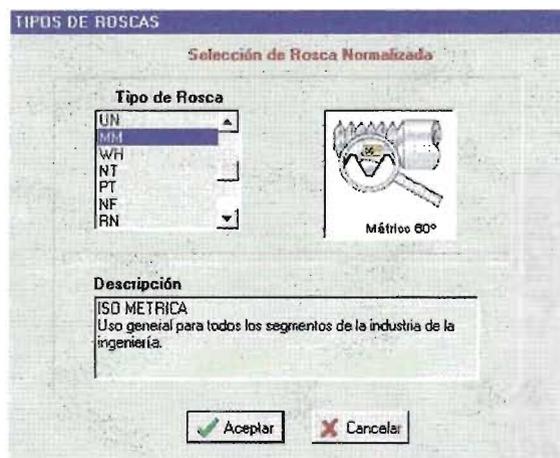


Figura 66. Ventana para seleccionar el tipo de rosca a mecanizar.

- Seleccione el tipo de rosca, el sistema utiliza una ventana para que el usuario visualice las características del tipo de rosca a mecanizar. Ver la figura 66.
- Seleccione el paso de la rosca. Según el tipo de rosca seleccionado, se muestra una lista de pasos ya sea en hilos por pulgadas (hpp) ó el paso en mm.
- Introduzca el diámetro efectivo de la rosca (D_2) en mm.
- Defina la longitud de la rosca a mecanizar (L) en mm.

- Defina el método de producción de roscas, dependiendo de la configuración de la pieza y la disponibilidad de movimiento de la máquina herramienta. Se tiene dos posibilidades de producción.
 - Método de producción normal: Cuando el sistema pieza y máquina herramienta permiten seleccionar el sentido de corte igual al de la rosca.
 - Método de producción inverso: En tal caso, el sentido de corte de la herramienta y el sentido de la rosca, son inversos.

Las opciones del método de producción se presentan en la página correspondiente a datos adicionales, se despliega una imagen y la descripción respectiva para cada uno de los métodos, para seleccionarlo deberá hacer clic sobre la imagen; para indicar cual método ha sido seleccionado se muestra un visto sobre la imagen. Ver figura 67.



Figura 67. Página de datos adicionales para ingresar información del método de producción en operaciones de roscado.

- Defina el tipo de inserto a utilizar: Las opciones de tipo de inserto se presentan en la página adicional para roscado figura 68, se despliega una imagen y la descripción correspondiente para cada uno de los métodos, para seleccionarlo deberá hacer clic en el tipo de inserto a seleccionar. Los tipos de insertos estándar en el mercado incluyen insertos de un solo diente de corte, denominado S, el tipo M con dos dientes de corte aplicable para producciones grandes y máquinas de gran capacidad y el tipo K para roscas de perfil grande.

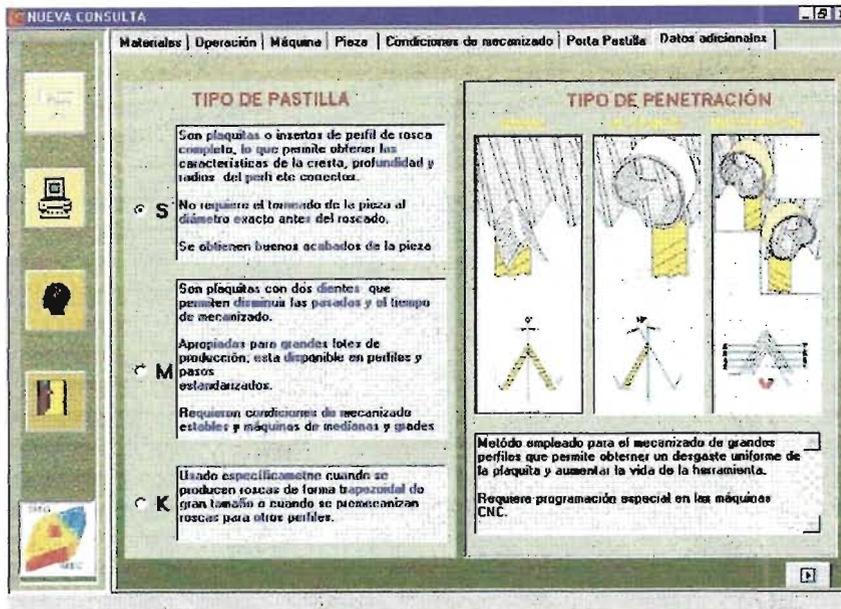


Figura 68. Forma para seleccionar el tipo de inserto y el tipo de penetración en operaciones de roscado.

- Determinación del tipo de penetración. Según la tecnología de la máquina herramienta y de la rosca, se establecen las ventajas de utilizar un método de penetración, para tal caso, SHEC despliega la forma como la mostrada en la figura 68. Si la máquina herramienta seleccionada es tecnología convencional, el sistema toma por defecto el método de penetración radial que es el único que puede realizar dicha máquina.

3.2.1.5 Determinación de las condiciones de mecanizado: Es necesario que el usuario reconozca las condiciones iniciales del problema, en este caso SHEC ayuda mediante imágenes y descripciones a establecerlas. En cada caso particular, las condiciones las define la rigidez de la máquina herramienta, el tipo de superficie de la pieza al iniciarse el mecanizado, la continuidad del corte, el diseño de la pieza, el montaje y el sistema de fijación.

- Rigidez de la máquina herramienta: Este dato se toma directamente de las características de la máquina seleccionada, para cambiar este valor, debe actualizarse desde el módulo de actualización de BC. Debe estimarse la importancia de mantener la máquina en las mejores condiciones de operación, un valor bajo de rigidez significa dificultades para garantizar el acabado requerido, disminución de la vida de la herramienta por rotura del filo a causa de altas vibraciones, entre otras. La aparición de vibraciones influye en la selección del material de la herramienta en cuanto a su tenacidad y resistencia al desgaste, en la fijación del avance y velocidad de corte.

- Material en bruto: Seleccione el tipo de superficie que presenta la pieza al iniciar la operación, las irregularidades mecánicas y de esfuerzos internos afectan la selección del material de la herramienta. El sistema SHEC muestra una forma como la figura 69 que permite la selección y ver las características de cada tipo de superficie.

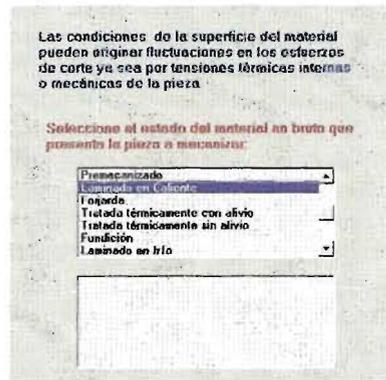


Figura 69. Forma para seleccionar el tipo de la superficie del material en bruto antes de mecanizar.

- Continuidad del corte: Debe establecerse el grado de intermitencia del corte de la herramienta por cada revolución de la pieza si el proceso es torneado ó de la herramienta si es fresado y taladrado. Para cada proceso se despliega una forma diferente que ilustra la condición evaluada. En la figura 70 se muestra el tipo de pantalla que se despliega si el proceso de mecanizado es fresado.

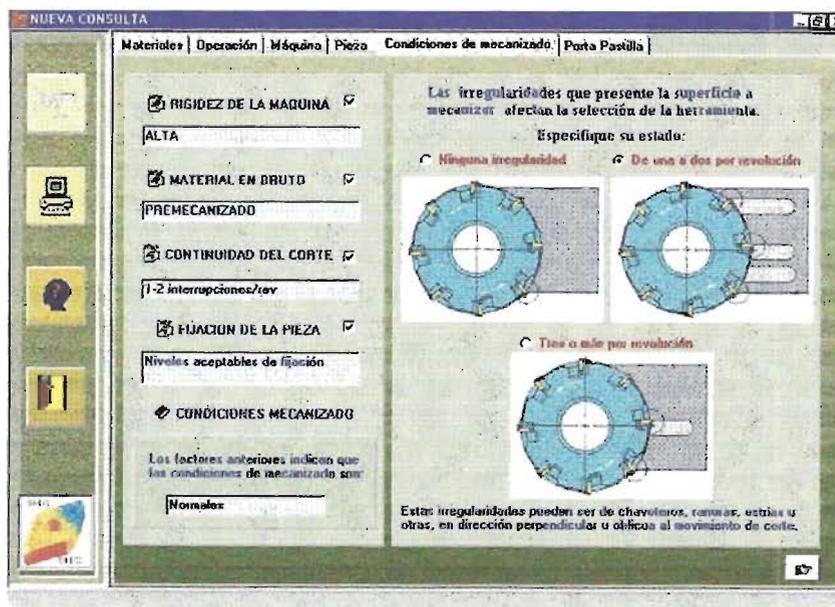


Figura 70. Forma para determinar las condiciones de discontinuidad del corte.

- Fijación de la pieza: Se debe asegurar que la fijación de la pieza cumpla con los requisitos exigidos de inmovilización, alineamiento y que no permita deflexiones de la pieza a la hora de mecanizarse, sin que ésta sufra deformaciones por esfuerzos de apriete. Establezca su criterio de fijación de la pieza. SHEC muestra los valores de las fuerzas inducidas en el corte al final de la consulta.

3.2.1.6 Consideraciones adicionales.

- Sentido de corte: Definido por la geometría de la pieza y el sentido de avance de la herramienta o rotación de la fresa y la broca.
- Tiempo de vida: Los datos de velocidad están dados normalmente para trabajo continuo de 15 minutos, y un criterio de desgaste de flanco determinado. Para variar este valor de vida de la herramienta, seleccione la nueva duración de la misma, de esta forma se varía la velocidad de corte manteniendo constante el criterio de desgaste.

3.2.1.7 Resultados de consultas: Con la información suministrada por el usuario, el sistema realiza la consulta en la base de conocimiento para determinar las posibles soluciones. SHEC utiliza una serie de pantallas para mostrar los resultados.

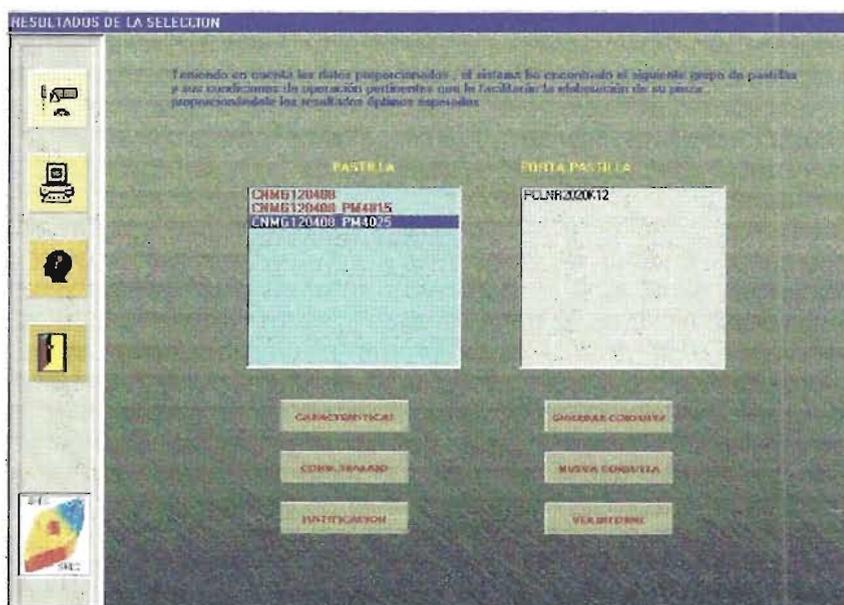


Figura 71. Pantalla para mostrar los resultados de la consulta.

La figura 71 muestra la salida de los resultados de la consulta en la cual presenta las pastillas que fueron seleccionadas. Para ver los porta pastillas asociados a cada pastilla debe ubicarse en la lista de plaquitas y seleccionar una a una para que el sistema automáticamente muestre la lista de

porta pastillas asociados; si recorre la lista de pastillas automáticamente se muestran los porta pastillas.

Las opciones disponibles en la forma de resultados son las siguientes:

- Características: Permite ver las características de los elementos seleccionados, tanto para pastillas como para porta pastillas. La forma de salida para las pastillas es como la figura 72, en cada una de ellas está la información necesaria para especificar el pedido al fabricante, datos del montaje y otras características de construcción diseño y parámetros geométricos.

The screenshot displays a software window for tool characteristics. At the top, it reads 'CARACTERÍSTICAS DE LA SELECCIÓN' and 'DATOS DE LA PASTILLA SELECCIONADA'. On the left, there is a technical drawing of a cutting tool with dimensions labeled 'S', '80', and '1'. Below the drawing, there are several data entry fields organized into columns:

Cond. Pedido	Forma herramienta	Ángulo de inclinación	Observaciones
MT12MB-04005	C	0	
Material Herramienta	Fabricante	Longitud pastilla	
GC4025	SNADVICK	12	
Operación	Bosca	Círculo inscrito	
Cilindro Estanco		12.7	
Geometría	Tipo de inserto	Esquema	
PM	G	0.6	
		Radio de punta	
		0.8	
		Sentido de Corte	
		DER	
		Proceso	
		Fecha Actualización	
		30/07/2001	

At the bottom center of the window, there is a green checkmark icon and the text 'OK'.

Figura 72. Forma de salida de las características de pastillas.

- Condiciones de corte: Permite ver los datos de corte y condiciones de operación para cada combinación de pastilla y porta pastilla, tales como profundidad, avance, velocidad de corte, potencia consumida, tiempo de mecanizado, fuerzas y demás parámetros. La pantalla es como la mostrada en la figura 73. Desde esta forma hay acceso a la justificación de los resultados, visualizándose el árbol de decisión, las variables y sus respectivos valores que tomaron en el proceso.
- Justificación: Permite visualizar el árbol de decisión, las variables y sus respectivos valores que tomaron en el proceso para cada uno de los elementos seleccionados. Ver figura 74.

CONDICIONES DE OPERACION

Presión de corte	15	MPa
Velocidad de trabajo	160	m/min
Avance	0.116	mm/rev
Potencia consumida	2.07807442	Kw
Velocidad del trabajo	5161.84990	rpm
Tiempo de mecanizado	0.54319678	min
Fuerza de corte	776.376802	N

JUSTIFICACION

OK

Figura 73. Forma de salida de los datos de corte de una consulta.

- Guardar consulta. Si la consulta no fue vacía y desea guardar la consulta, el sistema le permite almacenar los datos de los elementos seleccionados, características de la pieza, máquina y datos de corte para el conjunto, de forma que el usuario pueda operar nuevamente, realizar pedidos de los elementos y cambiar herramientas en caso de acabarse las existencias o que se quieran probar de nuevas posibilidades de operación. Cuando oprime esta opción el sistema muestra la ventana (figura 75) para ingresar el nombre con el cual se guarda la consulta, este nombre es de tipo alfanumérico máximo de 30 caracteres.

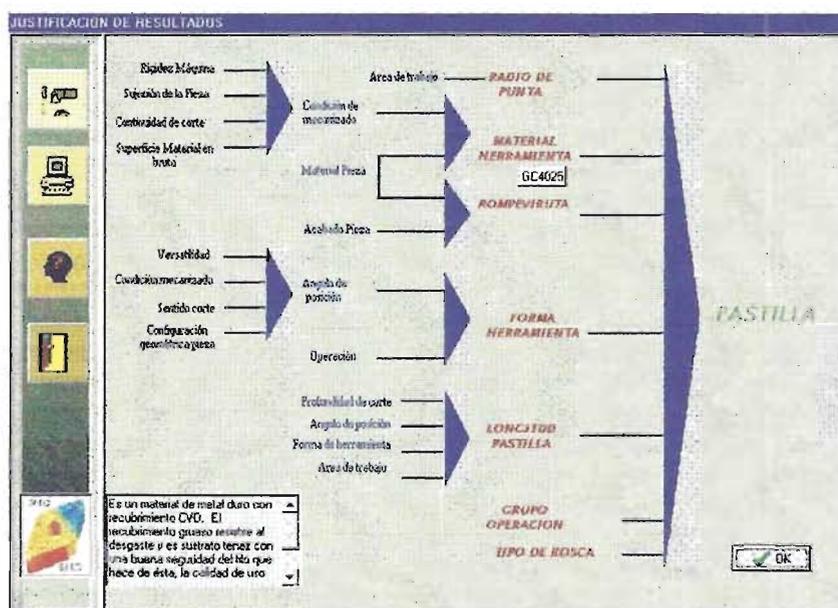


Figura 74. Pantalla para mostrar justificación de los resultados de la consulta para la pastilla.

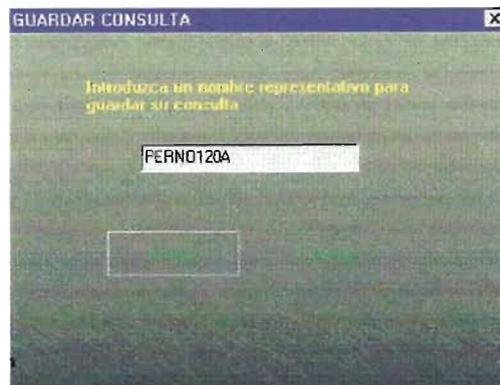


Figura 75. Ventana que se despliega para guardar la consulta.

- Ver informe: Permite visualizar los resultados de la consulta, imprimirlos o guardarlos como archivo tipo QRP en una carpeta de destino particular y ser consultados en la aplicación, ofreciendo la posibilidad de ser portables de un PC a otro, Ver figura 76.

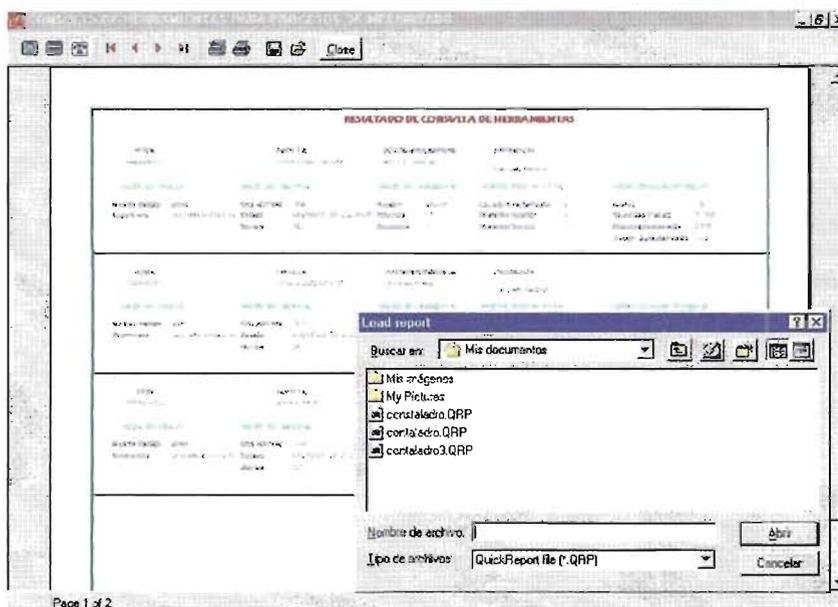


Figura 76. Forma de presentación de los informes de las consultas nuevas y existentes, con la ventana de guardar como archivo.

- Nueva consulta: Si la pieza a realizar requiere más operaciones para obtener la forma deseada, quiere mecanizar otra pieza o el resultado de la consulta fue vacía, puede seguir haciendo nuevas consultas seleccionando la opción *nueva consulta* y el sistema automáticamente lo ubica en la primera página para iniciar con material de pieza.

3.2.2 Abrir una consulta existente: Con esta opción SHEC permite reproducir consultas que hayan sido elaboradas previamente, en la cual se obtienen los conjuntos de pastillas seleccionadas, sus respectivos porta pastillas y las condiciones de corte para cada combinación. Esta utilidad es funcional en caso de que la herramienta seleccionada y utilizada se agote y para no parar la producción, se deba emplear otra herramienta que opere bajo las mismas condiciones de mecanizado, ya que ha sido producto de la misma consulta. También permite guardar los registros de las condiciones de corte para cada conjunto de pieza, máquina y herramienta, con el fin de asegurar el proceso de calidad. Ver figura 77.

The screenshot shows a software window titled 'CONJUNTO DE RESULTADOS' with the following data:

Pastilla		Porta herramienta	
N123F2-0260-0001-CP	R151-21-1616-25		
N15T-2-250-4E	R123F20-1616B		
N123E2-0200-0002-GM			

Aspectos Generales	Aspectos de la máquina	Dimensiones de pieza
Operación: Ranurado Exterior	Nombre: MAZAK	Diámetro/anchura mecanizado: 10
Área de Trabajo: Medio	Potencia: 7.5	Diámetro Interior: 5
Superficie un bruto: Laminado en Caliente	Eficiencia: 0.5	Longitud de mecanizado: 5
		Profundidad:

Aspectos del material	Aspectos de Flanquear	Condiciones de Operación
Cod AISI/SAE: 2515	Tipo torca:	Avance: 0.175
Estado del material: LAMINADO EN CALIENTE	Paso de rosca:	Velocidad de trabajo: 161.85
Dureza: 240 HB		Potencia consumida: 2955214
Esfuerzo de Corte: 2100		Tiempo de mecanizado: 9914.54

Figura 77. Forma para presentar una consulta existente.

- Seleccione de la lista el nombre con el cual se guardó la consulta, éste corresponde normalmente a la combinación del nombre de la pieza a elaborar y la operación de mecanizado.

El formulario muestra los siguientes valores:

Operación de mecanizado.

Material de la pieza

Características mecánicas.

Dimensiones de mecanizado como profundidad, diámetro, longitud de mecanizado etc.

Códigos de las herramientas y los porta herramientas seleccionados.

Los cálculos de operación para cada pareja de herramienta y pieza.

Observaciones de operación.

- **Ver informe:** Está disponible para mostrar los resultados mediante impresión o para guardarlos en archivos de extensión QRP que puede ser visualizado desde la aplicación, ofreciendo la posibilidad de ser portables de un PC a otro. Las demás características del informe se mencionaron anteriormente en resultados de nuevas consultas. La opción **Salir** muestra el menú principal de SHEC.

3.3 CONSULTAR BC.

Se ingresa a este módulo desde la forma de inicio, o mediante el acceso directo de la barra de herramientas que despliega la forma del menú principal de la base de conocimiento (figura 78), las opciones disponibles son:

- Consultar BC
- Actualizar BC
- Agregar nuevo usuario.

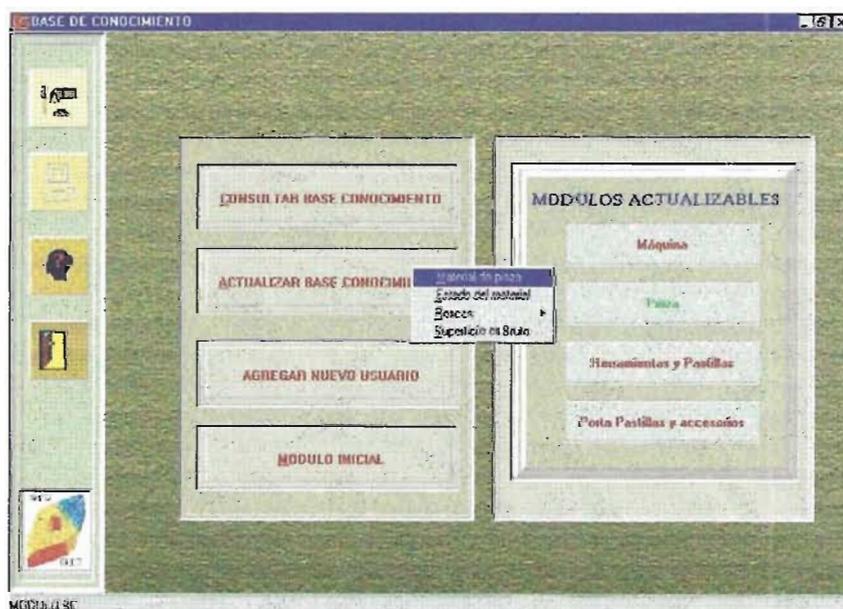


Figura 78. Pantalla del menú principal del módulo de Base de conocimiento.

En la opción de consulta se permite navegar sobre las tablas y las relaciones de la base de conocimiento, el acceso está disponible para todo tipo de usuario; permite tener una idea global de las herramientas, porta pastillas, máquinas herramientas, materiales de fabricación y demás

accesorios del sistema. Las opciones de edición y agregar no están disponibles en esta sesión, con el objetivo de conservar la validez de la misma. Esta opción se denomina navegación.

Elementos de navegación de BC: Estas opciones están disponibles en todos los formularios de entrada y salida de datos, los elementos de navegación son:

- Inicio: Muestra la información contenida en el primer elemento o registro de la tabla.
- Siguiente: Permite avanzar registro a registro por el contenido de la tabla.
- Anterior: Permite retroceder registro a registro el contenido de la tabla.
- Último: Se ubica en el último registro de la tabla respectiva.

3.4 ACTUALIZAR LA BASE DE CONOCIMIENTO (BC).

Par actualizar la base de conocimiento, es necesario entrar como usuario experto, debidamente registrado con nombre, clave y nivel de acceso 3 ó 2. Cuando se ingresa a este módulo, el sistema despliega una forma como la mostrada en la figura 79 (ésta forma se presenta para ingresar a SHEC), para introducir el nombre de usuario y la clave de acceso en los respectivos campos, la clave se compone de máximo 8 caracteres alfanuméricos. Una vez confirmados, se despliega una forma como la mostrada en la figura 78 para seleccionar los elementos que van a ser actualizados.

- Máquina
- Pieza
- Pastillas y herramientas
- Porta pastillas y accesorios.

Figura 79. Ventana que permite acceder a usuarios autorizados a los módulos SHEC.

Las opciones que hay disponibles en los formularios de actualización, son las mismas que para los formularios de consulta y adicionalmente se activan las opciones de manipulación de entrada y salida de datos.

Elementos de manipulación de BC: Están disponibles en todos los formularios de entrada y salida de datos, los elementos de manipulación son:

- **Agregar:** Al dar clic en este botón, es posible agregar nuevos registros, quedando los campos disponibles para agregar los datos correspondientes.
- **Modificar:** Esta opción permite actualizar parte o el total de los datos de la tabla respectiva en la base.
- **Cancelar:** Con esta opción es posible proteger los cambios no deseados, ya que cancela cualquier cambio o creación antes de pulsar la opción de confirmar.
- **Guardar:** Con esta opción se aceptan los cambios realizados en la tabla, ya sea como consecuencia de la creación ó de la edición de un registro existente.
- **Borrar:** La opción elimina totalmente el registro de la tabla, por lo cual, el sistema antes de realizar la operación, solicita reconfirmación.
- **Salir:** con esta opción se regresa al menú principal del módulo de la base de conocimiento de SHEC.

3.4.1 Máquinas. Permite actualizar las máquinas herramientas tipo tornos, fresas y taladros, y crear nuevas categorías de clasificación de máquinas. Seleccionando la opción de máquina herramienta se presenta el formulario de la tabla de máquinas. Ver figura 80.

Los datos que son obligatorios para la máquina herramienta se indican con un asterisco en la forma del llenado; a continuación se lista los datos a actualizar:

Código: Tipo numérico autoincremental asignado automáticamente por el sistema.

Nombre: Dato tipo alfanumérico, permite identificar la máquina y seleccionarla para la operación.

Categoría: Seleccione de la lista la categoría a la cual pertenece la máquina herramienta.

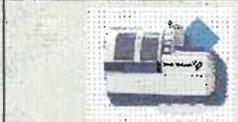
Tecnología: Dato alfanumérico, define la tecnología de la máquina, ya sea

CN = Control numérico

CNC = Control numérico computarizado.

CONV = Convencional

ACTUALIZACIÓN BASE DE CONOCIMIENTO MAQUINA HERRAMIENTA

COD MAQUINA	02	Potencia en trabajo continuo	7.5 KW
NOMBRE	MAZAR	Eficiencia	0.9
CATEGORIA	Centro de mecanizado	Torque Máximo	500 Nm
TECNOLOGIA	<input type="radio"/> LN <input checked="" type="radio"/> CNC <input type="radio"/> CONV	Capacidad Máx. de carga	300 Kg
Rigidez	Aba Verificación	Peso total máquina	3500 Kg
DESCRIPCION	Es un centro de mecanizado de eje vertical que combina la capacidad de fresado con la de taladrado, mandrinado, y roscado	Velocidad máx husillo en trabajo	8000 rpm
		Velocidad Min husillo	50 rpm
		Avance máx longitudinal	3000 mm/min
		Avance mín longitudinal	1 mm/min
		Avance máx transversal	mm/min
		Avance mín transversal	mm/min
		Diámetro Máx herramienta	80 mm
		Longitud Máx Herramienta	300 mm
		Peso Máx herramienta	6 kg
		Ancho de mesa	410 mm
		Longitud de mesa	900 mm
		Longitud Máx entre parras	mm
		Altura de la mesa	mm

Inicio | Ayuda | Configuración | Anterior | Siguiente | Agregar | Modificar | Borrar | SALIR

Log: 02/09/2011 11:01 * 1000 00/00/00

Figura 80. Pantalla para actualización de la máquina herramienta.

Factor de rigidez: Dato alfanumérico; permite cualificar el estado de rigidez de la máquina, para determinarla, se requiere realizar pruebas y estudio de vibraciones, en caso de ser nueva la máquina será el fabricante quién se asegure de dejarla en las mejores condiciones, si es usada pueden tomarse como referencia las pruebas de verificación adjuntas para cada tipo de máquina (Ver figuras 81). La recomendación de evaluar la máquina herramienta debe tomarse en cuenta, debido a que permitirá determinar las condiciones reales en que se encuentra; si su estado es de alto nivel de inestabilidad dinámica, debe considerarse las acciones de mantenimiento para restaurarla, de lo contrario la aplicación de las herramientas seleccionadas, no permitirán alcanzar los resultados esperados en cuanto al acabado superficial de la pieza, vida de la herramienta y productividad.

Potencia de trabajo continuo (KW): Dato tipo numérico, Es la potencia nominal de la máquina para trabajo continuo en Kilovatios.

Eficiencia (0-1): Dato numérico, cuantifica el rendimiento de la máquina expresado en tanto por uno.

Torque (N*M): Especifique el torque máximo permisible de la máquina el dato es numérico.

VERIFICACION DE LA RIGIDEZ DE LA MAQUINA

PRUEBAS TORNO PARALELO

PRUEBA 1

PRUEBA 2

PRUEBA 3

PRUEBA 4

PRUEBA 5

PRUEBA 6

PRUEBA 7

PRUEBA 8

PRUEBA 9

PRUEBA 10

PRUEBA 11

PRUEBA 12

PRUEBA 13

PRUEBA 14

PRUEBA 15

Número de prueba

Tipo de Máquina

Torno

Fresadora

Taladro

Desviación Máx. Permisible en a

De 0 a 0.02mm/1000

Desviación Máx. Permisible en b

De 0 a 0.03mm/1000

Ranurada rectilínea en longitud: todo del tornillo conductor (sólo admitede a convexidad)

REALIZADA ACTUALIZAR TERMINAR

Las campos con * son obligatorios

Los campos con ** son obligatorios

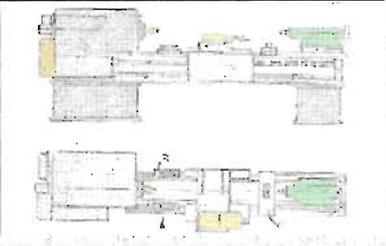


Figura 81 . Pantalla que permite mostrar las diferentes pruebas de verificación de las máquinas herramientas.

Capacidad máxima de carga: Dato numérico, indica el peso máximo de la pieza a montar en kilogramos.

Peso total (Kg): Dato numérico, corresponde al peso total aproximado de la máquina

Velocidad de rotación máxima (RPM): Dato Numérico, es la velocidad máxima del husillo bajo carga.

Velocidad de rotación mínima (RPM): Número. Es la velocidad de rotación mínima a la que puede trabajar la máquina.

Avance máximo longitudinal (mm/rev): Dato numérico, es la velocidad máxima de avance por rotación del husillo en dirección longitudinal.

Avance mínimo longitudinal (mm/rev): Dato numérico, es la velocidad mínima de avance por rotación del husillo en dirección longitudinal.

Avance máximo transversal (mm/rev): Dato numérico, es la velocidad máxima de avance por rotación del husillo en dirección transversal.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Avance mínimo transversal (mm/rev): Dato numérico, es la velocidad mínima de avance por rotación del husillo en dirección transversal.

Diámetro máximo Herramienta (mm): Diámetro máximo de permisible de montaje de la herramienta en la máquina. (No aplica a tornos)

Longitud máxima Herramienta (mm): Es la longitud máxima permisible de montaje de la herramienta en la máquina.

Peso máximo de la Herramienta (Kg.): Dato numérico, permite evaluar el peso máximo de la herramienta que puede ser montada. (No aplica en tornos).

Ancho de la mesa: Especifique el ancho de la mesa cuando se trate de fresadoras y taladros en unidades de mm.

Largo de la mesa: Especifique el largo de la mesa cuando se trate de fresadoras y taladros en unidades de mm.

Longitud máxima entre puntas (mm) / Recorrido longitudinal (mm): Dato numérico, es la distancia entre centros del torno / el recorrido total longitudinal de la fresadora, taladro y centro de mecanizado.

Volteo de mesa (sobre bancada) (mm) / Recorrido transversal (mm): Dato numérico, indica la distancia de volteo sobre la bancada, es doble de la distancia ente las guías y el eje horizontal de cabezal fijo / indica el recorrido total transversal de la fresadora, taladro y centro de mecanizado.

Imagen: Dato memo, almacena el nombre del archivo que contiene la imagen.

Crear nueva categoría: Permite clasificar las máquinas herramientas por grupos de acuerdo a las características de diseño y funcionamiento. Su objetivo es facilitar la búsqueda y selección de la máquina cuando se va a realizar la operación de mecanizado. Ver figura 82.

CODIGO CATEGORIA	3
Nombre Categoría	Centro de mecanizado

Figura 82 . Ventana para actualizar categorías de máquinas herramientas.

3.4.2 Piezas: Oprimiendo este botón se presenta un menú emergente con las opciones siguientes: Material de piezas; Estados de material; Superficies en bruto y Roscas. En cada una de las opciones se presentan las ventanas disponibles de actualización, a continuación se presentan cada una de ellas.

3.4.2.1 Materiales de piezas. Para registrar el material el sistema presenta una pantalla como la mostrada en la figura 83. Téngase en cuenta la clasificación ISO para materiales de fabricación que presenta tres grupos que permiten para clasificar los materiales, dependiendo de las características físicas, química y comportamiento en el mecanizado, los grupos son:

Grupo P: Aceros

P

- Aceros al carbono no aleado. (C = 0.1 - 0.8%)
- Aceros de baja aleación. (Elementos de aleación < 5%)
- Aceros de alta aleación (Elementos de aleación > 5%)
- Acero fundido. (no aleado, baja y alta aleación)

Grupo M: Aceros inoxidables y aleaciones termo resistentes.

M

- Acero inoxidable austenítico.
- Aceros inoxidable ferrítico/austenítico.
- Aleaciones de Titanio.
- Aleaciones termorresistentes.

Grupo K: Fundiciones y materiales no ferrosos, (aluminio, bronce, plásticos etc.)

K

- Fundición de alta resistencia a la tracción, fundición coquilla.
- Fundición nodular perlítica, maleable.
- Aleaciones endurecidas.
- Aleaciones no ferrosas de cobre, aluminio, plomo y madera.

ACTUALIZACIÓN BASE DE CONOCIMIENTO: Material Pieza

Cod material: []

Tipo de material:

Código AISI/SAE:

Cod DIM:

Composición química

C	0.43-0.5
Mn	0.6-0.9
P máx	0.04
S máx	0.05
Si	0.20/0.4

Descripción

Acero de resistencia media en estado laminado caliente o en la condición de forjado. Utilizado en la industria automotriz.

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Nombre_estado	Resistencia (N/mm ²)	Dureza	Escala dureza	Esfuerzo corte (N/mm ²)	Potencia (KW/cm ³ /min)
LAMINADO EN	640	240	HB	2100	0.0364
NORMALIZADO	620	230	HB	2100	0.0363
RECOCIDO	590	220	HRC	2100	0.0362

Estado del material:

Resistencia: N/mm² Escala Dureza: Potencia cutter: (KW/cm³/min)

Dureza: Escala Dureza: Esfuerzo de corte: N/mm²

Los campos con * son obligatorios

Figura 83. Pantalla para actualizar los materiales de fabricación de piezas.

Tipo de material: Se debe seleccionar el nombre del subgrupo al cual pertenece el material a crear según la anterior clasificación.

Norma material: Introduzca el código del material en la respectiva norma AISI/SAE y norma DIN, el dato es de tipo alfanumérico.

Características mecánicas: Debido a que un material puede presentar varios estados dependiendo del tratamiento térmico o de fabricación, se hace necesario crear diferentes características mecánicas para un mismo material para obtener un proceso de selección de la herramienta y en las condiciones de corte según las variaciones de las características del material. Para tal fin SHEC presenta los botones para agregar o modificar características (ver la figura 83).

- **Estado del material:** Se selecciona de la lista disponible el estado de suministro del material, según el tratamiento térmico o el proceso de fabricación mediante el cual se obtuvo, si el estado que desea agregar no se halla, se puede agregar a la lista.
- **Resistencia a la tracción (N/mm²):** Dato de tipo numérico, indica el valor de la resistencia a la tracción.
- **Dureza:** Dato de tipo numérico, indica la dureza del material según la escala que seleccione.
- **Escala dureza:** Dato de tipo alfanumérico, permite establecer la escala más conveniente para especificar la dureza del material especificado, las opciones son: Dureza Brinell (HB) y dureza Rockwell C (HRC).

- **Esfuerzo de corte (N/mm^2):** Dato de tipo numérico, permite conservar el esfuerzo específico de corte para condiciones de corte de virutas de 0.4 mm de espesor, ángulo de posición de 90° y ángulo de desprendimiento de 0° . SHEC realiza cálculos y sus respectivas correcciones de avance, espesor de viruta, y demás ángulos.
- **Potencia unitaria ($KW/cm^3/min.$):** Dato de tipo numérico, guarda el valor de la potencia unitaria para condiciones específicas de trabajo, estas condiciones son de 0.2 mm de espesor medio de viruta, ángulo de desprendimiento efectivo de 0° y ángulo de posición de 90° .

Otros datos opcionales:

Composición química: Dato de tipo alfanumérico, permite guarda las características de composición química del material.

Descripción: Dato de tipo alfanumérico, permite guardar información del material referente a los cuidados en el mecanizado y en la aplicación.

3.4.2.2 Estado del material: Según el tratamiento térmico o el proceso de fabricación mediante el cual se obtuvo la materia prima para el mecanizado, se define el estado y las propiedades mecánicas del material. Desde el menú emergente de piezas se selecciona esta opción y el sistema muestra la ventana como la figura 84 para agregar nuevos estados de material.

COD ESTADO	8
NOMBRE	NORMALIZADO
DESCRIPCION	

Figura 84. Ventana que permite actualizar nuevos estados de material.

3.4.2.3 Superficie material en bruto: Con esta opción se busca definir el estado de suministro del material en la operación de mecanizado, debido a la influencia que tiene en la selección de la herramienta se ha considerado la posibilidad de actualización. Permite darle un valor cualitativo al grado de dificultad para el mecanizado, ya que irregularidades de los esfuerzos internos y superficiales del material causan variaciones en los esfuerzos de corte, y vida de la herramienta. Ver figura 85.

Figura 85. Ventana de actualización de tipos de superficies del material en bruto de la pieza.

- **Tipo de superficie:** Dato de tipo alfanumérico, define el tipo de superficie del material en bruto de la pieza, antes del mecanizado.
- **Grado de incidencia de mecanizado:** Seleccione el grado de incidencia del tipo de superficie en las variaciones del esfuerzo de corte y del filo de corte. Los valores del Grado de incidencia pueden ser:
 - Baja : Tipo de superficies con esfuerzos internos aliviados o removidos, superficies limpias de escorias lisas y de forma regular (piezas premecanizadas).
 - Media: Tipos de superficie con posibles irregularidades de tensiones superficiales y de forma regular (piezas laminadas en caliente).
 - Alta: Tipo de superficie con alta irregularidad en su forma o presencia de tensiones internas, grietas, inclusiones ó presencia de escorias (piezas fundidas, forjadas, etc.).

Descripción: Dato alfanumérico, que permite especificar detalles de la superficie en bruto y cuidados para el mecanizado seguro y productivo.

3.4.3 Pastillas y Herramientas: Es una de las principales entidades de la base de conocimiento, contiene información estructurada de las pastillas y de las herramientas que finalmente selecciona el sistema SHEC, por lo que la actualización exige cuidado para que las consultas encuentren solución óptima. (Ver figura 86).

Figura 86. Pantalla de actualización de pastillas y herramientas.

Los campos de la tabla presentan variaciones a la obligatoriedad de entrada del dato, esto se presenta por que la herramienta está diseñada para realizar un conjunto de operaciones de mecanizado y cada una de estas operaciones exige parámetros definidos de selección y cálculo, por lo tanto los datos de carácter obligatorio son señalados mediante un asterisco (*).

Código: Dato tipo numérico, es el identificador que utiliza el sistema automáticamente para cada elemento o registro de la tabla.

Grupo operaciones: Dato alfanumérico, diseñado para especificar el grupo de operaciones para la cual esta diseñada la herramienta, estos grupos están conformados de modo que permite aplicar criterios semejantes para seleccionar la herramienta y condiciones de corte.

Código de pedido: Dato alfanumérico, permite almacenar el código que utiliza cada fabricante para realizar el pedido de la herramienta, de forma que efectivamente se compre la herramienta que se seleccionó.

Código ISO: Dato alfanumérico, que permite identificar y describir la herramienta según el código ISO, de forma que fácilmente es identificada la herramienta, respecto a otros fabricantes.

Fabricante: Permite almacenar la información del fabricante de la herramienta, de tal forma que se pueda acudir a ella, para realizar los pedidos de las herramientas seleccionadas, bajo los

parámetros que cada fabricante utiliza. El sistema ofrece la ventaja de agregar y actualizar información de fabricantes.

Material herramienta: Seleccione el material del cual esta hecha la herramienta, es importante definirlo, ya que es un parámetro de selección. Si el material no está dentro de la lista, se puede actualizar la información. Para que SHEC reconozca el nuevo material, debe alimentarse las tablas en las cuales el material de la herramienta es factor de decisión de la herramienta que se está introduciendo.

Geometría ó Rompeviruta: De la lista presentada, especifique el rompeviruta que tiene la herramienta, es un factor importante de selección, el sistema permite actualizar la lista de rompevirutas pero se deben tener en cuenta las tablas de decisión para que el sistema lo pueda establecer como posible solución.

Rosca: Seleccione de la lista el tipo y paso de la rosca de la pastilla, esta tabla puede actualizarse desde el acceso directo al lado derecho. Las roscas que se hallan en la tabla son estandarizadas.

Forma herramienta: Especifique la forma de la pastilla que esta actualizando, este valor se toma de la lista que se presenta, en caso de no encontrarse, se permite actualizarla en la base de datos.

Tipo de Inserto: Dato que permite establecer el tipo de rompeviruta y de sujeción de la pastilla en el porta herramienta, corresponde al 4 dígito de código ISO, para el proceso de fresado esta implícito el sistema de montaje de la pastilla y la geometría de la fresa, y por lo general corresponde a la referencia de tipo de fresa o broca.

Ángulo de incidencia: Seleccione de la lista el ángulo de incidencia del filo de corte principal, en caso de no encontrarse, es posible actualizar, si se selecciona el botón de la derecha.

Tipo de faceta: Establezca el tipo de punta de corte de la pastilla de las dos opciones que se presentan, radio de punta o faceta paralela.

Sentido de corte: Establezca el sentido de corte de la pastilla de las tres posibles variaciones que son de corte derecho, izquierdo y neutro.

Número de dientes o filos: Dato tipo numérico para establecer el número de filos de corte en las pastillas y el número de diente en las pastillas de roscado.

Longitud pastilla (mm): Dato tipo numérico, almacena el valor nominal de la longitud de la pastilla.

Circulo inscrito ID (mm): Dato numérico para establecer el tamaño de la pastilla en términos del círculo inscrito.

Radio de punta /faceta (mm): Dato tipo numérico para guardar la información sobre el radio de punta o de la longitud de la faceta paralela de la pastilla.

Espesor (mm): Dato numérico para almacenar el espesor de la pastilla según la figura bajo la norma ISO.

Observaciones: Dato tipo texto que permite realizar anotaciones de la operación de la pastilla, montaje y cuidados para tener la mejor aplicación de la herramienta.

Imagen: Permite asignar una imagen de la herramienta preferiblemente donde se describa la forma geometría de la herramienta bajo especificaciones de la norma ISO, para estandarización de nomenclatura. Para cargar la imagen se oprime el botón examinar para que despliegue la ventana de diálogo y seleccionar la el archivo.

Facha: Permite guardar la información de la fecha última de actualización.

Precio: Especifique el valor de compra de la herramienta en dólares.

3.4.3.1 Fabricante: Permite guardar la información de los fabricantes de las herramientas, para efectos de pedido. (Figura 87). Los campos relacionados para el fabricante son:

The image shows a web form titled "INFORMACIÓN DE LOS FABRICANTES" with the following fields and values:

INFORMACIÓN DE LOS FABRICANTES	
Código Fabricante	<input type="text" value=""/>
Nombre del fabricante	<input type="text" value="SNADVICK"/>
Teléfono	<input type="text" value="36897858"/>
Dirección	<input type="text" value=""/>
Ciudad	<input type="text" value=""/>
e-mail	<input type="text" value=""/>

Figura 87 . Ventana para actualizar los fabricantes de las herramientas.

Cod. fabricante: Dato asignado por el sistema para la identificación del fabricante.

Nombre: Especifique el nombre comercial del fabricante, el dato es alfanumérico.

Teléfono: Escriba el número telefónico del contacto del fabricante.

Dirección: Se puede escribir la dirección del fabricante

Ciudad: Es importante especificar la ciudad donde se halla el distribuidor de herramientas más cercano para programación de pedidos y definir stock.

E-mail: El dato de tipo alfanumérico permite guardar la dirección electrónica del fabricante.

3.4.3.2 Material herramienta: Esta tabla está diseñada para especificar los materiales de las herramientas, su uso es fundamental para seleccionar la pastilla y las condiciones de corte. Los datos son los siguientes, (según la figura 88):

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE HERRAMIENTA	
COD MATERIAL	1
NOMBRE	GC4015
COMPOSICIÓN QUÍMICA	Material de metal duro con recubrimiento por deposición química de vapor (CVD) de TiCN, Al ₂ O ₃ y TiN. Su color característico es anaranjado.
DESCRIPCIÓN	Es un material de metal duro con recubrimiento CVD para acabado a desbaste ligero de acero y fundiciones de acero a elevadas velocidades de corte, esta calidad es capaz de soportar elevadas temperaturas de corte. La característica principal es su resistencia al

Figura 88. Ventana para actualizar materiales de las herramientas.

Código: Asignado por el sistema para identificación de registro.

Nombre: Especifica el nombre que utiliza el fabricante para su identificación.

Composición química: Para propósitos de identificación del material, se permite hacer una descripción de la composición química del material de la herramienta.

Descripción: Para ampliar detalles de la aplicación correcta del material es importante realizar las anotaciones pertinentes en este campo.

3.4.3.3 Rompevirutas: Permite almacenar y definir la geometría del rompeviruta de las pastillas, aspecto importante para seleccionar la herramienta, una vez actualizado, deben establecerse las combinaciones apropiadas de Rompevirutas, material de piezas y área de trabajo. Los campos para actualizar son (ver figura 89):

Código: El sistema asigna automáticamente el código de identificación del registro.

Nombre: Especifique el nombre de identificación de rompeviruta, según su fabricante, es un dato alfanumérico.

Avance min (mm/rev): Especifique el valor del avance mínimo según la geometría del rompeviruta. Dato numérico.

Avance max: Especifique el valor máximo del avance aplicable a la geometría de la pastilla. Dato numérico.

Figura 89. Ventana para actualizar el rompeviruta.

3.4.3.4 Tipo de Inserto: Dato que permite establecer el tipo de rompeviruta y de sujeción de la pastilla en el porta herramienta, corresponde al cuarto dígito de código ISO para la identificación de pastillas, para el proceso de fresado el sistema de montaje de la pastilla y la geometría de la fresa están relacionados y por lo general el tipo pastilla corresponde a la referencia del sistema de geometría de la fresa. Los campos actualizables son: (Ver figura 90).

Código: asignado por el sistema para identificar el registro.

Nombre: especifica la referencia del tipo de pastilla, el dato es de tipo alfanumérico.

Descripción: realice una descripción que permita conocer detalles de los tipos de rompeviruta, número de filos de cortes, especificaciones de montaje, etc.

Figura 90. Ventana para actualizar los tipos de pastillas.

3.4.3.5 Ángulo de incidencia: Los diferentes ángulos de incidencia de la arista de corte principal están codificados para que haya correspondencia entre la selección del porta pastilla y la pastilla. Los campos a llenar son: (ver figura 91).

Figura 91 . Ventana para actualizar los ángulos de incidencia de las herramientas.

Código: Es asignado por el sistema automáticamente para identificación única de registro.

Nombre ISO: Si el valor del ángulo está estandarizado bajo la norma ISO entonces hay un nombre alfanumérico que le corresponde según el código ISO, especifíquelo en este campo, permitirá realizar el llenado de las tablas de pastillas y porta herramienta de manera dinámica.

Valor: Especifique el valor del ángulo de incidencia en grados.

3.4.3.6 Forma herramienta: Las formas de las herramientas están listadas y es posible actualizar dicha propiedad de la herramienta. Los campos actualizables son: (ver figura 92).

Código: Se establece automáticamente por el sistema el número de identificación del registro.

Nombre: Normalmente el código ISO establece caracteres para cada forma geométrica de herramientas, se asigna este valor o el nombre completo.

Descripción: Realice una descripción que permita conocer detalles de los diferentes movimientos de corte que permite, ó las combinaciones con los ángulos de corte de los porta pastillas.

Imagen: Permite guardar una imagen de la forma de la pastilla, con el fin de facilitar la identificación y la actualización.

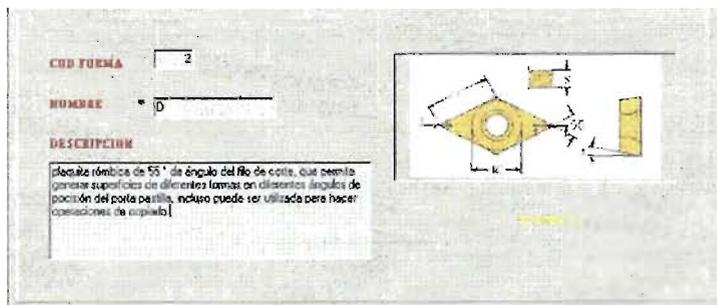


Figura 92. Ventana para actualizar las diferentes formas de pastillas.

3.4.3.7 Roscas: Está diseñada para guardar información de los tipos de roscas, pasos estandarizados, pasadas y profundidades de perfil, así como las placas de apoyo para las pastillas que se consiguen en el mercado, para actualizar cada una, seleccione la opción desde el menú emergente de pastilla/roscas.

- Tipo de roscas: Los tipos de roscas se presentan codificados para permitir la selección de herramientas sin inconvenientes (ver figura 93). Los datos que se suministran son:

Código: El sistema asigna automáticamente la identificación única de registros de tipos de roscas

Tipo rosca: Especifique el código de identificación de la rosca bajo sistemas métrico o Inglés, según el tipo de rosca. El dato es de tipo alfanumérico.

Descripción: Permite hacer detalles del tipo de rocas, tales como nombre, aplicación típica en la industria. El dato es de tipo alfanumérico.

Imagen: Permite montar imágenes características del tipo de rosca en cuestión, oprimiendo el botón examinar, se abre la ventana de diálogo para hacer el cargue de la imagen, previa captura y edición de la imagen.

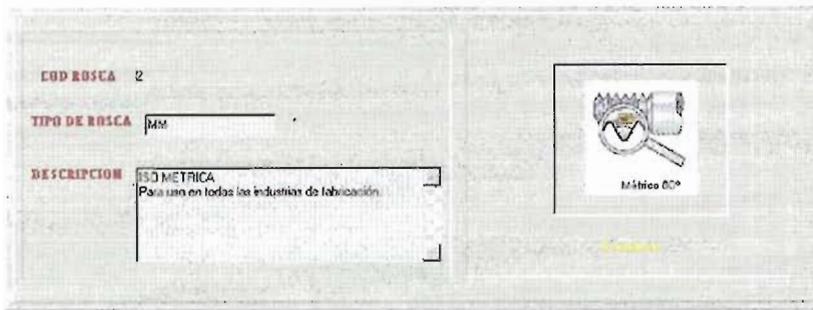


Figura 93. Ventana para actualizar los tipos de roscas.

- Pasos: En la lista de tipos se selecciona el tipo de rosca y se especifica el paso de la rosca en el campo paso y se debe especificar las unidades en que se da el paso, ya sea en milímetros ó en hilos por pulgada (hpp). Ver figura 94.

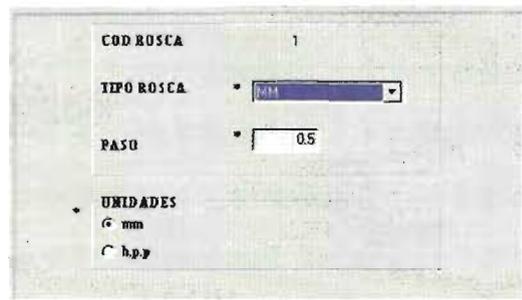


Figura 94. Ventana para actualizar los diferentes pasos, según el tipo de rosca.

- Pasadas para roscado: Permite definir la profundidad total del perfil de la rosca y el número de pasadas necesarias para mecanizarla para cada tipo de rosca, paso y tipo de roscado exterior ó interior. Ver figura 95.

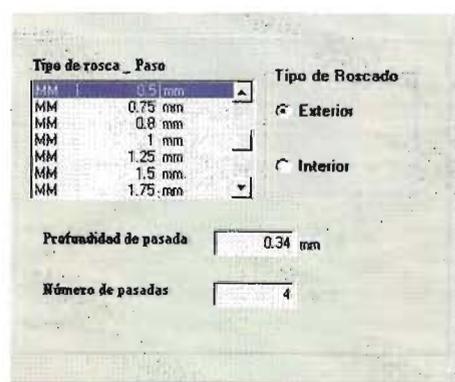


Figura 95. Ventana para actualizar la profundidad del perfil y número de pasadas para roscas.

- Placas de apoyo para roscado: Existe una ventana para actualizar los diferentes tipos de placas de apoyo para las pastillas, según la operación de roscado, la longitud de referencia de la pastilla y el ángulo de inclinación de la placa de apoyo. Ver figura 96.

The screenshot shows a window titled 'Operación' with the following fields:

- Operación:** A dropdown menu with options: 'Ranurado Exterior', 'Ranurado Interior', 'Ranurado Frontal', and 'Formado de Roscas Exteriores Derecho' (selected).
- Longitud de referencia de filo:** A text input field containing the value '16'.
- Angulo de inclinación del inserto:** A text input field containing the value '-2'.
- Placa de apoyo:** A text input field containing the value '5322 321-16'.

Figura 96. Ventana para actualizar las placas de apoyo de las pastillas de roscar.

3.4.3.8 Determinar material de herramientas: Después de actualizar los diferentes elementos de la pastilla, es necesario entrar a esta sección para establecer las condiciones de selección del material de la herramienta, se debe hacer cada vez que se agregue un material nuevo, o se quiera cambiar las condiciones de selección de un material. En la figura 97 se presenta la pantalla de actualización de las reglas.

The screenshot shows a window titled 'ACTUALIZACIÓN BASE DE CONOCIMIENTO - Reglas Material Herramienta'. It contains the following sections:

- Tipo de material*:** A dropdown menu with options: 'Acero', 'Acero inoxidable', 'Acero de Baja Aleación (C < 0.5%)', 'Acero de Alta aleación, recocido', 'Acero Fundido de Baja Aleación', and 'Acero Inoxidable Austenítico, Martensítico'.
- Material de la herramienta*:** A dropdown menu with options: 'GC4025', 'GC4035', 'CT525', 'CT150', 'L15075', and 'GC215'.
- Condiciones de mecanizado:** Radio buttons for 'Favorables' (selected), 'Normales', and 'Difíciles'.
- Warning text:** 'Debe ser altamente cuidadoso al llevar a cabo este proceso. Se determina el material de la herramienta indicado según características como el tipo de material y las condiciones de mecanizado.'
- Navigation bar:** Includes buttons for 'Inicio', 'Reglas', 'Anterior', 'Siguiente', 'Agregar', 'Modificar', 'Eliminar', 'Imprimir', 'Salir', and 'SALIR'.

Figura 97. Pantalla de actualización de reglas para determinar el material de la herramienta.

Se selecciona el material de la pieza y de la herramienta que pueden ser combinados y permitan obtener los mejores resultados, para lo cual se especifica el nivel de la resistencia al desgaste y de la tenacidad que presenta el material de la herramienta para trabajar.

Mediante la selección de las condiciones de mecanizado favorables se especifican los materiales que tienen alta resistencia al desgaste y baja tenacidad, permitiendo trabajar a altas velocidades y temperaturas de trabajo.

Las condiciones de mecanizado normales se especifican cuando el material de la herramienta presenta una combinación equilibrada de resistencia al desgaste y tenacidad en el sustrato tal que permite obtener el mejor rendimiento a velocidades de trabajo moderadas y adecuada seguridad del filo.

Cuando la propiedad del material de la herramienta es de alta tenacidad del sustrato, sacrificando la resistencia al desgaste que permite trabajar a bajas velocidades, condiciones desfavorables de vibración, corte discontinuos, etc. se debe especificar las condiciones de mecanizado difíciles para la combinación de materiales.

3.4.3.9 Determinar el rompeviruta: La geometría de corte de la pastilla está definido por el tipo de rompeviruta, que junto con la geometría de corte del porta pastilla establecen la geometría efectiva de corte. En esta opción se establecen las reglas de selección del rompeviruta para un grupo de material de piezas y un área de trabajo específico (acabado, acabado medio y desbaste).

Esta propiedad de las herramientas define los ángulos de desprendimiento, sección del filo de corte y forma del rompeviruta en sí, de forma que a medida que aumenten las fuerzas y profundidades de corte desde las operaciones de acabado hasta desbaste, se tenga mayor refuerzo del filo de corte y adecuado control de la viruta. En la figura 98 se presenta la forma de llenar los datos de actualización de estas reglas.

Seleccione el grupo de material de pieza para el cual el rompeviruta a actualizar trabaja de la mejor forma y especifique el área de trabajo para el cual esta diseñado.

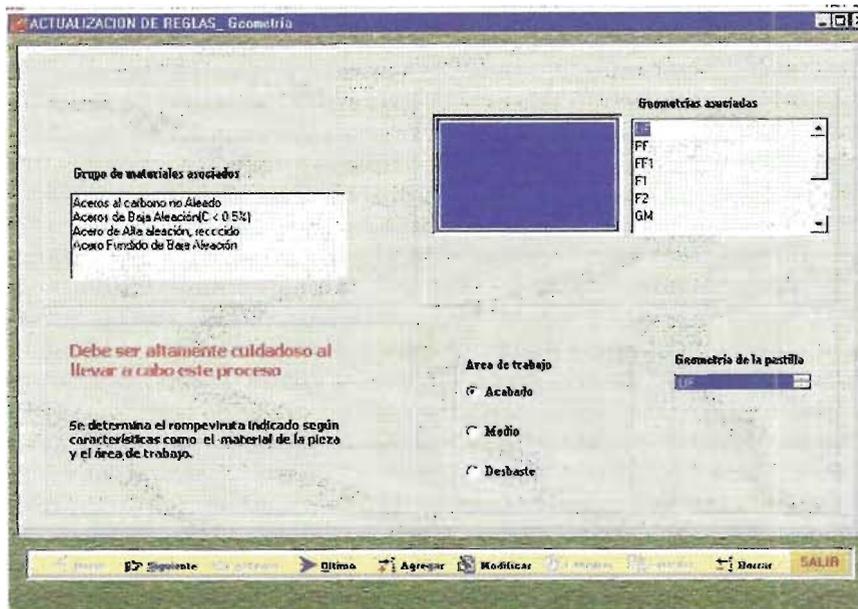


Figura 98. Pantalla de actualización de las reglas de selección de rompevirutas de las pastillas.

3.4.3.10 Determinar Velocidad corte: La velocidad de corte es un parámetro de operación que depende de la combinación del material de la pieza y herramienta, del área de trabajo y de la operación de mecanizado que se desea ejecutar, por lo cual el llenado exige tener claridad sobre los antecedentes de las reglas para determinar la velocidad de corte y el avance.

Para actualizar se debe escoger la combinación de grupo de material de la pieza, material de la herramienta y área de trabajo e introducir los valores adecuados de velocidad de corte y el avance por diente. Ver figura 99.



Figura 99. Pantalla para actualizar la velocidad de corte y avance.

Grupo operaciones: Especifique el grupo de operaciones para el cual, la velocidad de corte es aplicable.

Tipo material pieza: Seleccione el material de la pieza a mecanizar, para el cual se establece la velocidad.

Dureza de ref. material pieza: Especifique la dureza del material a mecanizar para el cual la velocidad de corte da un tiempo de vida de 15 minutos para criterios de desgaste de flanco de 0.7mm. ó el que se ajuste a sus requerimientos de acabado superficial y nivel de productividad por cambio de herramienta.

Material herramienta: Seleccione el material de la herramienta con la cual se establecieron las pruebas.

Área de trabajo: Seleccione el área de trabajo para la cual la velocidad de trabajo da los mejores resultados tanto de productividad, como de acabado superficial.

Velocidad de corte (m/min): Especifique el valor de la velocidad de corte que da los mejores resultados en el mecanizado, según los anteriores factores.

Avance por diente (mm/diente): Introduzca el valor del avance por diente adecuado según las anteriores condiciones si el grupo de operaciones pertenece a los procesos de fresado y taladrado.

3.4.3.11 Establecer Operación, ángulos de posición y forma pastillas: Permite definir las combinaciones adecuadas de los ángulos de posición, las formas de pastillas asociados y las operaciones de mecanizado que permiten ser ejecutadas, según los movimientos de avance permitidos por el conjunto. En la figura 100 se presenta la pantalla de actualización de las combinaciones permisibles. Especifique el ángulo de posición del porta pastilla según la norma ISO (código alfabético y valor del ángulo) y especifique la forma de la pastilla que permite ser asociados al ángulo de posición; de las dos anteriores condiciones se establece las respectiva operaciones de mecanizado que pueden ejecutarse según la pareja de ángulo de posición y forma de la pastilla.

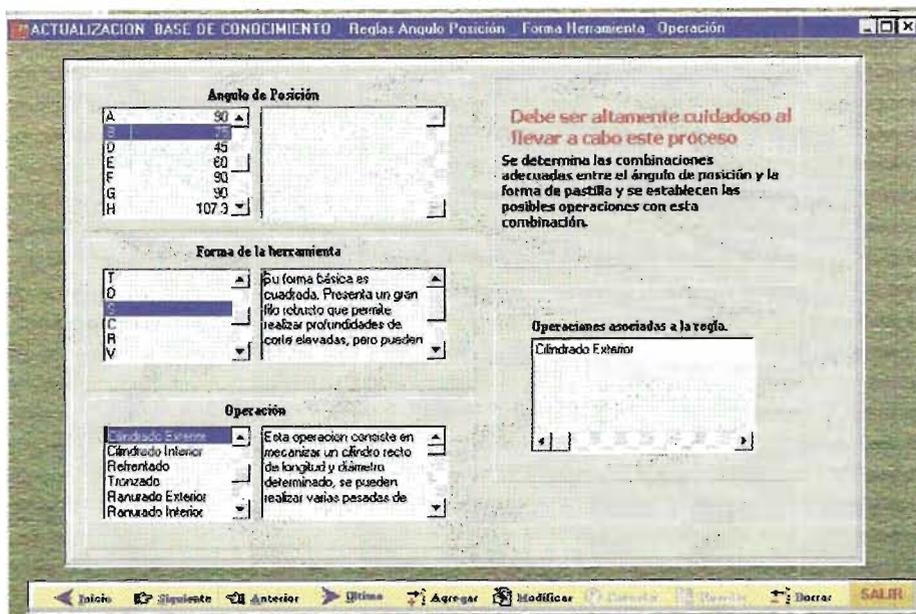


Figura 100. Pantalla de actualización de operaciones de mecanizado para la combinación de ángulos de posición y formas de las pastillas.

3.4.4 Porta pastillas y accesorios: La base de conocimiento está diseñada para almacenar información sobre los dispositivos que permiten hacer el montaje de las pastillas e interactuar con la máquina herramienta, denominados porta pastillas, en algunos casos se requiere otros dispositivos adicionales para realizar el montaje de la herramienta en la máquina.

Los datos son introducidos en los respectivos formularios que se activan cuando se selecciona desde el menú emergente de porta pastillas y accesorios de módulo actualización de BC (ver figura 78). Las opciones disponibles se describen a continuación:

3.4.4.1 Porta pastillas. Los diseños disponibles de porta pastillas son variados, dependen básicamente del proceso de mecanizado a realizar, distinguiéndose principalmente los porta pastillas que son fijos para el proceso de torneado y los porta pastillas rotativos si el proceso es fresado y taladrado. Los datos de actualización según la figura 101 son:

Sujeción porta pastilla: El campo permite establecer el tipo de montaje del porta herramienta en la máquina herramienta o de los dispositivos adicionales que deben utilizarse para asegurar rígidamente la herramienta al husillo o al carro porta herramienta, estos sistemas están clasificados por el proceso. La lista presentada permite ser actualizada si el sistema de montaje no se encuentra.

Sistema montaje pastilla: Cada porta pastilla define la forma de montar la pastilla en su cuerpo, existe variedad de diseños, y dependen del proceso y la aplicación de mecanizado, este valor en los procesos de fresado y taladrado toma el mismo valor que el asignado en la geometría de corte. Para el proceso de torneado el valor del sistema de montaje de la pastilla es el de tornillo, sujeción por cuña, sujeción por palanca, sujeción por brida y cuña, y sujeción rígida. Estos sistemas son actualizables si no se encuentra en la lista.

Geometría de corte: Este campo permite definir la geometría de corte del porta pastilla, siendo este aspecto decisivo para seleccionar la pastilla y las condiciones de corte. Normalmente, cada fabricante asigna una referencia para cada geometría de corte del porta pastilla, este valor es el que se guarda en el campo geometría. Estas referencias dependen del fabricante, y el sistema permite actualizar la lista de geometría de corte.

Ángulo de posición: Es una propiedad del porta herramienta y pastilla asociada, por cuanto cada porta pastilla está diseñado para trabajar normalmente a un solo valor de ángulo de posición. Este valor está codificado, ya que es utilizado por el sistema para realizar la selección. Si el valor del ángulo de posición no se encuentra en la lista mostrada, el sistema permite su actualización.

Ángulo de incidencia: Seleccione de la lista el ángulo de incidencia del filo de corte principal, en caso de no encontrarse, es posible actualizar, si se selecciona el botón de la derecha.

Sentido de corte: permite seleccionar el sentido de corte o de rotación del porta pastilla.

Longitud montaje pastilla (mm): Dato tipo numérico que almacena el valor nominal de la longitud de la pastilla.

Velocidad máxima rotación (rpm): Permite guardar la velocidad de rotación máxima permisible para la herramienta para que opere dentro de los límites de estabilidad.

Ancho mango (mm): Permite guardar la dimensión ancho del mango cuando éste es rectangular.

Alto mango (mm): Permite guardar la dimensión alto del mango cuando éste es rectangular.

Diámetro de montaje: Permite guardar la dimensión diámetro mango cuando éste es cilíndrico.

Diámetro efectivo de corte (mm): Permite guardar el dato del diámetro teórico sobre el cual las herramientas rotativas realizan la acción de corte. Es de tipo numérico.

Ángulo de desprendimiento: Este campo permite definir el ángulo de desprendimiento de referencia para una pastilla patrón, su influencia en la selección de la herramienta es fundamental. Especifique el valor en grados, normalmente varía entre -20° y 25° , debe especificar el signo negativo, si su geometría de corte es negativa.

Ángulo de inclinación: Especifique el ángulo de inclinación, según la geometría de corte del porta herramienta. El valor se especifica en grados.

Número pastillas, filos, dientes: El campo permite establecer el número máximo de pastillas que pueden montarse al porta herramienta, para el caso de torneado el valor es uno, pero para fresado y taladrado puede variar entre uno y 40 pastillas por cada fresa, dependiendo del diámetro y del paso.

Peso (Kg): Especifica el peso de la herramienta.

Longitud de penetración máx (mm): Permite definir la longitud de penetración máxima del porta pastilla cuando parte de éste debe penetrar en la pieza mecanizada, se aplica en operaciones como tronzado, ranurado, taladrado, etc.

Canales interiores: Permite establecer las características de construcción del porta pastilla para efectos del suministro del refrigerante.

Paso: Este campo permite almacenar información sobre la distribución de los insertos en las fresas y herramientas de taladrado, normalmente se definen tres categorías, que son denominados de paso grande cuando el espaciado entre dientes es el máximo; paso normal si el espaciado es estándar y paso reducido, cuando el espacio entre pastillas es estrecho. Lo anterior se define tomando como referencia el mismo diámetro de la herramienta.

Otras dimensiones: L3, F1, H1, corresponden a dimensiones geométricas del porta pastillas.

Observaciones: El campo permite agregar información que pueda ser útil para realizar la aplicación correcta, el campo es de tipo alfanumérico.

Imagen: Permite asignar una imagen del porta pastilla que describa la forma y geometría de la herramienta bajo especificaciones de la norma ISO, para estandarización de nomenclatura. Para cargar la imagen se oprime el botón examinar que despliega la ventana de diálogo y seleccionar la imagen del archivo porta herramientas.

3.4.4.2 Sistemas de sujeción de porta pastilla: La tabla permite guardar los tipos de montajes del porta pastilla en la máquina o de los dispositivos adicionales que deben utilizarse para asegurar rígidamente la herramienta al husillo o al carro porta herramienta, estos sistemas están clasificados por el proceso. Los campos a llenar, según la figura 102, son los siguientes:

CODIGO SISTEMA	
NOMBRE SISTEMA	CAPTO 2085
PROCESO	Torneado
DESCRIPCION	Herramienta de cambio rápido. Para embriar y desembridar la cabeza de corte, se utiliza una llave hexagonal, con un giro de menos de una vuelta. Longitud de mango ajustable.

Figura 102. Ventana para actualizar el sistema de sujeción de los porta pastillas.

Código: El sistema asigna de manera automática este valor.

Nombre: Indique el nombre que se utiliza para identificar el sistema de montaje, puede ser el mismo que utiliza el fabricante, es de tipo alfanumérico.

Proceso: Seleccione el proceso para el cual está diseñado el tipo de montaje.

3.4.4.3 Sistema montaje pastilla: La tabla permite definir la forma de montar la pastilla en el cuerpo del porta pastilla. Los campos a actualizar, según la figura 103, son los siguientes:

Nombre: Introduzca el nombre del sistema de fijación de la pastilla, los sistemas para procesos de torneado están estandarizados, mientras que para fresado y taladrado no, y se sugiere guardar el mismo nombre que utiliza el fabricante.

Descripción: Permite guardar información relacionada con los detalles del montaje y de la correcta aplicación. Dato tipo alfanumérico.

SISTEMA DE SUJECION DE LA PASTILLA

CODIGO SISTEMA 5

NOMBRE SISTEMA S

DESCRIPCION
 Es el sistema de sujecion de las pastillas mediante tornillos (normalmente para herramientas pequeñas y con plaquitas positivas, presenta gran estabilidad y flujo de virutas adecuado, con posibilidad de montaje de gran número de plaquitas.)

Figura 103. Ventana para actualizar los sistemas de sujeción de pastillas.

3.4.4.4 Ángulo de posición: Este ángulo está formado por la superficie a mecanizar y el filo de corte de la pastilla, la forma de la pastilla y configuración del porta pastilla definen los posibles movimientos de corte. La tabla permite actualizar los siguientes campos: (Ver figura 104.)

COD ANGULO 12

ANGULO 0

VALOR 117.3

DESCRIPCION
 Permite realizar diferentes tipos de movimientos, por lo que le proporciona funcionalidad al porta pastilla, con opción de utilizarlo en varias operaciones de mecanizado de torneado, el ángulo de posición máximo es de 17°.

Figura 104. Ventana para actualización de ángulos de posición de los porta pastillas

Código: Este campo es asignado por el sistema automáticamente.

Nombre: Normalmente se designan mediante un código alfanumérico establecido por la norma ISO.

Valor: Especifique el valor del ángulo en grados, medido entre la superficie que se mecaniza y el filo de corte principal de la herramienta.

Imagen: Permite asignar una imagen representativa de la configuración del ángulo y de los posibles movimientos de corte. Para cargar la imagen se oprime el botón examinar para que despliegue la ventana de diálogo y seleccionar la imagen del archivo.

3.4.4.5 Geometría de corte: La tabla permite definir la geometría de corte del porta pastilla, cada fabricante asigna una referencia para la geometría de corte del porta pastilla que define los ángulos de desprendimiento y de inclinación. Los campos a actualizar son: (Ver figura 105)

Código: Asignado por el sistema automáticamente.

Nombre: Especifique el nombre o referencia de la geometría de corte del porta pastilla el dato es de tipo alfanumérico.

Descripción: Especifique detalles que sean valiosos para la aplicación correcta del sistema de geometría de corte.

The image shows a software window titled "GEOMETRIA DEL FRESADO". It contains the following fields:

- CODIGO GEOMETRIA:** 6
- NOMBRE GEOMETRIA:** 260.22
- DESCRIPCION:** Es una herramienta para planear liviana y robusta de gran fiabilidad del filo de corte y una geometría que permite bajas fuerzas de corte, apropiada para centros de mecanizado o máquinas convencionales, presenta ángulo de posición de 45° que, apropiada para áreas de semi acabado y desbaste los ángulos de desprendimiento y de inclinación son positivos.

Figura 105. Ventana de actualización de la geometría de corte de los porta pastillas.

3.4.4.6 Determinación de la geometría de corte del porta pastilla: Una vez definida la geometría del porta pastilla, se debe actualizar las respectivas condiciones para las cuales opera en las mejores condiciones, según el tipo de material y el área de trabajo. En la figura 106 se presenta la pantalla para la entrada de datos.

Grupo de materiales: Especifique el grupo de material para el cual la geometría de corte del porta pastilla esta diseñado.

Área de trabajo: Especifique el área de trabajo para el cual la geometría de corte está orientado, las opciones son de acabado, medio y desbaste.

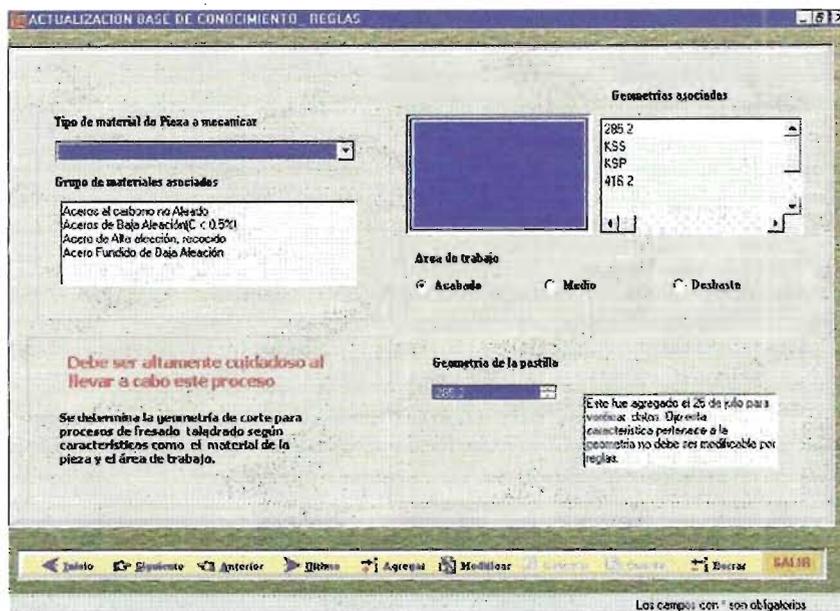


Figura 106. Pantalla de actualización de reglas de selección del porta pastilla.

3.4.4.7 Determinación del sistema de montaje de la pastilla: Debido a que el tipo de inserto y el sistema de montaje de la pastilla en el porta pastilla definen las condiciones de selección, se presenta una relación de posibles combinaciones. En la figura 107 se presenta la pantalla de actualización de combinaciones estos dos parámetros.

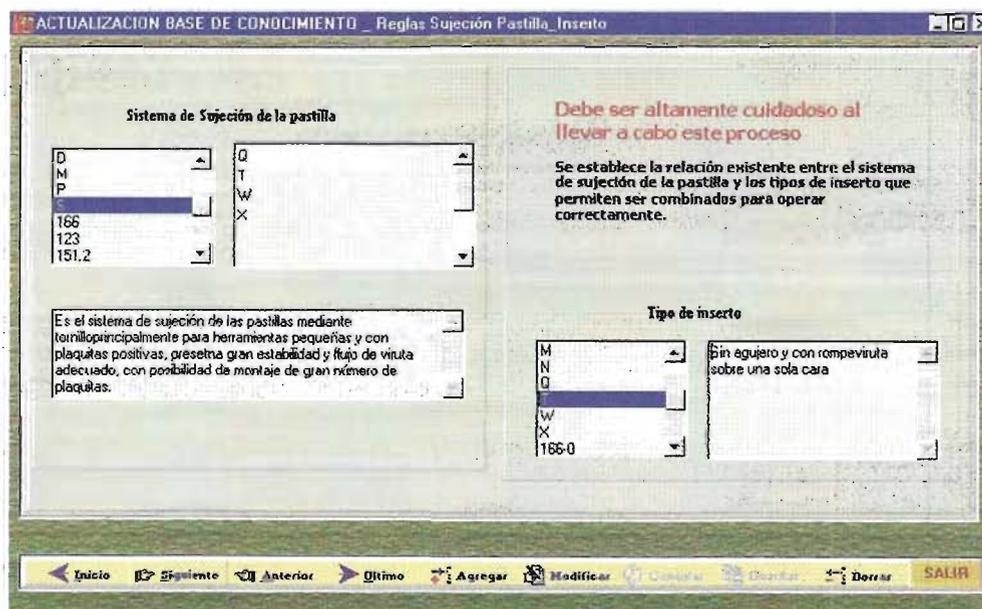


Figura 107. Pantalla de actualización de los sistemas de montaje de pastillas en los porta pastillas.

Cada vez que se introduzcan nuevos sistemas de montajes de pastillas y nuevos tipos de insertos, deben ser actualizados las posibles relaciones de montajes.

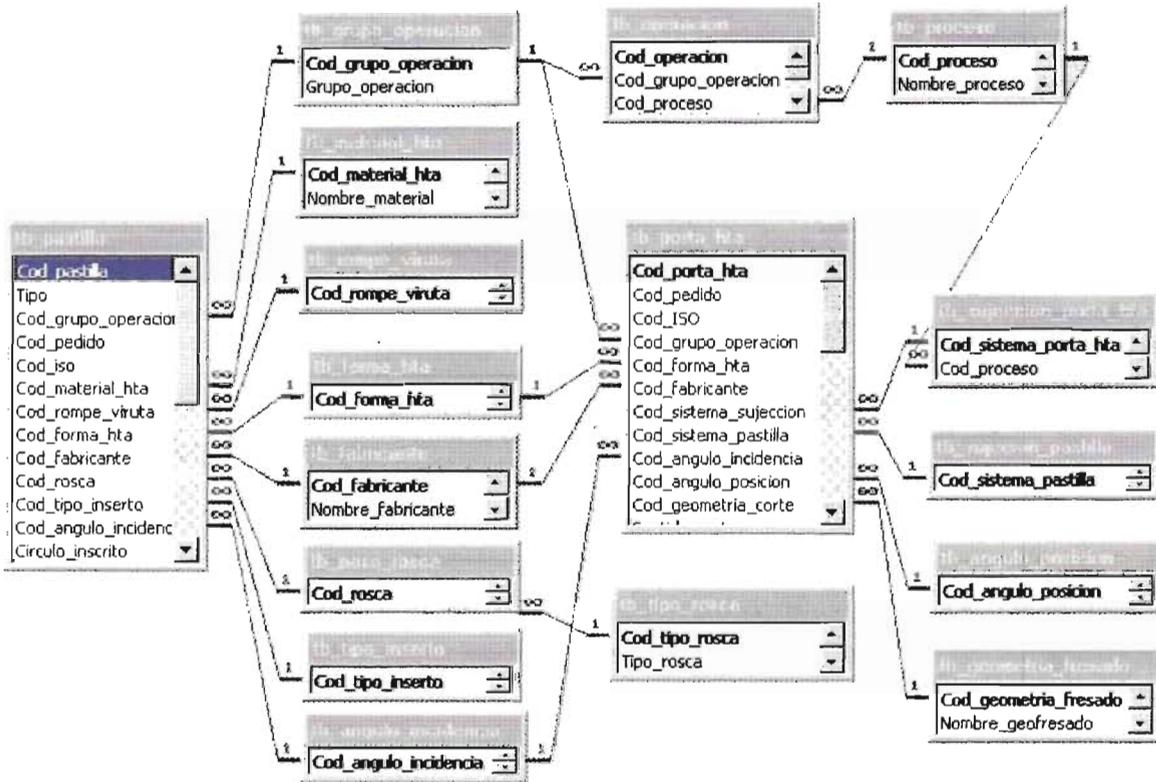
Especifique el sistema de montaje de pastilla que tiene el porta pastilla y asocie los tipo de insertos que pueden ser montados en el porta pastilla, los nombres que describe cada uno de los antecedentes son normalmente las referencias que utiliza cada fabricante. En la figura 107 se muestra la relación de los tipos de insertos Q, T, W y X (corresponde al cuarto dígito del código ISO de identificación de pastillas), que pueden ser fijados mediante tornillo en los porta pastillas tipo S (es el primer dígito del código ISO de identificación de porta pastillas). La respectiva descripción del sistema de porta pastilla y tipo de inserto se muestran adjuntos para permitir la identificación de los sistemas.

La combinación de estos parámetros define la geometría de corte real de la herramienta, por lo tanto debe tenerse en cuenta que los sistemas de porta pastillas de geometría positiva solo permiten montar pastillas de geometría positiva y lo mismo ocurre con los sistemas de geometría negativa.

ANEXO B

***DIAGRAMA DE RELACIONES DE LAS PRINCIPALES ENTIDADES DE LA
BASE DE DATOS DE SHEC.***

BIBLIOTECA UIS



BIBLIOTECA UIS