

**SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y MODELAMIENTO GRAFICO DE
HERRAMIENTAS DE FRESADO UTILIZADAS EN EL MAQUINADO DE
PIEZAS**

**CRISTIAN HERNAN CALDERON ARDILA
OSCAR FERNANDO RINCÓN HERREÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2006**

**SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y MODELAMIENTO GRAFICO DE
HERRAMIENTAS DE FRESADO UTILIZADAS EN EL MAQUINADO DE
PIEZAS**

**CRISTIAN HERNAN CALDERON ARDILA
OSCAR FERNANDO RINCÓN HERREÑO**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
Isnardo González Jaimes
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2006**

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico inicialmente a DIOS por haberme dado la voluntad y el entendimiento para llevar a cabo y culminar este gran objetivo en mi preparación profesional.

A mis padres, por su ayuda incondicional, su paciencia y su respaldo en todo momento apoyándome en todos los buenos y malos momentos vividos, y especialmente por la ayuda brindada en el tiempo que estuve dedicado a mis estudios.

Cristian Hernan Calderon.

En esta etapa de mi vida, a quien se le puede dedicar el esfuerzo, sueños, retos, experiencias, conocimientos, que se han adquirido en el transcurrir de mi camino y vida:

A DIOS, que me permitió llegar a este punto en mi vida.

A mis padres Pedro Rincón Vargas y Hermelinda Herreño Quiroga, por su apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de la carrera.

A mis hermanos Carlos, Ruth y Javier por el apoyo brindado en la etapa final de mi proyecto, Gracias.

A todos mis amigos, familiares, compañeros de estudio y profesores, que me ayudaron a valorar las pequeñas cosas que son las importantes.

A mi compañero de proyecto Cristian Hernan por su paciencia y espíritu de trabajo en equipo en la realización de nuestro proyecto de grado.

Oscar Fernando Rincón Herreño.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos:

A nuestro director de proyecto y profesor **ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES**, Ingeniero Mecánico, que gracias a sus conocimientos, paciencia y consejos logramos estructurar exitosamente este trabajo de grado y fue un excelente guía a la hora de escoger y organizar la información vital y necesaria para profundizar algunos conceptos en el área de las máquinas y herramientas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. TEORIA DEL FRESADO DE METALES	3
1.1 PANORAMA GENERAL DE LA TECNOLOGIA DEL FRESADO.	3
1.1.1 La herramienta de corte.	5
1.1.2 Condiciones de corte.	5
1.2 MECANICA DEL CORTE EN EL FRESADO DE METALES.	10
1.2.1 Formación de viruta.	10
1.2.2 Calculo de las fuerzas de corte.	15
1.2.3 Relaciones entre potencia y energía en el fresado.	22
1.2.4 Temperatura de corte.	27
2. TECNOLOGÍA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE	30
2.1 FALLAS Y DESGASTE DE LA HERRAMIENTA.	30
2.1.1 Falla por fractura .	30
2.1.2 Falla por temperatura.	31
2.1.3 Desgaste gradual.	31
2.1.4 Abrasión.	32
2.1.5 Adhesión.	32
2.2 MATERIALES PARA HERRAMIENTAS.	34
2.2.1 Propiedades de materiales para herramientas.	34
2.2.2 Clasificación de materiales para herramientas.	36
2.3 FLUIDOS DE CORTE.	37
2.3.1 Aplicación de los fluidos de corte.	37
2.3.2 Clasificación de los fluidos de corte.	39
3. OPERACIONES DE FRESADO Y MAQUINA HERRAMIENTA	41
3.1 TIPOS DE OPERACIONES.	42
3.1.1 Fresado periférico.	42
3.1.2 Fresado frontal.	44
3.2 FRESAS.	46
3.3 MAQUINAS FRESADORAS.	48
3.4 CENTROS DE MECANIZADO.	50
3.5 ASPECTOS DE SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE.	53
3.5.1 Consideraciones generales.	53
3.5.2 Consideraciones de diseño.	54
4. METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS EN INGENIERIA.	56
4.1 PERSPECTIVA HISTORICA.	56
4.2 DATOS DE ENTRADA.	59

4.2.1 Definición de la geometría.	59
4.2.2 Atributos o propiedades de la geometría.	60
4.2.3 Propiedades de los materiales.	60
4.2.4 Condiciones de contorno.	60
4.2.5 Otros datos.	61
4.3 FLUJO GENERAL.	62
4.4 SOLUCIÓN DE SISTEMAS.	66
5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	68
5.1 BASES DE DATOS.	68
5.1.1 Diagrama entidad relación.	69
5.1.2 Concepto de identidad.	69
5.1.3 Concepto de atributos.	70
5.2 CICLO DE VIDA.	70
5.2.1 Etapa de análisis.	70
5.2.2 Etapa de diseño.	72
5.2.3 Etapa de desarrollo.	73
5.2.4 Etapa de implantación.	
6. INGENIERIA DEL SOFTWARE APLICADA AL DESARROLLO DE DISFRESAS	75
6.1 ANALISIS DE L SISTEMA.	75
6.1.1 Investigación preliminar.	75
6.1.2 Análisis documental o estructurado.	76
6.1.3 Definición de requerimientos.	78
6.2 DISEÑO DE DISFRESAS.	79
6.2.1 Diseño de flujo de datos.	81
6.2.2 Diseño de entradas y salidas.	81
6.2.3 Diseño de la base de datos y su interacción con disfresas.	83
6.2.4 Diseño de la interfaz.	86
6.2.5 Diseño de seguridad y control.	88
6.2.6 Diseño de procedimientos.	88
6.2.7 Diseño de integración disfresas.	90
6.3 PROGRAMACIÓN Y DESARROLLO.	91
6.3.1 Programación orientada a objetos.	92
6.3.2 Fases en el proceso de programación.	93
6.3.3 Desarrollo del código del software.	96
6.3.4 Documentación del software.	96
6.4 PLATAFORMA DE DESARROLLO DISFRESAS.	100
6.4.1 Descripción del lenguaje de programación.	100
6.4.2 Beneficios del visual basic.	102
6.4.3 Bases de datos.	103
6.4.4 Organización y diseño de la base de datos.	104

6.4 5 Implementación de la base de datos.	105
6.4.6 Otros programas utilizados.	106
6.5 PRUEBAS DEL SOFTWARE.	107
6.5.1 Pruebas de unidad.	109
6.5.2 Pruebas de integración.	109
6.5.3 Pruebas de validación.	111
6.5.4 Pruebas de disfresas.	111
6. 5 Depuración.	112
6.5.6 Análisis de compatibilidad.	
6.6 DISEÑO DE INFORMES Y REPORTE DE DISFRESAS.	113
7. ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE Y HARDWARE	115
7.1 SOFTWARE PARA DESARROLLO.	115
7.2 SOFTWARE REQUERIDO.	115
7.3 HARDWARE REQUERIDO.	116
8. MANUAL DE USUARIO.	117
8.1 INSTALACIÓN.	117
8.2 DESINSTALACIÓN.	118
8.3 ENTRADA AL SISTEMA.	118
8.4 MENU PRINCIPAL- SELECCIÓN DEL MODULO.	119
8.4.1 Modulo de teoría.	120
8.4.2 Modulo de selección.	121
8.4.3 Modulo de diseño.	121
9. CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFÍA.	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de fresado.	3
Figura 2. Aplicaciones del proceso de fresado.	5
Figura 3. Fresa helicoidal con bordes cortantes múltiples.	5
Figura 4. Ángulos principales de las fresas.	6
Figura 5. Condiciones de corte en una operación de fresado.	7
Figura 6. Condiciones geométricas de la pieza.	7
Figura 7. Operación de desbaste.	8
Figura 8. Factores de que depende la rugosidad superficial.	8
Figura 9. Mal acabado superficial.	9
Figura 10. Parámetros de corte para diferentes materiales.	10
Figura 11. Proceso tridimensional de formación de viruta.	11
Figura 12. Sección normal a la arista de corte.	11
Figura 13. Esquema del proceso de mecanizado.	12
Figura 14. Deformación cortante durante la formación de viruta.	13
Figura 15. Visión realista de la formación de viruta.	14
Figura 16. Tipos de formación de viruta en el corte de metales.	15
Figura 17. Fuerzas de corte en el fresado de metales.	16
Figura 18. Fuerzas por el método de corte ortogonal.	18
Figura 19. Fuerzas de corte tangencial y radial.	20
Figura 20. Diagrama de fuerzas.	20
Figura 21. Distribución de la energía aplicada en el proceso de fresado.	23
Figura 22. Velocidad de operación del material.	24
Figura 23. Factor de corrección para la potencia unitaria.	26
Figura 24. Distribución típica de la energía de corte.	27
Figura 25. Medición de temperatura de corte.	28
Figura 26. Falla por fractura en el proceso de fresado.	30
Figura 27. Falla por temperatura en el proceso de fresado.	31
Figura 28. Desgaste en cráter y desgaste del flanco de una pastilla.	32
Figura 29. Desgaste por abrasión en el proceso de fresado	32
Figura 30. Solución de problemas para vida de la herramienta.	34
Figura 31. Valores de HR para diferentes materiales.	35
Figura 32. Evolución cronológica de la velocidad de corte.	36
Figura 33. Campos de aplicación de los fluidos de corte.	37
Figura 34. Clasificación de los fluidos de corte.	39
Figura 35. Operaciones de fresado.	41
Figura 36. Dos tipos básicos de la operación de fresado.	42
Figura 37. Esquema de fresado periférico.	43
Figura 38. Fresado ascendente y descendente.	44
Figura 39. Operación de fresado frontal convencional	45
Figura 40. Esquema de fresado frontal.	46
Figura 41. Tipos de insertos intercambiables para fresas.	47

Figura 42. Cuerpo de las fresa.	47
Figura 43. Geometría de la fresa.	48
Figura 44. Esquema de fresadora horizontal-vertical.	49
Figura 45. Maquina fresadora vertical.	50
Figura 46. Centro de mecanizado moderno.	51
Figura 47. Factores de selección para un proceso de mecanizado.	53
Figura 48. Fresa con enmallado isométrico.	58
Figura 49. Discretización.	64
Figura 50. Modelo de los elementos finitos.	65
Figura 51. Relación existente entre diferentes tabla de una base de datos .	69
Figura 52. Enlaces de flujo de información en el diseño de fresas.	78
Figura 53. Diseño de entradas de selección.	82
Figura 54. Diseño de entradas diseño.	82
Figura 55. Diseño de salidas selección.	83
Figura 56. Diseño de salidas diseño.	83
Figura 57. Tipos de relaciones entre las diferentes entidades de fresas.	85
Figura 58. Ventana diseñada como interfaz usuario.	87
Figura 59. Diagrama de flujo de programación.	89
Figura 60. Diagrama de flujo de programación modulo teoría.	90
Figura 61. Diagrama de flujo de programación modulo selección-diseño.	90
Figura 62. Elementos básicos de la programación orientada a objetos.	92
Figura 63. Fases en el proceso de programación.	95
Figura 64. Ejemplo de comentarios en el código disfresas .	98
Figura 65. Apartes del código disfresas.	98
Figura 66. Relaciones entre las diferentes tablas de la base de datos.	100
Figura 67. Diseño de reportes Selección.	114
Figura 68. Diseño de reportes Diseño	114
Figura 69. Plataforma de Visual Basic.	115
Figura 70. Pantalla inicial de instalación.	117
Figura 71. Ventana agregar o quitar programas.	118
Figura 72. Ejecutar disfresas.	119
Figura 73. Ventana de selección del modulo.	119
Figura 74. Menu principal de la página web.	120
Figura 75. Página principal del modulo selección.	121
Figura 76. Página principal del modulo diseño.	121
Figura 77. Página principal del modulo de Mantenimiento.	122
Figura 78. Manuales pdf para manejo de Solid Edge y Workbench.	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades de corte y avances con fresas de acero rápido.	9
Tabla 2. Presión específica de corte para operaciones de fresado.	17
Tabla 3. Valores de potencia unitaria en HP y energía específica.	25
Tabla 4. Valores típicos de dureza y resistencia a la ruptura transversal.	35
Tabla 5. Composición química de diferentes fluidos de corte.	40
Tabla 6. Operaciones de fresado.	84
Tabla 7. Familias de fresa de ranurado.	89

RESUMEN

TITULO:

SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y MODELAMIENTO GRAFICO DE HERRAMIENTAS DE FRESADO UTILIZADAS EN EL MAQUINADO DE PIEZAS – DISFRESAS -*

AUTORES:

CRISTIAN HERNÁN CALDERÓN ARDILA
OSCAR FERNANDO RINCÓN HERREÑO**

PALABRAS CLAVES:

Proceso de fresado
Diseño y selección de fresas para mecanizado
Modelamiento gráfico de herramientas de fresado
Fuerzas de corte

DESCRIPCIÓN:

El software para el diseño y selección de herramientas de fresado para el mecanizado de piezas DISFRESAS, selecciona, diseña, evalúa, almacena, consulta y manipula los datos necesarios de las herramientas de corte usadas para las principales operaciones de fresado de piezas ofreciendo un sistema de información para la empresa metalmecánica de manera eficiente, ágil y ordenada.

Se obtuvo un software dividido estructuralmente en tres módulos: el primer módulo muestra la teoría de fresado, donde agrupa generalidades en el proceso de mecanizado, fluidos de corte, posibles fallas en la herramienta y propiedades de las mismas; el segundo módulo de selección de la herramienta donde se analiza y se obtiene la fresa adecuada con sus principales características para realizar determinada operación de mecanizado teniendo en cuenta los parámetros de corte, y el módulo de diseño donde se define la geometría de la herramienta, y adicionalmente se analizan las fuerzas que actúan sobre la fresa durante el proceso de corte.

DISFRESAS está diseñado como una herramienta de consulta utilizada para entregar al usuario los datos principales de la herramienta que necesite, para una operación definida de fresado, aplicada a un determinado material, obteniendo además las principales características del proceso de corte como son: la velocidad de avance, la velocidad de corte, la potencia necesaria para realizar la operación y las fuerzas que soporta la fresa.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas; Escuela de Ingeniería Mecánica; Ing. Isnardo González Jaimes.

SUMMARY

TITLE:

SOFTWARE FOR GRAPHIC DESIGNING AND MODELING OF THE MILLING TOOLS USED IN THE MECHANIZATION OF PIECES-DISFRESAS*

AUTHORS:

CRISTIAN HERNÁN CALDERÓN ARDILA
OSCAR FERNANDO RINCÓN HERREÑO**

KEY WORDS:

Milling process
Design and selection of mechanizing mills
Graphic modeling of mill tools
Cutting forces

DESCRIPTION:

The Software for designing and selecting milling tools- DISFRESAS- select, design, evaluate, store, consult, and handle with the data used for tool cutting in the main tool milling operations. It also provides an effective, fast, and organized information system for metalmechanical industries.

The resulting Software was divided, structurally, into three different modules: The first module, show the milling theory related to the mechanization process in general, the cutting flows, and the possibles failings in tools and properties of them. The second module, provides a selection of tools in which it is analized and reached the right mill with its main characteristics for specific mechanizing operation taking into account the cutting parameters. The third one, is the designing module in which it is defined the geometry of the tool. Besides this, it is analized the forces involve in the cutting process.

DISFRESAS- is designed as a consulting tool to inform the main data of the tools needed for users in specific milling operations, applied in specific material. It was reached the main characteristics of the cutting process like the progress speed, the cutting speed, the power used in the operation, and the forces supported for the mill.

* Degree Project.

** Physical-mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Isnardo González Jaimes.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación concibe un software para lograr la selección y diseño efectiva de herramientas de fresado, basándose en las especificaciones y recomendaciones de las casas fabricantes y especialistas en el área de los mecanismos y técnicas empleadas en la selección y diseño en las operaciones básicas de fresado.

Con la implementación de este sistema de selección y diseño, se da cumplimiento a un requisito de la Universidad Industrial de Santander para optar al título de Ingeniero de Mecánico.

El Sistema de Selección y Diseño de herramientas de fresado utilizadas en el maquinado de piezas ha sido desarrollado con el fin de ayudar al usuario, mediante un proceso de inducción (Teoría) a la conveniente y rápida selección de la herramienta de fresado y herramientas de diseño e ingeniería para el diseño de la fresa para su operación básica de fresado.

El sistema de selección y diseño ataca el problema de la obtención de la herramienta de fresado adecuada para cierto proceso instruyendo en primer lugar al usuario en una gran cantidad de factores y temas de vital importancia en el proceso de selección, como son las máquinas herramientas, sus características, mecanizados típicos de cada una, continuando luego con una exposición mas detallada de cada tipo de herramienta de fresado para los procesos básicos, así como su codificación y ubicación en el mercado; posteriormente realiza una clasificación general de la gran variedad de tales herramientas de fresado, exponiendo especificaciones técnicas y funcionales para proseguir así a la última etapa, la de diseño.

De este modo “DISFRESAS” da soporte y fundamento en la toma de decisiones a la hora de la selección o diseño de la herramienta de fresado, generando reportes una vez seleccionado o diseñado, entregando sus características principales, especificaciones técnicas y datos de montaje y en algunos casos, planos y fotos para su mejor visualización y reconocimiento.

En la documentación del proyecto se recopilan los principales criterios de selección para cada operación de fresado, la codificación e identificación de los diferentes fresas e insertos, la compatibilidad y estandarización de los mismos y las casas de fabricantes mas importantes existentes en el mercado actualmente.

1. TEORIA DEL FRESADO DE METALES

1.1 PANORAMA GENERAL DE LA TECNOLOGIA DEL FRESADO

El fresado es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes. El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance. La orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance es la característica que distingue el fresado del taladrado, como se puede observar en la figura 1¹.

Figura 1. Proceso de fresado.



La herramienta de corte en fresado se llama fresa y los bordes cortantes se llaman dientes, la máquina herramienta que ejecuta tradicionalmente esta operación es una fresadora o centro de mecanizado.

¹ GROOVER, Mikell. Fundamentos de manufactura moderna. México: 2002. p 611.

La forma geométrica creada por el fresado es una superficie plana, se pueden crear otras formas mediante trayectoria de la herramienta de corte o la forma de dicha herramienta. Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción el fresado es una de las operaciones más versátiles y ampliamente usadas. El fresado es una operación de corte interrumpido; los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución, esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico en cada rotación, el material de la herramienta y la geometría del cortador deben diseñarse para soportar estas condiciones.

El fresado es uno de los procesos más importantes dentro del maquinado de metales. La Revolución Industrial y el crecimiento de las economías basadas en la manufactura de todo el mundo se pueden describir en gran parte por el desarrollo de varias operaciones de maquinado siendo el fresado una de las más importantes.

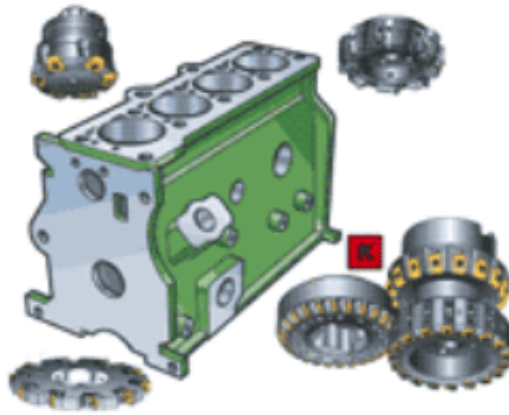
Las siguientes razones explican la importancia de las operaciones del fresado desde el punto de vista comercial y tecnológico:

- El fresado se puede aplicar a una amplia variedad de materiales de trabajo, prácticamente todos los metales sólidos se pueden maquinar. Los plásticos y los compuestos plásticos se pueden cortar también por fresado.
- El fresado se puede usar para generar cualquier forma geométrica regular como superficies planas, agujeros, ranuras etc. Combinando varias operaciones de fresado en secuencia se pueden producir formas de complejidad y variedad ilimitada.
- El fresado puede producir dimensiones con tolerancias muy estrechas de menos 0.0001 pul (0.025 mm).
- El fresado es capaz de crear acabados superficiales muy tersos que pueden llegar a ser mejores que 16μ pul.

Debido a sus características, el fresado se realiza generalmente después de otros procesos de manufactura como fundición o deformación volumétrica.

En la figura 2 se pueden observar aplicaciones importantes del fresado.

Figura 2. Aplicaciones del proceso de fresado.



1.1.1 La herramienta de corte. Una herramienta de corte tiene uno o más filos cortantes. El filo cortante sirve para separar una viruta del material de trabajo como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Fresa helicoidal con bordes cortantes múltiples



Ligadas al filo cortante hay dos superficies de la herramienta; la superficie de ataque y el flanco o superficie de incidencia. La superficie de ataque que dirige el flujo de la viruta resultante se orienta en cierto ángulo, llamado ángulo de desprendimiento. El flanco de la herramienta provee un claro entre

la herramienta y la superficie del trabajo recién generada de esta forma protege a la superficie de la abrasión que pudiera degradar el acabado. Esta superficie del flanco o de incidencia se orienta en un ángulo llamado ángulo de incidencia. La figura 4 muestra la geometría y los ángulos principales de las fresas.

Figura 4. Ángulos principales de las fresas.



Es muy importante el diseño de la herramienta debido al ruido ambiente en el que opera. Debe tener la geometría apropiada para cortar efectivamente el material y debe hacerse de un material que sea más duro que el material de trabajo.

En el fresado las herramientas son de múltiples filos cortantes y tienen más de un borde de corte y generalmente realizan su movimiento con respecto a la parte de trabajo mediante rotación, existiendo una gran variedad en estas herramientas y sus geometrías.

1.1.2 Condiciones de corte. Para realizar una operación de fresado se requiere el movimiento relativo de la herramienta y el trabajo. El movimiento primario se realiza a una cierta velocidad de corte, la herramienta debe moverse lateralmente a través del trabajo. Este es un movimiento mucho más lento, llamado el avance. La dimensión restante del corte es la penetración de la herramienta de corte dentro de la superficie original del trabajo, llamada profundidad de corte. Al conjunto de velocidad n , avance v_f y profundidad de corte a_p se le llama condiciones de corte como se observa en la

figura 5 y al conjunto ancho de corte a_e y profundidad de corte a_p se le llama condiciones geométricas de la pieza como se observa en la figura 6.

Figura 5. Condiciones de corte en una operación de fresado.

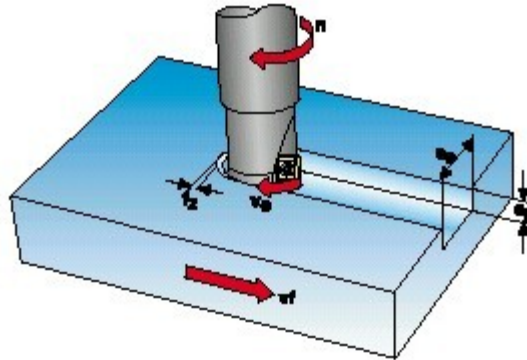
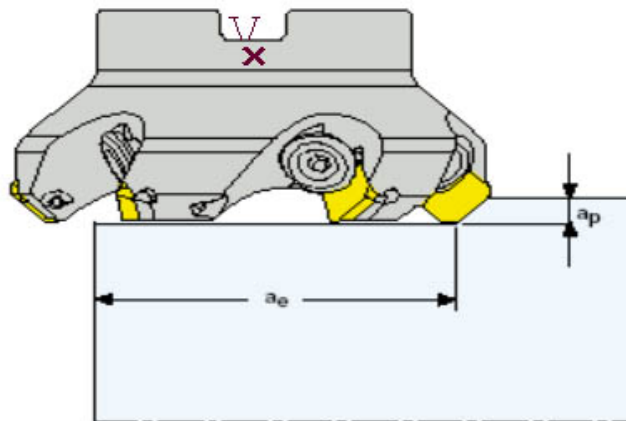


Figura 6. Condiciones geométricas de la pieza.



Las operaciones de fresado se dividen normalmente en categorías, distinguidas por el propósito y las condiciones de corte; cortes para desbaste primario y cortes de acabado. Los cortes para desbaste primario se usan para remover grandes cantidades de material de la parte de trabajo inicial tan rápido como sea posible a fin de producir una forma cercana a la requerida, como se observa en la figura 7 pero dejando algún material en la pieza para una operación posterior de acabado.

Figura 7. Operación de desbaste.

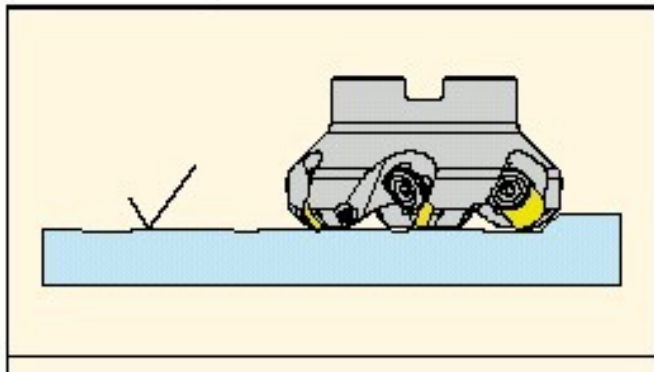


Los cortes de acabado se usan para completar la parte y alcanzar las partes finales, las tolerancias y el acabado de la superficie. En la figura 8 observamos todos los parámetros de los que depende la rugosidad superficial y en la figura 9 un mal acabado superficial.

Figura 8. Factores de los que depende la rugosidad superficial.



Figura 9. Mal acabado superficial.



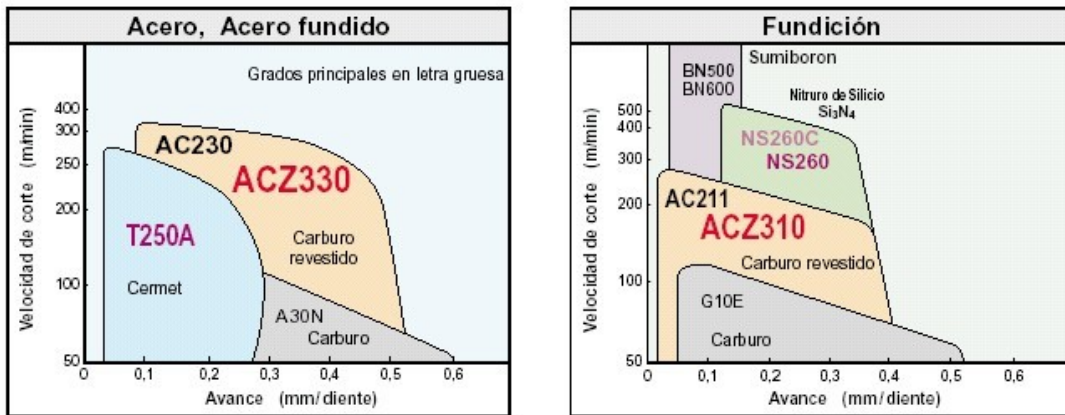
En los trabajos de fresado para producción se realizan uno o más cortes para desbaste, seguidos de uno o más cortes de acabado. Las operaciones para desbaste se realizan a altas velocidades y profundidades y las operaciones de acabado se realizan a bajas velocidades de avance y a bajas profundidades. Las velocidades de corte son más bajas en el trabajo de desbaste que en el de acabado.

En la tabla 1 y figura 10 se recomiendan velocidades de corte y avances para fresado con fresas de acero rápido.

Tabla 1. Velocidades de corte y avances con fresas de acero rápido

Material	Velocidad de corte (m/min)		Velocidad de avance (mm/min)
	Desbaste	Acabado	
Cobre – aluminio	60-80	80-100	80-120
Bronce	25-28	35-40	80
Acero dulce	16-20	25-30	60
Acero semiduro	12-16	18-22	30
Acero duro	10-15	16-18	25
Acero muy duro	8-12	13-15	20
Fundición gris	12-15	18-20	45

Figura 10. Parámetros de corte para diferentes materiales



Fuente: <http://www.metalunivers.com>

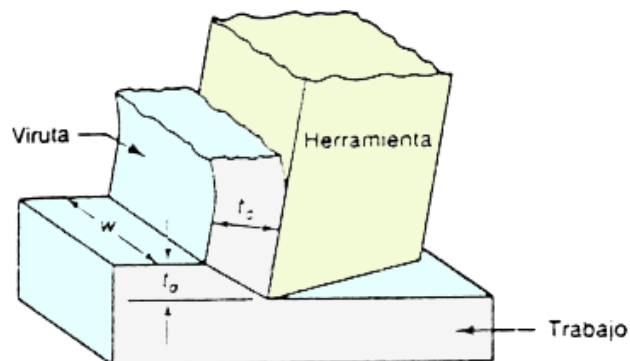
En el proceso de fresado la herramienta gira a determinada velocidad, el trabajo avanza en dirección perpendicular al eje de la herramienta y la profundidad de corte es la penetración de la herramienta debajo de la superficie original.

Para enfriar o lubricar la herramienta de corte se aplica frecuentemente un fluido de corte en la operación de fresado, además de la velocidad, avance y profundidad de corte. La determinación de usar o no un fluido de corte y en caso afirmativo, la elección del fluido apropiado se incluyen generalmente dentro del panorama de las condiciones de corte. La selección de estas condiciones, junto con el material de trabajo y las herramientas determina el éxito de una operación de fresado.

1.2 MECANICA DEL CORTE EN EL FRESADO DE METALES

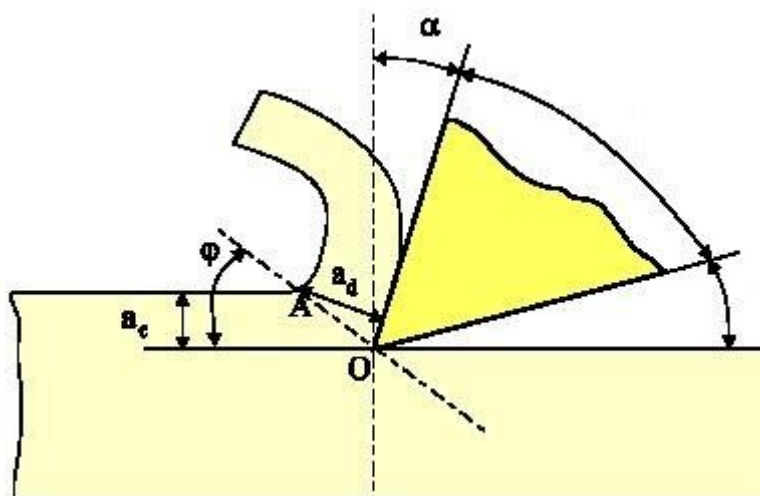
1.2.1 Formación de viruta. La geometría de la mayoría de las operaciones de fresado práctico son algo complejas. Se dispone de un modelo simplificado del fresado que desprecia muchas de las complejidades geométricas y describe la mecánica de los procesos con buena precisión, se llama modelo de corte ortogonal como se puede ilustrar en la figura 11.

Figura 11. Proceso tridimensional de formación de viruta.



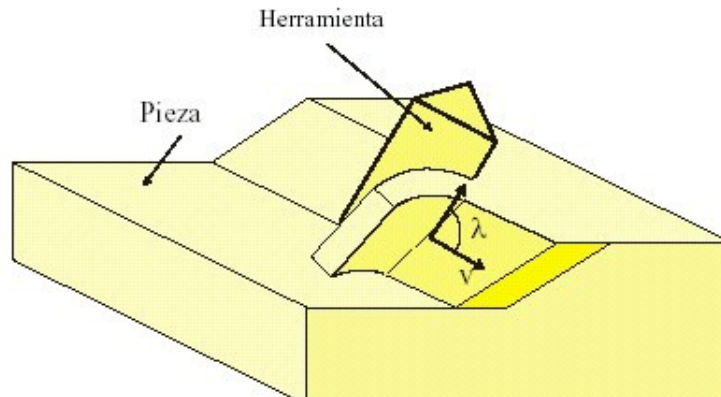
Aun cuando un proceso real de fresado es tridimensional el modelo de corte ortogonal tiene solamente dos dimensiones que juegan un papel activo en el análisis, en la figura 12 observamos los ángulos a tener en cuenta en el proceso de formación de la viruta.

Figura 12. Sección normal a la arista de corte.



El corte ortogonal usa por definición una herramienta en forma de cuña, en la cual el borde cortante es perpendicular a la dirección de la velocidad de corte como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Esquema del proceso de mecanizado



Al presionar la herramienta contra el material se forma una viruta por deformación cortante a lo largo de un plano llamado plano de corte. Solamente el afilado borde de corte de la herramienta hace que ocurra la falla del material, como resultado, la viruta se separa del material original. El material se deforma plásticamente a lo largo del plano de corte, por consiguiente durante el fresado se realiza el grueso del trabajo de corte.

La herramienta para corte ortogonal tiene solamente dos elementos geométricos, el ángulo de ataque y el ángulo de incidencia.

Durante el corte, el borde cortante de la herramienta se coloca a cierta distancia por debajo de la superficie original del trabajo. Esta corresponde al espesor de la viruta antes de su deformación t_0 , al formarse la viruta a lo largo del plano de corte incrementa su espesor a t_c .

La relación de t_0 a t_c se llama relación del grueso de la viruta o relación de viruta r .

$$r = t_0 / t_c \quad \text{Ecuación 1}$$

Como el espesor de la viruta después del corte siempre es mayor que el espesor correspondiente antes del corte, la relación de viruta siempre será menor a 1.0

Además de t_0 , el corte ortogonal tiene una dimensión de anchura de w , como se muestra en la figura 9, aun cuando esta dimensión no contribuye mucho al análisis en el corte ortogonal.

La geometría del modelo de corte ortogonal permite establecer una relación importante entre el espesor de la viruta, el ángulo de ataque α y el ángulo de plano de corte ϕ y la longitud del plano de corte l_s .

$$r = l_s \sin \phi / l_s \cos(\phi - \alpha) \quad \text{Ecuación 2}$$

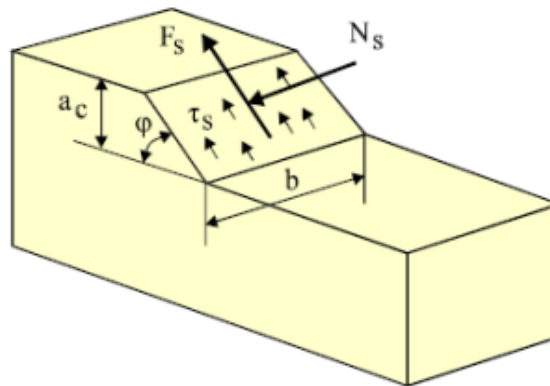
Con un arreglo matemático ϕ puede determinarse de la siguiente manera

$$\tan \phi = r \cos \alpha / (1 - r \sin \alpha) \quad \text{Ecuación 3}$$

La deformación cortante que ocurre a lo largo del plano de corte puede estimarse al examinar la figura 14 donde se muestra la deformación cortante aproximada, en la que una serie placas paralelas se deslizan una contra otra para formar la viruta y de acuerdo con la definición de deformación cortante, cada placa experimenta la deformación cortante, la cual puede reducirse a la siguiente definición de deformación cortante para corte de metales:

$$\gamma = \tan(\phi - \alpha) + \cot \phi \quad \text{Ecuación 4}$$

Figura 14. Deformación cortante durante la formación de viruta.



Se debe observar que hay diferencias entre el modelo de corte ortogonal y el proceso de fresado real. En primer lugar el proceso de deformación cortante no ocurre sobre un plano. Si el corte tuviera lugar a través de un plano, ello implicaría que la acción de corte debería ocurrir instantáneamente al pasar a través del plano, en lugar de hacerlo en un periodo de tiempo finito. Para el material que se comporta en forma real, la deformación cortante debe ocurrir dentro de una zona delgada de corte, más que en un plano de espesor cero,

este es modelo más realista del proceso de deformación al corte en fresado y se ilustra en la figura 15.

Figura 15. Visión realista de la formación de viruta.



En segundo lugar, además de la deformación al corte que ocurre en la zona de corte, ocurre otra acción de corte en la viruta después de haber sido formada, se refiere al corte adicional como corte secundario para distinguirlo del corte primario. El corte secundario resulta de la fricción entre la viruta y la herramienta al deslizarse a lo largo de la cara inclinada de la herramienta.

En tercer lugar, la formación de la viruta depende del tipo de material que se maquina y de las condiciones de corte de la operación, se pueden distinguir tres tipos básicos de viruta como ilustra la figura 16

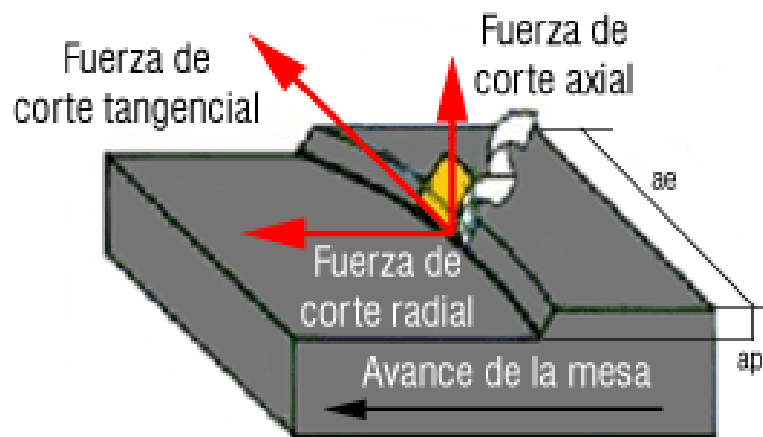
Figura 16. Tipos de formación de viruta en el corte de metales



- **Viruta discontinua:** Cuando se fresan materiales relativamente frágiles a bajas velocidades de corte, la viruta se forma frecuentemente en segmentos separados.
- **Viruta continua:** Cuando se cortan materiales de trabajo dúctiles a velocidades altas con avances y profundidades pequeños se forman virutas largas y continuas.
- **Viruta continua con acumulación de borde:** Cuando se fresan materiales dúctiles a velocidades bajas o medias, la fricción entre la herramienta y la viruta tiende a causar la adhesión de porciones de material de trabajo en la cara inclinada de la herramienta.

1.2.2 Calculo de las Fuerzas de Corte. La determinación de la fuerza de corte en el mecanizado permite conocer, no sólo las sollicitaciones dinámicas a las que se ve sometida la herramienta o la pieza, sino también el valor de la potencia requerida para poder efectuar el proceso. La mayor parte de dicha potencia se consume en la eliminación del material de la pieza, de ahí que la componente de la fuerza que reviste una mayor importancia desde este punto de vista es aquella que tiene la misma dirección que la velocidad resultante del corte, como se indica en la figura 17².

Figura 17. Fuerzas de corte en el proceso de fresado.



² R MARTÍN, P. Rodríguez de Francisco, A. Sanz Lobera, I. Gonzalez Requera. Sistemas de producción, Mecanizado. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros, 2002. p 23.

A esta componente es a la que normalmente se denomina fuerza de corte y es el objeto de cálculo de los métodos que a continuación se expone.

Existen fundamentalmente dos grupos de métodos para determinar los valores de la fuerza de corte en el mecanizado. El primero de los grupos se basa en una determinación empírica de la misma mediante la realización de un cierto número de ensayos en diferentes condiciones de trabajo y la extrapolación de los resultados obtenidos a expresiones matemáticas de mayor o menor complejidad acorde con el modelo elegido. El segundo grupo se basa en la obtención de fórmulas basadas en los modelos tradicionales de estudio del proceso de corte como son el modelo de corte oblicuo y su versión más simplificada de corte ortogonal.

- **Método de la presión de corte:** Este método es de los denominados empíricos. Establece que la fuerza de corte es directamente proporcional a la sección de viruta indeformada con una constante de proporcionalidad denominada presión de corte.

$$F_C = K_s A_C \quad \text{Ecuación 5}$$

La presión de corte depende de numerosos factores, entre los cuales cabe mencionar; material de la pieza y de la herramienta, geometría de la herramienta y de la pieza, sección de viruta, velocidad de corte, lubricación, desgaste de la herramienta.

Al ser tan numerosos, y en algunos casos tan difícilmente cuantificables los factores que influyen en el valor de K_s , el único método fiable para su determinación es la medición directa sobre el proceso de mecanizado concreto en las condiciones específicas en las que éste se realiza. En la práctica, dado que este proceder resulta poco viable, se recurre a la utilización de tablas que recogen las variaciones de K_s en función de una serie de variables dependientes de los factores anteriormente mencionados.

Un primer método empírico para la determinación de la presión de corte establece que K_s puede obtenerse a partir de constantes que dependen de los materiales de la pieza y herramienta y puede encontrarse en forma de tablas, como se observa en la tabla 2. Este método, aunque sencillo en su aplicación, no suele proporcionar valores fiables, por lo que su aplicación queda reducida para obtener una primera aproximación del valor de K_s .

Un segundo método, también sencillo, aunque algo más completo, se basa en correlacionar el valor de K_s con el espesor de la viruta indeformada.

Tabla 2. Presión específica de corte para fresado.

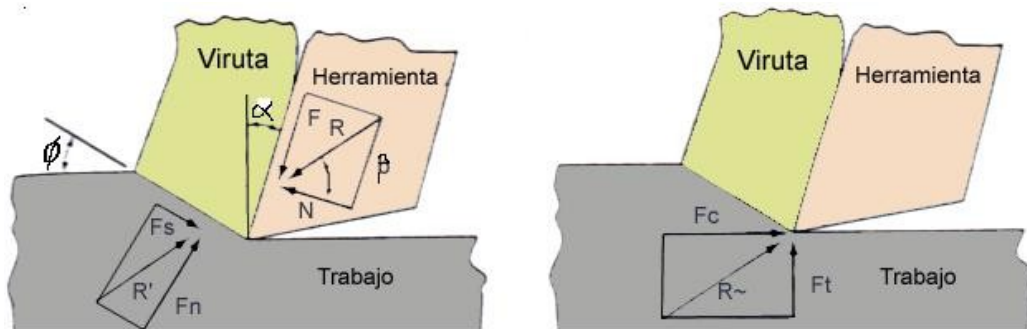
Material	Presión de corte (kg/mm^2)
Acero dulce	170-125
Acero semiduro	210-155
Acero duro	300-232
Fundición gris dura	125
Fundición gris blanda	8
Laton y bronces	80
Aluminio y aleaciones	50
Magnesio	32

Teniendo en cuenta todo lo dicho, este procedimiento de cálculo se debe considerar solamente estimativo. Pese a ello los valores obtenidos sirven como una primera aproximación que permite establecer el orden de magnitud de las condiciones de corte.

- **Método de corte ortogonal:** Se pueden definir varias fuerzas con respecto al modelo de corte ortogonal y con base en estas fuerzas se pueden definir el esfuerzo cortante, el coeficiente de fricción y algunas otras relaciones.

En la figura 18 se puede ilustrar las fuerzas que actúan en la viruta durante el corte ortogonal. Las fuerzas que la herramienta aplica contra la viruta se pueden separar en dos componentes mutuamente perpendiculares.

Figura 18. Fuerzas por el método de corte ortogonal.



- Fuerza de fricción F : Es fuerza de fricción entre la herramienta y la viruta que resiste el flujo de la viruta a lo largo de la cara inclinada de la herramienta.
- Fuerza normal a la fricción N : Es la fuerza perpendicular a la fuerza de fricción. Los dos componentes se pueden usar para definir el coeficiente de fricción μ entre la herramienta y la viruta.

La fuerza de fricción y su fuerza normal se pueden sumar vectorialmente para formar una fuerza resultante R , la cual se orienta en un ángulo β , llamado ángulo de fricción. El ángulo de fricción se relaciona con el coeficiente de fricción de la siguiente manera:

$$\mu = \tan \beta \quad \text{Ecuación 6}$$

Además de las fuerzas de la herramienta que actúan sobre la viruta, el trabajo impone dos componentes de fuerza a la viruta:

- Fuerza cortante F_s : Es la fuerza que causa la deformación de corte que ocurre en el plano de corte.

- Fuerza normal a la cortante F_n : Es la fuerza normal a la fuerza cortante.

Con base en la fuerza de corte se puede definir el esfuerzo cortante que actúa a lo largo del plano de corte entre el trabajo y la viruta:

$$\tau = F_s/A_s \quad \text{Ecuación 7}$$

donde A_s es el área del plano de corte y ésta se puede calcular como:

$$A_s = t_o \omega / \sin \phi \quad \text{Ecuación 8}$$

El esfuerzo cortante determinado representa el nivel de esfuerzo requerido para realizar las operaciones de fresado.

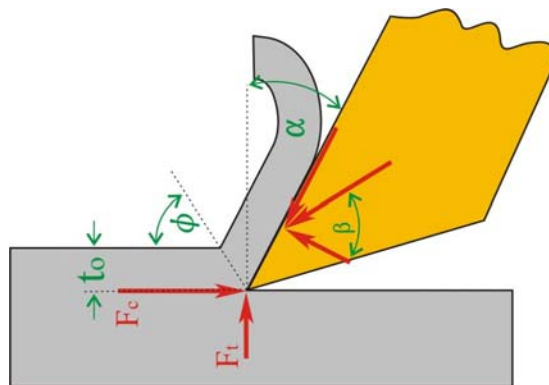
Ninguna de las cuatro fuerzas componentes F , N , F_s y F_n pueden medirse directamente en una operación de fresado. Sin embargo, es posible instrumentar en la herramienta de corte un dispositivo medidor de fuerzas llamado dinamómetro, de manera que se puedan medir directamente dos fuerzas componentes adicionales. Estos dos componentes actúan sobre la herramienta:

Fuerza de corte tangencial F_c : Es la fuerza que va en dirección del corte, la misma dirección de la velocidad de corte v .

Fuerza de corte radial F_t : Es la fuerza que va en dirección de t_o , es perpendicular a la fuerza de corte.

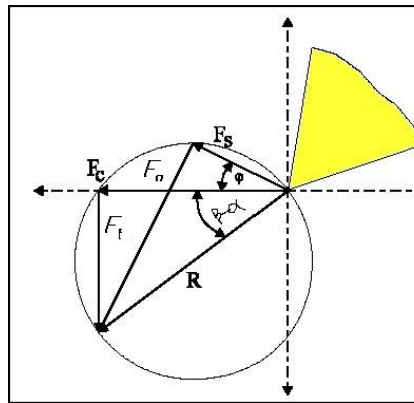
En la figura 19 observamos las fuerzas de corte tangencial y radial con sus direcciones respectivas.

Figura 19. Fuerzas de corte tangencial y radial.



Tomando como base las fuerzas que pueden calcularse, es posible derivar las ecuaciones para relacionar los cuatro componentes de la fuerza que no pueden medirse. Usando el diagrama de fuerzas de la figura 20 se pueden definir las siguientes relaciones trigonométricas:

Figura 20. Diagrama de fuerzas



Recordando que la fuerza de corte $F_s = SA_s$; donde S es la resistencia al corte del material. Entonces el diagrama de fuerzas se puede usar para derivar las siguientes ecuaciones:

$$F_c = F_s \cos(\beta - \alpha) / \cos(\phi + \beta - \alpha) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$F_t = F_s \sin(\beta - \alpha) / \cos(\phi + \beta - \alpha)$$

Estas ecuaciones permiten estimar la fuerza de corte tangencial y la fuerza radial en una operación de corte ortogonal, si se conoce la resistencia al corte del material de trabajo.

Una relación importante en el corte de metal fue derivada por Eugene Merchant. La derivación está basada en la suposición de corte ortogonal, pero su validez se extiende a operaciones en tres dimensiones. Merchant empezó con la definición de esfuerzo cortante, expresado mediante la siguiente relación derivada de la ecuación de esfuerzo cortante y fuerza cortante.

$$\tau = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi / (t_0 \omega / \sin \phi) \quad \text{Ecuación 10}$$

Pensó que entre los ángulos posibles que emanan del borde cortante de la herramienta donde pueden ocurrir la deformación de corte, hay un ángulo ϕ que predomina. En este ángulo, el esfuerzo cortante es justamente igual a la resistencia al corte del material de trabajo, y por esta causa la deformación cortante ocurre a este ángulo. El esfuerzo cortante es menor que la resistencia al corte para todos los demás ángulos posibles, por tanto la deformación de viruta no puede ocurrir a otros ángulos.

Dicho ángulo se puede determinar tomando la derivada del esfuerzo cortante τ con respecto a ϕ , e igualando la derivada a cero, resolviendo para ϕ se obtuvo la relación llamada ecuación de Merchant:

$$\phi = 45 + 0.5\alpha - 0.5\beta \quad \text{Ecuación 11}$$

Una de las suposiciones en que se basa la ecuación de Merchant es que la resistencia al corte del material de trabajo a la que no le afecta la velocidad de deformación, la temperatura y otros factores. Dado que estas suposiciones no corresponden a las operaciones prácticas de fresado debe considerarse más como una relación aproximada entre sus términos que un enunciado matemático preciso.

Si todos los otros factores permanecen constantes, un mayor ángulo del plano de corte significa una menor área de corte. Como la resistencia al corte se aplica a través de esta área, la fuerza de corte requerida para formar la viruta decrecerá cuando el área del plano de corte disminuya; lo cual facilita la realización del fresado.

1.2.3 Relaciones entre potencia y energía en el fresado. La energía consumida durante el proceso de mecanizado será función de la maquinabilidad del material, la presión específica de corte, conductividad térmica, por un lado y de parámetros de proceso como velocidad de corte, avance, profundidad de corte, etc.

Se estima que de la energía total aplicada en el mecanizado, la energía eficiente o potencia útil no supera el 25% perdiéndose el resto en forma de calor. De la energía no aprovechada, el 50% corresponde a energía calorífica asociada a la viruta, el 15% se asocia a energía calórica absorbida por la pieza y el 10% restante se disipa a través

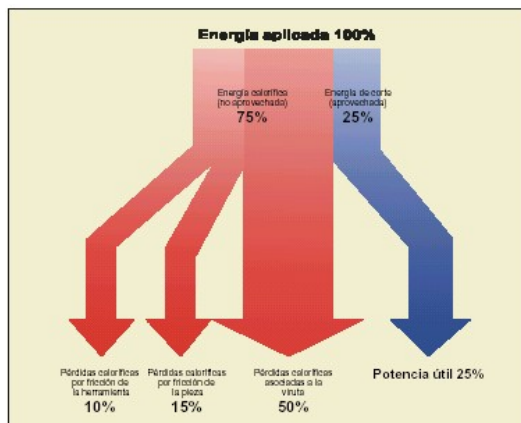
de la herramienta. En la figura 21 observamos la distribución de energía en el proceso de fresado.

Una operación de producción en maquinado requiere potencia. Las fuerzas de corte que se encuentran en la práctica de esta operación pueden ser de varios cientos de libras. Las velocidades típicas de corte son de varios cientos de pies/min o más. El producto de la fuerza cortante y la velocidad dan la potencia requerida para ejecutar la operación de fresado:

$$P = F_c v \quad \text{Ecuación 12}$$

$$hp_c = F_c v / 33000$$

Figura 21. Distribución de la energía aplicada en el proceso de fresado.



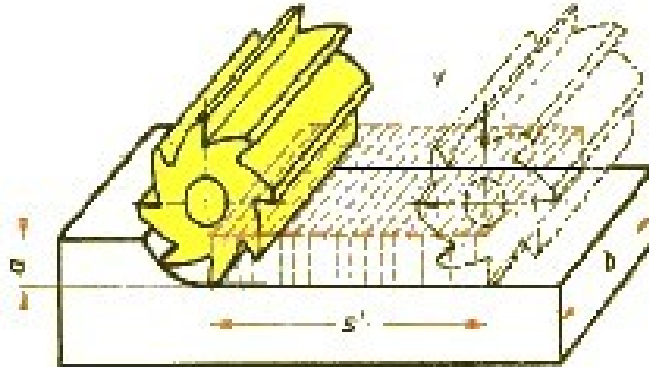
La potencia bruta requerida para operar la máquina herramienta es más grande que la potencia usada en el proceso de corte, debido a las pérdidas mecánicas en el motor y la transmisión de la máquina, estas pérdidas se pueden contabilizar por la eficiencia mecánica de la máquina herramienta.

Muchas veces es útil convertir la potencia en potencia por unidad de volumen de corte del metal. A ésta se llama potencia unitaria hp_u y se define mediante

$$hp_u = hp_c / MRR \quad \text{Ecuación 13}$$

donde MRR es la velocidad de remoción del material pul^3/min y se calcula como el producto de la velocidad de avance s por profundidad de corte a y ancho de corte b como se observa en la figura 22.

Figura 22. Velocidad de remoción del material.



La potencia unitaria se puede expresar simplemente como la potencia unitaria U también conocida como energía específica y se determina por:

$$U = P/MRR = F_c/t_0 \omega \quad \text{Ecuación 14}$$

La potencia unitaria en hp y la energía específica proporcionan una medida útil de la potencia que se requiere para remover una pulgada cúbica de metal durante el fresado. Usando esta medida se pueden comparar los diferentes materiales de trabajo en términos de sus requerimientos de potencia y energía. La tabla 3 presenta una lista de valores de potencia unitaria y energía específica para materiales de trabajo seleccionados.

Tabla 3. Valores de potencia unitaria en hp y energía específica.

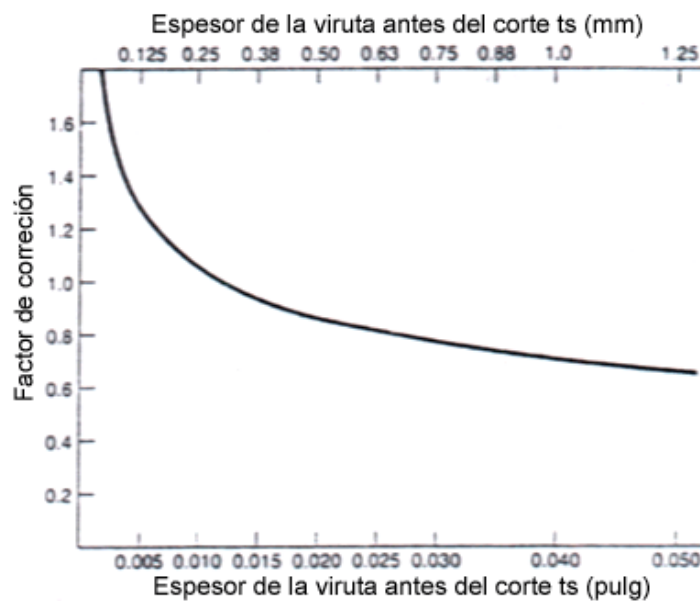
MATERIAL	DUREZA BRINELL	POTENCIA UNITARIA hp_u $hp/(pul^3/min)$	ENERGÍA ESPECIFICA U pul-lb/pul ³	ENERGIA ESPECIFICA U N-m/mm ³
ACERO AL CARBONO	150-200	0.6	240000	1.6
	201-250	0.8	320000	2.2
	251-300	1.0	400000	2.8
ACEROS ALEADOS	200-250	0.8	320000	2.2
	251-300	1.0	400000	2.8
	301-350	1.3	520000	3.6
	351-400	1.6	640000	4.4
HIERROS FUNDIDOS	125-175	0.4	160000	1.1
	175-250	0.6	240000	1.6
A. INOXIDABLE	150-250	1.0	400000	2.8
ALUMINIO	50-100	0.25	100000	0.7
ALEA. DE Al	100-150	0.3	120000	0.8
COBRE		0.7	280000	1.9
LATON	100-150	0.8	320000	2.2
BRONCE	100-150	0.8	320000	2.2
ALEA. DE Mg	50-100	0.15	60000	0.4

Los valores de la tabla 3 se basan en dos suposiciones; primero la herramienta de corte está afilada y segundo el espesor de viruta antes del corte $t_0=0.01$ pulg, si no se satisfacen estas suposiciones se tienen que hacer algunos ajustes.

Para herramientas afiladas el factor es 1.0 y para herramientas casi completamente usadas en operaciones de acabado el factor es 1.1 y para herramientas casi completamente usadas en operaciones de desbaste es 1.25.

El espesor de viruta antes del corte t_0 afecta también los valores de la potencia unitaria y de la energía específica, a esta relación se le llama algunas veces efecto del tamaño. La figura 23 proporciona los valores de este factor de corrección en función de t_0 .

Figura 23. Factor de corrección para la potencia unitaria en hp



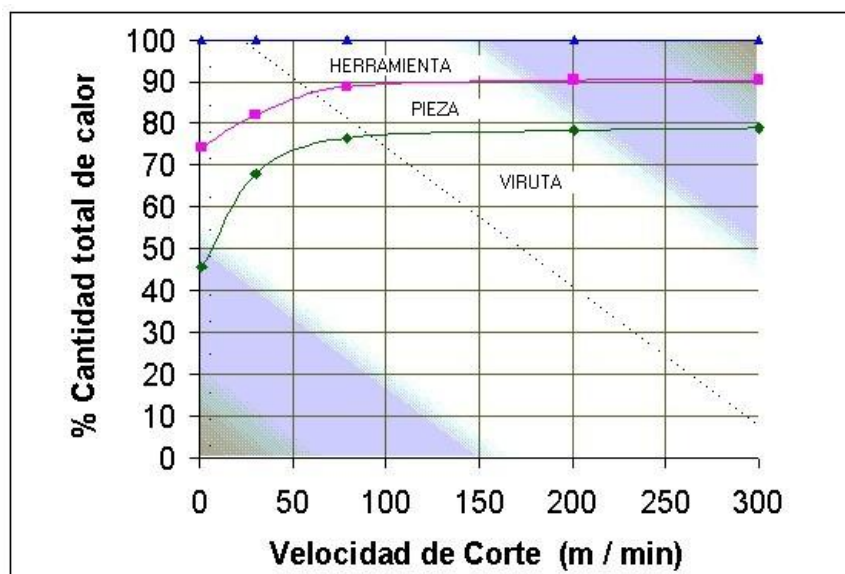
Debe hacerse notar que, además del afilado de la herramienta y el efecto del tamaño, otros factores influyen en los valores de la potencia unitaria y de la energía específica para una operación dada. Estos otros factores son el ángulo de ataque, velocidad de corte y el fluido de corte.

Al aumentar el ángulo de ataque o la velocidad de corte, o al añadir un fluido de corte, los valores de h_{pu} y U se reducen ligeramente.

La distribución de la energía de corte de la herramienta, el trabajo y la viruta varían con la velocidad de corte, como se indica en la figura 24. A velocidades bajas, una porción significativa de la energía total se absorbe en la herramienta, pero a

velocidades más altas (y a niveles de energía más altos) el movimiento rápido de la viruta a través de la superficie de ataque de la herramienta no da oportunidad a que el calor generado en la zona primaria de corte sea conducido a través de la interfase herramienta-viruta hacia la herramienta. Por tanto, la proporción de energía total absorbida por la herramienta se reduce y la mayor parte se la lleva la viruta, esta ayuda a prolongar la vida de la herramienta de corte.

Figura 24. Distribución típica de la energía total de corte



1.2.4 Temperatura de corte. Casi toda la energía que se consume en el maquinado es convertida en calor. Este calor puede hacer que las temperaturas sean muy altas en la interfase herramienta- viruta, la energía restante se retiene como energía elástica en la viruta.

- **Métodos analíticos:** Hay varios métodos analíticos para estimar la temperatura de corte, aquí se describe el método de Cook. Este método se derivó de un análisis dimensional usando datos experimentales para varios materiales de trabajo a fin de establecer los valores de los parámetros de la ecuación resultante. La

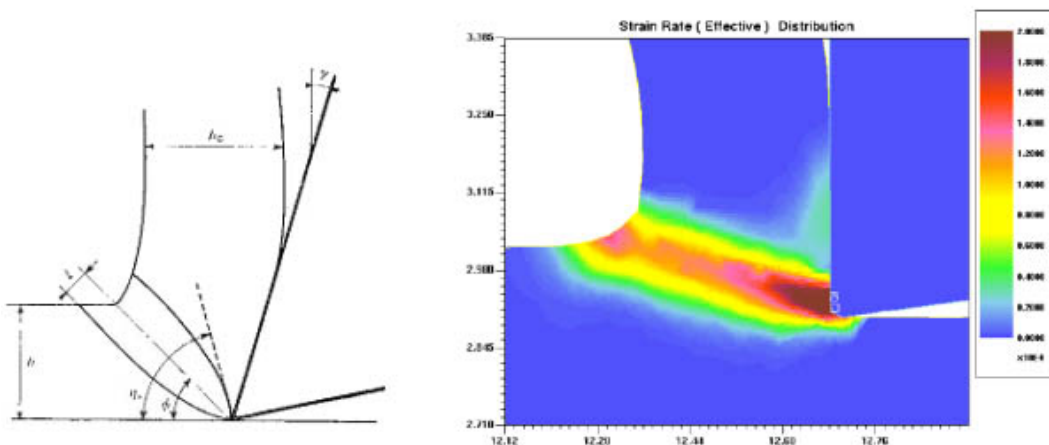
ecuación se puede usar para predecir la elevación de la temperatura en la interfase herramienta-viruta durante el fresado.

$$T = (v t_0/K)^{0.333} 0.4U/\rho C \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde T = aumento de la temperatura media en la interfase herramienta-viruta °F; U = energía específica en la operación pul-lb/pul³; ρC = calor específico volumétrico del material de trabajo pul-lb/pul³°F; K = difusividad térmica del material de trabajo pul²/seg.

- Medición de la temperatura de corte:** Se han desarrollado métodos experimentales para la medición de temperaturas en fresado. Las técnicas de medición más frecuentemente usadas son los termopares herramienta-viruta. Este termopar toma la herramienta y la viruta como dos metales diferentes que forman una junta de termopar, conectando apropiadamente las terminales eléctricas a la herramienta y a la parte de trabajo se puede registrar la diferencia de potencial generada por la interfase herramienta-viruta durante el corte mediante un potenciómetro registrado u otro dispositivo colector de datos apropiado. La diferencia de potencial resultante del termopar herramienta-viruta se puede convertir en calor de temperatura correspondiente mediante ecuaciones de calibración para la combinación particular herramienta-viruta. En la figura 25 se ilustra la medición de temperatura desarrollada en proceso de fresado.

Figura 25. Medición de temperatura de corte en el proceso de fresado.



El termopar herramienta- viruta se ha utilizado por los investigadores para estudiar la relación entre la temperatura y las condiciones de corte como velocidad y avance. Trigger determino la relación entre velocidad y temperatura y obtuvo a siguiente forma general:

$$T = K v^m \qquad \text{Ecuación 16}$$

Donde T = temperatura medida en la interfase herramienta-viruta y v = velocidad de corte, los parámetros K y m dependen de las condiciones de corte y del material de trabajo.

2. TECNOLOGIA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

2.1. FALLAS Y DESGASTE DE LA HERRAMIENTA

Las operaciones fresado se realizan usando herramientas de corte y las altas fuerzas y temperaturas durante el fresado crean un ambiente muy agresivo para la herramienta. Las fuerzas de corte demasiado grandes fracturan la herramienta, si la temperatura de corte se eleva demasiado, el material de la herramienta se ablanda y falla y si ninguna de estas condiciones ocasionan falla de la herramienta, de cualquier manera hay una acción continúa de desgaste de la herramienta de corte que la conduce finalmente a la falla.

La tecnología de las herramientas de corte tiene dos aspectos principales: primero el material de la herramienta y segundo la geometría de la herramienta. La primera se refiere al desarrollo de materiales que puedan soportar las fuerzas, las temperaturas y la acción de desgaste en el proceso de fresado y la segunda se ocupa de optimizar la geometría de la herramienta de corte para el material de la herramienta y para una operación dada.

2.1.1 Falla por fractura. Este modo ocurre cuando la fuerza de corte se hace excesiva en la punta de la herramienta, causando una falla repentina por fractura como se puede observar en la figura 26.

Figura 26. Falla por fractura en el proceso de fresado.



2.1.2 Falla por temperatura. Esta falla ocurre cuando la temperatura de corte es demasiado alta para el material de la herramienta, causando ablandamiento en la punta, deformación plástica y pérdida del filo en el borde como se observa en la figura 27

Figura 27. Falla por temperatura en el proceso de fresado.



2.1.3 Desgaste gradual. El desgaste gradual del borde cortante ocasiona pérdida de la forma de la herramienta, reducción en la eficiencia del corte, desgaste acelerado y falla final de la herramienta.

Las fallas por fractura y temperatura dan como resultado una pérdida prematura de la herramienta de corte. Estas dos formas de falla son por tanto indeseables y de las tres posibles formas de falla es preferible cuando el desgaste es gradual, debido a que éste permite una mayor utilización de la herramienta con la ventaja económica asociada a un uso más prolongado.

La calidad del producto también debe considerarse cuando se intenta controlar las formas de falla de la herramienta. La falla repentina de la punta de la herramienta durante un corte causa frecuentemente daños a la superficie del trabajo, este daño se puede evitar si la selección de las condiciones de corte favorecen el desgaste gradual de la herramienta y evitan la fractura o la falla por temperatura, o si la herramienta se cambia antes de que ocurra una falla catastrófica del borde o del filo cortante.

El desgaste gradual ocurre en dos lugares principales de la herramienta de corte: en la parte superior de la superficie de ataque y en el flanco o superficie de incidencia. Por tanto se pueden distinguir dos tipos principales de desgaste de la herramienta: desgaste en cráter y del flanco como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Desgaste en cráter y desgaste del flanco de una pastilla.



El desgaste en cráter es una sección cóncava de la superficie de ataque de la herramienta, formada por la acción de la viruta que se desliza contra la superficie.

El desgaste del flanco ocurre en el flanco o superficie de incidencia de la herramienta, resulta del rozamiento entre la recién creada superficie de trabajo y la cara del flanco adyacente al borde del corte.

2.1.4 Abrasión. Ésta es una acción de desgaste mecánico debido a que las partículas duras en el material de trabajo rayan y remueven pequeñas porciones de la herramienta como se observa en la figura 29. Esta acción abrasiva ocurre en el desgaste del flanco como en el desgaste en cráter, pero predomina en el desgaste en flanco.

Figura 29. Desgaste por abrasión en el proceso de fresado.






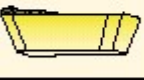

2.1.5 Adhesión. Cuando dos metales entran en contacto a alta presión y temperatura. Esta condición está presente entre la viruta y la superficie de ataque de la herramienta, a medida que la viruta fluye a través de la herramienta, se rompen pequeñas partículas de la herramienta y se separan de la superficie provocando el desgaste de la superficie.

- **Difusión:** Es un intercambio de átomos a través de un límite de contacto entre dos materiales. En el caso del desgaste de la herramienta, la difusión ocurre en el límite herramienta-viruta y ocasiona que la superficie de la herramienta queda agotada por los átomos que le imparten su dureza.
- **Deformación plástica:** Las fuerzas de corte que actúan en el borde de corte a altas temperaturas hacen que éste se deforme plásticamente haciéndolo más vulnerable a la abrasión de la superficie de la herramienta. La deformación plástica contribuye principalmente al desgaste del flanco.

La mayoría de estos mecanismos de desgaste se aceleran a velocidades de corte y temperaturas más altas.

En la figura 30 se ilustran una serie de tipos de fallas y desgaste con su respectiva solución.

Figura 30. Solución de problemas para vida de la herramienta

<p>Rápido desgaste flanco</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la velocidad de corte. • Aumentar el avance. • Fresar en avallán (a la contra). 	<p>Grietas en el filo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la velocidad de corte. • Reducir el avance. • No usar refrigerante. • Cambiar la posición de la tresa.
<p>Rápido desgaste por muela</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la velocidad de corte. • Aumentar el avance. • Aumentar la profundidad de corte. • Fresar en avallán (a la contra). • Cambiar la posición de la tresa. 	<p>Recrecimiento del filo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la velocidad de corte. • Aumentar el avance. • No usar refrigerante. • Fresar en avallán (a la contra). • Cambiar la posición de la tresa.
<p>Astillado</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la velocidad de corte. • Reducir el avance. • Fresar convencional (a favor). • Mejorar la evacuación de la viruta. • Cambiar la posición de la tresa. • Minimizar el voladizo de la herramienta. • Mejorar la estabilidad. 		

2.2 MATERIALES PARA HERRAMIENTAS

2.2.1 Propiedades de materiales para herramientas. Se pueden usar los tres modos de falla de la herramienta para identificar algunas de las propiedades importantes que deben poseer los materiales para herramientas:

- **Tenacidad:** Para evitar las fallas por fractura, el material de la herramienta debe tener alta tenacidad. La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material, se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad del material.
- **Dureza en caliente:** La dureza en caliente es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas, ésta es necesaria debido al ambiente de altas temperaturas en que opera la herramienta, en la figura 32 y tabla 4 se observa valores de HR para diferentes tipos de materiales.
- **Resistencia al desgaste:** La dureza es la propiedad más importante que se necesita para resistir el desgaste abrasivo. Todos los materiales para herramientas de corte deben ser duros, sin embargo la resistencia al desgaste en el corte de metales no solamente depende de la dureza de la herramienta sino también de otros mecanismos de desgaste. El acabado superficial de la herramienta, la composición química de la

herramienta y de los materiales de trabajo y el uso de un fluido para corte son otras características que afectan la resistencia al desgaste.

Figuras 31. Valores de HR_C para diferentes materiales.

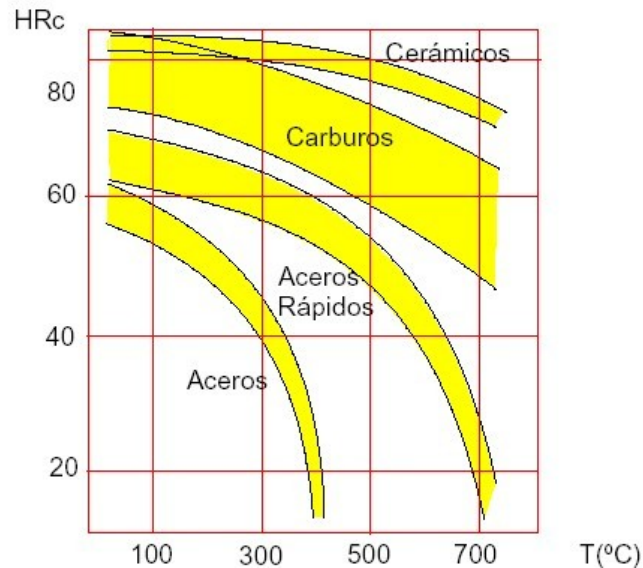
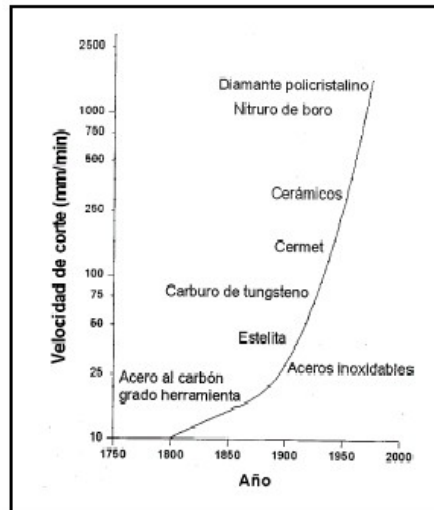


Tabla 4. Valores típicos de dureza y resistencia a la ruptura transversal a temperatura ambiente para diferentes materiales.

MATERIAL	DUREZA	RESISTENCIA A LA RUPTURA TRANSVERSAL(MPA)
Acero al carbono	60 HRc	5200
Acero de alta velocidad	65 HRc	4100
Aleación de fundición Co	65 HRc	2250
Carburo cementado WC	1800 HK	1400
Cermet (TiC)	2400 HK	1700
Alumina (Al ₂ O ₃)	2100 HK	400
Nitruro cúbico de boro	5000 HK	700
Diamante policristalino	6000 HK	1000
Diamante natural	8000 HK	1500

El desarrollo cronológico de los materiales de herramienta ha seguido generalmente una trayectoria en la cual los nuevos materiales han permitido velocidades de corte más altas como se observa en la figura 32.

Figura 32. Evolución cronológica de la velocidad de corte.



2.2.2 Clasificación de materiales para herramientas. A continuación se enlistan los materiales más utilizados para herramientas de corte:

Aceros al carbono y de baja aleación.

Aceros de alta velocidad.

Aleaciones de fundición de cobalto.

Carburos cementados, cermets y carburos recubiertos.

Cerámicos.

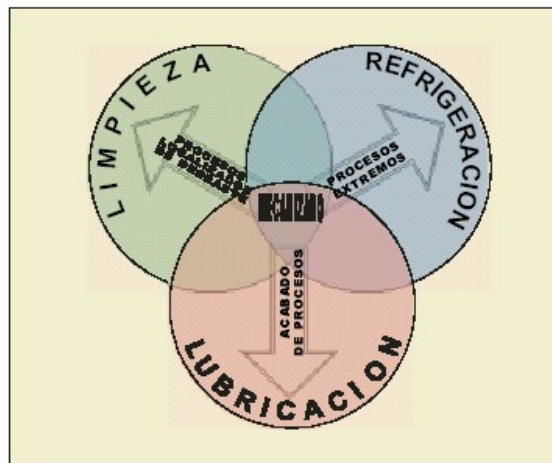
Diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico.

2.3 FLUIDOS PARA CORTE

2.3.1 Aplicaciones de los fluidos de corte. Un fluido para corte es un líquido o gas que se aplica directamente a la operación de fresado para mejorar el desempeño de corte. Los dos problemas principales que atiende los fluidos para corte son : primero

la generación de calor en las zonas de corte y fricción y segundo la fricción en las interfases herramienta-viruta y herramienta- trabajo. Además de la remoción del calor y la reducción de la fricción, los fluidos para corte brindan beneficios adicionales como remover las virutas, reducir la temperatura de la parte de trabajo para un manejo más fácil, disminuir las fuerzas de corte y los requerimientos de potencia, mejorar la estabilidad dimensional de la parte de trabajo y optimizar el acabado superficial. En la figura 33 se observa las aplicaciones importantes de los fluidos de cortes.

Figura 33. Campos de aplicación de los fluidos de corte



En todo proceso de mecanizado se dan cita tres requerimientos vitales:

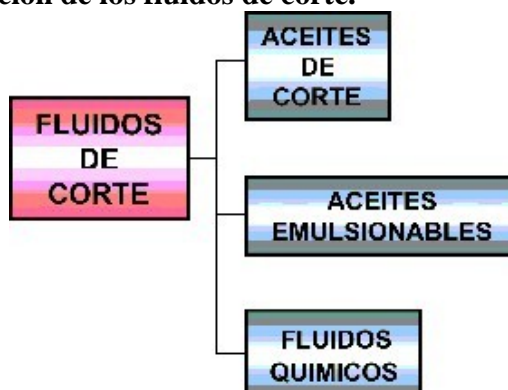
- **Lubricación:** Reduce la energía necesaria para vencer las fuerzas de cizallamiento y rozamiento y mejora el acabado superficial al facilitar el deslizamiento entre el filo de la herramienta y la superficie de la pieza. La lubricación es el requerimiento prioritario en aquellas operaciones de acabado en las que no se alcanzan niveles térmicos importantes o no se retira gran cantidad de material excedente.
- **Refrigeración:** Mitiga el desequilibrio térmico del sistema generado durante el proceso por el rozamiento entre pieza y herramienta, evitando el deterioro prematuro de la última.

- **Retirada de material excedente:** El material excedente (virutas) tiende a acumularse en las inmediaciones del área de corte, dificultando el correcto mecanizado de la pieza, y la disipación natural del calor.

Los refrigerantes son fluidos para corte diseñados para reducir los efectos del calor en las operaciones de fresado, tiene efecto limitado sobre la magnitud de energía calorífica generada durante el corte; pero extraen el calor que se genera de esta manera se reduce la temperatura de la herramienta y de la pieza de trabajo y ayuda a prolongar la vida de la herramienta. Los fluidos para corte tipo refrigerante parecen ser más efectivos a velocidades de corte relativamente altas, donde la generación de calor y las altas temperaturas son un problema y son más efectivos en los materiales susceptibles a las fallas por temperatura como los aceros a alta velocidad. Por lo general los refrigerantes son soluciones o emulsiones en agua debido a que ésta tiene propiedades térmicas ideales para estos fluidos de corte.

2.3.2 Clasificación de los fluidos de corte. Existen múltiples productos englobados bajo el epígrafe de fluido de corte si bien, de manera general todos ellos pueden ser clasificados de manera acorde como se observa en al figura 34.

Figura 34. Clasificación de los fluidos de corte.



- **Los aceites de corte:** Son fluidos basados en aceites derivados del petróleo, de origen animal, marino o vegetal. Los aceites minerales son los principales debido a su abundancia y sus características favorables en general. También se mezclan aditivos químicos para incrementar las cualidades lubricantes.
- **Aceites emulsionables:** Son fluidos que forman suspensiones de pequeñas gotas de aceite en agua. El fluido se hace mezclando aceite en agua y se utiliza un agente emulsificante para promover la mezcla y la estabilidad de la emulsión.
- **Fluidos químicos:** Son sustancias químicas disueltas en agua, más que aceites emulsificados en agua. Las sustancias químicas son compuestos de azufre, cloro o fósforo y agentes humectantes.

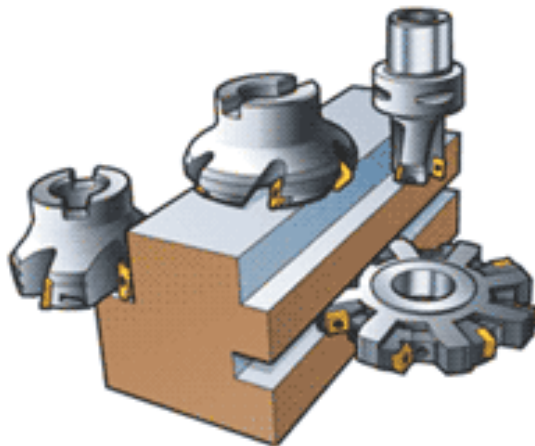
Tabla 5. Composición química de diferentes fluidos de corte.

	Grado de dilución		% en el concentrado ¹ (volumen)		
	Rango	Final tras su uso	Agua	Aceite	Aditivos
Aceite de corte	-	-	-	96	4
Emulsión mineral	3-10	5	< 10	60-80	< 30
Emulsión semisintética	2-6	2-6	20-50	10-40	20-60
Solución sintética	2-5	2,5	40-60	< 5	40-60

3. OPERACIONES DE FRESADO Y MÁQUINA HERRAMIENTA

El fresado es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes. El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance. La orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance es la característica que distingue el fresado del taladrado, como se puede observar en la figura 35.

Figura 35. Operaciones de fresado.



La herramienta de corte en fresado se llama fresa y los bordes cortantes se llaman dientes, la máquina herramienta que ejecuta tradicionalmente esta operación es una fresadora o centro de mecanizado.

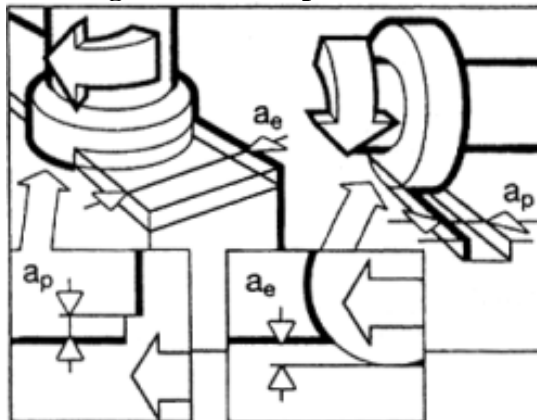
La forma geométrica creada por el fresado es una superficie plana, se pueden crear otras formas mediante trayectoria de la herramienta de corte o la forma de dicha herramienta. Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción el fresado es una de las operaciones más versátiles y ampliamente usadas.

El fresado es una operación de corte interrumpido; los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución, esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico en cada rotación, el material de la herramienta y la geometría del cortador deben diseñarse para soportar estas condiciones.

3.1 TIPOS DE OPERACIONES

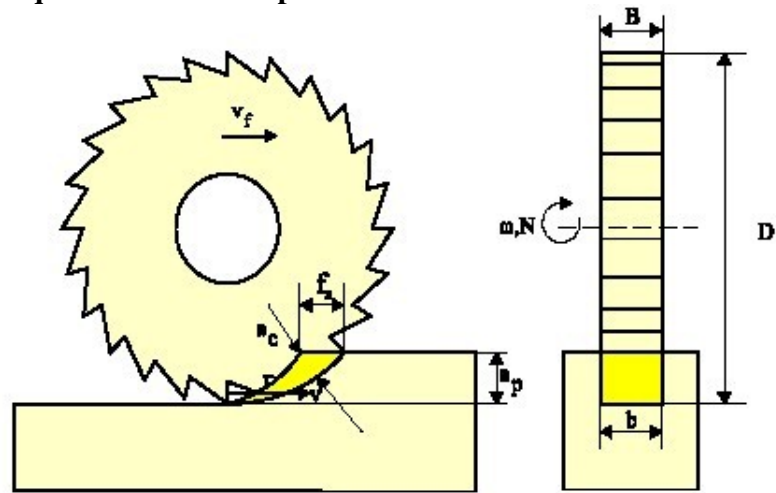
Hay muchas clases de operaciones de fresado, cada una de las cuales es capaz de generar una cierta geometría y textura superficial, pero por ahora es apropiado identificar y definir el fresado periférico y frontal como se puede observar en la siguiente figura 36.

Figura 36. Dos tipos básicos de la operación de fresado.



3.1.1 Fresado periférico. El eje de la herramienta es paralelo a la superficie que se está maquinando y la operación se realiza por los bordes de corte en la periferia exterior del cortador. En la figura 37 se muestra el esquema de fresado periférico.

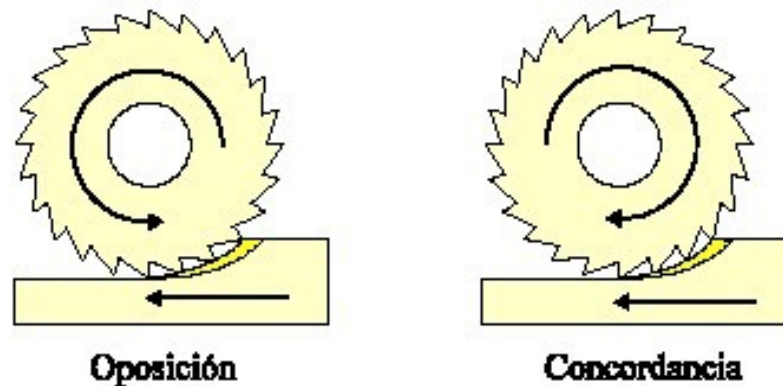
Figura 37. Esquema de fresado periférico.



- **Planeado:** La forma básica de fresado periférico en la cual el ancho de la fresa se extiende más allá de la pieza de trabajo en ambos lados.
- **Ranurado:** En el cual el ancho de la fresa es menor que el ancho de la pieza de trabajo, creando una ranura en el trabajo (cuando la fresa es muy delgada se puede usar esta operación para tallar ranuras angostas o para cortar una parte de trabajo en dos).
- **Fresado lateral:** En el cual la fresa maquina el lado de una pieza de trabajo.

En el fresado periférico hay dos direcciones opuestas de rotación que puede tener la fresa con respecto al trabajo. Estas direcciones distinguen dos formas de fresado, fresado ascendente y fresado descendente que se ilustran en la figura 38.

Figura 38. Fresado ascendente y fresado descendente.



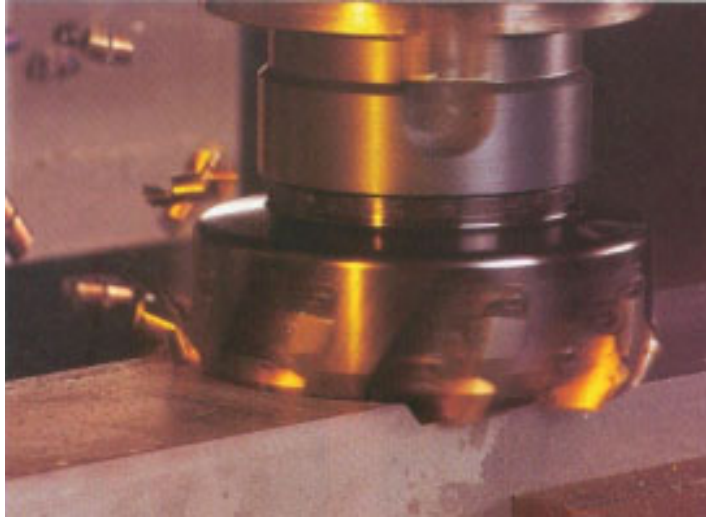
En el fresado ascendente, también llamado fresado en oposición, la dirección del movimiento de los dientes de la fresa es opuesto a la dirección de avance cuando cortan el trabajo.

En el fresado descendente, también llamado fresado en concordancia, la dirección del movimiento de la fresa es la misma que la dirección de avance cuando los dientes cortan el trabajo.

La geometría relativa de estas dos formas de fresado tiene sus diferencias en las acciones de corte. En el fresado ascendente, la viruta formada por cada diente del cortador comienza muy delgada y aumenta su espesor durante el paso del diente. En el fresado descendente cada viruta empieza gruesa y se reduce a través del corte. La longitud de una viruta en el fresado descendente es menor que el fresado ascendente esto significa una reducción en el tiempo de trabajo por volumen de material cortado, lo cual tiende a incrementar la vida de la herramienta en el fresado descendente.

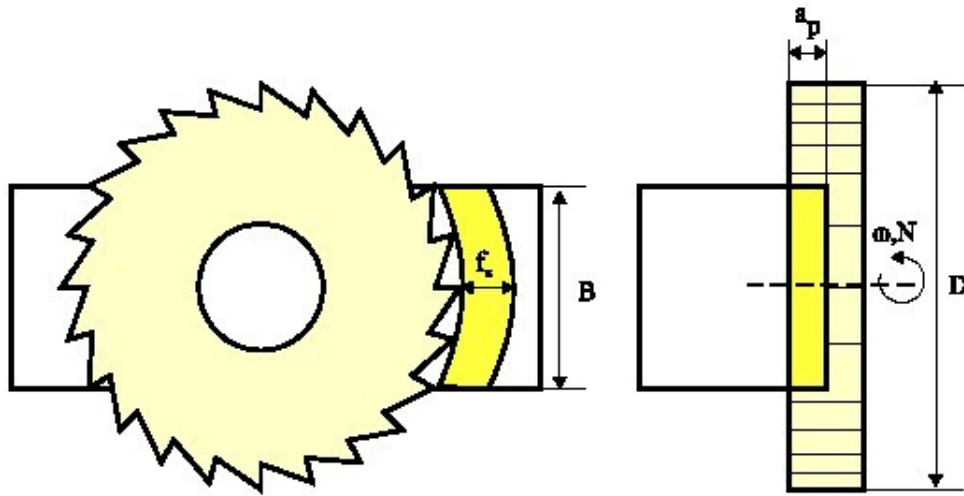
3.1.2 Fresado frontal. En el fresado frontal el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo y el maquinado se ejecuta por los bordes o filos cortantes del extremo y la periferia de la fresa. Cuando el diámetro de la fresa es más grande que el ancho de la parte de trabajo, de tal manera que la fresa sobrepasa al trabajo en ambos lados, se denomina fresado frontal convencional como se muestra en la figura 39 y en la figura 40 se presenta el esquema de fresado frontal.

Figura 39. Operación de fresado frontal convencional.



- **Fresado parcial:** En el cual la fresa sobrepasa al trabajo solamente en un lado.
- **Fresado terminal:** En el cual el diámetro de la fresa es menor que el ancho de trabajo, de manera que se corta una ranura dentro de la parte.
- **Fresado de perfiles:** Es una forma de fresado terminal en el cual se corta una parte plana de la periferia.
- **Fresado de cavidades:** Otra forma de fresado terminal usada para fresar cavidades poco profundas en partes planas.
- **Fresado de contorno superficial:** En el cual una fresa con punta de bola se hace avanzar hacia adelante y hacia atrás y hacia un lado y otro lado del trabajo a lo largo de una trayectoria curvilínea a pequeños intervalos para crear una superficie tridimensional.

Figura 40. Esquema de fresado frontal.



3.2 FRESAS

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

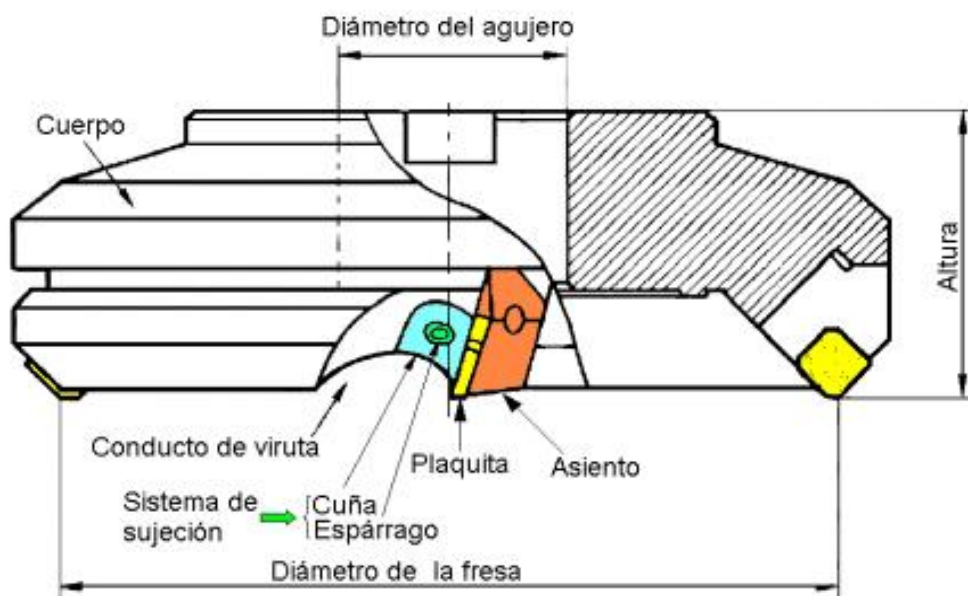
La mayoría de las fresas se construyen en varios materiales; en la figura 41 se distinguen los filos (insertos) en materiales especiales y el resto de las partes en acero corriente; esta tecnología permite mejor aprovechamiento de los materiales y facilita las reparaciones de las mismas.

Figura 41. Tipos de insertos intercambiables para fresas.



- **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 o diamante observa en la figura 42

Figura 42. Cuerpo de la fresas.

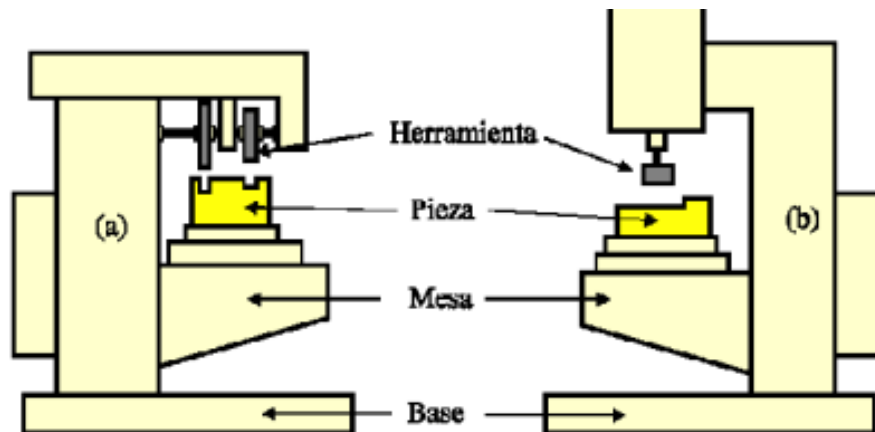


3.3 MAQUINAS FRESADORAS

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 complementan 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 de diseño y su funcionalidad.

Las maquinas fresadoras deben tener un husillo rotatorio para el cortador y una mesa para sujetar, poner en posición y hacer avanzar la parte de trabajo. Varios diseños de máquinas herramienta satisfacen estos requerimientos. Para empezar las máquinas fresadoras se pueden clasificar en horizontales o verticales como se ilustra en la figura 44.

Figura 44. Esquema de fresadora horizontal-vertical.



Una máquina fresadora horizontal tiene un husillo horizontal y este diseño es adecuado para realizar el fresado periférico sobre partes de trabajo que tienen forma aproximadamente cúbica. Una máquina fresadora vertical tiene un husillo vertical y esta operación es adecuada para fresado frontal, fresado de acabado, fresado de contorno de superficie y tallado de dados sobre partes de trabajo relativamente planas. En la figura 45 se pueden observar un tipo de fresadora vertical.

Figura 45. Máquina fresadora vertical.



3.4 CENTROS DE MECANIZADO

En estas máquinas la trayectoria de la fresa se controla por datos numéricos en lugar de plantillas físicas. Estas máquinas están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, fresado de cavidades, fresado de contorno de superficies y operaciones de tallado de dados, en las que debe controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de trabajo.

Los centros de mecanizado son sistemas de transferencia rotativa de maquinado altamente automatizada con diseños modulares. Son capaces de realizar múltiples operaciones de maquinado en una sola instalación bajo CNC, con la mínima intervención humana. Las operaciones típicas son aquellas que se usan herramientas de corte rotatorio, como las fresas y las brocas. En la figura 46 se pueden observar un centro de mecanizado moderno.

Figura 46. Centro de mecanizado moderno.



Las siguientes características hacen de estos centros de mecanizado maquinas altamente productivas.

- **Cambio automático de herramientas:** Esta operación se hace en un centro de mecanizado por medio de un programa de control numérico que mueve un cambiador automático de herramientas diseñado para intercambiar cortadores entre los husillos de la maquina y un tambor de almacenamiento de herramientas, la capacidad de almacenamiento de estos fluctúa entre 16 y 80 herramientas.
- **Paletas transportadoras:** Algunos centros mecanizado están equipados con dos o más paletas transportadoras que pueden transferir automáticamente la pieza de

trabajo al husillo de la máquina; con ellas el operador puede descargar las partes previamente maquinadas y cargar las siguientes, mientras la maquina herramienta se encarga de maquinar la parte en turno. Esto reduce las pérdidas de tiempo en paradas de máquina.

- **Posicionado automático de las piezas de trabajo:** Muchos centros de mecanizado tienen más de tres ejes. Uno de los ejes adicionales se diseña frecuentemente como una fresa rotatoria para poner la pieza en posición formando un ángulo específico con respecto al husillo. La mesa rotatoria permite a la herramienta de corte desempeñar el mecanizado en cuatro lados de la pieza.

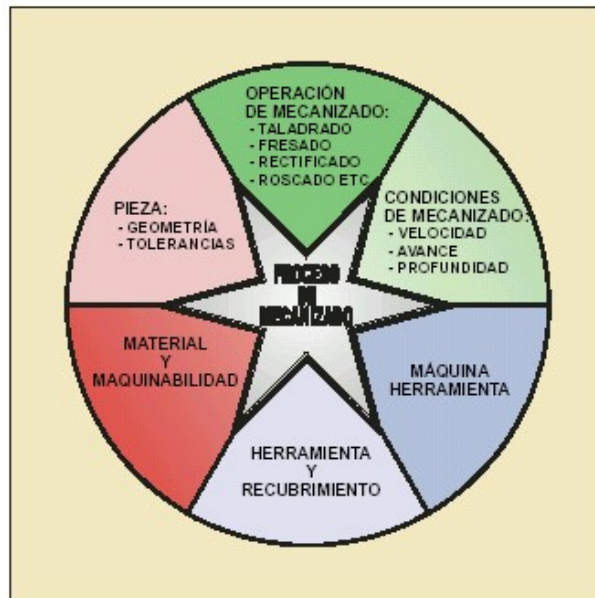
Los centros de mecanizado se clasifican en horizontales, verticales o universales. La designación se refiere a la orientación del husillo. Los centros de mecanizado horizontales maquinan normalmente partes de forma cúbica donde la herramienta de corte tiene acceso a los cuatro lados verticales del cubo. Los centros de mecanizado vertical están adaptados para partes planas en los cuales la herramienta puede maquinar la superficie superior. Los centros de mecanizado universal tienen cabezales de trabajo que pueden girar los ejes del husillo a cualquier ángulo entre el vertical y el horizontal.

3.5 ASPECTOS DE LA SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

3.5.1 Condiciones generales. 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 son:

- Operación de mecanizado.
- Forma de la pieza y material.
- Máquina- herramienta.
- Condiciones de corte.
- Acabado superficial requerido.
- Estabilidad general del conjunto.
- Costos de mecanizado.

Figura 47. Factores de selección en un proceso 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 la herramienta, 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 determina el tipo de material de la 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.

3.5.2 Consideraciones de diseño.

- En lo posible, las partes deben diseñarse para que no necesiten maquinado. Si esto no es posible, entonces debe minimizarse la magnitud del maquinado requerido en las partes.
- Las tolerancias deben especificarse para satisfacer los requerimientos funcionales, pero también deben considerarse las capacidades de los procesos.
- Debe especificarse el acabado superficial para cumplir con requerimientos funcionales o estéticos.
- Deben evitarse las formas maquinadas como esquinas afiladas, bordes o puntas.
- Debe evitarse la perforación de agujeros profundos.
- Las partes maquinadas deben diseñarse de manera que se puedan producir a partir de material estándar disponible.
- Se deben diseñar las partes que sean lo suficiente rígidas para soportar las fuerzas del corte y de las mordazas de sujeción.

- Deben evitarse las muescas porque requieren instalaciones adicionales.
- Los diseñadores deben seleccionar materiales con buena maquinabilidad.
- Las partes maquinadas deben diseñarse con formas que se puedan producir con el mínimo número de ajustes.
- Las partes maquinadas deben diseñarse con formas que puedan lograrse con herramientas de corte estándar.

4. METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS EN INGENIERIA

4.1 PERSPECTIVA HISTORICA

Los métodos de elementos finitos constituyen hoy en día el procedimiento habitual de cálculo en Mecánica Estructural y Mecánica de Sólidos en general. Su uso está también muy extendido en la resolución de problemas de Transferencia de Calor, y empieza a cobrar importancia en otras áreas, como la Mecánica de Fluidos o el Electromagnetismo.

El conocimiento de estas técnicas numéricas resulta actualmente casi imprescindible para aquellos que se desenvuelven en el ámbito de la Ingeniería Civil y la Ingeniería Mecánica, ya que la mayor parte de los análisis de tensiones que se llevan a cabo en la industria están basados en ellas.

A pesar de su gran difusión actual, los procedimientos de elementos finitos tal y como los entendemos hoy en día son relativamente modernos. Su nacimiento y desarrollo es una consecuencia de la disponibilidad de herramientas electrónicas de cálculo cada vez más potentes. Puede decirse, por tanto, que estas técnicas son un resultado más de la revolución informática de finales del siglo XX.

Otro aspecto importante del momento actual es la integración del cálculo por elementos finitos con otras ramas de lo que se ha dado en llamar Ingeniería Asistida por Computador ("Computer Aided Engineering" - CAE). En la actualidad es normal la integración del cálculo por elementos finitos ("Finite Element Analysis" - FEA) y el Dibujo Asistido por Computador ("Computer Aided Design" - CAD), con el objetivo, siempre, de reducir los tiempos de proyecto o de puesta de producto en el mercado.

El método de los elementos finitos es una herramienta que permite trabajar en áreas diferentes de la ingeniería, particularmente en el desarrollo de aplicaciones para Ingeniería Mecánica. La industria requiere del desarrollo de productos que sean más eficientes y que se implementen con el menor costo posible, optimizando el tiempo de creación.

La Ingeniería Mecánica es un campo que avanza y cambia vertiginosamente, lo cual permite implementar con relativa rapidez teorías de esfuerzos mecánicos en los diseños de productos. De esta manera se mejora la calidad y durabilidad de los dispositivos, pues se controlan más eficientemente la temperatura de operación y los esfuerzos de funcionamiento de dichos dispositivos.

El método de los elementos finitos es una herramienta computacional basada en algoritmos numéricos que son iterativos y que permiten realizar aproximaciones en cada cálculo. Se tienen diversas técnicas que permiten obtener este algoritmo, dado el cálculo implica el uso de un computador y las operaciones numéricas son binarias, se genera errores que se deben corregir (preproceso). Estos errores se pueden minimizar utilizando técnicas de optimización o refinamiento del modelo (posproceso).

Esta estrategia se fundamenta en la división de un área o volumen de control en pequeños elementos a los cuales se les asigna condiciones de frontera.

De acuerdo a estas condiciones de frontera se puede iniciar el proceso de solución encontrando soluciones parciales para cada uno de ellos. Esta estrategia de solución se puede extender a todas las divisiones que se tienen alrededor y se pueden ampliar a todo el cuerpo u objeto de análisis.

La técnica de simulación y cálculo para el diseño en ingeniería es una constante que se viene dando desde hace ya varios años atrás. Con los

cambios tecnológicos que mejoran la capacidad de las computadoras, la frontera para el desarrollo tecnológico cada día es mucho más amplia.

Ahora las técnicas computacionales permiten conocer comportamientos en los aparatos que antes se tenían que percibir por una experimentación que implicaba tiempo y elevados costos, haciendo que los productos se demoraran en salir al mercado y con un valor alto para el consumidor.

La investigación tiene en la actualidad mucho que ver con estos medios, haciendo predicciones que permiten mejorar la calidad de la experimentación. Así se logran mejores resultados a costos muy bajos, comparados con el desarrollo tradicional de la ciencia y tecnología.

El futuro de la ingeniería en Colombia debe incluir este componente. El ingeniero debe ser, en consecuencia, una persona con mayor capacidad de análisis, una persona que facilite la aplicación del conocimiento y lo ponga al servicio de la sociedad.

La industria mundial avanza a pasos agigantados, requiriendo de los ingenieros soluciones adecuadas en un mínimo tiempo. Por esta razón, y aprovechando el desarrollo tan vertiginoso que han tenido los computadores, contamos en la actualidad con programas especializados en las diferentes ramas de la ingeniería. Estos programas permiten modelar, simular y predecir el comportamiento de sistemas complejos, tomando como base un modelo simplificado y cercano a la realidad.

Adicionalmente, en dichas simulaciones se pueden variar los parámetros relevantes de manera que tengamos una visión más amplia de los posibles comportamientos del conjunto bajo análisis, el cual puede ser desde un pasador para maquinaria, hasta el conjunto de la suspensión para vehículos.

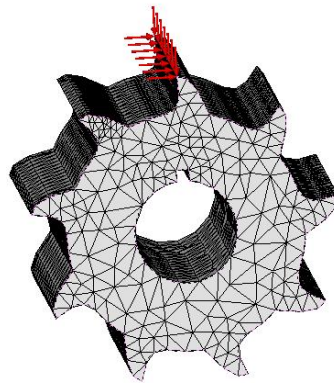
4.2 DATOS DE ENTRADA

4.2.1 Definición de la geometría del dominio de calculo y discretización del mismo. Esto se hace dando una lista de nodos y de elementos. Cada nodo es un punto dentro del dominio de calculo y se define mediante un número de orden o etiqueta

identificativa (número de nodo) y sus coordenadas en el sistema de referencia elegido.

En la figura 48 se puede observar un fresa con enmallado isométrico, geometría y propiedades de material definida y las condiciones de contorno respectivas con ayuda de herramientas CAE.

Figura 48. Fresa con enmallado isométrico.



Cada elemento corresponde a uno de los subdominios en que se divide el dominio de calculo. Se define mediante un número de orden o etiqueta identificativa (numero de elemento) y una lista de números de nodo, la cual se conoce también con el nombre de conectividad del elemento. La geometría del elemento queda completamente definida a partir de la formulación interna del elemento y de las coordenadas de sus nodos.

El conjunto de nodos y elementos constituye lo que se conoce como malla de elementos finitos.

4.2.2 Atributos o propiedades de los elementos. Estas propiedades dependen de la clase de elemento finito que se este utilizando. Así como en todos los casos hay que

identificar el material que constituye el subdominio o elemento, existen otros atributos que necesitan o no ser especificados en función del problema y el tipo de elemento. Ejemplos típicos son: el espesor, la sección transversal y su orientación en el espacio, las direcciones de anisotropía, . . .

4.2.3 Propiedades de los materiales. Cada material se identifica mediante un número o etiqueta. A cada material se le asocia un modelo matemático para representar su comportamiento (elasticidad, plasticidad, . . .) y se definen en cada caso los parámetros numéricos del modelo matemático elegido (módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, límite de fluencia, . . .). El modelo matemático de comportamiento del material se conoce muchas veces con el nombre de modelo constitutivo o ley de comportamiento.

4.2.4 Condiciones de contorno. En problemas mecánicos se distinguen dos clases de condiciones de contorno: las condiciones de contorno en desplazamientos y las condiciones de contorno en fuerzas.

Las primeras son restricciones de tipo cinemático y corresponden normalmente a las condiciones de contorno que hemos llamado esenciales en el planteamiento variacional. En los manuales de usuario de los programas de elementos finitos estas restricciones se conocen como condiciones de contorno propiamente dichas. Se caracterizan porque afectan directamente a la variable de campo del problema. Estas condiciones se aplican directamente sobre los nodos, limitando o anulando sus desplazamientos, y se dan mediante una lista de nodos a los que se asocia un código que corresponde a la condición de contorno que se desea aplicar.

Las condiciones de contorno en fuerzas son las que normalmente se conoce como acciones en los manuales de usuario de los programas de elementos finitos. Se trata de fuerzas aplicadas sobre nodos (cargas puntuales), presiones sobre la superficie de los elementos o fuerzas distribuidas por unidad de volumen en los elementos.

En otro tipo de problemas, no mecánicos, también puede hacerse la distinción entre estas dos clases de condiciones de contorno. Por ejemplo, en problemas de

transferencia de calor, las condiciones de contorno en desplazamientos corresponden a temperaturas impuestas; y las condiciones de contorno en fuerzas o acciones corresponden a flujos o fuentes de calor.

4.2.5 Otros datos. Los datos que se mencionan en los puntos anteriores son imprescindibles en cualquier cálculo por elementos finitos. Existen otras clases de datos que pueden no ser necesarios en función del tipo de problema que se trate de resolver. Se puede pensar, por ejemplo, en datos de condiciones iniciales del dominio (tensión, velocidad, temperatura, . . .), en relaciones impuestas entre el movimiento de diferentes nodos (vínculos cinemáticos) . . .

4.3 FLUJO GENERAL

- **Entrada de datos.** En esta etapa se realiza la lectura y/o generación de los datos y su acoplamiento dentro de la estructura de datos del programa. Se realizan también las comprobaciones o chequeos básicos de consistencia de los datos introducidos por el usuario.

- **Tareas preliminares.** En esta fase realizan las labores previas al ensamblaje del sistema global de ecuaciones. Por ejemplo, la numeración global de grados de libertad, el cálculo del semiancho de banda, las comprobaciones de que se dispone de espacio suficiente (memoria, disco), etc. . . .

- **Construcción de la matriz de rigidez global K y del vector global de cargas f .** El proceso puede estructurarse en dos etapas: un bucle que recorre los elementos y, luego, la imposición de las acciones nodales directas:

Para cada elemento:

Calcular matriz de rigidez elemental y vector elemental de cargas.

Ensamblar los elementos de la matriz y del vector en los lugares correspondientes de la matriz de rigidez global y del vector global de cargas.

Inclusión en el vector global de cargas de las acciones (cargas) nodales introducidas directamente.

- **Resolver el sistema $Ka = f$.**
- **Salida de resultados nodales.**
- **Elaboración y salida de resultados elementales.** Esta parte se organiza también mediante un bucle que recorre los elementos:
Para cada elemento:
Recuperar resultados nodales correspondientes a sus nodos.
Calcular resultados elementales a partir de los resultados nodales.
Salida de resultados elementales.

Nótese que el núcleo del programa es el cálculo de la matriz de rigidez elemental y del vector elemental de cargas. En ese punto intervienen la llamada tecnología de elementos, o técnicas de construcción del espacio de aproximación, y los modelos matemáticos de leyes de comportamiento de los materiales.

El otro punto importante es la forma de resolver el sistema de ecuaciones, que es la etapa donde más tiempo de ordenador se gasta en los problemas lineales. La tecnología de elementos, los modelos matemáticos de leyes de comportamiento y los procedimientos de solución forman los tres pilares de las técnicas de elementos finitos.

El resto de las etapas del programa, las de organización y transferencia de información, constituyen lo que se conoce como interfase con el usuario. Son etapas muy importantes, sobre todo desde el punto de vista de la facilidad de uso del programa, y se abordan hoy en día con apoyo gráfico. Sin embargo se han dejado fuera del alcance de estas notas, por no corresponder estrictamente al cálculo con elementos finitos.

Este método computacional es una poderosa herramienta ingenieril que se fundamenta en la resolución de problemas mediante su modelamiento numérico con ecuaciones diferenciales y su solución mediante sistemas de matrices.

La ecuación general que se resuelve es de la forma

$$(R) = (K) * (U) - (F)$$

Donde:

(R) = Matriz de reacciones

(K) = Matriz de rigidez

(U) = Matriz de deformaciones

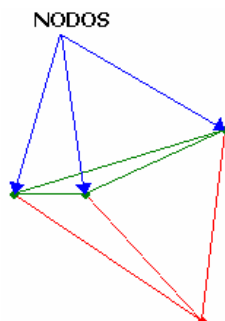
(F) = Matriz de cargas

Su historia comenzó en los años 50 al plantear la solución de estructuras de barras aplicando sistemas matriciales, de manera que se obtuvieron soluciones más rápidas y exactas.

Con la evolución de los computadores este método siguió su desarrollo hasta nuestros días, permitiendo su utilización en áreas tan diversas como la mecánica de sólidos, transferencia de calor, flujo de fluidos y el electromagnetismo.

La idea principal de este método es dividir un dominio determinado en partes más pequeñas (Discretización) llamadas Elementos, los cuales están unidos en puntos específicos llamados nodos como se ilustra en la figura 49.

Figura 49. Discretización.



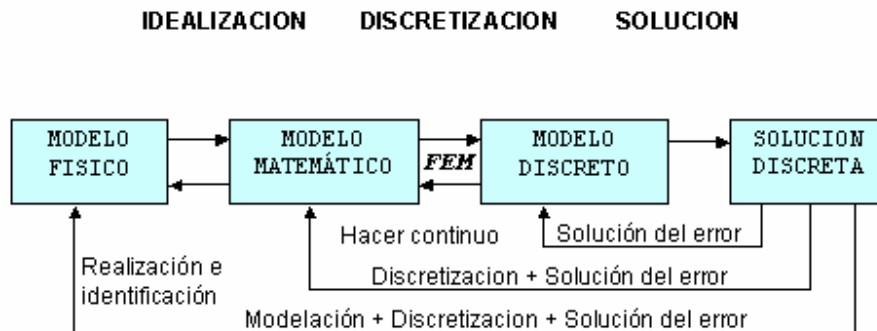
En los nodos se plantean ecuaciones de equilibrio que se resuelve simultáneamente para obtener la solución del sistema bajo estudio. La división en elementos se conoce como enmallado y dado que la división es en partes finitas, el método recibe el nombre de elementos finitos.

De manera gráfica, este método se puede resumir como lo muestra la figura 31, de la cual podemos anotar:

- Modelo físico: Objeto de estudio, el cual es el punto de partida para el análisis.
- Modelo matemático: Aproximación del comportamiento del sistema mediante ecuaciones diferenciales.
- Modelo discreto: Modelo elaborado en el programa de simulación, el cual es una representación que incluye la geometría, cargas aplicadas, restricciones, elemento para el enmallado, y características del material.
- Solución discreta: Conjunto de resultados que arroja el programa de una variable en particular, con base en el cual se calcula los demás parámetros a estudiar. Para la mecánica de sólidos, dicha variable es el desplazamiento de los nodos, a partir del cual se pueden calcular esfuerzos y deformaciones del elemento mecánico analizado.

Todo programa de elementos finitos está compuesto principalmente por tres partes que resume la figura 50.

Figura 50. Modelo de los elementos finitos.



- Preprocesador: Idealización y discretización. Parte del programa que permite el modelamiento y definición de la geometría del problema, ya sea en 2D o en 3D. Esto no impide que dichos diseños no puedan ser importados de algunos programas CAD. Ahorrando tiempo y costos. Además, es aquí donde se definen las características relevantes del análisis, de la misma manera que fue enunciado para el modelo discreto.
- Procesador: Solución discreta. Parte encargada de realizar las operaciones las operaciones matriciales para obtener la solución de la variable principal, la cual depende del tipo de análisis.
- Posprocesador: Parte que permite la visualización de resultados, mediante una ventana gráfica, y cuya representación se hace mediante escalas de colores que indican el valor de la variable analizada dentro de la geometría.

4.4 SOLUCIÓN DE SISTEMAS

Dentro de la practica del MEF se emplean dos grandes familias de procedimientos para resolver los sistemas de ecuaciones lineales a que da lugar el método. Esquemáticamente, estos procedimientos son:

- **Métodos de solución directa.**

Eliminación de Gauss

Factorizaciones (Cholesky, Crout)

Método frontal

- **Métodos iterativos.**

Método de Jacobi

Método del gradiente conjugado

Relajación dinámica

En los métodos de solución directa, dado el sistema de ecuaciones que debe resolverse, se conoce a priori el número de operaciones necesarias para obtener la solución. Son los procedimientos con más tradición dentro de la tecnología del MEF y su rango de aplicación es general, tanto en programas de cálculo lineal como en los de cálculo no lineal. Todos los procedimientos que se utilizan dentro de esta categoría son elaboraciones de la eliminación de Gauss.

En los métodos iterativos, por el contrario, no se conoce a priori el número de operaciones necesarias para llegar a la solución. Son procedimientos que están adquiriendo actualmente mucha difusión porque dan lugar a menos necesidades de almacenamiento en el ordenador (memoria, disco) y, por tanto, permiten abordar problemas más grandes manteniendo los mismos recursos.

5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN

5.1 BASE DE DATOS

“Es una filosofía de trabajo que permite manejar grandes cantidades de información. Incluyen tanto la definición de las estructuras de almacenamiento como mecanismos para el manejo de la información”¹.

Desde tiempos remotos, los datos han sido registrados por el hombre en algún tipo de soporte (piedra, papel, madera, etc.) a fin de que quedara constancia de un fenómeno o idea. Los datos han de ser interpretados para que se conviertan en información útil, esta interpretación supone un fenómeno de agrupación y clasificación. En la era actual y con el auge de los medios informáticos aparece el almacenamiento en soporte electromagnético, ofreciendo mayores posibilidades de almacenaje, ocupando menos espacio y ahorrando un tiempo considerable en la búsqueda y tratamiento de los datos. Es en este momento donde surge el concepto de bases de datos y con ellas las diferentes metodologías de diseño y tratamiento. El objetivo básico de toda base de datos es el almacenamiento de símbolos, números y letras las cuales contienen un significado en sí, que con un tratamiento adecuado se convierten en información útil. Un ejemplo podría ser el siguiente dato: 20040529, con el tratamiento correcto podría convertirse en la siguiente información: "Fecha de nacimiento: 29 de Mayo de 2004". Según van evolucionando los tiempos, las necesidades de almacenamiento de datos van creciendo y con ellas las necesidades de transformar los mismos datos en información de muy diversa naturaleza. Esta información es utilizada diariamente como herramientas de trabajo y como soporte para la toma de decisiones por un gran colectivo de profesionales que toman dicha información como base de su negocio.

¹ CARCAMO SEPULVEDA, José. Bases de Datos Relacionales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1997. p 10.

Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD) permiten la creación de Bases de Datos (BD). En términos generales una BD es una forma de estructurar la información caracterizando los elementos mediante una serie de atributos comunes. Los SGBD más extendidos son los que se basan en el modelo relacional, en donde la información se estructura en tablas, estas a su vez en registros y cada registro hace patente los distintos atributos comunes mediante una serie de campos. Las tablas se enlazan entre sí mediante un sistema de claves primarias y claves ajenas, tal y como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Relación existente entre diferentes tablas en una BD.



Una base de datos tiene semejanza con un archivador de madera donde se guardan las carpetas con las hojas de vida de los empleados, por ejemplo. Este sistema de información maneja una base de datos llamada FRESADO. Cada cajón del archivador tiene semejanza con las tablas de la base de datos, es como si a cada gaveta le asignaran un nombre y sólo en ella se guardarán unas carpetas específicas. Una de las tablas que maneja el sistema es la de operaciones de fresado, donde se almacenan todos los datos descriptivos de cada operación de fresado: uno de ellos es el campo de codificación dentro de la tabla para cada operación algo así como el marbete de la carpeta o como la cédula de ciudadanía. Otras de las tablas son: familias de fresas, referencia de fresa, referencia de plaquita, tipo de materiales etc.

5.1.1 Diagrama entidad-relación: el propósito de un diagrama entidad-relación es facilitar el diseño de una base de datos. La modelación de la base de datos se hace especificando los objetos básicos llamados entidades y determinando las relaciones entre ellas, especificando como se van a distinguir dichas entidades y relaciones. En este sistema de información se manejan diferentes tipos de relación, un ejemplo es la relación muchos a muchos que existe entre la tabla de operación de fresado y familias de fresas, esta relación genera la tabla operación de fresado, teniendo el campo de identificación principal relacionado con cada una de las tablas.

5.1.2 Concepto de entidad: una entidad se define como un objeto que existe y se distingue de otros objetos por los atributos que describe. Puede ser una ocurrencia o un lugar en general, es un objeto que encapsula datos y se representa por medio de una tabla. Un ejemplo de una entidad utilizada en el sistema es la tabla referencias de fresas. Esta contiene diferentes campos que describen las características de la fresa como: diámetro, profundidad de pasada, número de dientes .

5.1.3 Concepto de atributos: los atributos dan nombre a una entidad, describen una tabla y algunos de ellos pueden servir como identificadores. Un ejemplo de atributos es la referencia de la fresa en la tabla anterior. Este atributo es el identificador principal de la tabla, el cual es único.

5.2 CICLO DE VIDA

5.2.1 Etapa de análisis. Este proyecto parte de la identificación de problemas frecuentes en el proceso de fresado como se describió en la formulación del problema; el anterior análisis conlleva a determinar los requerimientos del sistema, el contexto del problema, así como el ámbito del proyecto.

La determinación de los requerimientos está basada en tres elementos. El primero, el procesos de mecanizado que se maneja, para este caso es fresado. El segundo, la

investigación preliminar acerca de las diferentes operaciones de fresado, en el cual se encontró una variada cantidad de los mismos, así como la consulta a personas que trabajan en la industria metalmeccánica que además, con su estudio y experiencia redefinen las teorías, conceptos y procedimientos óptimos aplicados en el sistema de información. El tercer elemento es la observación de algunos trabajos elaborados en la Escuela de Ingeniería Mecánica los cuales brindan un apoyo a la hora de estructurar la base de datos.

La etapa de análisis define además, la estructura de la información enmarcada en macro procesos y diagramas de contexto, conocidos como diagramas de flujo de datos; así como las características relevantes para la interfaz del sistema y la evaluación de los recursos técnicos disponibles para el desarrollo.

5.2.2 Etapa de diseño. En esta etapa se traducen los requerimientos en los datos y la arquitectura global del sistema de información. Esta fase produce el diseño de los datos en diagramas entidad-relación y diccionario de datos; las estructuras de los programas; el diseño de las interfaces del sistema y de los usuarios, las pantallas de captura de datos y de salida de información; así mismo un esbozo de los reportes impresos.

- **Diagrama entidad-relación:** la base de datos, denominada FRESADO, contiene la representación en tablas de las principales entidades definidas en la etapa de análisis a través de los diagramas de flujo de datos. Se manejan varios tipos de tablas tales como: familias de fresas, referencias de fresas, referencias de plaquitas, etc. Estas tablas obedecen a una organización particular de las bases de datos relacionales, representada gráficamente a través de diagramas entidad / relación y que denotan la forma como están organizados los datos.
- **Estructuras de los programas:** para el almacenamiento de base de datos, formularios, programas, reportes, imágenes y demás elementos, el software conserva la siguiente estructura: el proyecto principal DISFRESAS está guardado dentro de un directorio que lleva su mismo nombre y que además contiene el programa ejecutable.

Dentro del directorio principal existen también subdirectorios como BD que guarda la base de datos, formularios que guarda los formularios y módulos, imágenes que guarda imágenes e íconos.

- **Interfaz de usuarios y del administrador:** desarrollo de los formatos de pantalla para captura de documentos fuente y de consulta, así como de los reportes impresos. Tales elementos se explicarán con mayor detalle en el capítulo 8.

5.2.3 Etapa de desarrollo. En esta etapa se transforma el diseño, plasmando todos los requerimientos y estimaciones a través del lenguaje de programación Visual Basic 6.0 y el motor de base de datos Access 2000, en un primer prototipo de sistema de información. Para esto se estudian las especificaciones de programación, se escriben los programas y se depuran en cuanto a sintaxis y lógica. Este modelo es depurado hasta alcanzar un software óptimo. Al final del desarrollo se elabora la documentación del sistema y del usuario; también se prueban las tablas básicas del sistema para la realización de pruebas especiales al sistema como son almacenamiento y desempeño.

El desarrollo utiliza programación estructurada que permite reconocer los elementos procedimentales de un módulo, a fin de lograr depuraciones y correcciones más sencillas. El desarrollo aplica principios de modularidad permitiendo simplificar y reutilizar componentes del software.

El software contempla los siguientes módulos:

- **Módulo de Teoría.** En este módulo se contempla toda la base teórica del proyecto, de una manera interactiva con el usuario en formato HTML.
- **Modulo de Selección:** Sección que contiene toda la información correspondiente a los registros creados, esta interfaz permite la consulta por parte del usuario, en este módulo se selecciona la referencia de fresa y referencia de plaquita con sus parámetros de corte para la operación señalada.

- **Módulo de Diseño:** Este módulo permite al usuario interactuar con los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo de las fuerzas, para después hacer la respectiva evaluación con ayuda de herramientas CAD Y CAE.
- **Modulo de Mantenimiento:** Permite la actualización de la base de datos con sus respectivas opciones de nuevo, editar, eliminar para los diferentes procesos de fresado.

5.2.4 Etapa de implantación. En esta etapa se observa la correcta interacción entre la base de datos y el software con el fin de ubicar los posibles errores que no hayan sido detectados durante la fase de programación, para así proceder a su debida depuración. De esta manera se prueba también la tolerancia del programa a registros inválidos y su capacidad para advertir y corregir parámetros cuya clase determina la autenticidad y validez del registro. Tal es el caso de algunos formularios que requieren solo valores numéricos, y más aun cierto grupo reducido de ellos; por ejemplo números enteros del 1 al 9, o valores no negativos, o en algunos otros casos parámetros alfanuméricos; de cualquier manera lo que se busca en esta etapa primordialmente es comprobar la coherencia y tolerancia del programa a todos estos valores de entrada al sistema y probar la capacidad del software para advertir al usuario de tales errores.

6. INGENIERIA DEL SOFTWARE APLICADA AL DESARROLLO DE DISFRESAS

En la elaboración del Software DISFRESAS fue necesario crear una metodología para agrupar las distintas operaciones de fresado, así como toda la base teórica para después pensar la forma final del mismo, se llegó a la conclusión que se debía desarrollar por fases y por módulos para crear un software interactivo y de fácil manejo para el usuario.

El proceso de desarrollo se lleva a cabo mediante una secuencia de fases que se desprenden en tareas, las cuales son fáciles de abordar, revisar y documentar. De acuerdo con esto, a continuación se describen con profundidad dichas fases, sus tareas y los elementos, que fueron necesarios tener en cuenta para la consecución de dicho objetivo.

6.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA.

6.1.1 Investigación preliminar. Si se va a desarrollar un proyecto de este tipo por cualquier método o combinación de métodos, primero es necesario revisar la necesidad que se va a satisfacer. La finalidad de la investigación preliminar es evaluar los requerimientos del proyecto, no es un estudio de diseño, ni tampoco incluye la recolección de detalles para describir el software, mas bien, es la reunión de información que permita los méritos de la solicitud del proyecto y emitir un juicio con conocimiento de causa, con respecto a la factibilidad del proyecto propuesto.

Dentro de la investigación preliminar fue necesario:

- Aclarar y comprender los requerimientos del software, es decir entender que se va a hacer, que es lo que se requiere y porqué.
- Determinar el tamaño del sistema.
- Evaluar los costos y beneficios de diversas opciones.
- Determinar la factibilidad técnica y operacional de las diferentes alternativas.

6.1.2 Análisis documental o estructurado. En esta fase se conocieron los avances en materia de software para la industria metalmecánica de una forma analítica y práctica, de igual forma se estudiaron y analizaron los software de proyectos realizados anteriormente en materia de procesos de mecanizado, como DISFIN que contienen una estructura parecida en la parte de selección, además se estudiaron posibilidades de diseño para obtener la óptima. El software del presente trabajo es diferente a la estructura desarrollada de trabajos realizados anteriormente, debido a que se incorporan nuevos elementos como lo es el módulo de capacitación y el módulo de diseño lo que lo hace muy interactivo y dinámico para el usuario.

Para obtener un buen resultado del análisis se debe:

- Aprender los detalles y procedimientos de los sistemas de información actuales.
- Obtener una idea de las demandas futuras de la organización como resultado del crecimiento, del aumento de la competitividad del mercado, cambio en las necesidades del consumidor, introducción y adquisición de nuevas tecnologías.
- Hacer una documentación de todos los detalles de los sistemas de información para su revisión y discusión.
- Evaluar la eficiencia y efectividad de los sistemas y sus procedimientos.
- Documentar las características del software con un nivel de detalle que permita comprender a otros, sus componentes y su interrelación, y de una manera que sea posible manejar el desarrollo del software.

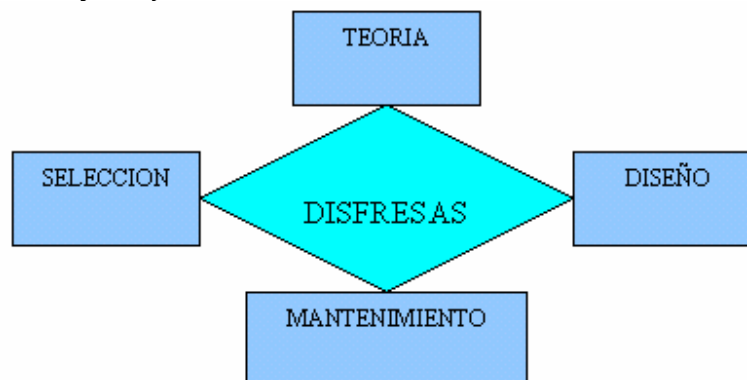
El análisis para el diseño y desarrollo del software, parte de la base del flujo principal de la información que se genera de las necesidades del usuario y de los datos que se almacenan a partir de ésta.

A raíz de que las operaciones de fresado, como planeado, ranurado etc, son de índole evolutivo y teniendo en cuenta lo encontrado en la fase de análisis, la base de datos de fresado a desarrollar debe estar basada en los enlaces entre los diferentes módulos del software y de la manera en que estos ayudan en la comprensión en el momento

de seleccionar una determinada operación de fresado y como fluye la información a través de los mismos; la estructura de información que se muestra en la figura 52, corresponde a los enlaces y flujo de información, en el diseño general de DISFRESAS; los módulos contenidos en esta estructura están fundamentados en dos partes principales que son:

- a) El sistema manejador de bases de datos, los archivos de datos y los módulos del software. El sistema manejador de BD es la parte del software donde se comunica el usuario con la información contenida en las BD así como la información contenida en formato HTML. Esta parte facilita el acceso a la información de una manera rápida y completa.
- b) Los archivos de datos son el conjunto de todos los datos, como características y parámetros que definen y detallan las distintas operaciones de fresado, familias de fresas, referencia de fresas etc.

Figura 52. Enlaces y Flujo de información en el diseño de DISFRESAS.



6.1.3 Definición de requerimientos. Un requerimiento es una característica que debe incluirse en un sistema. Los requerimientos principalmente incluyen la forma de captura de la información (las entradas), la forma de procesarla, la forma de producir la información (las salidas), la forma de realizar el control sobre los datos y parámetros obtenidos, y brindar soportes de decisión al usuario. En la determinación de requerimientos se realizaron tres actividades que son:

- **Anticipación de requerimientos:** se basa en el estudio de otros sistemas ya desarrollados de ambiente similar al que se va a desarrollar, lo que permite anticipar ciertos problemas o características y requerimientos para el sistema.
- **Investigación de requerimientos:** esta es la actividad más importante del análisis del sistema. Es el estudio y documentación del sistema actual usando para ellos técnicas que conduzcan a definir hechos, análisis de flujo de datos y análisis de decisión. Es aquí donde se aplican entrevistas, cuestionarios, observación y revisión de documentación entre otros.
- **Especificación de requerimientos:** los datos que se obtuvieron durante la recopilación se analizan para determinar las especificaciones de los requerimientos. Esta actividad tiene tres partes relacionadas entre sí:
Análisis de los datos basado en hechos reales, identificación de requerimientos esenciales y selección de estrategias para satisfacer los requerimientos.

Todas las aplicaciones de software para sistemas de información se pueden denominar procesadores de datos. La aplicación a desarrollar cumple fundamentalmente con esta característica, es decir los requerimientos fundamentales para este sistema se centran en: la aceptación correcta de la información que ingresa al sistema, la manipulación adecuada de esta y la producción óptima de una salida de información del sistema. Los elementos fundamentales y necesarios que debe contener el sistema de información se denominan con el nombre de módulo. Dentro de estos módulos se concibió el desarrollo de un módulo que maneja la información sobre las características y datos técnicos de operaciones de fresado, el cual fue desarrollado en este proyecto, este fue denominado con el nombre de Módulo de Selección. La información requerida de las distintas operaciones de fresado tanto como referencia de fresa y de plaquita que hace parte de la base de datos de DISFRESAS, proviene de fuentes secundarias como catálogos suministrados por las empresas fabricantes.

6.2 DISEÑO DE DISFRESAS.

En esta etapa se crea un esquema conceptual de la base de datos. Se desarrollan las especificaciones hasta el punto en que puede comenzar la implementación. Durante esta etapa se crean modelos detallados de las vistas de usuario y sobre todo las relaciones entre cada elemento del sistema, documentando los derechos de uso y manipulación de los diferentes grupos de usuarios. Si parte de la información necesaria para crear algún elemento establecido ya se encuentra implementado en otro sistema de almacenamiento hay que documentar que relación existirá entre uno y otro y detallar los sistemas que eviten la duplicidad o incoherencia de los datos. El diseño consta de tres fases: el diseño global o conceptual, el diseño lógico y el modelo físico.

Después de realizada la etapa de análisis de DISFRESAS, el diseño del módulo de TEORIA es la primera etapa, sigue el módulo de SELECCION y a su vez se desarrolla simultáneamente el módulo de DISEÑO, y por último el modulo de MANTENIMIENTO luego se concluye con la interfaz de DISFRESAS, efectuando así la integración de los tres módulos; en esta fase se desarrollaron tres actividades técnicas (diseño, desarrollo y pruebas), necesarias para construir y verificar el software. Los requisitos del sistema manifestados por los datos y los modelos funcional y de comportamiento componen la fase de diseño.

Ahora se tienen en cuenta las fases de diseño para el módulo de selección

- Diseño de flujo de datos.
- Diseño de entradas y salidas.
- Diseño de la base de datos.
- Diseño de interfaz con el usuario.
- Diseño de seguridad y control.

- Diseño de procedimientos.

6.2.1 Diseño de flujo de datos. El diseño de flujo de datos es la primera y la más importante de las actividades de diseño. El impacto de la estructura de datos en la estructura del programa y la complejidad de los procedimientos hace que el diseño de flujo de los datos tenga una profunda influencia en la calidad del software. Los conceptos de ocultación de información y abstracción de datos proporcionan el fundamento para un enfoque de diseño del flujo de datos. El diseño de flujo de datos consiste en transformar el modelo de dominio de la información, creado durante el análisis de las estructuras de datos necesarias para implementar el software; los objetos de datos y sus relaciones proporcionan la base para la actividad de diseño de datos.

6.2.2 Diseño de entradas y salidas. El diseño de las entradas es el enlace que une la información del Módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO con los usuarios. El diseño de entradas consiste en el desarrollo de especificaciones y procedimientos para la preparación de datos, la realización de los pasos necesarios para poner los datos de una transacción en una forma utilizable para su procesamiento, así como la entrada de los datos, para así poder discriminar que datos son importantes para las diferentes transacciones que se llevan a cabo dentro del sistema de información, de tal manera que fuera necesario recopilarlos como entrada de datos y para procesamiento. Las entradas, cualquiera que sea, van a contener datos variables, y/o datos que el sistema puede recuperar automáticamente. Para la mayoría de los usuarios, las salidas son consideradas como la base sobre la que ellos evaluarán la utilidad de la aplicación. El término salida se utiliza para denotar cualquier información producida por el sistema de información, ya sea en forma impresa o en pantalla. Para el diseño de salidas del Módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO fue necesario:

- Identificar las salidas con sus características específicas, de tal manera que satisficieran los requerimientos de información para los usuarios. Con los colores característicos de DISFRESAS, así como también su logotipo, letras y combos

diseñados para la creación del software DISFRESAS como se puede observar en las figuras 53, 54, 55 y 56.

- Seleccionar el método adecuado para presentar la información.
- Crear los reportes que van a contener la información producida por DISFRESAS.
- Identificar quienes recibirán las salidas.
- Saber el uso que se pretende dar a cada una de las salidas.
- Discriminar los detalles necesarios que deba contener las salidas.

Figura 53. Diseño de entradas Selección.

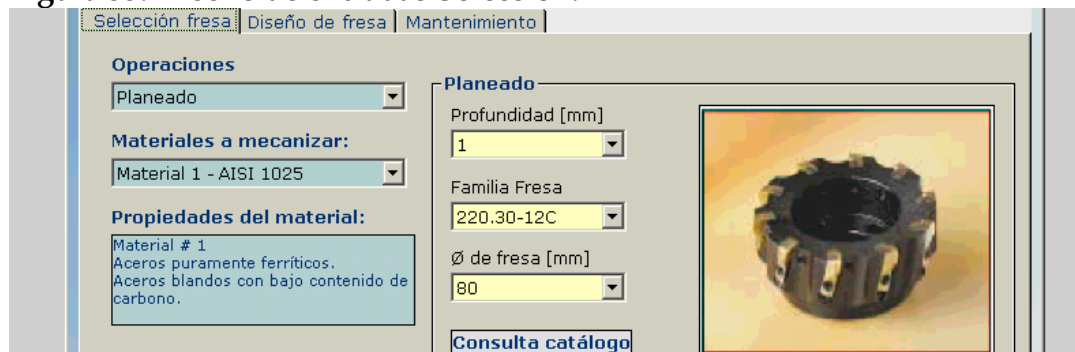


Figura 54. Diseño de entradas Diseño.

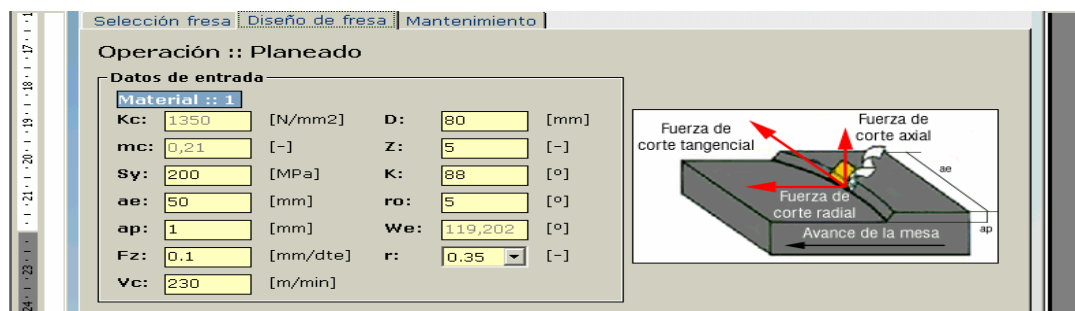


Figura 55. Diseño de salidas Selección.

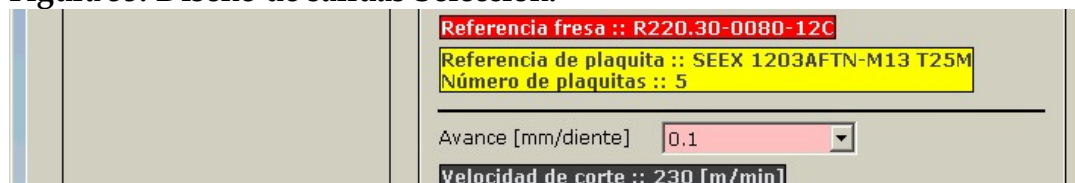


Figura 56. Diseño de salidas Diseño.

Datos de salida			
P:	0,883 [KW]	Frc:	232,818 [N]
Ftc:	230,29 [N]	Faxc:	5,118 [N]

Calcular Imprimir

Las salidas que DISFRESAS presentará van a ser de tipo visualización en pantalla y tipo reporte; tanto para el administrador como para el usuario de primer nivel, el tipo de reporte se presentará impreso en papel de forma organizada y completa, por orden de importancia de la información.

6.2.3 Diseño de la base de datos y su interacción con DISFRESAS. Los sistemas de información están orientados hacia el uso de las bases de datos. La base de datos acumula los datos de las transacciones. En el diseño de la base de datos se determina su contenido y se elige el método de organización de los datos. La utilización de bases de datos no elimina del todo la necesidad del uso de archivos en el sistema de información.

Para el almacenamiento de la información dentro del Módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO, se utilizará una base de datos que estará dividida en una serie de tablas de diferentes tipos que son:

- **Tabla maestra:** que guardará todos los registros acerca de las distintas operaciones de fresado y características de cada referencia de fresa.
- **Tablas de transacciones:** son tablas temporales con el propósito de acumular datos acerca de los eventos que ocurren al momento de realizar una consulta.
- **Tablas de referencia:** son aquellas que guardan el conjunto de datos de referencia utilizados en el procesamiento de transacciones, actualización de los archivos maestros o producción de salidas.

- **Tablas de reportes:** son archivos temporales que se utilizan cuando el tiempo de impresión no esta disponible para todos los reportes producidos, situación que surge con frecuencia en el procesamiento.

La tabla 6 es una tabla maestra y muestra la agrupación de las distintas operaciones de fresado con su respectivo código. La tabla 7 es una tabla maestra que agrupa los diferentes familias de fresas con su respectiva codificación.

Tabla 6. Operaciones de fresado

Id	OPERACIONES	Nom Img
1	Planeado	101
2	Escuadrado y ranurado	102
3	Penetrado axial	103
4	Chaflanado	104
5	Ranurado en T	105

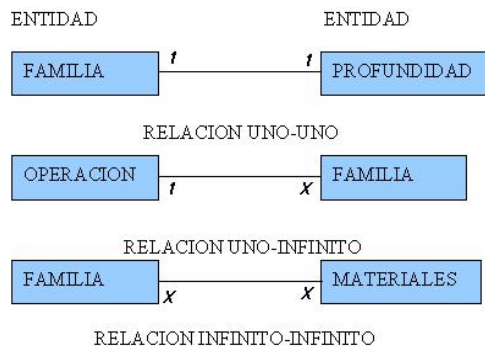
Tabla 7. Familias de fresas ranurado T

id	Familia	Profundidad	Id Img	Flia Gral
1	395.19	11	102	395.19
2	395.19	14	102	395.19
3	395.19	18	102	395.19
4	395.19	22	102	395.19

Además del diseño de la base de datos y los archivos, se deben diseñar los medios de interacción de estos con la base de datos. Para el diseño adecuado de la interacción con la base de datos se realizaron las siguientes acciones:

- Se identificaron las relaciones entre los diferentes datos que maneja DISFRESAS. Muchas de las entidades que comprenden el DISFRESAS de información están relacionadas unas con otras, estas relaciones permiten que el flujo de la información sea el correcto, haciendo óptimo el desempeño de las funciones de DISFRESAS, razón por la cual es fundamental que se identifique con claridad dichas relaciones. En la figura 57 se observan algunas de las relaciones entre entidades dentro de DISFRESAS.

Figura 57. Tipos de relaciones entre las diferentes entidades de DISFRESAS.



Luego de identificadas las relaciones, el paso a seguir es describir las relaciones entre entidades; las relaciones entre entidades se describen mediante su dependencia la una de la otra, al igual que por el alcance de la relación.

- Requerimientos de datos para cada entidad. Una vez se han determinado las entidades y sus relaciones se centra en los requerimientos de datos para cada entidad, es necesario construir un diagrama de estructura de datos a partir de la información obtenida; la figura 66 muestra la estructura total de DISFRESAS con las relaciones entre entidades, la dirección de las relaciones y sus alcances.

6.2.4 Diseño de la interfaz. El diseño de la interfaz de usuario tiene tanto que ver con el estudio de las personas como con los aspectos de la tecnología. Para iniciar esta parte del diseño fue necesario preguntarse cosas como: ¿Quién es el usuario?, ¿cómo aprenderá el usuario a interactuar con DISFRESAS?, ¿Cómo interpreta el usuario la información producida por el DISFRESAS? El proceso general para diseñar la interfaz de usuario, empieza con la creación de diferentes modelos de función del sistema (tal y como se percibe desde afuera). Se definen las tareas orientadas al hombre y a la máquina, requeridas para conseguir una adecuada función del sistema. En la figura 58 se muestra un ejemplo de la interfaz de usuario para DISFRESAS. El objetivo del diseño de interfaces es conseguir que estas sean lo más eficientes y amigables posible, en el diseño de DISFRESAS se buscó que fuera lo mas interactivo posible como se puede observar en los módulos.

En el diseño de las interfaces fue necesario abordar tres categorías:

- La interacción general del usuario con el sistema. En la mayoría de los casos este aspecto abarca la visualización de la información, la entrada de datos y el control general del sistema. El módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO el cual contiene la base de datos esta conformado por dos aspectos: un aspecto es el que tiene que ver con la selección de las distintas operaciones de fresado y al cual tiene acceso cualquier usuario y un aspecto de modificación de la información contenida en la base de datos al cual solo pueden acceder usuarios con clave. Para ofrecer una buena interacción general entre el sistema y el usuario se usó un formato consistente para la visualización de los datos, y otras cuantas funciones; además se pide la verificación por parte del usuario de cualquier acción destructiva con alertas, esto es muy importante cuando se trabaja con sistemas de información que manejan gran cantidad de registros.

Figura 58. Ventana diseñada como interfaz de usuario



- **Visualización de la información.** La información presentada por el sistema es completa y coherente de tal manera que satisface las necesidades del usuario; para controlar este aspecto fue necesario mostrar únicamente la información relevante para cada ventana de manera ordenada de acuerdo a su importancia y con un alto grado de estética, mostrar formatos de visualización rápida de la información, usar etiquetas consistentes, abreviaciones estándar, colores variados y representaciones gráficas que faciliten la accesibilidad a las órdenes, mostrar mensajes de error, mostrar mensajes de ayuda, adecuar el tamaño de cada ventana a la cantidad de la información que se quiere mostrar, etc.

- **Entrada de los datos.** La gran mayoría del tiempo que van a utilizar los usuarios manipulando el sistema va a ser seleccionando referencia de fresa, referencia de plaquita y parámetros de corte, y por parte del administrador introduciendo registros y nuevos dispositivos o modificándolos, es por esto que esta interfaz minimiza el número de acciones de entrada de datos que necesita realizar el usuario, es decir se reduce la cantidad de escritura necesaria, esto mediante la presentación de botones y listas de selección; los dispositivos que son inapropiados en el contexto de las acciones actuales se desactivan, lo cual protege al usuario de cometer acciones que lo lleven a errores.

6.2.5 Diseño de seguridad y control. Es muy importante que en la etapa de diseño exista una anticipación a los posibles errores que se pueden presentar al ingresar datos en el sistema o al solicitar la ejecución de ciertas funciones por parte de los usuarios, algunos de estos errores podrían no tener importancia, pero algunos otros pueden ser tan serios que ocasionarían el borrado de datos o el uso inapropiado del sistema.

Entre los aspectos de seguridad y control se tuvieron en cuenta:

- **Controles de acceso a usuarios:** buscan proteger la información que suministra el sistema de todo usuario no autorizado; este control se describe con detalle en el capítulo 8: Manual de Usuario.

- **Control en el ingreso de datos:** este control pretende que los datos que se ingresen al sistema sean exactos, válidos y concretos. Por esta razón se pueden ingresar datos que el usuario con acceso a modificación determine como importantes o relevantes para su posterior consulta.

6.2.6 Diseño de procedimientos. El diseño de procedimientos se realiza después de los diseños de flujo de datos, de entradas y salidas del módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO, de la base de datos y su interacción, y el diseño de las interfaces. El diseño de procedimientos consiste en especificar los detalles, de las diferentes tareas que deben ejecutarse al utilizar el módulo de SELECCIÓN Y DISEÑO, por medio de un lenguaje que no se preste para ambigüedades y que sea de fácil manejo, es decir plasmar en los términos de un lenguaje claro y conciso los algoritmos necesarios para la correcta realización de los procedimientos de entradas de datos, ejecución de procedimientos, para el manejo de errores, de seguridad y control y de salidas del DISFRESAS. En la figura 59, se puede observar un ejemplo de los procedimientos, que se llevan a cabo en DISFRESAS. En la figura 60 y 61 se observa los flujos de programación de los módulos TEORIA-SELECCIÓN-DISEÑO.

Figura 59. Diagrama de flujo de programación.

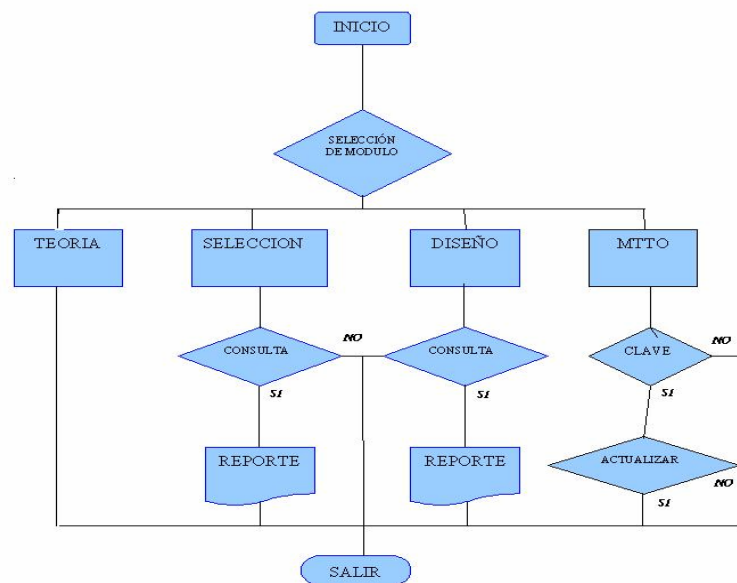


Figura 60. Diagrama de flujo de programación modulo Teoría.

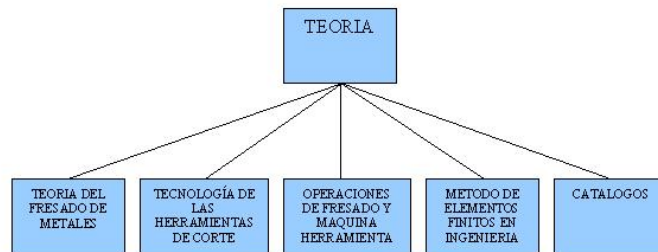
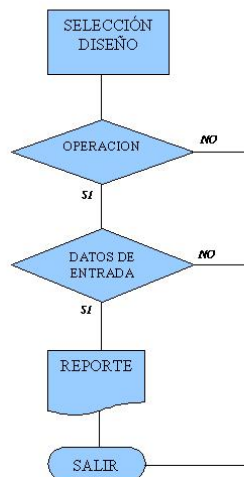


Figura 61. Diagrama de flujo de programación modulo Selección-Diseño.



6.2.7 Diseño de integración DISFRESAS. Esta fase es el concepto de agrupación e integración de los tres módulos de los cuales consta el software:

- Uno en formato HTML, el módulo de TEORIA, que necesita de un servidor bien sea instalado en el sistema operativo del PC donde es instalado el software para este caso se necesita del software PWS (Personal Web Server por sus siglas en Inglés) o un servidor como plataforma para contener todas las preguntas a evaluar en formato ASP (Active Server Pages).

- El módulo de SELECCIÓN que contiene la base de datos de todos las operaciones de fresado junto con sus características, fotos, planos de montaje especificaciones, recomendaciones.
 - El módulo de DISEÑO que contiene la base de datos de todos las operaciones de fresado junto con sus características, para el calculo de la potencia de corte y la evaluación de las respectivas fuerzas con ayuda de herramientas CAD y CAE.
- Para finalmente formar un software único de instalación y ejecución.

6.3 PROGRAMACION Y DESARROLLO.

El software al igual que todos los sistemas complejos, evolucionan con el tiempo, de la misma manera el diseño y desarrollo de aplicaciones ha cambiado en los últimos años y como consecuencia de esto las formas de programación. Es por esto que de una programación que inicialmente era secuencial se paso a una programación modular, para llegar a una programación estructurada, de la cual se obtienen muy buenos resultados. La programación secuencial sugiere un enfoque sistemático secuencial de desarrollo de aplicaciones, que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento, realizadas dichas acciones una a continuación de las otras. La programación modular que se caracteriza por la realización de secuencias completas por módulos de programación, antes de pasar a otro módulo de secuencias del software, y la programación estructurada que se basa en el diseño del programa de lo general a lo particular y está fundamentada en el teorema de estructura, que dice que todo programa puede ser diseñado utilizando únicamente las estructuras básicas: secuencial, alternativa y repetitiva. A partir de la programación estructurada los esfuerzos se centraron en potenciar la modularidad y la reutilización de código, lo que condujo a la programación orientada a objetos, que se complementa con una programación basada en SQL (Standard Query Language) encargada de enlazar la programación orientada a objetos

a las BD. La plataforma de desarrollo utilizada para la realización del software es una aplicación fundamentada en la programación orientada a objetos.

6.3.1 Programación orientada a objetos. La programación orientada a objetos (POO) es una forma de programación que utiliza objetos, estos objetos son elementos del mundo de la programación que poseen propiedades y atributos. Las propiedades y atributos de los objetos se pueden modificar o eliminar de acuerdo a la necesidad, estos objetos están ligados mediante mensajes con el fin de solucionar problemas. Existen unos elementos básicos en la programación orientada a objetos, que se utilizaron en la programación, los cuales son:

- **Objetos.** Un programa tradicional se compone de procedimientos y de datos. Un programa orientado a objetos se compone solamente de objetos. Un objeto es una encapsulación genérica de datos y de los procedimientos para manipularlo. Dicho de otra forma, un objeto es una entidad que tiene unos atributos particulares y unas propiedades y las formas de operar sobre ellas, los métodos. Por lo tanto, un objeto contiene por una parte, operaciones que definen su comportamiento, y por otra parte variables manipulables por estas operaciones que definen su estado.

Por ejemplo una ventana del sistema operativo Windows es un objeto. El color del fondo de la ventana, el ancho, el alto, etc. son sus propiedades. Las rutinas lógicamente transparentes al usuario, que permiten maximizar la ventana, minimizarla, etc., son los métodos.

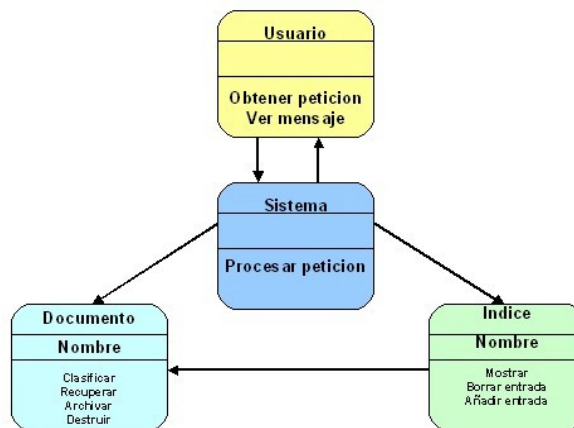
- **Métodos.** Un método se implementa en una clase de objetos y determina como tiene que actuar el objeto cuando recibe el mensaje. En adición las propiedades permitirán almacenar información para dicho objeto. Un método puede también enviar mensajes a otros objetos solicitando una acción o información.

- **Mensajes.** Cuando se ejecuta un programa orientado a objetos, los objetos están recibiendo, interpretando y respondiendo a mensajes de otros objetos, lo cual marca una clara diferencia con respecto a los elementos de datos pasivos de los sistemas tradicionales. Por ejemplo cuando un usuario quiere maximizar una ventana

en Windows, lo que hace simplemente es pulsar el botón de la misma que realiza esta acción, esto provoca que se envíe un mensaje a la ventana para indicar que tiene que maximizarse; como respuesta a esto se ejecutará el método programado para este fin.

La estructura más interna de un objeto esta oculta para los usuarios y la única conexión con el exterior son los mensajes. Los datos que están dentro de un objeto solamente pueden ser manipulados por los métodos asociados al propio objeto. En la figura 62 se observa los mecanismos básicos de la programación orientada a objetos.

Figura 62. Elementos básicos de la programación orientada a objetos POO



La ejecución de un programa orientado a objetos realiza fundamentalmente tres cosas:

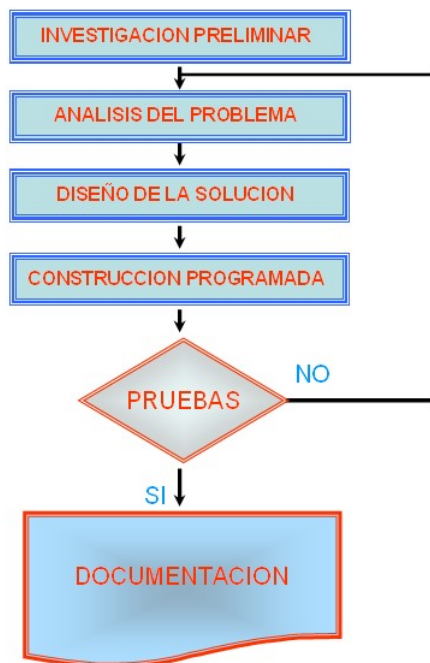
- Crear los objetos necesarios.
- Los mensajes enviados a unos y otros objetos dan lugar a que se procese internamente la información.
- Finalmente cuando los objetos no son necesarios son borrados, liberándose la memoria ocupada por los mismos.

6.3.2 Fases en el proceso de programación. El proceso de programación se lleva a cabo teniendo en cuenta las fases que se indican a continuación:

- **Investigación Preliminar.** De esta fase hacen parte las actividades con las cuales se determinan las metas que se pretenden en la programación del software, su factibilidad técnica y operacional.
- **Análisis del problema.** Mediante esta fase se realiza un estudio detallado de los procesos y procedimientos relacionados con el software a desarrollar, a fin de descubrir los problemas que se deben solucionar. En esta fase se requiere el estudio de los problemas y necesidades que fueron presentadas en la sección 1, con base a este estudio detallado se identifican y se definen las características que debe poseer el sistema , así como la información que este debe producir y sus características operacionales.
- **Diseño de la solución.** En esta fase es donde se establece la forma como el sistema cumplirá con los requisitos identificados en la fase anterior y si es caso de ser necesario se realiza un rediseño de procesos y procedimientos. Las especificaciones de diseño se representaron mediante diagramas y esquemas, que proporcionan una visión clara de lo que se desea para facilitar el proceso de programación.
- **Construcción de la solución en forma programada.** Este proceso es completamente mecánico, ya que consiste en la solución en forma de programa real de la solución desarrollada en la fase tres, siguiendo las reglas del lenguaje de programación.
- **Prueba.** Es fundamental que a medida que se va programando la solución se vaya probando, buscando que lo programado sea lo más óptimo. La única manera en que las pruebas puedan demostrar que un programa es correcto es examinar todos los casos posibles, situación que es imposible técnicamente.
- **Documentación.** Es imprescindible para la correcta manipulación del programa así como para su mantenimiento. La documentación debe ser interna y externa, es decir, documentos referenciados a la estructura interna o de programación y manuales de usuario.

En la figura 63 se presenta un gráfico que ejemplifica la secuencia en las fases del proceso de programación.

Figura 63. Fases en el proceso de programación.



6.3.3 Desarrollo del código del software. Teniendo en cuenta la cuarta fase del proceso de programación, que consiste en dar solución al problema planteado al inicio del proceso en forma programada, se procedió a la escritura del código necesario para que el software realizara las funciones para las cuales se diseñó, partiendo de los diagramas de flujo planteadas en la fase de diseño. A continuación se muestran unas pocas sentencias de código utilizadas para crear el back up de la base de datos, se procuró hacer de tal manera que las personas con conocimiento de Visual Basic pudieran fácilmente entenderlo.

```
Private Sub CargarBU_Click()  
On Error GoTo permiso  
DialogoBk.ShowOpen  
If Right(DialogoBk.FileName, 4) = ".dbk" Then  
FileCopy DialogoBk.FileName, "C:\Disfresas\fresado.mdb"  
Else  
MsgBox ("Tipo de Archivo Invalido")  
End If
```

Exit Sub

permiso:

MsgBox ("La Base de Datos esta siendo usada por otro programa, por favor, cierre los programas que la están usando, si el problema persiste, cierre Disfresas inténtelo nuevamente")

End Sub

El proceso de escritura del código se desarrolló por módulos de programación.

6.3.4 Documentación del software. Para que los usuarios puedan tener una buena comunicación con el programa, es fundamental que se desarrollen una serie de documentos y ayudas, las cuales van a facilitar esta interacción; de acuerdo con esto y con las fases de desarrollo del software surge la documentación del mismo, que para nuestro caso se divide en documentación Interna, documentación externa y documentación de la base de datos.

- **Documentación interna.** Esta está constituida por la totalidad del código del programa y por los comentarios de ayuda que se muestran a lo largo del desarrollo del código, estos comentarios hacen referencia a las acciones que se pretende ejecutar con las instrucciones plasmadas en dicho código. La totalidad de la documentación interna se proporciona con el disco compacto de instalación del Software.
- **Los Comentarios:** Dentro del desarrollo del código del Software se escribieron los comentarios, estos no hacen parte de las instrucciones de código que ejecutan acciones, pero dan una orientación acerca de las acciones que el bloque de programa ejecutará, estos se pueden identificar muy fácilmente en el código porque van precedidos de una comilla y aparecen de color verde como se aprecia en la figura 64, líneas de código extraídas del programa.
- **Presentación:** El código escrito se presenta de tal manera que al observarlo se entienda su secuencia lógica, para ello se utilizan las sangrías, líneas y espacios en blanco que separan unidades del programa y el agrupamiento de sentencias tratando

de que estas se aproximen lo máximo posible a la secuencia en que se ejecutará el programa como se observa en la figura 65.

- **Documentación externa.** Esta documentación está asociada con el programa, pero no está contenida en él, de esta hacen parte el manual de usuario, la descripción del software, los diagramas de flujo y el diseño de los módulos de programación.

Figura 64. Ejemplo de comentarios en el código de DISFRESAS.

```
'Llenando el ComboBox de Tipo Para Torneado
CTipo.Clear 'Borro los datos anteriores del tipo
CTipo.AddItem ("Integral") 'Genero item integral
CTipo.AddItem ("Modular") 'Genero item Modular
CTipo.ListIndex = 1 'Selecciono por defecto modular

'Llenando el ComboBox de Ubicacion para torneado
CUbicacion.Clear 'Borro los datos anteriores de ubicacion
CUbicacion.AddItem ("Interna") 'Genero item Interna
CUbicacion.AddItem ("Externa") 'Genero Item Externa

'Llenando el ComboBox de Parametros
CParametros.Clear 'Borro el numero de parametros
For i = 1 To 16 'se pueden un maximo de 16 parametros
    CParametros.AddItem i 'genero item con numero de parametro
Next i
```

Figura 65. Aparte del código de DISFRESAS.

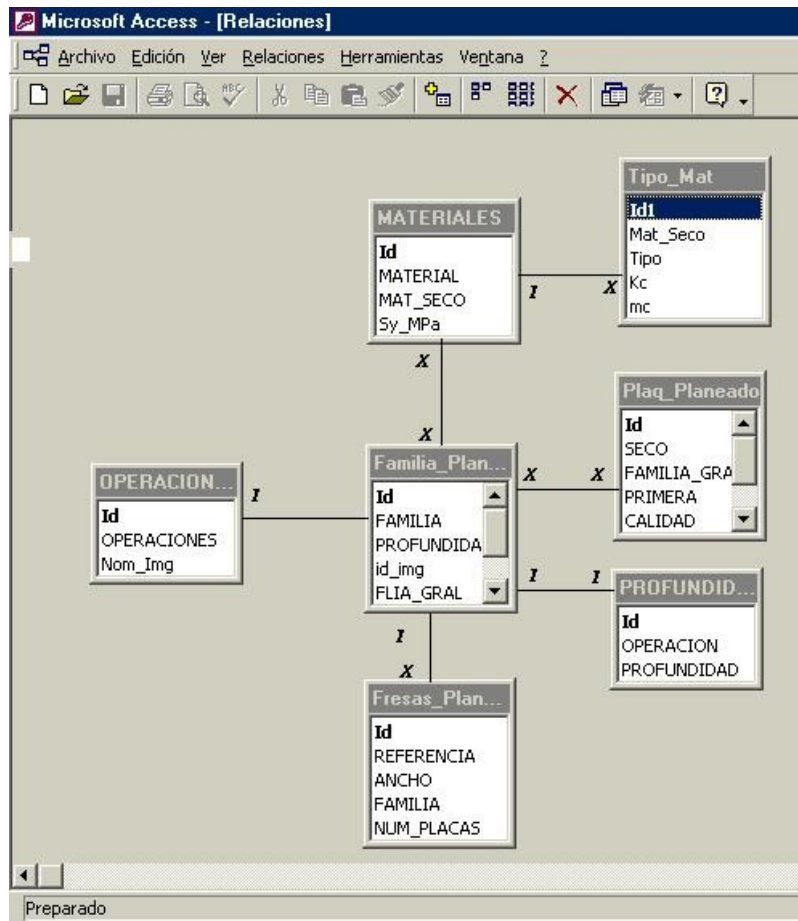
```
Private Sub CargarBU_Click()
On Error GoTo permiso
DialogoBk.ShowOpen
If Right(DialogoBk.FileName, 4) = ".dbk" Then
    FileCopy DialogoBk.FileName, "C:\Disfin\herramientas.mdb"
Else
    MsgBox ("Tipo de Archivo Invalido")
End If
Exit Sub
permiso:
MsgBox ("La Base de Datos esta siendo usada por otro programa)
Exit Sub
```

- **Manual de usuario.** El manual de usuario se desarrolló en formato de texto, está contenido en el disco compacto de instalación del software y será el tema que se tratará en el capítulo 8 de este documento.
- **Descripción del software.** Esta parte de la documentación externa tiene como fin mostrar todas las características y propiedades que ofrece el software, esta se realiza en el capítulo 8 del presente documento.
- **Diagramas de flujo.** A lo largo de la sección 6.2 del presente documento se puede apreciar el diagrama de flujo que describen los procedimientos que realiza el software.
- **Módulos de programación.** Buscando que la programación del software fuera mas fácil, se divide en módulos de SELECCIÓN Y DISEÑO, adicionalmente se cuenta con los módulos de TEORIA formato html, cada uno de los cuales contiene objetos, así como los valores de sus propiedades, declaración de variables, constantes y procedimientos externos a nivel de formulario, así como procedimientos conducidos por eventos y procedimientos generales.
- **Documentación de la base de datos.** La base de datos que se empleó en el programa está creada bajo la aplicación de Microsoft Access, cuando el programa se corre, la base de datos es llamada y se nombra mediante FRESADO está guardada en una dirección independiente de tal manera que sea fácilmente reconocible y pueda ser usada por otras aplicaciones, la dirección de la base de datos FRESADO.mdb es C:\Archivos de programa \ DISFRESAS \ Fresado. Fresado.mdb como cualquier base de datos se divide en tablas. La información detallada de las tablas se puede obtener abriendo la base de datos Herramientas.mdb, teniendo en cuenta la dirección C:\Archivos de programa \ DISFRESAS\Fresado.

Para permitir el llamado correcto de la información desde las diferentes tablas que componen la base de datos a las ventanas de consulta, ventanas de edición, cualquiera de las ventanas del software o para cualquier proceso que deba realizar la aplicación, es necesario definir una relación entre los datos que integran las diferentes tablas. Las relaciones de los datos de las diferentes

tablas pueden ser relaciones uno a uno, uno a varios o varios a varios, según sea necesario; en la figura 66 se puede observar el resultado de las relaciones entre los datos de las diferentes tablas que componen Fresado.mdb.

Figura 66. Relaciones entre las diferentes tablas de la base de datos.



6.4 PLATAFORMA DE DESARROLLO DISFRESAS

6.4.1 Descripción del lenguaje de programación. El software utilizado para desarrollar y programar DISFRESAS fue Visual Basic. Visual Basic es uno de los tantos lenguajes de programación que se pueden encontrar hoy en día. Dicho lenguaje nace del BASIC (**B**eginner's **A**ll-purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode) que fue creado en su versión original en el **Dartmouth College**, con el propósito de servir a

aquellas personas que estaban interesadas en iniciarse en algún lenguaje de programación. Visual Basic proporciona la herramienta más productiva y poderosa a los diseñadores de software para dirigirse a los desafíos de desarrollo de aplicación urgentes. Además de poder, productividad, y estabilidad de las aplicaciones, Visual Basic proporciona perfeccionamientos muy importantes, que resuelven los desafíos más urgentes que los diseñadores de software enfrentan hoy.

Parte de un ambiente de desarrollo integrado IDE, que ofrece a los desarrolladores de software un ambiente familiar en el que se puede encontrar:

- **Barra de título:** muestra el nombre del proyecto y del formulario que se está diseñando actualmente.
- **Barra de menús:** agrupa los menús desplegados que contienen todas las operaciones que se llevan a cabo con Visual Basic 6.0.
- **Barra de herramientas estándar:** contienen los botones que se utilizan con mayor frecuencia cuando se trabaja con un proyecto. Simplifica la elección de opciones de los menús Archivo, Edición, Ver y Ejecutar; además, en el área derecha presenta la ubicación (coordenadas) y el tamaño del objeto seleccionado.
- **Ventana de formulario:** es el área donde se diseña la interfaz gráfica, es decir, es donde se insertan gráficos, botones, imágenes, casilla de verificación, cuadros de listas, textos, etc.
- **Cuadro de herramientas:** presenta todos los controles necesarios para diseñar una aplicación, como cuadros de texto, etiquetas, cuadros de listas, botones de comandos, imágenes, gráficos, dbgrids, Flexgrid, etc.
- **Ventana de posición del formulario:** muestra la ubicación que tendrá el formulario en la pantalla, cuando ejecute la aplicación. Esta ubicación puede cambiarse si se hace clic con el botón izquierdo del mouse.
- **La Ventana propiedades:** muestra todas las propiedades del control actualmente seleccionado, por ejemplo, puede mostrar las propiedades del Form1, luego se puede ver que abajo dice "Form1. Form", lo que está en negrita es el nombre del objeto, y lo que le sigue es el tipo de objeto, en este caso es un Formulario (Form).

- **Ventana de código:** muestra la líneas de código asignadas a cada uno de los objetos contenidos en un formulario, presenta dos combos de selección desplegable, uno muestra un listado de los objetos que hacen parte del formulario que está seleccionado y el otro muestran las acciones que pueden ejecutar los objetos. Visual Basic es un lenguaje bastante flexible en cuanto a su programación se refiere, y se puede ligar a una base de datos desarrollada con el motor de la base de datos de Access, lo cual garantiza una total compatibilidad con este.

6.4.2 Beneficios de Visual Basic. Visual Basic es un software de vanguardia, ya que ofrece muy buena flexibilidad al programador, excelente rendimiento y una muy variada colección de elementos que permiten crear aplicaciones muy amigables. En conclusión Visual Basic ofrece grandes beneficios, los cuales se mencionan a continuación:

- Permite al programador del entorno de datos la posibilidad de generar, de manera automática (mediante la nueva tecnología de Objetos Activos), conectividad entre controles y datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre formularios o informes.
- Facilita la generación automática de formularios que administran registros de tablas o consultas pertenecientes a una base de datos, hoja de cálculo u objetos.
- Presenta la opción de incluir barra de herramientas personalizada, de tal manera que el usuario seleccione los botones que desea visualizar durante cada ejecución.
- Permite realizar programas sencillos de instalación, es decir las aplicaciones se ejecutan mediante simples archivos. EXE, sin necesitar otros archivos o DLLs para funcionar, de tal manera que facilita a los programadores seguir la pista de una aplicación muy fácilmente.
- Visual Basic proporciona un compilador optimizado que genera un ejecutable de forma rápida sin que se tenga que trabajar más duro cuando se requiera mejorar el programa escrito inicialmente.

- Ofrece aplicaciones HTML que combinadas con instrucciones Visual Basic controlan los eventos que se realizan en una página Web.

6.4.3 Base de datos. El término base de datos fue utilizado por primera vez en 1963, en un simposio celebrado en California. De forma sencilla se puede indicar que una base de datos, no es más que un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada. Desde el punto de vista informático, una base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados, que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulan ese conjunto de datos. Desde el punto de vista más formal, se puede definir una base de datos como un conjunto de datos estructurados, fiables y homogéneos, organizados independientemente, accesibles en tiempo real, compartibles por usuarios concurrentes que tienen necesidades de información diferente y no predecible en el tiempo. Existen diferentes formas de almacenar información. Esto da lugar a distintos modelos de organización de las bases de datos:

- **Modelo Entidad – Relación (E – R):** este modelo se basa en una percepción de un mundo real que consiste en una colección de objetos básicos llamados entidades, y relaciones entre esos objetos. Además de entidades y relaciones este modelo representa ciertas restricciones a las que debe ajustarse los contenidos de una base de datos.
- **Modelo Orientado a Objetos:** Al igual que el modelo entidad – relación este modelo se basa en una colección de objetos. Un objeto contiene valores almacenados en variables instancia dentro del objeto, a diferencia de los modelos orientados a registros, estos valores son objetos por sí mismos.

6.4.4 Organización y diseño de la base de datos. La base de datos utilizada como soporte informático para DISFRESAS es de tipo relacional. La organización relacional es importante porque ofrecen muchos tipos de procesos de datos, como: simplicidad y generalidad, facilidad de uso para el usuario final, períodos cortos de aprendizaje y las consultas de información se especifican de forma sencilla. Las bases

de datos relacionales están constituidas por una o más tablas que contienen la información ordenada de una forma organizada. Cumplen las siguientes leyes básicas: generalmente, contendrán muchas tablas, una tabla sólo contiene un número fijo de campos, el nombre de los campos de una tabla es distinto, cada registro de la tabla es único, el orden de los registros y de los campos no está determinados, para cada campo existe un conjunto de valores posible.

El primer paso para la creación de la base de datos, fue planificar el tipo de información que se quiere almacenar en la misma, teniendo en cuenta dos aspectos: la información disponible y la información que se requiere almacenar. La planificación de la estructura de la base de datos, en particular de las tablas, fue vital para la gestión efectiva de la misma. El diseño de la estructura de una tabla consiste en una descripción de cada uno de los campos que componen el registro y los valores o datos que contendrá cada uno de esos campos. Los campos son los distintos tipos de datos que componen la tabla, por ejemplo: operación de fresado, referencia de fresa, referencia de plaquita, etc. La definición de un campo requiere: el nombre del campo, el tipo de campo, el ancho del campo, etc. Los registros constituyen la información que va contenida en los campos de la tabla en forma horizontal. Generalmente los diferente tipos de campos que se pueden almacenar son los siguientes: Texto (caracteres), Numérico (números), Fecha / Hora, Lógico (informaciones lógicas si /no, verdadero / falso, etc.), imágenes. En resumen, el principal aspecto a tener en cuenta durante el diseño de una tabla es determinar claramente los campos necesarios, definirlos en forma adecuada con un nombre especificando su tipo y su longitud.

6.4.5 Implementación de la base de datos. De acuerdo con la plataforma de desarrollo, Visual Basic, se uso la base de datos Access, una base de datos visual, como todas las modernas bases de datos que trabajan en el entorno Windows, puede manejarse ejecutando unos cuantos clic de Mouse sobre la pantalla. Access contiene herramientas de diseño y programación de muy alto desempeño.

6.4.6 Otros programas utilizados. Para la realización del software DISFRESAS fue necesario la utilización de programas adicionales, los cuales proporcionaron una solución importante y un desempeño único para lograr los objetivos planteados por el proyecto; a continuación se describen estos programas:

- **Adobe Acrobat Writer:** el formato de documento portátil de Adobe® (PDF), creado por Adobe Systems y con más de diez años a sus espaldas de innovación, es una especificación disponible públicamente que utilizan los cuerpos de trabajo con estándares mundiales para una distribución y un intercambio seguros y fiables de documentos electrónicos. Los organismos de la administración pública y las empresas han adoptado el formato PDF de Adobe para agilizar la gestión de documentos, aumentar la productividad y reducir la dependencia del papel. Hoy día, PDF es el formato estándar seguro para el envío electrónico de aprobaciones de fármacos de la Administración de Fármacos y Alimentos de EE.UU. (FDA), así como para el archivo electrónico de casos de los juzgados federales norteamericanos. También es el formato estándar que se utiliza para las páginas publicitarias de revistas y periódicos. Como especificación abierta de formato de archivos, el PDF está disponible para todo el que quiera desarrollar herramientas con el fin de crear, visualizar o gestionar documentos PDF.
- **Macromedia Dreamweaver MX 2004:** es la opción profesional para la creación de aplicaciones y sitios Web. Ofrece una combinación muy útil de herramientas de diseño visual, funciones de desarrollo de aplicaciones y soporte para la edición de código. Todo ello permite a los desarrolladores y diseñadores de diferentes niveles de conocimiento crear sitios y aplicaciones atractivos basados en estándares de forma rápida para crear archivos tipo **HTML**, acrónimo inglés de Hyper Text Markup Language (lenguaje de marcación de hipertexto), es un lenguaje de marcas diseñado para estructurar textos y presentarlos en forma de hipertexto, que es el formato estándar de las páginas web. Gracias a Internet y a los navegadores del tipo Explorer o Netscape, el HTML se ha convertido en uno de los formatos más populares que existen para la construcción de documentos.

- **ASP Active Server Pages (ASP)** es una tecnología del lado servidor de Microsoft para páginas web generadas dinámicamente, que ha sido comercializada como un anexo a Internet Information Server (IIS). ASP ha pasado por cuatro iteraciones mayores, ASP 1.0 (distribuido con IIS 3.0), ASP 2.0 (distribuido con IIS 4.0), ASP 3.0 (distribuido con IIS 5.0) y ASP.NET (parte de la plataforma .NET de Microsoft). Las versiones pre-.NET se denominan actualmente (desde 2002) como ASP clásico. En el último ASP clásico, ASP 3.0, hay seis objetos integrados disponibles para el programador, Application, ASPError, Request, Response, Server y Session. Cada objeto corresponde a un grupo de funcionalidades frecuentemente usadas y útiles para crear páginas web dinámicas, para la elaboración del módulo de evaluación se uso ASP 3.0.
- **Wise Solution Professional Edition.** Herramienta que permite crear archivos tipo instaladores, para una instalación rápida y efectiva de los software o aplicaciones dentro de su sistema operativo. El usuario por medio de la herramienta realiza compilación de los archivos maestros de cualquier aplicación o software, así como de los archivos necesarios de sistema para el funcionamiento de dicha aplicación, todo esto se hace por medio de una estructura de programación o instalación, en donde se direccionan los archivos o carpetas que serán ubicados dentro del sistema operativo.

6.5 PRUEBAS DEL SOFTWARE

Las pruebas al sistema tienen una relevante importancia, ya que estas implican en calidad para el producto. Las pruebas son un elemento crítico para la garantía de calidad del software y representan una revisión final de las especificaciones del diseño y de la codificación. No es extraño que se emplee un elevado porcentaje del tiempo de realización del proyecto en realizar las pruebas. Las pruebas parecieran una contrariedad ya que inicialmente se invirtió suficiente tiempo en construir el software y al llegar estas intentan demoler el producto construido.

Las pruebas al producto tienen consistencia si se tienen en cuenta los objetivos sobre los cuales se plantean:

- La prueba es un proceso de ejecución de un programa con la intención de descubrir un error.
- Un buen caso de prueba es aquel que tiene una alta probabilidad de mostrar un error no descubierto hasta entonces.
- Una prueba tiene éxito si descubre un error no descubierto hasta entonces.

El objetivo primordial es diseñar las pruebas que sistemáticamente saquen a la luz diferentes clases de errores, haciéndolo con la menor cantidad de tiempo y esfuerzo. Como ventaja secundaria de las pruebas se demuestra hasta qué punto las funciones del software parecen funcionar de acuerdo a las especificaciones y parecen alcanzarse los requisitos de rendimiento. Además, los datos que se van recogiendo a medida que se llevan a cabo las pruebas proporcionan una buena indicación de la fiabilidad del software, y en gran medida la calidad del software como un todo, sin embargo hay una cosa que no pueden hacer las pruebas y es asegurar la ausencia de defectos. Las pruebas son un conjunto de actividades que se pueden planificar por adelantado y llevar a cabo sistemáticamente. Por esta razón se deben definir en el proceso de la ingeniería del software una plantilla para las pruebas. Existen múltiples estrategias de prueba de las aplicaciones, pero todas deben tener las siguientes características generales:

- Las pruebas deben empezar en el nivel de módulo y trabajar hacia fuera, hacia la integración de todo el sistema.
- Según el momento son apropiadas diferentes técnicas de prueba.
- Las pruebas las lleva a cabo el responsable del desarrollo del software.
- La prueba y la depuración son actividades diferentes, pero la depuración se debe incluir en cualquier estrategia de prueba.

6.5.1 Prueba de Unidad. La prueba de unidad centra el proceso de verificación en la menor unidad del diseño del software: el módulo. Usando la descripción del diseño de procedimientos de DISFRESAS como guía, se probaron los caminos de

control importantes, con el fin de descubrir errores dentro del límite del módulo, en cada uno de los módulos de programación. Se probó la interfaz del módulo de tal manera que garantice que la información fluya de forma adecuada hacia y desde el módulo que está siendo probado. Se examinó la estructura de los datos locales para asegurar que los datos que se mantienen en forma temporal conserven su integridad durante todos los pasos de ejecución del código. Se probaron las condiciones límites para asegurar que el módulo funciona correctamente en los límites establecidos como restricciones del procesamiento. Se ejercitaron pruebas de unidad tanto para DISFRESAS como para TEORIA, SELECCIÓN Y DISEÑO todos los caminos independientes (caminos básicos) de la estructura de control, con el fin de asegurar que todas las sentencias se ejecutan por lo menos una vez. Y finalmente se probaron todos los caminos de manejo de errores.

6.5.2 Pruebas de Integración. Se podría pensar si todos los módulos funcionan bien por separado, porqué dudar que todos funcionen juntos, y en realidad el problema es de interacción. La prueba de integración es una técnica sistemática para construir la estructura sistemática del programa, mientras que al mismo tiempo se llevan a cabo pruebas, para detectar los errores asociados con la interacción. La mejor metodología en cuanto a pruebas de integración es la Integración incremental, que consiste en construir pequeños segmentos del programa, de tal manera que los errores sean más fáciles de detectar, aislar y corregir. Existen varias técnicas de integración como:

- **Integración descendente.** Consiste en integrar los módulos moviéndose hacia abajo por la jerarquía de control, comenzando por el módulo de control principal; los módulos subordinados al módulo de control principal se van incorporando en la estructura. Esta prueba se realizó con elevada exigencia en la ejecución de DISFRESAS.
- **Integración ascendente.** Como su nombre lo indica empieza la construcción y la prueba con los módulos de los niveles más bajos de la estructura del programa.

- **Prueba de regresión.** Esta prueba consiste en ejecutar un subconjunto de pruebas que se han llevado a cabo anteriormente para asegurarse que los cambios por añadir nuevos módulos no han propagado efectos colaterales no deseados. Esta fue la prueba que más se utilizó para comprobar la integración de los módulos de programación del DISFRESAS.

- **Prueba de compilación:** Esta prueba consiste en ejecutar los diferentes módulos de DISFRESAS, para comprobar la ubicación correcta de las carpetas, la utilización respectiva de las librerías, y la compatibilidad con la plataforma de lanzamiento. Esta prueba se realizó de manera exhaustiva para evitar conflictos en la instalación y ejecución del software DISFRESAS. Se observó que en la instalación del programa la base de datos no se direccionaba correctamente entonces no había conexión entre el motor de búsqueda de Visual Basic y Access, pareciera que no existiera la BD, este error se corrigió creando un paquete de instalación que contiene los ejecutables del software para así direccionar correctamente la instalación.

6.5.3 Pruebas de Validación. Tras la culminación de la prueba de integración el software está completamente ensamblado como un paquete, se han encontrado los errores de la interfaz y puede comenzar una serie final de pruebas del software: la prueba de validación. La validación puede definirse de muchas formas, pero una forma simple es que la validación se consigue cuando el software funciona de acuerdo con las expectativas razonables de los requerimientos. La validación se alcanza mediante una serie de pruebas que demuestran la conformidad con los requisitos; estas pruebas intentan buscar errores de funciones ausentes, algunos errores de interfaz, estructura de datos o en acceso a la base de datos, errores de rendimiento y errores de inicialización o terminación. Tanto el plan de las pruebas, como los procedimientos están diseñados para asegurar que se satisfacen todos los requisitos funcionales, que se alcanzan todos los requisitos de rendimiento, que la documentación es correcta e inteligible y que se alcanzan otros requisitos como transportabilidad, compatibilidad, recuperación de errores y facilidad de mantenimiento entre otros. Se efectuaron pruebas de validación como por ejemplo

introducción de datos numéricos en campos donde solo se pueden ingresar datos de tipo texto, así como también números con una cantidad mayor a la permitida en el campo, se observó que no funcionaba correctamente, este error se debió a sintaxis de programación y se logró corregir satisfactoriamente.

6.5.4 Pruebas de DISFRESAS. Las pruebas del sistema, realmente están constituidas por una serie de pruebas diferentes cuyo propósito primordial es ejercitar profundamente el sistema. Aunque cada prueba tiene un propósito diferente todas trabajan para verificar que se han integrado adecuadamente todos los elementos del sistema y que realizan las funciones apropiadas. Los tipos de pruebas del sistema son:

- **Prueba de recuperación.** Los sistemas basados en computadora deben recuperarse de los fallos y continuar el proceso dentro de un tiempo previamente establecido. La prueba de recuperación es una prueba que fuerza al fallo del software de muchas formas y verifica que la recuperación se lleve a cabo apropiadamente, ya sea de forma automática o con intervención de desarrolladores o administradores del software.
- **Prueba de seguridad.** Cualquier sistema basado en computadora que maneje información sensible o lleve a cabo acciones que puedan perjudicar a las personas es un posible objetivo para entradas al sistema impropias e ilegales. La prueba de seguridad intenta verificar que los mecanismos de protección incorporados en el sistema lo protegerán de accesos impropios.
- **Pruebas de resistencia.** Las pruebas de resistencia están diseñadas para enfrentar a los programas con situaciones anormales. En esencia la persona que realice la prueba puede preguntarse a qué potencia puedo ponerlo a funcionar antes de que falle. La prueba de resistencia ejecuta el sistema de forma que demande recursos en cantidad, frecuencia o volúmenes anormales.

- **Prueba de rendimiento.** Las pruebas son validas únicamente para sistemas en tiempo real, es así que para nuestro software no son aplicadas, ya que DISFRESAS no es un software basado en tiempo real.

6.5.5 Depuración. La depuración no es una prueba, pero siempre ocurre como consecuencia de estas. Se evalúan los resultados y aparece una falta de correspondencia entre los esperados y los encontrados realmente. El proceso de depuración intenta hacer corresponder el síntoma con una causa, llevando así a la corrección del error. El proceso de depuración siempre tiene uno de los dos resultados siguientes: Se encuentra la causa, se corrige y se elimina; o no se encuentra la causa. En este último caso al realizar la depuración se debe sospechar la causa, diseñar un caso de prueba que ayude a confirmar las sospechas y el trabajo se devuelve hacia atrás a la corrección del error en una forma iterativa.

6.5.6 Análisis de compatibilidad. En este análisis se realizaron las pruebas de instalación y ejecución, de cada uno de los módulos que conformaran el software; la instalación y ejecución se realizó bajo la plataforma de Windows XP, siendo esta la plataforma donde se desarrollará e implementará DISFRESAS. Esta tarea es muy importante e indispensable en el desarrollo de este proyecto, porque basado en ella se descubrió el grado de dificultad y los problemas que se presentaron en el desarrollo e implementación del proyecto.

A continuación se muestran los resultados del análisis de cada uno de los módulos:

- En el módulo de selección se presentó una dificultad en el enlace de la base de datos con la interfaz principal se solucionó creando un paquete de instalación.
- Al tratar de enlazar los módulos de TEORIA, SELECCIÓN y DISEÑO no se presentó ningún problema.

6.6 DISEÑO DE INFORMES Y REPORTES DE DISFRESAS

En el diseño de los informes y reportes se debe tener en cuenta el tipo de usuario que va a utilizar los reportes, es decir se debe diferenciar entre usuario normal y administrador, para así diseñar los reportes e informes, debido a que la información que obtenga el usuario normal no es la misma que la información que necesite el administrador.

Los informes y reportes del usuario llevarán el logo del software, así como la fecha y hora de creación del reporte; como el usuario esta seleccionando una determinada operación de fresado entonces necesitará en su reporte la información relevante y necesaria tal como referencia de fresa, referencia de plaquita, parámetros de corte, foto así como se observa en la figura 67 y 68.

Figura 67. Diseño de reportes SELECCIÓN.

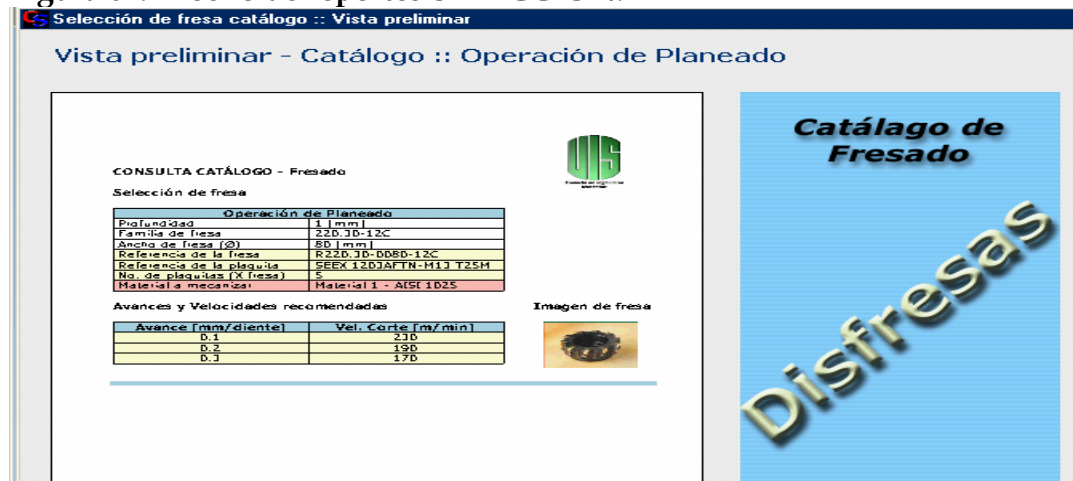
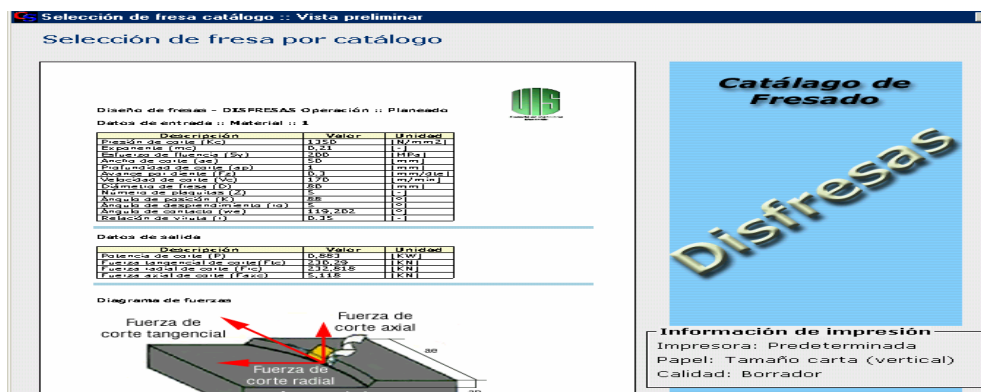


Figura 68. Diseño de reportes DISEÑO.

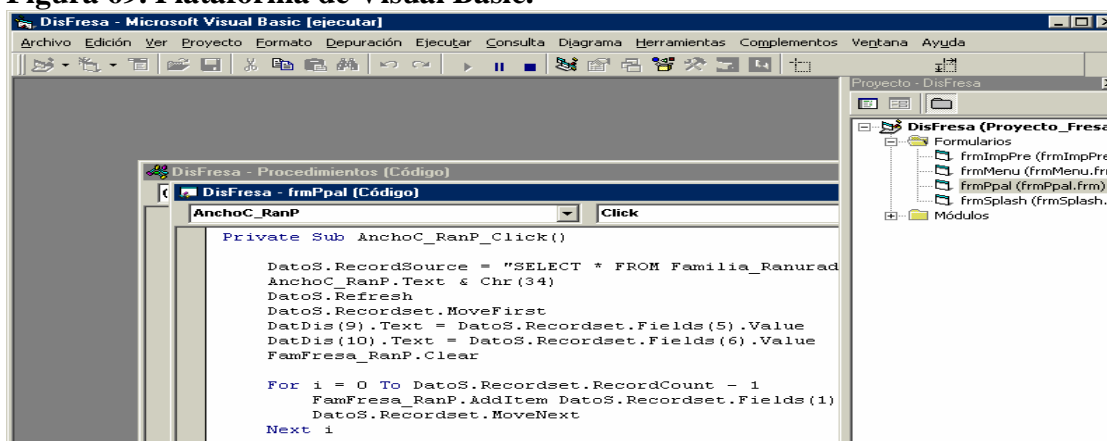


7. ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE Y HARDWARE

7.1 SOFTWARE PARA DESARROLLO.

La programación del sistema de información ha sido realizada con el lenguaje de programación Visual Basic, versión 6.0, bajo sistema operativo Windows XP (plataforma de 32bits).

Figura 69. Plataforma de Visual Basic.



La conexión con la base de datos se hace por medio de la interfaz de objetos de datos de ActiveX (ADO), utilizando el manejador de base de datos Access 2000.

7.2 SOFTWARE REQUERIDO.

Para la instalación de DISFRESAS se requiere el siguiente software:

- Sistema operativo Windows 98 o una versión superior.
- Navegador para Internet. En el CD de instalación se suministra el Internet Explorer, versión 5.0.

- Personal Web Server. Este programa esta normalmente incluido en el CD de instalación del correspondiente sistema operativo.
- Acrobat Reader. En el CD de instalación se suministra la versión 6.0

7.3 HARDWARE REQUERIDO.

Para la instalación de DISFRESAS se requiere el siguiente hardware:

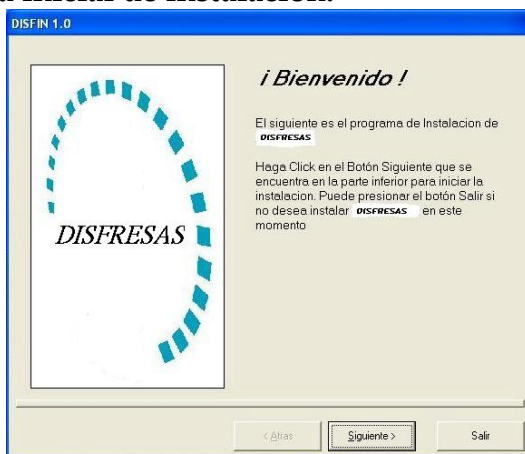
- Computador con procesador de 700 MHz o superior.
- 132 MB de RAM (Más memoria mejora el rendimiento)
- 400 MB libres en disco duro.
- Unidad de Cd-rom.
- Monitor VGA o de mayor resolución, DISFRESAS ha sido diseñado para trabajar bajo una resolución de 800 x 600 píxeles.
- Impresora. Preferiblemente impresión a color.

8. MANUAL DE USUARIO

8.1 INSTALACIÓN DE DISFRESAS

Inserte en la unidad de CD-ROM el CD del programa DISFRESAS. Aparecerá en pantalla la ventana de configuración principal. En ella hacer clic sobre el botón Siguiente. Si no es así, puede seleccionar la opción Ejecutar desde el menú Inicio en la barra de tareas de Windows, e iniciar el programa de instalación tecleando "D:\Instalar_Disfresas" (donde D:\ significa la letra de su unidad de CD-ROM) y pulsando la tecla "Enter". Ver figura 70.

Figura 70. Pantalla inicial de instalación.



A continuación aparece la pantalla para seleccionar la carpeta destino donde se va a instalar el programa. Hacer clic sobre el botón Siguiente para continuar.

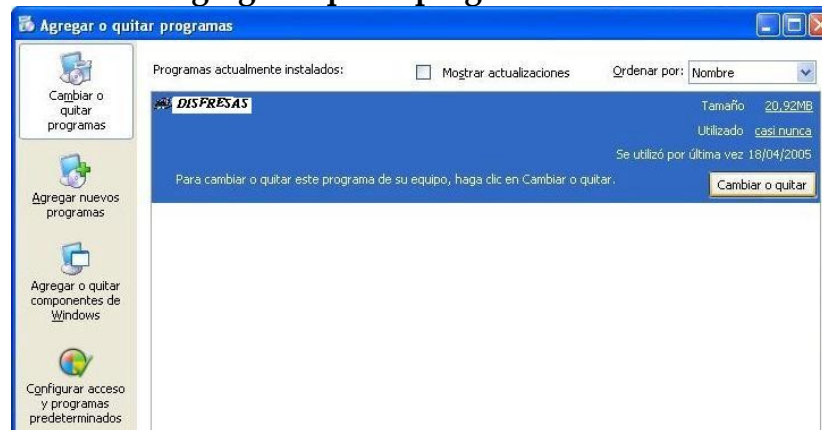
Se puede cancelar la instalación de DISFRESAS en cualquier momento.

8.2 DESINSTALACIÓN DE DISFRESAS

En la barra de tareas de Windows, hacer clic sobre el botón Inicio, señale

Configuración, elegir Panel de Control y luego hacer clic en el icono Agregar o quitar programas. En el cuadro de lista ubicar a DISFRESAS y hacer clic en el botón Agregar o quitar para iniciar la desinstalación. Ver figura 71.

Figura 71. Ventana agregar o quitar programas.



8.3 ENTRADA AL SISTEMA.

DISFRESAS es un sistema de Teoría Selección Y Diseño de herramientas de fresado para el maquinado de piezas aplicable a las empresas donde la calidad, eficiencia y rapidez del mecanizado de piezas en general, son factores esenciales para la producción, basado en las recomendaciones y normas de las casas fabricantes y especialistas en el área.

Para iniciar Disfresas desde el menú inicio: en la barra de tareas de Windows, hacer clic sobre el botón inicio, señalar todos los programas, elegir Disfresas y luego hacer clic en el icono Disfresas, o bien, hacer clic sobre el botón inicio y luego hacer clic en el icono Disfresas. Ver figura 72.

Después de dar clic en el botón de DISFRESAS aparece la pantalla inicial del programa y la ventana de diálogo que permite la selección del módulo a ejecutar.

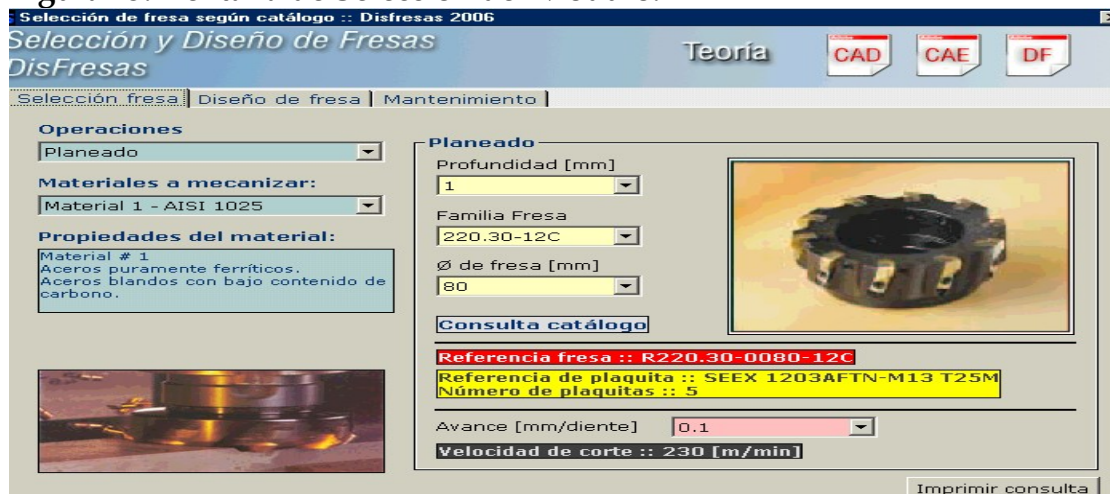
Figura 72. Ejecutar DISFRESAS.



8.4 MENÚ PRINCIPAL - SELECCIÓN DEL MÓDULO.

Esta ventana realiza la correspondiente vinculación con cada uno de las secciones de las que está compuesta DISFRESAS.

Figura 73. Ventana de Selección del Módulo.



8.4.1 Módulo Teoría. Este módulo está enfocado a introducir al usuario en el tema de herramientas de fresado haciendo un breve recorrido por tópicos muy necesarios. En el menú principal de la página se puede acceder a cada uno de sus bloques principales mediante vínculos situados en la parte izquierda como se ilustra en la figura 74.

Cada uno de las cinco opciones vincula a diferentes secciones de la página. El diseño

del sitio Web obedece a un enfoque de tutorial informativo, interactivo y amigable.

Figura 74. Menú Principal de la Página Web.



Por último, la página cuenta con una serie de enlaces con las más reconocidas casas fabricantes de herramientas de fresado y elementos relacionados con los procesos de mecanizado más comunes.

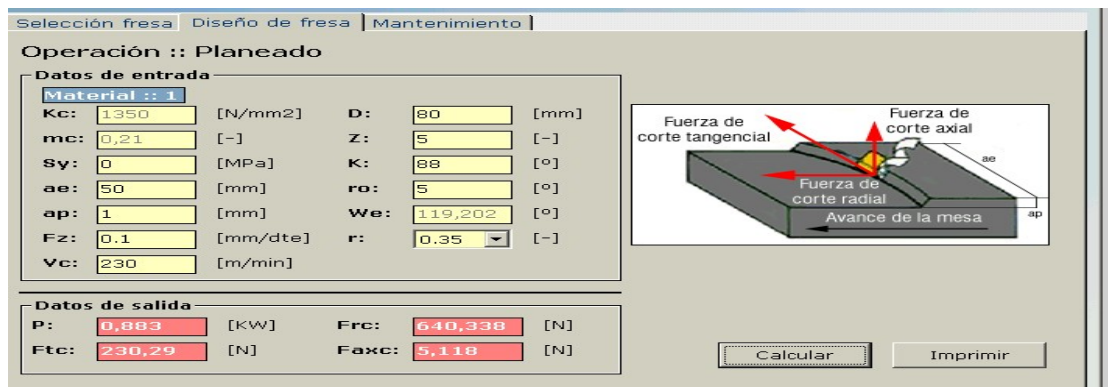
8.4.2 Módulo de Selección. Continuando con el proceso de preparación para una correcta selección de la herramienta de fresado el módulo de Selección presenta una visión mas detallada de los operaciones de fresado. Basándose en recomendaciones de fabricantes y especialmente en estándares como el código ISO. Para acceder a este módulo solo es necesario hacer clic en el menú principal ilustrado en la figura 75.

Figura 75. Página Principal del Módulo de Selección.



8.4.3 Módulo de Diseño. Esta última sección ofrece al usuario la posibilidad de evaluar las fuerzas y potencia de corte que intervienen en el proceso de corte, en las operaciones de fresado. Este módulo presenta inicialmente dos interfaces; una para el usuario que es la encargada de interactuar con él, y de manera amigable y calcular los parámetros necesarios para la correcta evaluación de fuerzas y potencia de corte.

Figura 76. Pagina principal del modulo Diseño.



Después con ayuda de herramientas de Diseño como son Solid Edge y Ansys Workbench para la respectiva evaluación de esfuerzos.

Dentro del programa se ofrecen los manuales en archivo PDF de Solid Edge (CAD) y Ansys Workbench(CAE).

Figura 77. Pagina principal del modulo Mantenimiento.



Figura 78. Manuales pdf para manejo de Solid Edge y Workbench



8. CONCLUSIONES

El software de Selección y Diseño para herramientas de fresado DISFRESAS deja como conclusiones:

- DISFRESAS maneja, organiza y clasifica de manera eficaz la información necesaria para capacitar al usuario en el tema de la selección de la correcta herramienta de fresado conveniente para cada operación.
- Se integró mediante una interfaz amigable los diferentes módulos concebidos para introducir y conducir al usuario a través de un proceso de selección y diseño de la correcta herramienta de fresado.
- Se llevo a cabo el desarrollo del módulo de selección orientado a permitir futuras actualizaciones y modificaciones de la base de datos.
- La industria metalmecánica ahora cuenta con una herramienta software desarrollada en Colombia que permite el registro y consulta de información sobre herramientas de fresado, capacitación en general de operación de fresado.
- DISFRESAS optimiza el procesos de fresado de una empresa metalmecánica, mejorando la productividad, calidad y costos de producción.
- Las pérdidas en tiempo y dinero, generadas por la búsqueda de elementos y dispositivos destinados a la selección de herramienta de fresado desaparece gracias a la versatilidad en la consulta de la información de DISFRESAS.
- Con el software desarrollado se contribuye en la generación de una excelente documentación para el proceso de fresado, así como para cada una de las operaciones más comunes.

BIBLIOGRAFIA

ANAYA, Luis A. y MARTINEZ Fabio A. Determinación de la capacidad de producción de las herramientas en las empresas metalmecánicas. Bucaramanga. 2002, 221p. Tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

BLANPAIN, Eduardo. Teoría practica de las herramientas de corte. Barcelona: Gustavo Gili, 1962. 692 p.

BOEHS, Lourival. Projeto de Implantação de un Centro de Informação de Usinagem. En: X Congreso Brasileño de Ingeniería Mecánica. Campinas: 1989.

BOEHS, Lourival. CUPINI, N.L. Banco de Dados e Informações em Tecnología de Usinagem. En: VI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Santiago:1995.

BOOTHROYD, Geoffrey. Fundamentos del corte de metales de las maquinas herramientas. Mexico: Mc Graw Hill, 1978. 350 p.

BURGHARDT, Henry D. Manejo de las maquinas herramientas, Parte II. New York: Mc Graw Hill, 1965. 702 p.

CEBALLOS, Francisco J. Visual Basic 6.0, curso de programación. México: Alfaomega, 1999. 499 p.

CORDOBA, Nieto Ernesto. Dispositivos de Fijación para Herramientas CNC., Divulgación Tecnológica SENA. Bogota: 1991, 98 p.

COX, Joyce; DUDLEY, Nathan y AUNE, Liz. Curso rápido de Microsoft Access 2000. Bogota: Norma, 1999. 219 p.

DATE, C.J. Introducción a los Sistemas de Bases de Datos VOL 1. Madrid: Addison Wesley.,1993. 574 p.

DIAZ, Jorge G. y MARENTES, Julio C. Banco de datos de herramientas y materiales de mecanizado. Bucaramanga. 1999, 213 p. Tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

GONZALEZ, Andrés y PINTO, Iván. Banco de datos de máquinas herramientas y fabricantes. Bucaramanga. 1998 422 p. Tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

KIBBE, Richard y NEELY, John. Manual de Maquinas Herramientas vol 2, México: Limusa, 1992. 488 p.

KROV, Oswald. Operaciones de maquinas herramientas. México: Mc Graw Hill, 1990

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Visual Basic 6.0; Manual del Programador, Madrid: McGraw Hill, 1998. 921 p.

MOLINA, Duran Anderson y QUINTERO, José Luis. Software Gerenciador de Herramientas para la Industria Metalmeccánica. Bucaramanga. 2003, 423 p. Tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

MONTILVA, Jonás. Desarrollo de sistemas de información. Mérida: Consejo de publicaciones de la Universidad de Los Andes en Mérida, 1992. 262 p.

NEELY, John E y KIBBE, Richard. Materiales y Procesos de Manufactura, México: Limusa, 1992. 481 p.

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del Software: un enfoque práctico. 5a. ed. Madrid: McGraw Hill, 1998. 601 p.

ROSS, Nelcy y REYES, Norberto. Sistema experto que apoya la selección de herramientas de corte en procesos de mecanizado. Bucaramanga. 2001. 174 p.
Tesis de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

SCHELY, John A. Procesos de Manufactura. México: McGraw Hill, 2000. 1003 p.

SEEN, James A. Análisis y Diseño de Sistemas de Información. 2ª ed. México: Mc Graw Hill, 1997.