

**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Mecánica**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**



## **Trabajo de Diploma**

**Título: "Obtención de los parámetros de corte para la operación de planeado en el fresado de forma automatizada."**

**Diplomante: Ernesto León Milián**

**Tutor: Ing. Alexis Alonso Martínez**

**Curso 2010 - 2011**

**"Año del 52 Aniversario del Triunfo de la Revolución"**

---

## Resumen

La automatización de regímenes de corte es de gran importancia para lograr procesos de manufactura económicamente eficientes. Por lo que en el presente trabajo se elaboró una herramienta informática que permite, de forma automatizada, obtener los datos de corte para una operación de fresado de forma sencilla. Se muestra información sobre los diferentes tipos de fresadoras, sus características, evolución y parámetros de corte principales. Se presenta una síntesis de los diferentes materiales empleados en las herramientas de corte modernas utilizadas en el fresado, característica de estas herramientas así como una clasificación según la norma ISO para su identificación. Se expone la importancia de la correcta selección de las herramientas de corte en una tecnología de mecanizado y se hace un resumen de algunas de las ecuaciones utilizadas en el cálculo de los datos de corte de fresado. Se expone además un procedimiento de cálculo para la operación de planeado con ángulo de  $45^\circ$  validando sus resultados mediante la herramienta diseñada en el Capítulo 3. En los anexos aparecen tablas y datos de varios modelos de máquinas herramienta y herramientas de corte, los cuales son necesarios para ajustar los regímenes de corte calculados. Se abordan también los temas de protección e higiene del trabajo para los procesos de fresado.

## Abstract

The automation of cutting processes is a very important issue for achieving economical manufacturing processes. In this work is developed a tool computational cutting data obtained for a milling operation easily. Is shown information about the different types of milling machine their characteristics, evolution and main cutting parameters. Is presenting a synthesis of the different materials used in modern cutting tools used in milling, characteristic of these tools as well as an ISO classification for your identification. It is describes the importance of proper selection of cutting tools in machining technology and a summary of some of the equations used in the calculation of cutting data for step of milling of planned. It also explains a method of calculation for the obtaining of the cutting processes validating the results with the tool designed in Chapter 3. In the Annex are tables and data of models of machine tools and cutting tools, which are necessary to adjust the calculated cutting processes. There are approached briefly topics of protection and hygiene.

---

**Índice**

	<b>Pág.</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I: Características generales de las Fresadora. ....</b>	<b>4</b>
1.1.- Historia de las fresadoras.....	4
1.2.- Tipos de fresadoras.....	5
1.2.1.- Fresadoras según la orientación de la herramienta.....	5
1.2.2.- Fresadoras especiales.....	6
1.2.3.- Fresadoras según el número de ejes.....	7
1.3.- Movimientos de la fresadora.....	8
1.4.- Estructura y componentes de una fresadora.....	9
1.4.1.- Estructura de una fresadora.....	9
1.4.2.- Características técnicas de una fresadora.....	10
1.4.3.- Accesorios principales.....	11
1.5.- Herramientas de corte de las fresadoras.....	12
1.6.- Verificación y puesta a punto.....	15
1.7.- Operaciones de fresado.....	15
1.8.- Parámetros de corte del fresado.....	18
1.8.1.- Velocidad de corte.....	20
1.8.2.- Velocidad de rotación de la herramienta.....	21
1.8.3.- Velocidad de avance.....	21
1.8.4.- Profundidad de corte o de pasada.....	23
1.8.5.- Espesor y sección de viruta.....	23
1.8.6.- Volumen de viruta arrancado.....	24
1.8.7.- Tiempo de mecanizado.....	24
1.8.8.- Fuerza específica de corte.....	24
1.8.9.- Potencia de corte.....	25
1.9.- Mecanizado rápido.....	25
1.10.- Control numérico por computadora en fresadoras.....	26
1.10.1.- Campo de aplicación del control numérico.....	27
1.10.2.- Equipamiento de una fresadora de control numérico.....	28
1.11.- Fresado en seco y con refrigerante.....	29
1.12.- Gestión económica del fresado.....	30

---

1.13.- Condiciones de trabajo con fresadora.....	31
1.14.- Perfil de los fresadores profesionales.....	32
1.15.- Consideraciones generales para el fresado. ....	33
1.16.- Problemas habituales en el fresado. ....	33
<b>Capítulo II: Datos de corte para fresado</b> .....	<b>36</b>
2.1.- Aspectos básicos del corte en el fresado.....	36
2.1.1.- Terminología, unidades y formulas relacionadas con el fresado. ....	36
2.1.2.- Algunas observaciones sobre el corte de fresas de placas redondas.....	38
2.1.3.- La geometría frontal de la plaquita.....	39
2.1.4.- El paso de la fresa. ....	39
2.1.5.- Selección del diámetro y de la posición de la fresa durante el planeado. ....	40
2.1.6.- Selección del ángulo de posición K.....	42
2.2.- Selección de datos de corte para fresado. ....	44
2.2.1.- Ejemplo de determinación de datos de corte para un planeado. ....	47
<b>Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte para el planeado en el fresado.</b> .....	<b>52</b>
3.1.- Implementación de la herramienta informática desarrollada. ....	53
3.2.- Importancia económica sobre la necesidad de automatizar el cálculo de los datos de corte. ....	58
<b>Conclusiones</b> .....	<b>60</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>61</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>62</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>65</b>

---

## Introducción

El mecanizado es una ciencia que se desarrolló junto a la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX, y que continúa su desarrollo en los siglos XX y XXI. Esta ciencia ha jugado un papel importante en el desarrollo de la civilización. En el siglo XVIII se trabajaba preferentemente la madera y el trabajo con el metal en máquinas era muy limitado y rudimentario.

Durante el siglo XIX se incrementó el desarrollo de los talleres y su maquinaria en Europa y Norteamérica, especialmente los fabricantes de armas en nuestro continente encabezaron el desarrollo en el mecanizado.

La fabricación de piezas mediante el arranque de virutas se realiza tomando en cuenta ciertos factores que determinan el régimen o datos de corte a que se verán sometidas la pieza y la herramienta de corte. En la tecnología de fabricación de una pieza el régimen de corte tiene una tremenda importancia por cuanto influye bastante en la productividad así como en la calidad de la pieza obtenida. [24]

En proceso de fresado, al igual que en cualquier proceso de elaboración por arranque de virutas, intervienen un grupo considerable de variables para la selección del régimen de corte. Uno de los objetivos básicos de todo estudio del maquinado, consiste en establecer las relaciones adecuadas entre estas variables. Dentro de ellas hay varias que son imprescindible para la optimización de regímenes de corte, entre ellas se destacan la vida útil de la herramienta, la fuerza de corte y el tiempo de corte. Estas variables deben ser seleccionadas en función de los parámetros del régimen de corte, o sea, de la profundidad de corte, el tipo de herramienta o fresa según la operación a realizar, el avance y la velocidad de corte. [10]

En diferentes manuales y textos se dan tablas de datos (regímenes) de corte para diversas herramientas y para una infinidad de circunstancias distintas. Los fabricantes de herramientas de corte, han desarrollado y desarrollan nuevos materiales y geometrías para las herramientas de corte. Para cada uno de estos materiales y herramientas se desarrollan ensayos, que hoy en día tienen una base científica porque se sustentan en diseños de experimentos, y de tales ensayos surgen las tablas con los datos de corte recomendados y las circunstancias para las cuales son válidas dichas tablas. Si las circunstancias cambian, entonces existen tablas de coeficientes de corrección para adaptar los datos obtenidos de

las primeras. Por tanto, los métodos a seguir para obtener un régimen de corte óptimo pueden ser muchos y ningún texto puede abarcar varios de ellos; en todo caso, algunos libros explican un método y dan las tablas correspondientes.

Por otra parte, en la práctica real de los talleres pequeños no se emplean tablas para seleccionar los regímenes de corte, lo cual es una gran deficiencia. El operario de la máquina herramienta decide libremente qué régimen va a emplear, y aún más, la mayoría de las veces decide la secuencia de operaciones y pasos lo cual, muchas veces, es la causa de la baja productividad.

Debido a estas causas en este trabajo simplemente se va a explicar un procedimiento o pasos a seguir de manera muy general. Hay una advertencia que hacer, y es que se pueden escoger las tablas de cualquier manual o fabricante, pero no se pueden mezclar datos de manuales, fabricantes y textos diferentes. [24]

Otro aspecto importante a destacar es que con el desarrollo de la computación y los software se han podido automatizar los diferentes procedimientos de cálculo de los regímenes de corte trayendo consigo enormes ventajas cada uno con características propias.

Por lo que en este trabajo de diploma se abordará la tarea de diseñar una herramienta informática con el objetivo de decidir cuál es el régimen de corte más adecuado para una operación de planeado, con el fin de automatizar estos cálculos y que estos sean los mas factibles y económicos posibles.

Teniendo en cuenta la problemática antes explicada, se decidió realizar este trabajo de diploma, para el cual se concibieron los siguientes objetivos.

**Objetivo general:**

Automatizar la selección y el cálculo de los parámetros del régimen de corte para la operación de planeado en el fresado.

**Objetivos específicos:**

1. Buscar y seleccionar información actualizada sobre tablas, ecuaciones, catálogos y criterios para la selección y el cálculo de los parámetros del régimen de corte para la operación de planeado en el fresado.

2. Seleccionar un procedimiento para el cálculo de los parámetros del régimen de corte para la operación de planeado con ángulo de  $45^\circ$  en el fresado.
3. Desarrollar una herramienta informática, cómoda y sencilla, para la automatización del procedimiento de cálculo seleccionado.

**Hipótesis del trabajo:**

Es posible el diseño y la realización de una herramienta informática para la automatización del cálculo de regímenes de corte para la operación de planeado en el fresado.

**Resultado a obtener:**

Se propone como principal resultado una herramienta informática para el cálculo de regímenes de corte para una operación de planeado.

**Estructura del trabajo de diploma:**

Este trabajo de diploma cuenta con tres capítulos. El primer capítulo aborda algunos aspectos relacionados con las fresadoras, herramientas de corte y campo de empleo. El segundo capítulo se dedica al corte en la operación de fresado y a el procedimiento utilizado. El tercer capítulo se describe la herramienta diseñada y que importancia económica representa su uso. Además, como trabajo de diploma tiene una introducción independiente, conclusiones, recomendaciones y anexos.

## Capítulo I: Características generales de las Fresadora.

Una **fresadora** es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas. [19]

Inventadas a principios del siglo XIX, las fresadoras se han convertido en máquinas básicas en el sector del mecanizado. Gracias a la incorporación del control numérico, son las máquinas herramientas más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación. La diversidad de procesos mecánicos y el aumento de la competitividad global han dado lugar a una amplia variedad de fresadoras que, aunque tienen una base común, se diferencian notablemente según el sector industrial en el que se utilicen. Asimismo, los progresos técnicos de diseño y calidad que se han realizado en las herramientas de fresar, han hecho posible el empleo de parámetros de corte muy altos, lo que conlleva una reducción drástica de los tiempos de mecanizado. [15]

Debido a la variedad de mecanizados que se pueden realizar en las fresadoras actuales, al amplio número de máquinas diferentes entre sí, tanto en su potencia como en sus características técnicas, a la diversidad de accesorios utilizados y a la necesidad de cumplir especificaciones de calidad rigurosas, la utilización de fresadoras requiere de personal calificado profesionalmente, ya sea programador, preparador o fresador. [20]

El empleo de estas máquinas, con elementos móviles y cortantes, así como líquidos tóxicos para la refrigeración y lubricación del corte, requiere unas condiciones de trabajo que preserven la seguridad y salud de los trabajadores y eviten daños a las máquinas, a las instalaciones y a los productos finales o semielaborados. [2]

### 1.1.- Historia de las fresadoras.

La primera máquina de fresar se construyó en 1818 y fue diseñada por el estadounidense Eli Whitney con el fin de agilizar la construcción de fusiles en el estado de Connecticut. Esta máquina se conserva en el Mechanical Engineering Museum de Yale. En la década de 1830, la empresa Gay & Silver construyó una fresadora que incorporaba el mecanismo de regulación vertical y un soporte para el husillo portaherramientas. [8]

En 1848 el ingeniero americano Frederick W. Howe diseñó y fabricó para la empresa Robbins & Lawrence la primera fresadora universal que incorporaba un dispositivo de copiado de perfiles. Por esas mismas fechas se dio a conocer la fresadora Lincoln, que incorporaba un carnero cilíndrico regulable en sentido vertical. A mediados del siglo XIX se inició la construcción de fresadoras verticales. Concretamente, en el museo Conservatoire National des Arts et Métiers de París, se conserva una fresadora vertical construida en 1857.

La primera fresadora universal equipada con plato divisor que permitía la fabricación de engranajes rectos y helicoidales fue fabricada por Brown & Sharpe en 1853, por iniciativa y a instancias de Frederick W. Howe, y fue presentada en la Exposición Universal de París de 1867. En 1884 la empresa americana Cincinnati construyó una fresadora universal que incorporaba un carnero cilíndrico posicionado axialmente.

En 1874, el constructor francés de máquinas-herramienta Pierre Philippe Huré diseñó una máquina de doble husillo, vertical y horizontal que se posicionaban mediante giro manual.

En 1894 el francés R. Huré diseñó un cabezal universal con el que se pueden realizar diferentes mecanizados con variadas posiciones de la herramienta. Este tipo de cabezal, con ligeras modificaciones, es uno de los accesorios más utilizados actualmente en las fresadoras universales.

En 1938 surge la compañía Bridgeport Machines, Inc. en Bridgeport, Connecticut, la cual en las décadas posteriores se hace famosa por sus fresadoras verticales de tamaño pequeño y mediano. [8]

## **1.2.- Tipos de fresadoras.**

Las fresadoras pueden clasificarse según varios aspectos, como la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación. A continuación se indican las clasificaciones más usuales.

### **1.2.1.- Fresadoras según la orientación de la herramienta.**

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

Una fresadora horizontal utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Esta

máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras. Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad montando en el eje portaherramientas varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado. La profundidad máxima de una ranura está limitada por la diferencia entre el radio exterior de la fresa y el radio exterior de los casquillos de separación que la sujetan al eje portafresas.

En una fresadora vertical, el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.

Una fresadora universal tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. Su campo de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar. En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido en el argot como carnero, puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías. [19]

### **1.2.2.- Fresadoras especiales.**

Además de las fresadoras tradicionales, existen otras fresadoras con características especiales que pueden clasificarse en determinados grupos. Sin embargo, las formas constructivas de estas máquinas varían sustancialmente de unas a otras dentro de cada grupo, debido a las necesidades de cada proceso de fabricación.

Las fresadoras circulares tienen una amplia mesa circular giratoria, por encima de la cual se desplaza el carro portaherramientas, que puede tener uno o varios cabezales verticales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado. [1]

Las fresadoras copiadoras disponen de dos mesas: una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar. Al seguir con el palpador el contorno del modelo, se define el movimiento de la herramienta que mecaniza la pieza. Otras fresadoras copiadoras utilizan, en lugar de un sistema mecánico de seguimiento, sistemas hidráulicos, electro-hidráulicos o electrónicos.

En las fresadoras de pórtico, también conocidas como fresadoras de puente, el cabezal portaherramientas vertical se halla sobre una estructura con dos columnas situadas en lados opuestos de la mesa. La herramienta puede moverse verticalmente y transversalmente y la pieza puede moverse longitudinalmente. Algunas de estas fresadoras disponen también a cada lado de la mesa sendos cabezales horizontales que pueden desplazarse verticalmente en sus respectivas columnas, además de poder prolongar sus ejes de trabajo horizontalmente. Se utilizan para mecanizar piezas de grandes dimensiones. [15]

En las fresadoras de puente móvil, en lugar de moverse la mesa, se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa. Se utilizan principalmente para mecanizar piezas de grandes dimensiones.

Una fresadora para madera es una máquina portátil que utiliza una herramienta rotativa para realizar fresados en superficies planas de madera. Son empleadas en bricolaje y ebanistería para realizar ranurados, como juntas de cola de milano o machihembrados; cajeados, como los necesarios para alojar cerraduras o bisagras en las puertas; y perfiles, como molduras. Las herramientas de corte que utilizan son fresas para madera, con dientes mayores y más espaciados que los que tienen las fresas para metal. [3, 17]

### **1.2.3.- Fresadoras según el número de ejes.**

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta.

- Fresadora de tres ejes. Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.
- Fresadora de cuatro ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar el giro de la pieza sobre un eje, como con un

mecanismo divisor o un plato giratorio. Se utilizan para generar superficies con un patrón cilíndrico, como engranajes o ejes estriados.

- Fresadora de cinco ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical); o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior. Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una turbina Francis. [23]

### 1.3.- Movimientos de la fresadora.

#### Movimientos de la herramienta.

El principal movimiento de la herramienta es el giro sobre su eje. En algunas fresadoras también es posible variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro. En las fresadoras de puente móvil todos los movimientos los realiza la herramienta mientras la pieza permanece inmóvil. [2]

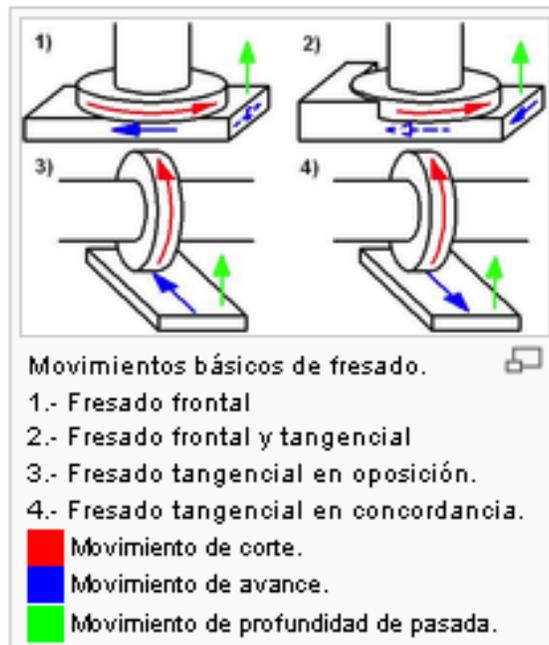


Fig. 1.1: Movimientos básicos de fresado. [2]

#### Movimientos de la mesa.

La mesa de trabajo se puede desplazar de forma manual o automática con velocidades de avance de mecanizado o con velocidades de avance rápido en vacío. Para ello cuenta con

una caja de avances expresados de mm/minuto, donde es posible seleccionar el avance de trabajo adecuado a las condiciones tecnológicas del mecanizado. [2]

- Movimiento longitudinal: según el eje X, que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción de las piezas y además puede inclinarse para el tallado de ángulos. Esta mesa puede avanzar de forma automática de acuerdo con las condiciones de corte que permita el mecanizado.
- Movimiento transversal: según el eje Y, que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.
- Movimiento vertical: según el eje Z, que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- Giro respecto a un eje longitudinal: según el grado de libertad U. Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.
- Giro respecto a un eje vertical: según el grado de libertad W. En algunas fresadoras se puede girar la mesa 45° a cada lado, en otras la mesa puede dar vueltas completas.

### **Movimiento relativo entre pieza y herramienta.**

El movimiento relativo entre la pieza y la herramienta puede clasificarse en tres tipos básicos: [2]

- El movimiento de corte es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.
- El movimiento de avance es el movimiento de aproximación de la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.
- El movimiento de profundización de perforación o de profundidad de pasada es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.

## **1.4.- Estructura y componentes de una fresadora.**

### **1.4.1.- Estructura de una fresadora.**

Los componentes principales de una fresadora son la base, el cuerpo, la consola, el carro, la mesa, el puente y el eje de la herramienta, tal como se muestra en la figura I.2. La base

permite un apoyo correcto de la fresadora en el suelo. El cuerpo o bastidor tiene forma de columna y se apoya sobre la base o ambas forman parte de la misma pieza. Habitualmente, la base y la columna son de fundición aleada y estabilizada. La columna tiene en la parte frontal unas guías templadas y rectificadas para el movimiento de la consola y unos mandos para el accionamiento y control de la máquina.

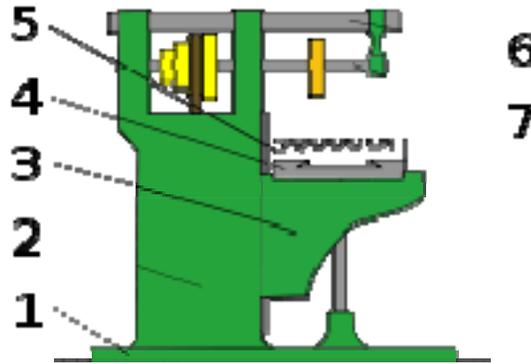


Fig. 1.2: Diagrama de una fresadora horizontal. 1: base. 2: columna. 3: consola. 4: carro transversal. 5: mesa. 6: puente. 7: eje portaherramientas [2]

La consola se desliza verticalmente sobre las guías del cuerpo y sirve de sujeción para la mesa. La mesa tiene una superficie ranurada sobre la que se sujeta la pieza a conformar. La mesa se apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal de la mesa sobre la consola.

El puente es una pieza apoyada en voladizo sobre el bastidor y en él se alojan unas lunetas donde se apoya el eje portaherramientas. En la parte superior del puente suele haber montado uno o varios tornillos de cáncamo para facilitar el transporte de la máquina. El portaherramientas o portafresas es el apoyo de la herramienta y le transmite el movimiento de rotación del mecanismo de accionamiento alojado en el interior del bastidor. Este eje suele ser de acero aleado al cromo-vanadio para herramientas. [1, 15]

#### 1.4.2.- Características técnicas de una fresadora.

Al seleccionar una fresadora para su adquisición y para realizar trabajos con ella, deben tenerse en cuenta varias características técnicas de la misma. El tamaño de las piezas a mecanizar está limitado por las dimensiones de la superficie de la mesa y los recorridos de los elementos móviles. Dependiendo de las operaciones a realizar, puede ser necesaria la posibilidad de controlar varios ejes a la vez, como los proporcionados por mesas giratorias

o por cabezales divisores, o incluso controlar estos ejes de forma automática por CNC, por ejemplo para realizar contorneados. En función del material de la pieza, de las herramientas de corte y de las tolerancias de fabricación requeridas, es necesario utilizar velocidades de corte y de avance diferentes, lo cual puede hacer necesaria la posibilidad de operar con gamas de velocidades, con velocidades máximas y potencias suficientes para lograr flexibilidad en el sistema de producción.

Los dispositivos electrónicos de control, desde la visualización de cotas hasta el control numérico, permiten aumentar la productividad y la precisión del proceso productivo.

Además, una fresadora debe tener dispositivos de seguridad, como botones de parada de emergencia (coloquialmente conocidos como setas de emergencia), dispositivo de seguridad contra sobrecargas (que consiste; bien en un embrague automático que desacopla el movimiento de la herramienta cuando se alcanza un límite de fricción o se vence la acción de unos muelles; o bien en un sistema electrónico) y pantallas de protección contra la proyección de virutas o partes de la pieza o la herramienta de corte.

Otro aspecto a tener en cuenta es el peso de la máquina, que influye en el transporte de la misma y las necesidades de cimentación de la nave para que las vibraciones estén controladas en niveles admisibles. Para un buen funcionamiento de la máquina se requiere que sus holguras e imperfecciones dimensionales estén controladas y no excedan de unas tolerancias determinadas, para lo cual se realizan inspecciones periódicas. Las guías de los componentes deslizantes, como los carros de mesa o el puente, habitualmente son trapezoidales o con forma de cola de milano por esta razón.<sup>2</sup> Los husillos de accionamiento de los movimientos deslizantes son husillos de bolas sin juego para disminuir las fuerzas de rozamiento y así ralentizar el crecimiento de las holguras. [1, 15]

#### **1.4.3.- Accesorios principales.**

Existen varios accesorios que se instalan en las fresadoras para realizar operaciones de mecanizado diferentes o para una utilización con mayor rapidez, precisión y seguridad: [16]

- Dispositivos de adición de ejes: cabezal multiangular (permite orientar el eje del portaherramientas), divisor universal con contrapunto y juego de engranes y mesa circular divisora.
- Dispositivos para sujeción de piezas: plato universal de 3 garras con contraplato; contrapunto y lunetas; mordaza giratoria graduada; mordaza hidráulica.

- Dispositivos para sujeción de herramientas: ejes porta-fresas largos y cortos, eje porta-pinzas y juego de pinzas.
- Dispositivos para operaciones especiales: aparato de mortajar giratorio, cabezal de mandrinar.
- Dispositivos de control: visualización digital de cotas y palpadores de medida.

### **1.5.- Herramientas de corte de las fresadoras.**

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas, aunque también pueden utilizarse otras herramientas para realizar operaciones diferentes al fresado, como brocas para taladrar o escariadores. Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina.

Los labios cortantes de las fresas de acero rápido (HSS) pueden ser rectilíneos o helicoidales, y las fresas que montan plaquitas intercambiables son de carburo metálico como el carburo de tungsteno, conocido como widia, de metalcerámica o, en casos especiales, de nitruro de boro cúbico (CBN) o de diamante policristalino (PDC). En general, los materiales más duros en los filos de corte permiten utilizar mayores velocidades de corte, pero al ser menos tenaces, exigen una velocidad de avance menor. El número de labios o plaquitas de las fresas depende de su diámetro, de la cantidad de viruta que debe arrancar, de la dureza del material y del tipo de fresa. [2]

### **Características de las plaquitas insertables.**

La calidad de las plaquitas insertables se selecciona teniendo en cuenta el material de la pieza, el tipo de aplicación y las condiciones de mecanizado. La variedad de las formas de las plaquitas es grande y está normalizada. Asimismo la variedad de materiales de las herramientas modernas es considerable y está sujeta a un desarrollo continuo. Los principales materiales de las plaquitas de metal duro para fresado son los que se muestran en la siguiente tabla: [29]

Material	Símbolo
Metales duros recubiertos	HC
Metales duros	H
Cermets	HT, HC
Cerámicas	CA, CN, CC
Nitruro de boro cúbico	BN
Diamantes policristalinos	DP, HC

Tabla 1.1: Principales materiales de las plaquitas de metal duro para fresado. [29]

La adecuación de los diferentes tipos de plaquitas según sea el material a mecanizar se indican a continuación y se clasifican según una norma ISO/ANSI para indicar las aplicaciones en relación a la resistencia y la tenacidad que tienen.

SERIE	ISO	Características
<b>Serie P</b>	ISO 01, 10, 20, 30, 40, 50	Ideales para el mecanizado de <b>acero</b> , acero fundido, y acero maleable de viruta larga.
<b>Serie M</b>	ISO 10, 20, 30, 40	Ideales para fresar <b>acero inoxidable</b> , ferrítico y martensítico, acero fundido, acero al manganeso, fundición aleada, fundición maleable y acero de fácil mecanización.
<b>Serie K</b>	ISO 01, 10, 20, 30	Ideal para el fresado de <b>fundición gris</b> , fundición en coquilla, y fundición maleable de viruta corta.
<b>Serie N</b>	ISO 01, 10, 20, 30	Ideal para el fresado de metales no-férreos
<b>Serie S</b>		Pueden ser de base de <b>níquel</b> o de base de <b>titanio</b> . Ideales para el mecanizado de aleaciones termorresistentes y súperaleaciones.
<b>Serie H</b>	ISO 01, 10, 20, 30	Ideal para el fresado de materiales endurecidos.

Tabla 1.2: Códigos de calidades de plaquitas según la norma ISO/ANSI [29]

Como hay tanta variedad en las formas geométricas, tamaños y ángulos de corte, existe una codificación normalizada por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 1832) que está compuesta de cuatro letras y seis números donde cada una de estas letras y números indica una característica determinada del tipo de plaquita correspondiente. [5, 30]

**Ejemplo de código de plaquita: SNMG 160408 HC**

Primera letra	Forma geométrica	Segunda letra	Ángulo de incidencia	Tercera letra	Tolerancia dimensional	Cuarta letra	Tipo de sujeción
C	Rómbica 80°	A	3°	J	Menor ↑ ↓ Mayor	A	Agujero sin avellanar
D	Rómbica 55°	B	5°	K		G	Agujero con rompevirutas en dos caras
L	Rectangular	C	7°	L		M	Agujero con rompevirutas en una cara
R	Redonda	D	15°	M		N	Sin agujero ni rompevirutas
S	Cuadrada	E	20°	N		W	Agujero avellanado en una cara
T	Triangular	F	25°	U		T	Agujero avellanado y rompevirutas en una cara
V	Rómbica 35°	G	30°		N	Sin agujero y con rompevirutas en una cara	
W	Hexagonal 80°	N	0°			X	No estándar
		P	11°				

Las dos primeras cifras indican en milímetros la longitud de la arista de corte de la plaquita, las dos cifras siguientes indican en milímetros el espesor de la plaquita y las dos últimas cifras indican en décimas de milímetro el radio de punta de la plaquita. A este código general el fabricante de la plaquita puede añadir dos letras para indicar la calidad de la plaquita o el uso recomendado.

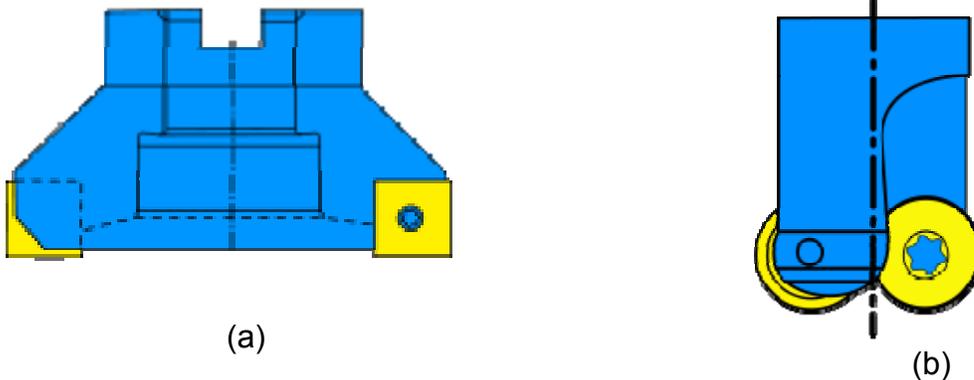


Fig. 1.6: Formas de plaquitas. (a) - Fresa de planear con plaquitas insertables cuadradas. (b) - Fresa de perfilar con plaquitas redondas. [5, 30]

### **Afilado de fresas.**

La forma constructiva de las fresas de acero rápido permite que cuando los filos de corte están desgastados puedan ser afilados nuevamente mediante unas máquinas de afilar diseñadas para esta tarea. Hay un tipo de máquina, denominada afiladora universal que, con los accesorios adecuados y las muelas adecuadas, permite realizar el afilado de brocas, escariadores y fresas frontales y cilíndricas mediante el rectificado con discos de esmeril. [2]

### **1.6.- Verificación y puesta a punto.**

Tanto en su construcción como en el mantenimiento preventivo que de forma periódica deben realizarse a las fresadoras es necesario controlar los siguientes parámetros: [20]

- Cimentación y nivelación. Las fresadoras deben estar sujetas en cimientos que amortigüen de la mejor forma posible las vibraciones, así como que esté correctamente nivelada para asegurar un buen funcionamiento a la mesa en sus desplazamientos siendo necesario utilizar niveles de precisión.
- Alineación. Mediante el uso de comparadores hay que verificar que la mesa esté totalmente alineada procediendo a su reglaje si se observan desalineaciones.
- Funcionamiento del eje portafresas. Se hace necesario verificar periódicamente con un comparador el posible descentrado del eje portafresas en su movimiento rotatorio.
- Alineación de los puntos del plato divisor y el contrapunto. Utilizando un gramil adecuado se procede a verificar la altura y alineación de estos dos accesorios.
- Comprobación de la precisión de los nonios graduados. Verificar si los desplazamientos reales coinciden con la graduación de los tambores.
- Verificación del juego del eje portafresas en la luneta del carnero. Si existe un juego excesivo es necesario proceder a la sustitución casquillo de bronce de la luneta.

### **1.7.- Operaciones de fresado.**

Con el uso creciente de las fresadoras de control numérico están aumentando las operaciones de fresado que se pueden realizar con este tipo de máquinas, siendo así que el fresado se ha convertido en un método polivalente de mecanizado. El desarrollo de las herramientas ha contribuido también a crear nuevas posibilidades de fresado además de

incrementar de forma considerable la productividad, la calidad y exactitud de las operaciones realizadas.

El fresado consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos de avance programados de la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza.

Las herramientas de fresar se caracterizan por su diámetro exterior, el número de dientes, el paso de los dientes (distancia entre dos dientes consecutivos) y el sistema de fijación de la fresa en la máquina.

En las fresadoras universales utilizando los accesorios adecuados o en las fresadoras de control numérico se puede realizar las siguientes operaciones: [1, 19]

- **Planeado.** La aplicación más frecuente de fresado es el planeado, que tiene por objetivo conseguir superficies planas. Para el planeado se utilizan generalmente fresas de planear de plaquitas intercambiables de metal duro, existiendo una gama muy variada de diámetros de estas fresas y del número de plaquitas que monta cada fresa. Los fabricantes de plaquitas recomiendan como primera opción el uso de plaquitas redondas o con ángulos de 45° como alternativa.
- **Fresado en escuadra.** El fresado en escuadra es una variante del planeado que consiste en dejar escalones perpendiculares en la pieza que se mecaniza. Para ello se utilizan plaquitas cuadradas o rómbicas situadas en el portaherramientas de forma adecuada.
- **Cubicaje.** La operación de cubicaje es muy común en fresadoras verticales u horizontales y consiste en preparar los tarugos de metal u otro material como mármol o granito en las dimensiones cúbicas adecuadas para operaciones posteriores. Este fresado también se realiza con fresas de planear de plaquitas intercambiables.
- **Corte.** Una de las operaciones iniciales de mecanizado que hay que realizar consiste muchas veces en cortar las piezas a la longitud determinada partiendo de barras y perfiles comerciales de una longitud mayor. Para el corte industrial de piezas se utilizan indistintamente sierras de cinta o fresadoras equipadas con fresas cilíndricas de corte. Lo significativo de las fresas de corte es que pueden ser de acero rápido o de metal duro. Se caracterizan por ser muy delgadas (del orden de 3

mm aunque puede variar), tener un diámetro grande y un dentado muy fino. Se utilizan fresas de disco relativamente poco espesor (de 0,5 a 6 mm) y hasta 300 mm de diámetro con las superficies laterales retranqueadas para evitar el rozamiento de estas con la pieza.

- **Ranurado recto.** Para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con la anchura de la ranura y, a menudo, se montan varias fresas en el eje portafresas permitiendo aumentar la productividad de mecanizado. Al montaje de varias fresas cilíndricas se le denomina tren de fresas o fresas compuestas. Las fresas cilíndricas se caracterizan por tener tres aristas de corte: la frontal y las dos laterales. En la mayoría de aplicaciones se utilizan fresas de acero rápido ya que las de metal duro son muy caras y por lo tanto solo se emplean en producciones muy grandes.
- **Ranurado de forma.** Se utilizan fresas de la forma adecuada a la ranura, que puede ser en forma de T, de cola de milano, etc.
- **Ranurado de chaveteros.** Se utilizan fresas cilíndricas con mango, conocidas en el argot como bailarinas, con las que se puede avanzar el corte tanto en dirección perpendicular a su eje como paralela a este.
- **Copiado.** Para el fresado en copiado se utilizan fresas con plaquitas de perfil redondo a fin de poder realizar operaciones de mecanizado en orografías y perfiles de caras cambiantes. Existen dos tipos de fresas de copiar: las de perfil de media bola y las de canto redondo o tóricas.
- **Fresado de cavidades.** En este tipo de operaciones es recomendable realizar un taladro previo y a partir del mismo y con fresas adecuadas abordar el mecanizado de la cavidad teniendo en cuenta que los radios de la cavidad deben ser al menos un 15% superior al radio de la fresa.
- **Torno-fresado.** Este tipo de mecanizado utiliza la interpolación circular en fresadoras de control numérico y sirve tanto para el torneado de agujeros de precisión como para el torneado exterior. El proceso combina la rotación de la pieza y de la herramienta de fresar siendo posible conseguir una superficie de revolución. Esta superficie puede ser concéntrica respecto a la línea central de rotación de la pieza. Si se desplaza la fresa hacia arriba o hacia abajo coordinadamente con el giro de la pieza pueden obtenerse geometrías excéntricas, como el de una leva, o incluso

el de un árbol de levas o un cigüeñal. Con el desplazamiento axial es posible alcanzar la longitud requerida.

- **Fresado de roscas.** El fresado de roscas requiere una fresadora capaz de realizar interpolación helicoidal simultánea en dos grados de libertad: la rotación de la pieza respecto al eje de la hélice de la rosca y la traslación de la pieza en la dirección de dicho eje. El perfil de los filos de corte de la fresa deben ser adecuados al tipo de rosca que se mecanice.
- **Fresado frontal.** Consiste en el fresado que se realiza con fresas helicoidales cilíndricas que atacan frontalmente la operación de fresado. En las fresadoras de control numérico se utilizan cada vez más fresas de metal duro totalmente integrales que permiten trabajar a velocidades muy altas.
- **Fresado de engranajes.** El fresado de engranajes apenas se realiza ya en fresadoras universales mediante el plato divisor, sino que se hacen en máquinas especiales llamadas talladoras de engranajes y con el uso de fresas especiales del módulo de diente adecuado.
- **Taladrado, escariado y mandrinado.** Estas operaciones se realizan habitualmente en las fresadoras de control numérico dotadas de un almacén de herramientas y utilizando las herramientas adecuadas para cada caso.
- **Mortajado.** Consiste en mecanizar chaveteros en los agujeros, para lo cual se utilizan brochadoras o bien un accesorio especial que se acopla al cabezal de las fresadoras universales y transforma el movimiento de rotación en un movimiento vertical alternativo.
- **Fresado en rampa.** Es un tipo de fresado habitual en el mecanizado de moldes que se realiza con fresadoras copiadoras o con fresadoras de control numérico.

### 1.8.- Parámetros de corte del fresado.

Los parámetros tecnológicos fundamentales que hay que considerar en el proceso de fresado son los siguientes: [2]

- Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de pieza y herramienta más adecuados.
- Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.

- Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte ( $V_c$ ), velocidad de giro de la herramienta ( $n$ ), velocidad de avance ( $V_a$ ), profundidad de pasada ( $p$ ), anchura de corte ( $A_c$ ), etc.)

No hay unanimidad dentro del sector del mecanizado en las denominaciones de los procedimientos de fresado. El fresado tangencial también es denominado fresado periférico, fresado cilíndrico o fresado helicoidal. Los dos tipos de fresados tangenciales también son conocidos con varias denominaciones: [1, 34]

- Fresado en concordancia: fresado hacia abajo, o fresado equicorriente.
- Fresado en oposición: fresado hacia arriba, o fresado normal.

En el fresado en concordancia, la herramienta gira en el mismo sentido en el que avanza la pieza. Este tipo de fresado es también conocido como fresado hacia abajo debido a que, cuando el eje de giro de la fresa es horizontal, la componente vertical de la fuerza de corte está dirigida hacia la abajo. En el fresado en oposición, también conocido como fresado hacia arriba, ocurre lo contrario, es decir, la herramienta gira en sentido contrario al avance de la pieza y la componente vertical de la fuerza de corte se dirige hacia arriba.

Para obtener una buena calidad en la superficie mecanizada, el fresado en concordancia es el método de fresado más recomendable siempre que la máquina, la herramienta y los utillajes lo permitan. [28]

En el fresado en oposición, el espesor de la viruta y la presión de corte aumentan según avanza la herramienta, por lo que se requiere menos potencia para la máquina. Sin embargo, este método presenta varios inconvenientes. Produce vibraciones en la máquina y una peor calidad superficial del mecanizado. Hay que tener cuidado con la sujeción de la pieza porque el empuje de la herramienta tenderá a expulsarla del amarre. [33]

En el fresado en concordancia, los dientes de la fresa inician el corte de la pieza con el máximo espesor de viruta, por lo que se necesita mayor esfuerzo de corte que en el fresado en oposición. Cuando la fresa se retira de la pieza, el espesor de la viruta es menor y por tanto la presión de trabajo es menor, produciendo así un mejor acabado de la superficie mecanizada. Este método de fresado requiere máquinas de mayor potencia y rigidez. Este fresado favorece la sujeción de la pieza porque tiende a apretarla hacia abajo. [32]

Al utilizar herramientas cuyos filos de corte permiten avanzar el corte en dirección axial y en dirección radial, como en las fresas de planear o las bailarinas, en la mayoría de los casos es recomendable que, cuando la fresa está cortando, se realicen prioritariamente los movimientos de avance en la dirección radial. Esto es debido a que la geometría de los filos de corte, en la mayoría de los casos, está diseñada para que se desgasten más lentamente al avanzar el corte en dirección radial. Teniendo esto en cuenta, los movimientos de profundización con estas herramientas se realizan preferentemente en vacío, se limitan a una perforación inicial o dicha perforación se realiza con otras herramientas, por ejemplo brocas o coronas trepanadoras. No obstante, cuando se utilizan plaquitas redondas en fresas de perfilar es indiferente la dirección de avance.

### 1.8.1.- Velocidad de corte.

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada. Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

Como cada filo de corte de la fresa trabaja intermitentemente sobre la pieza, cortando únicamente durante una fracción de cada revolución de la herramienta, los filos de corte alcanzan temperaturas inferiores a las que se alcanzan en un torno y, en consecuencia, se utilizan velocidades de corte mayores. No obstante, el trabajo de la fresa en conjunto puede no considerarse intermitente, pues siempre hay un filo de corte en fase de trabajo. [1]

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el husillo portaherramientas según la siguiente fórmula:

$$V_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] = \frac{n \left[ \text{min}^{-1} \right] \times \pi \times D_c [\text{mm}]}{1000 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]} \quad 1.1$$

Donde:  $V_c$  es la velocidad de corte,  $n$  es la velocidad de rotación de la herramienta y  $D_c$  es el diámetro de la herramienta.

La velocidad de corte es el factor principal que determina la duración de la herramienta. Una alta velocidad de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo pero acelera

el desgaste de la herramienta. Los fabricantes de herramientas y proutuarios de mecanizado ofrecen datos orientativos sobre la velocidad de corte adecuada de las herramientas para una vida útil o duración determinada de la herramienta, por ejemplo, 15 minutos. En ocasiones, es deseable ajustar la velocidad de corte para una duración diferente de la herramienta y optimizar la productividad, para lo cual, los valores de la velocidad de corte se multiplican por un factor de corrección. La relación entre este factor de corrección y la duración de la herramienta en operación de corte no es lineal. [27]

Una velocidad de corte excesiva puede dar lugar a un desgaste muy rápido del filo de corte de la herramienta, a la deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado y, en general, a una calidad del mecanizado deficiente. Por otra parte, una velocidad de corte demasiado baja puede dar lugar a la formación de filo de aportación en la herramienta, a dificultades en la evacuación de viruta y al aumento del tiempo de mecanizado, lo cual se traduce en una baja productividad y un coste elevado del mecanizado.

### 1.8.2.- Velocidad de rotación de la herramienta.

La velocidad de rotación del husillo portaherramientas se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En las fresadoras convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina. En las fresadoras de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación en el que puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima. [24]

La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte e inversamente proporcional al diámetro de la herramienta.

$$n [\text{min}^{-1}] = \frac{V_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \times 1000 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]}{\pi \times D_c [\text{mm}]} \quad 1.2$$

### 1.8.3.- Velocidad de avance.

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la

punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado.

Cada fresa puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la herramienta, denominado avance por revolución ( $f_n$ ). Este rango depende fundamentalmente de número de dientes de la fresa, del tamaño de cada diente y de la profundidad de corte, además del tipo de material de la pieza y de la calidad y el tipo de plaquita de corte. Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes de plaquitas. Además esta velocidad está limitada por las rigideces de las sujeciones de la pieza y de la herramienta y por la potencia del motor de avance de la máquina. El grosor máximo de viruta en mm es el indicador de limitación más importante para una herramienta de fresado. El filo de corte de las herramientas se prueba para que tenga un valor determinado entre un mínimo y un máximo de grosor de la viruta. [24]

El avance por revolución ( $f_n$ ) es el producto del avance por diente por el número de dientes ( $z$ ) de la herramienta.

$$f_n \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] = f_z \left[ \frac{\text{mm}}{\text{diente}} \right] \times z \left[ \frac{\text{diente}}{\text{rev}} \right] \quad 1.3$$

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la herramienta.

$$f \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] = f_n \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] \times n \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] = f_z \left[ \frac{\text{mm}}{\text{diente}} \right] \times z \left[ \frac{\text{diente}}{\text{rev}} \right] \times n \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] \quad 1.4$$

Al igual que con la velocidad de rotación de la herramienta, en las fresadoras convencionales la velocidad de avance se selecciona de una gama de velocidades disponibles en una caja de cambios, mientras que las fresadoras de control numérico pueden trabajar con cualquier velocidad de avance hasta la máxima velocidad de avance de la máquina.

La velocidad de avance es decisiva para la formación de viruta, el consumo de potencia, la rugosidad superficial obtenida, las tensiones mecánicas, la temperatura en la zona de corte y la productividad. Una elevada velocidad de avance da lugar a un buen control de viruta y una mayor duración de la herramienta por unidad de superficie mecanizada, pero también da lugar a una elevada rugosidad superficial y un mayor riesgo de deterioro de la herramienta por roturas o por temperaturas excesivas. En cambio, una velocidad de avance baja da lugar a la formación de virutas más largas que pueden formar bucles y un

incremento del tiempo de mecanizado, lo cual hace que la duración de la herramienta por unidad de superficie sea menor y que la producción sea más costosa.

#### 1.8.4.- Profundidad de corte o de pasada.

La profundidad de corte o profundidad de pasada ( $p$ ) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte ( $s$ ), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

La profundidad de pasada se establece a priori y depende principalmente de las creces de material a mecanizar, del grado de precisión dimensional a conseguir, de la potencia de la máquina y de la relación con respecto al avance seleccionado y de parámetros propios de la plaquita de corte como su tamaño, el radio de la punta y su perfil. Al realizar mecanizados de desbaste se utilizan filos con mayor longitud de arista de corte que permiten realizar mecanizados con mayores profundidades de pasada y velocidades de avance. Sin embargo, para las operaciones de acabado, se requiere una profundidad de corte menor. [24]

La longitud de corte efectiva ( $la$ ), cuyo valor máximo está directamente relacionado con la longitud de la arista del filo de corte, depende de la profundidad de pasada ( $p$ ) y del ángulo de posición ( $\kappa_r$ )

$$la = p \times \cos(\kappa_r) \quad 1.5$$

#### 1.8.5.- Espesor y sección de viruta.

La relación que existe entre el avance por diente de la fresa ( $f_z$ ) y la profundidad de pasada ( $p$ ) constituye la sección de la viruta. La sección de viruta guarda también relación con el tipo de fresado que se realice, la sección de viruta es igual a

$$S [\text{mm}^2] = p [\text{mm}] \times f_z [\text{mm}] \quad 1.6$$

El espesor de la viruta corresponde al avance por diente de la fresa.

El control de la sección y del espesor de la viruta son factores importantes a la hora de determinar el proceso de mecanizado. Cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo será menor y esto permitirá aplicar mayores

velocidades de avance por diente sin dañar al mismo, teniendo que reducir la profundidad de corte debido a los menores ángulos de posicionamiento de los filos. El poder controlar la sección de viruta depende principalmente de varios factores como la potencia de la máquina, la fijación o el sistema de amarre de la pieza, la sección del mango de la herramienta así como de la sujeción de las plaquitas y la geometría de las mismas. El aumento de la sección y espesor de viruta, entre otras variables, implica un aumento de la potencia necesaria para que se realice el arranque de material.

### 1.8.6.- Volumen de viruta arrancado.

En el fresado tangencial, el volumen de viruta arrancado por minuto se expresa en centímetros cúbicos por minuto y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Q \text{ [cm}^3\text{/min]} = \frac{A_c \text{ [mm]} \times p \text{ [mm]} \times f \text{ [mm/min]}}{1000 \text{ [mm}^3\text{/cm}^3\text{]}} \quad 1.7$$

Donde: Q es el volumen de viruta arrancado por minuto,  $A_c$  es el ancho del corte, p es la profundidad de pasada, y f es la velocidad de avance. Este dato es importante para determinar la potencia necesaria de la máquina y la vida útil de las herramientas.

### 1.8.7.- Tiempo de mecanizado.

Para poder calcular el tiempo de mecanizado en una fresadora hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la fresa de la pieza que se mecaniza. Esta longitud depende del tipo de fresado. Por ejemplo, en el planeado la longitud de aproximación coincide con la mitad del diámetro de la herramienta; en el fresado de ranuras es diferente y depende de la profundidad de la ranura y del diámetro de la fresa; y en el fresado por contorneado interior o exterior las longitudes de mecanizado dependen del diámetro de la fresa y de la geometría de la superficie contorneada. [24]

El tiempo de mecanizado puede calcularse a partir de la siguiente ecuación.

$$T_m \text{ [min]} = \frac{\textit{Longitud de aproximación [mm]} + \textit{Longitud pieza [mm]}}{f \text{ [mm/min]}} \quad 1.8$$

Donde:  $T_m$  es el tiempo de mecanizado y f es la velocidad de avance.

### 1.8.8.- Fuerza específica de corte.

La fuerza de corte es un parámetro a tener en cuenta para evitar roturas y deformaciones en la herramienta y en la pieza y para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un

determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de fresado, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta. Todos estos factores se engloban en un coeficiente denominado fuerza específica de corte ( $k_c$ ), que se expresa en N/mm<sup>2</sup>. [29]

### 1.8.9.- Potencia de corte.

La potencia de corte ( $P_c$ ) necesaria para efectuar un determinado mecanizado habitualmente se expresa en kilovatios (kW) y se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la fresadora. Esta fuerza específica de corte ( $k_c$ ) es una constante que se determina en función del tipo de material que se está mecanizando, la geometría de la herramienta, el espesor de viruta, etc.

Para poder obtener el valor de potencia correcto, el valor obtenido tiene que dividirse por un determinado valor adimensional que tiene en cuenta el rendimiento de la máquina ( $\rho$ ). Este valor es la relación entre la potencia de corte efectiva, es decir, la potencia necesaria en la herramienta; respecto a la potencia consumida el motor de accionamiento principal de la máquina. [24]

$$P_c \text{ [kW]} = \frac{A_c \text{ [mm]} \times p \text{ [mm]} \times f \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \times k_c \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]}{60 \left[ \frac{\text{s}}{\text{min}} \right] \times 10^3 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right] \times 10^3 \left[ \frac{\text{W}}{\text{kW}} \right] \times \rho} = \frac{A_c \times p \times f \times k_c}{60 \times 10^6 \times \rho} \quad 1.9$$

Donde  $P_c$  es la potencia de corte,  $A_c$  es el ancho de corte;  $p$  es la profundidad de pasada,  $f$  es la velocidad de avance,  $k_c$  es la fuerza específica de corte y  $\rho$  es el rendimiento de la máquina.

### 1.9.- Mecanizado rápido.

El concepto de mecanizado rápido, también llamado mecanizado de alta velocidad (MAV), se refiere al que se produce en las modernas máquinas herramientas de control numérico equipadas con cabezales potentes y robustos que les permiten girar a muchos miles de revoluciones por minuto hasta del orden de 30.000 rpm, y avances de trabajo muy grandes cuando se trata del mecanizado de materiales blandos y con mucho vaciado de viruta tal y como ocurre en la fabricación de moldes o de grandes componentes de la industria aeronáutica. Los metales y aleaciones de fácil mecanización son los más adecuados para

el concepto de mecanizado rápido. Para el mecanizado rápido de piezas con formas complejas se usan sistemas CAM que generan trayectorias específicas de alta velocidad, para desbaste y para acabado. [7, 14]

### **1.10.- Control numérico por computadora en fresadoras.**

El primer desarrollo en el área del control numérico por computadora (CNC) lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons (Detroit 1913-2007) junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940. El concepto de control numérico implicaba el uso de datos en un sistema de referencia para definir las superficies de contorno de las hélices de un helicóptero. La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos. Se dividen las aplicaciones en dos categorías: las aplicaciones con máquina herramienta, tales como taladrado, fresado, laminado o torneado; y las aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado, oxicorte, o metrología. [26]

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar. Al principio los desplazamientos eran de punto a punto, y se utilizaban básicamente en taladradoras. La invención de las funciones de interpolación lineal y circular y el cambio automático de herramientas hizo posible la construcción de una generación de máquinas herramientas con las que se taladra, rosca, fresa e incluso se tornea y que han pasado a denominarse centros de mecanizado en lugar de fresadoras propiamente dichas. [9]

Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) permiten la automatización programable de la producción. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar así como el sistema de sujeción de las piezas. El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares). Estos números, letras y símbolos, los cuales llegan a incluir &, %, \$ y " (comillas), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión

varía se cambia el programa de instrucciones. En las grandes producciones en serie, el control numérico resulta útil para la robotización de la alimentación y retirada de las piezas mecanizadas.



(a)



(b)

Fig. 1.7: (a) - Fresadora de control numérico por computadora (CNC). (b) - Consola de control numérico.

Las fresadoras universales modernas cuentan con visualizadores electrónicos donde se muestran las posiciones de las herramientas, según un sistema de coordenadas, y así se facilita mejor la lectura de cotas en sus desplazamientos. Asimismo, a muchas fresadoras se les incorpora un sistema de control numérico por computadora (CNC) que permite automatizar su trabajo. Además, las fresadoras copiadoras incorporan un mecanismo de copiado para diferentes perfiles de mecanizado.

Existen varios lenguajes de programación CNC para fresadoras, todos ellos de programación numérica, entre los que destacan el lenguaje normalizado internacional ISO y los lenguajes HEIDENHAIN, Fagor y Siemens. Para desarrollar un programa de CNC habitualmente se utilizan simuladores que, mediante la utilización de una computadora, permiten comprobar la secuencia de operaciones programadas. [2]

### 1.10.1.- Campo de aplicación del control numérico.

La aplicación de sistemas de control numérico por computadora en las máquinas-herramienta permite aumentar la productividad respecto a las máquinas convencionales y ha hecho posible efectuar operaciones de conformado que son imposibles de realizar con un elevado grado de precisión dimensional en máquinas convencionales, por ejemplo la realización de superficies esféricas. El uso del control numérico incide favorablemente en

los costos de producción al propiciar la reducción del número de tipos de máquinas utilizadas en un taller de mecanizado, manteniendo o mejorando su calidad.

Los procesos que utilizan máquinas-herramienta de control numérico tienen un coste horario superior a los procesos que utilizan máquinas convencionales, pero inferior a los procesos que utilizan máquinas especiales con mecanismos de transferencia (transfert) que permiten la alimentación y retirada de piezas de forma automatizada. En el mismo sentido, los tiempos de preparación para un lote son mayores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, pues se necesita preparar la programación de control numérico de las operaciones del proceso. Sin embargo, los tiempos de operación son menores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, por lo cual, a partir de cierto número de piezas en un lote, el mecanizado es más económico utilizando el control numérico. Sin embargo, para lotes grandes, el proceso es más económico utilizando máquinas especializadas con mecanismos de transferencia. [1]

#### **1.10.2.- Equipamiento de una fresadora de control numérico.**

Los equipamientos de serie y opcionales que montan las fresadoras actuales son muy variables en función de las prestaciones que tengan.

Respecto al manejo de la información, es necesario tener en cuenta el tipo de lenguaje de programación que es posible utilizar, la capacidad de memoria de la máquina para un uso posterior de los programas almacenados, así como la forma de introducción y modificación de los programas: a pie de máquina, mediante dispositivos de almacenamiento de datos (disquete o memoria USB), o mediante una tarjeta de red.

La unidad central de proceso (CPU, por sus siglas en inglés) de la máquina controla accionamientos rotativos, para lo cual se utilizan servomotores que pueden variar su velocidad en un rango continuo. El movimiento lineal de los carros de la mesa se obtiene transformando el movimiento rotacional de los servomotores mediante husillos de bolas sin juego.

La CPU obtiene datos del programa y de los sensores instalados, los cuales permiten establecer una realimentación del control de las operaciones. La precisión de estos sensores y la velocidad de procesamiento de la CPU limitan la precisión dimensional que puede obtenerse. El tipo de sensor utilizado ha evolucionado con el tiempo, siendo en la actualidad muy utilizados los sensores de efecto Hall para el control de los desplazamientos y giros realizados. Para controlar la posición del origen del sistema de referencia de los

movimientos realizados y el desgaste de la herramienta se utilizan uno o varios palpadores o sondas de medida. Un palpador es un dispositivo con un vástago que acciona un pulsador al hacer contacto con la pieza o con la mesa de la máquina. También puede establecerse el origen de coordenadas realizando un contacto en movimiento de la herramienta con la zona a mecanizar.

Además de los movimientos de la pieza y de la herramienta, pueden controlarse de manera automatizada otros parámetros como la herramienta empleada, que puede cambiarse desde un almacén de herramientas instalado en la máquina; el uso o no de fluido refrigerante o la apertura y cierre de las puertas de seguridad. [2]

### **1.11.- Fresado en seco y con refrigerante.**

En la actualidad el fresado en seco de ciertos materiales es completamente viable cuando se utilizan herramientas de metal duro, por eso hay una tendencia reciente a efectuar los mecanizados en seco siempre que la calidad de la herramienta lo permita. La inquietud por la eficiencia en el uso de refrigerantes de corte se despertó durante los años 1990, cuando estudios realizados en empresas de fabricación de componentes para automoción en Alemania pusieron de relieve el coste elevado del ciclo de vida del refrigerante, especialmente en su reciclado.

Sin embargo, el mecanizado en seco no es adecuado para todas las aplicaciones, especialmente para taladrados, roscados y mandrinados para garantizar la evacuación de las virutas, especialmente si se utilizan fresas de acero rápido. Tampoco es recomendable fresar en seco materiales pastosos o demasiado blandos como el aluminio o el acero de bajo contenido en carbono ya que es muy probable que los filos de corte se embocen con el material que cortan, formándose un filo de aportación que causa imperfecciones en el acabado superficial, dispersiones en las medidas de la pieza e incluso roturas de los filos de corte. En el caso de mecanizar materiales poco dúctiles que tienden a formar viruta corta, como la fundición gris, la taladrina es beneficiosa como agente limpiador, evitando la formación de nubes tóxicas de aerosoles. La taladrina es imprescindible al fresar materiales abrasivos como el acero inoxidable.

En el fresado en seco la maquinaria debe estar preparada para absorber sin problemas el calor producido en la acción de corte. Para evitar excesos de temperatura por el sobrecalentamiento de husillos, herramientas y otros elementos, suelen incorporarse circuitos internos de refrigeración por aceite o aire.

Salvo excepciones, el fresado en seco se ha generalizado y ha servido para que las empresas se hayan cuestionado usar taladrina únicamente en las operaciones necesarias y con el caudal necesario. Es necesario evaluar con cuidado operaciones, materiales, piezas, exigencias de calidad y maquinaria para identificar los beneficios de eliminar el aporte de refrigerante. [13]

### **1.12.- Gestión económica del fresado.**

Cuando los ingenieros diseñan una máquina, un equipo o un utensilio, lo hacen mediante el acoplamiento de una serie de componentes de materiales diferentes y que requieren procesos de mecanizado para conseguir las tolerancias de fabricación adecuadas.

La suma del coste de la materia prima de una pieza, el coste del proceso de mecanizado y el coste de las piezas fabricadas de forma defectuosa constituyen el coste total de una pieza.

Desde siempre el desarrollo tecnológico ha tenido como objetivo conseguir la máxima calidad posible de los componentes así como el precio más bajo posible tanto de la materia prima como de los costes de mecanizado.

Para reducir el coste de fresado y del mecanizado en general se ha actuado bajo las buenas prácticas de manufactura, en los siguientes frentes: [27]

- Conseguir materiales con mejor maquinabilidad, de manera que una vez mecanizados en blando son endurecidos mediante tratamientos térmicos que mejoran de forma muy sensible sus prestaciones mecánicas de dureza y resistencia principalmente.
- Conseguir herramientas de mecanizado de mejor calidad para aumentar de forma considerable las condiciones tecnológicas del mecanizado, tanto su velocidad de corte como el avance de trabajo sin que se deterioren los filos de corte de las herramientas.
- Construir fresadoras más robustas, rápidas y precisas que consigan reducir sensiblemente el tiempo de mecanizado así como conseguir piezas de mayor calidad y tolerancias más estrechas.
- Ajustar los parámetros de corte a valores óptimos de productividad,<sup>23</sup> incluyendo movimientos y cortes de entrada.

Para disminuir el índice de piezas defectuosas se ha conseguido automatizar al máximo el trabajo de las fresadoras, disminuyendo drásticamente el fresado manual, y construyendo

fresadoras automáticas muy sofisticadas o fresadoras guiadas por ordenador que ejecutan un mecanizado de acuerdo a un programa establecido previamente.

### **1.13.- Condiciones de trabajo con fresadora.**

#### **Normas de seguridad en el trabajo con fresadoras.**

Al manipular una fresadora, hay que observar una serie de requisitos para que las condiciones de trabajo mantengan unos niveles adecuados de seguridad y salud. Los riesgos más frecuentes con este tipo de máquinas son contactos accidentales con la herramienta o con la pieza en movimiento, atrapamientos por los órganos de movimiento de la máquina, proyecciones de la pieza, de la herramienta o de las virutas, dermatitis por contacto con los líquidos refrigerantes y cortes al manipular herramientas o virutas.

Para los riesgos de contacto y atrapamiento deben tomarse medidas como el uso de pantallas protectoras, evitar utilizar ropas holgadas, especialmente en lo que se refiere a mangas anchas o corbatas y, si se trabaja con el pelo largo, llevarlo recogido.

Para los riesgos de proyección de parte o la totalidad de la pieza o de la herramienta, generalmente por su ruptura, deben utilizarse pantallas protectoras y cerrar las puertas antes de la operación.

Para los riesgos de dermatitis y cortes por la manipulación de elementos, deben utilizarse guantes de seguridad. Además, los líquidos de corte deben utilizarse únicamente cuando sean necesarios.

Además, la propia máquina debe disponer de elementos de seguridad, como enclavamientos que eviten la puesta en marcha involuntaria; botones de parada de emergencia de tipo seta estando el resto de pulsadores encastrados y situados fuera de la zona de peligro. Es recomendable que los riesgos sean eliminados tan cerca de su lugar de generación y tan pronto como sea posible, disponiendo de un sistema de aspiración en la zona de corte, pantallas de seguridad y una buena iluminación. Estas máquinas deben estar en un lugar nivelado y limpio para evitar caídas. En las máquinas en las que, una vez tomadas las medidas de protección posibles, persista un riesgo residual, éste debe estar adecuadamente señalizado mediante una señalización normalizada. [18] A continuación se relacionan algunas normas de seguridad de estricto cumplimiento para operar las fresadoras.

### **Normas de seguridad.**

1. Utilizar equipos de seguridad: gafas de seguridad, caretas, entre otros.
2. No utilizar ropa holgada o muy suelta. Se recomiendan las mangas cortas.
3. Utilizar ropa de algodón.
4. Utilizar calzado de seguridad.
5. Mantener el lugar de trabajo siempre limpio.
6. Si se mecanizan piezas pesadas utilizar grúas para cargar y descargar las piezas de la máquina.
7. Es preferible llevar el pelo corto. Si es largo no debe estar suelto sino recogido.
8. No vestir joyerías, como collares y anillos.
9. Siempre se deben conocer los controles y el funcionamiento de la fresadora. Se debe saber como detener su funcionamiento en caso de emergencia.
10. Es recomendable trabajar en un área bien iluminada que ayude al operario, pero no en exceso que cause demasiado resplandor.

### **1.14.- Perfil de los fresadores profesionales.**

Ante la diversidad de tipos de fresadoras que existen, también existen diferentes perfiles de los profesionales dedicados a estas máquinas. Estos profesionales pueden clasificarse en programadores de CNC, preparadores y fresadores. [2]

Los programadores de CNC son imprescindibles cuando se utilizan fresadoras de control numérico, pues es necesario que se elabore el programa de las operaciones que tiene que realizar la máquina para el mecanizado de las piezas. Un programador de CNC debe ser un buen conocedor de los factores que intervienen en el mecanizado; las características y la disponibilidad de las máquinas, las herramientas de corte y de sujeción; los tipos de material a mecanizar y sus características de mecanización, el uso de refrigerantes, la cantidad de piezas a mecanizar y los requisitos de tolerancias de fabricación y acabado superficial que se requieren para las piezas fabricadas. Además debe ser capaz de interpretar correctamente de los planos de las piezas y la técnica de programación que utilice de acuerdo con el equipo que tenga la fresadora. [2, 21]

Un preparador de fresadoras es un técnico calificado que se encarga de poner a punto estas máquinas cada vez que se produce un cambio en las operaciones a realizar en el mecanizado de piezas. En las industrias donde hay instaladas varias fresadoras de gran producción o de control numérico, debe haber un profesional específico encargado para

estas tareas, pero cuando la producción menor, son los propios encargados de las operaciones de la máquina los que preparan la máquina. [21]

Los fresadores de máquinas convencionales son operarios calificados que se encargan de realizar las operaciones que intervienen en el proceso de mecanización con máquinas herramientas convencionales y especializadas, comprobando piezas y acoplamientos, empleando los equipos, máquinas e instrumentos de medida y verificación necesarios, realizando el mantenimiento de primer nivel y estableciendo los procesos de trabajo, introducción y ajuste de parámetros, siguiendo las instrucciones indicadas en los documentos técnicos, en condiciones de autonomía, calidad y seguridad. [22]

### **1.15.- Consideraciones generales para el fresado.**

Para que los trabajos de fresado se realicen en las mejores condiciones se han de cumplir una serie de requisitos. Se debe asegurar una buena rigidez de la máquina y que tenga la potencia suficiente para poder utilizar las herramientas más convenientes. Asimismo debe utilizarse el menor voladizo de la herramienta con el husillo que sea posible.

Respecto de las herramientas de fresar, hay que adecuar el número de dientes, labios o plaquitas de las fresas procurando que no haya demasiados filos trabajando simultáneamente. El diámetro de las fresas de planear debe ser el adecuado de acuerdo con la anchura de corte.

En los parámetros de corte hay que seleccionar el avance de trabajo por diente más adecuado de acuerdo con las características del mecanizado como el material de la pieza, las características de la fresa, la calidad y precisión requeridas para la pieza y la evacuación de la viruta. Siempre que sea posible, hay que realizar el fresado en concordancia y utilizar plaquitas de geometría positiva, es decir, con ángulo de desprendimiento positivo. Debe utilizarse refrigerante sólo si es necesario, pues el fresado se realiza en mejores condiciones sin refrigerante en la mayoría de las aplicaciones de las plaquitas de metal duro. [29]

### **1.16.- Problemas habituales en el fresado.**

Durante el fresado pueden aparecer una serie de problemas que dificultan la calidad de las operaciones de fresado. Los problemas más habituales se muestran en la siguiente tabla: [29]

Problemas habituales		Causas posibles									
		Velocidad de corte		Velocidad de avance		Profundidad de corte		Tipo de fresa			
		Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Poco dura	Poco tenaz	Radio de punta grande	Ángulo de desprendimiento pequeño o negativo
Alteración de los filos de corte	Desgaste de la superficie de incidencia	X						X			
	Entallas en el filo	X						X			
	Craterización o deformación plástica	X		X				X			X
	Filo de aportación (viruta soldada en el filo)		X								X
	Pequeños astillamientos		X						X		X
	Rotura de dientes			X		X			X		
Virutas largas					X		X			X	
Vibraciones		X			X	X				X	X

Tabla 1.3: Problemas que dificultan la calidad de las operaciones de fresado. [29]

Las vibraciones excesivas pueden ser causadas además por fijaciones incorrectas o poco rígidas o porque la pieza se deforme cuando incide sobre ella cada diente de la fresa. Además, el fresado en oposición genera más vibraciones que el fresado en concordancia. Dichas vibraciones afectan a las tolerancias dimensionales y a las rugosidades obtenidas, por lo que la armonía entre la herramienta y su movimiento de corte junto con la pieza y máquina es esencial para maximizar el mejor acabado. Otras causas de imperfecciones en las superficies mecanizadas son las alteraciones de los filos de corte, la falta de mantenimiento de la máquina y el uso incorrecto de los utillajes.

**Capítulo II: Datos de corte para fresado.**

El fresado es una operación de mecanizado ampliamente utilizada en los talleres para obtener superficies planas, superficies escalonadas, ranuras, superficies de forma, etc.

La fresa es una herramienta de corte que puede tener diversas formas y varios filos. El movimiento principal en la operación de fresado es la rotación de la fresa, que combinado con los movimientos de avance produce el corte del metal.

Actualmente se produce una amplia diversidad de fresas, concebidas en muchos casos especialmente para determinados pasos tecnológicos. La fresa moderna es generalmente una herramienta que tiene un cuerpo cuya forma está estrechamente relacionada con las placas para las cuales está concebida. [11]

A continuación se abordan algunos aspectos, ecuaciones y criterios relacionados con la selección de los datos de corte para el fresado. Es importante destacar que los pasos tecnológicos de fresado son varios y sería muy extenso y quizás hasta tedioso poner aquí varios ejemplos, de modo que se explicará un procedimiento general y se mostrará un ejemplo. Dicho ejemplo se validará con la herramienta propuesta en el capítulo 3.

**2.1.- Aspectos básicos del corte en el fresado.**

**2.1.1.- Terminología, unidades y formulas relacionadas con el fresado.**

A continuación se da una relación de términos que se emplean en el corte de metales mediante fresas, y que serán utilizados más adelante en ejemplos de selección de datos de corte para estas herramientas.

Símbolo	Designación	Fórmula	#	Unidad
Dc	Diámetro de corte.	---	---	mm
lm	Longitud mecanizada.	---	---	mm
De	Diámetro de corte efectivo.	Para placas rómbicas: $De = Dc + \frac{2 * ap}{\tan K}$	2.1	mm
		Para placas redondas: $De = Dc + \sqrt{C^2 - (C - 2ap)^2}$	2.2	
ap	Profundidad de corte.	---	---	mm
ae	Ancho de corte.	---	---	mm

Vc	Velocidad de corte.	$V_c = \frac{\pi * D_c * n}{1000}$	2.3	m/min.
Q	Volumen de arranque de virutas.	$Q = \frac{a_p * a_e * V_f}{1000}$	2.4	cm <sup>3</sup> /min.
Vf	Velocidad de avance.	$V_f = f_z * n * Z_n$	2.5	mm/min.
Zn	Total de dientes o filos de la fresa.	(Ver anexo III)	---	filos
fz	Avance por diente o filo.	$f_z = \frac{V_f}{n * Z_n}$	2.6	mm/dientes
fn	Avance por revolución.	$f_n = \frac{V_f}{n}$	2.7	mm/rev.
hex	Espesor máximo de la viruta.	(Ver tabla 4 – Anexo III)	---	mm
hm	Espesor medio de la viruta.	$h_m = \frac{\text{sen } K * 180 * a_e * f_z}{\pi * D_c * \arcsen \left( \frac{a_e}{D_c} \right)}$	---	mm
Kc <sub>1</sub>	Fuerza específica de corte. (para hex = 1 mm)	(Ver tablas 5 y 6 – Anexo III)	---	N/mm <sup>2</sup>
n	Frecuencia de rotación del husillo.	$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_c}$	2.8	rpm
Pc	Potencia necesaria para el corte.	$P_c = \frac{a_e * a_p * V_{f \text{ real}} * K_{c1}}{60 * 10^6}$ (Ver obs. en epígrafe 2.3)	2.9	kW
Pd	Potencia disponible para el corte.	$P_d = N_m * \eta$	2.10	kW
η	Rendimiento de la máquina.	(Ver anexo IV)	---	%
K	Ángulo de posición.	(Ver epígrafe 2.2.6)	---	Grados
tp	Tiempo principal de maquinado.	$T_p = \frac{lm}{V_{f_r}}$	2.11	min

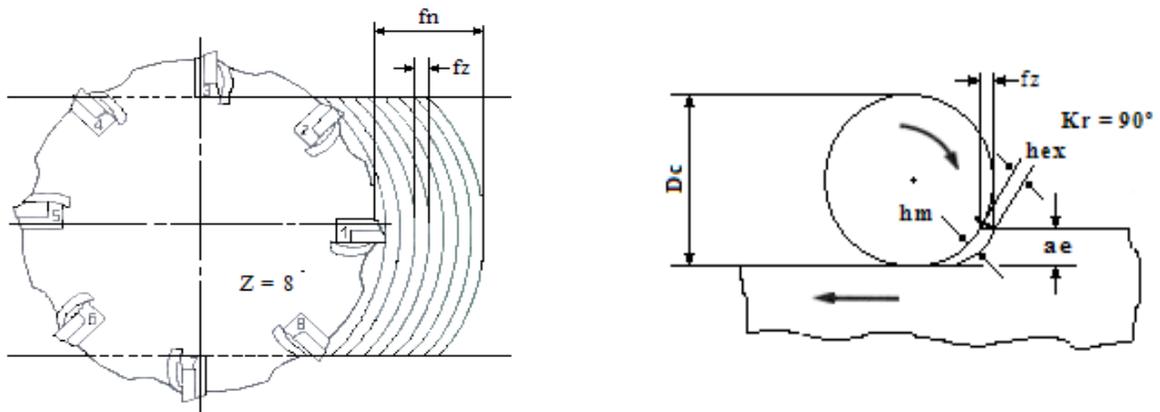


Fig. 2.1: Representación de  $f_n$ ,  $f_z$ ,  $hex$ ,  $hm$ ,  $D_c$ ,  $ae$ , en un planeado visto en el plano horizontal de fresado (plano XY). Nótese que en este plano no se ve  $ap$  [11].

### 2.1.2.- Algunas observaciones sobre el corte de fresas de placas redondas.

Entre las fresas de placas redondas existe la llamada fresa toroidal. Esta posee dos plaquitas redondas que se colocan de manera que cada plaquita se superpone o casi se superpone en el eje de la fresa (ver figura 2.2). Este diseño permite eliminar la acción de corte desfavorable que tiene lugar en el centro de la herramienta, donde la velocidad de corte se reduce a cero.

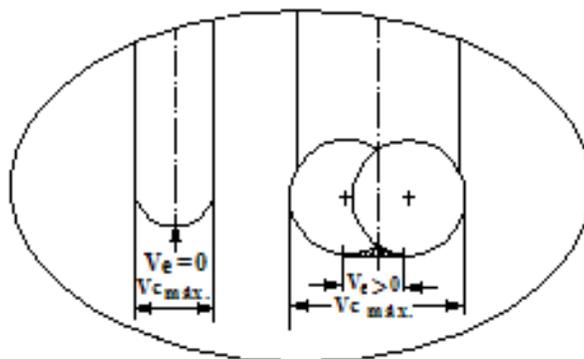


Fig. 2.2: Fresa de placas redondas. [11]

En las fresas de plaquitas redondas el diámetro real o efectivo de corte varía dependiendo del valor de la profundidad de corte ( $ap$ ). Esta variación puede ser considerable, especialmente para fresas pequeñas que utilizan plaquitas de gran diámetro. Si no se tiene esto en cuenta, se producirán serios errores de cálculo del avance, ya que éste depende de la velocidad del husillo (rpm) y del diámetro de corte para una velocidad de corte determinada. También es especialmente importante a profundidades de corte pequeñas basar los cálculos de la velocidad de corte en el diámetro efectivo de corte ( $D_e$ ).

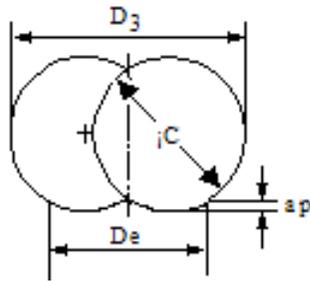


Fig. 2.3: Relación entre profundidad de corte y diámetro efectivo de corte.

$$De = D_3 - i C + \sqrt{i C^2 - (i C - 2 * ap)^2}$$

Velocidad de corte efectivo, (Ve)

$$Ve = \frac{\pi * n * De}{1000}, m/min$$

### 2.1.3.- La geometría frontal de la plaquita.

Como consecuencia de sucesivos desarrollos en las plaquitas, la geometría del filo de corte para fresado ha permitido mejorar considerablemente el rendimiento de las fresas, gracias a una acción más eficiente, suave y fiable, con menos calor generado y un mejor flujo de virutas. Muchas de las plaquitas introducidas recientemente incorporan tres geometrías básicas para operaciones de mecanizado ligero, mediano y pesado. (Ver figura 2.4)

La geometría de corte ligero, que se designa como L en este trabajo, se caracteriza por un filo de corte positivo agudo ( $\gamma$  positivo). Como consecuencia se obtiene una acción de corte suave, y bajos requisitos de potencia de la máquina. Se emplea para el mecanizado ligero con bajas velocidades de avance.

La geometría M, para uso general, es una geometría con  $\gamma$  positivo pero para cortes un poco más severos que la geometría L. Tiene uso general en la mayoría de los metales.

La geometría robusta H se emplea con velocidades de avance elevadas, en mecanizado pesado. Tiene una mayor seguridad de filo.



Fig. 2.4: Geometría frontal de la plaquita [11].

### 2.1.4.- El paso de la fresa.

El paso de una fresa es la distancia entre un determinado punto en una de las aristas de la plaquita, hasta el mismo punto en la otra arista de la plaquita. Las fresas están clasificadas en fresas de paso grande, normal y reducido.

En el paso grande (L) la fresa tiene un número reducido de plaquitas. El paso puede ser diferencial, lo que significa que la distancia entre plaquitas puede no ser uniforme. Son útiles cuando la potencia disponible para el corte está limitada y cuando se utilizan herramientas con voladizo. (Observar la figura 2.5)

Las fresas con paso normal M se emplean para el fresado en general. Tienen un número moderado de dientes y los espacios para alojamientos de viruta moderados. Se utilizan para un alto régimen de arranque de virutas.

El paso reducido H se encuentra en fresas con un máximo número de plaquitas para una productividad óptima en condiciones estables. Se emplean preferiblemente en materiales de viruta corta y materiales termorresistentes (ISO S), con grandes avances de la mesa. También se emplean para mecanizados interrumpidos en fundición, desbaste de fundición y pequeñas profundidades de corte en aceros, así como en materiales donde la velocidad de corte tiene que mantenerse baja, por ejemplo, en aleaciones de titanio.



Fig. 2.5: Pasos de la fresa [11].

### 2.1.5.- Selección del diámetro y de la posición de la fresa durante el planeado.

La selección del diámetro de la fresa que se vaya a utilizar en un planeado se basa generalmente en el ancho de corte. No obstante, a menudo la determinación de la potencia necesaria para el corte trae como consecuencia una variación del diámetro inicialmente escogido para la fresa. Esto ocurre cuando la potencia disponible en la máquina es menor a la necesaria para el corte, en cuyo caso una opción para solucionar el problema es disminuir el diámetro de la fresa a emplear. Además de ello, existen otros muchos factores que influyen en el desarrollo satisfactorio de la operación de fresado. La posición de la fresa y el contacto de los dientes con la pieza a trabajar son muy importantes también en un planeado.

Para operaciones de planeado se recomienda que el diámetro de la fresa debe ser de un 20 % a un 50 % más grande que el ancho de corte.

Para planeado y escuadrado la profundidad de corte máxima recomendada es un 40 % de la profundidad máxima posible según la geometría de la plaquita.

Por otra parte, no se recomienda el posicionamiento de la fresa en el centro de la superficie a planear, ya que implica un compromiso en lo que respecta al efecto de las fuerzas de corte. La dirección de las fuerzas de corte radiales fluctuará cuando los filos comienzan y finalizan el corte, y cualquier juego en el husillo de la máquina puede ocasionar vibraciones y rotura de filos de forma imprevista. Si se mueve la fresa ligeramente fuera del centro dará como resultado fuerzas de dirección más constante. Si se desplaza una fresa grande fuera del centro, puede ser una ventaja, puesto que así entrarán más dientes en corte simultáneo al ser mayor el arco de corte ( $\alpha$ ). (Ver figura 2.6)

Otra recomendación de fresado tiene que ver con el sentido de rotación de la fresa respecto al sentido del movimiento de avance. Se recomienda el fresado hacia abajo (a favor) para mayor duración de la herramienta. Durante el fresado hacia abajo (ó fresado a favor), el sentido del avance de la pieza es el mismo que el del vector velocidad de corte de la fresa en el área de corte. El espesor de la viruta irá disminuyendo desde el comienzo de corte hasta alcanzar cero al final, como resultado de los sentidos coincidentes de los vectores de avance y de velocidad, y de que el vector velocidad es mucho mayor que el de avance. La plaquita comienza su corte con un gran espesor de viruta. Esto evita el efecto de bruñido, propio del fresado hacia arriba o “en contra”, permite un menor calentamiento y una mínima tendencia al endurecimiento de la superficie que se está fresando. El gran espesor de viruta es una ventaja y las fuerzas de corte tienden a empujar la pieza hacia la fresa, manteniendo la plaquita en el corte. La viruta se parte por la mitad y no daña el filo de corte.

Durante el fresado hacia arriba (ó fresado en contraposición) el sentido del avance de la pieza es opuesto a la de rotación de la fresa en el área de corte. El espesor de la viruta comienza a partir de cero e incrementa su espesor al final de corte. Cuando la plaquita comienza su corte sin espesor de viruta, existen fuerzas de corte que tienden a separar la fresa de la pieza. La plaquita tiene que forzarse para comenzar el corte, creando un efecto de fricción o bruñido, con excesiva fricción, altas temperaturas y a menudo contactos con una superficie que se endurece por deformación plástica al trabajarla, fenómeno causado por la plaquita precedente. Las fuerzas también tenderán a empujar la pieza fuera de la

mesa, por lo que es necesario tomar precauciones con la fijación de la pieza. El fresado en contraposición puede ser favorable si el mecanismo del avance de la mesa no es el adecuado y tiene holguras. Durante el fresado las virutas se pegarán o se soldarán al filo alguna vez y serán arrastradas hasta el comienzo del próximo corte por lo que en el fresado hacia arriba la viruta puede quedar fácilmente atrapada o pegada entre la plaquita y la pieza, lo que puede traer consigo roturas de plaquitas. [11]

Las ventajas de ambos métodos se resumen a continuación:

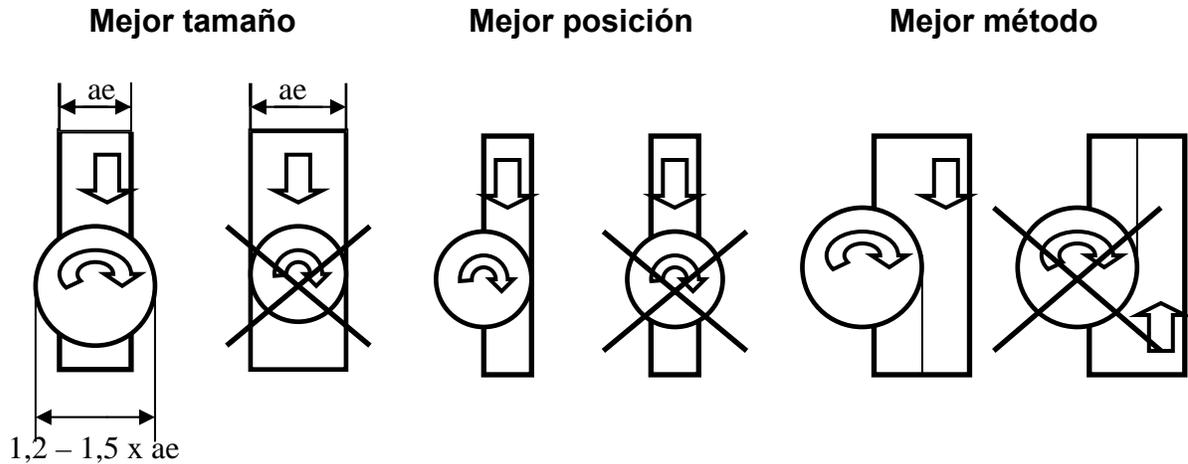


Fig. 2.6: Representación del mejor diámetro de la fresa, la mejor posición y los sentidos más recomendados para la rotación de la fresa y el avance de la mesa [11].

### 2.1.6.- Selección del ángulo de posición K.

El ángulo de posición de una fresa es el ángulo formado por el filo principal de corte y la superficie mecanizada. El espesor de viruta, fuerzas de corte y vida la herramienta varían en función del ángulo de posición.

El hecho de disminuir el ángulo de posición permite reducir el espesor de las virutas para cualquier velocidad de avance. El afinado de las virutas se produce debido a que una misma cantidad de material se distribuye sobre un área más extensa del filo de corte de la plaquita.

Al disminuir el ángulo de posición, el filo de corte entra y sale gradualmente de la superficie de la pieza a trabajar. Ello contribuye a reducir la presión radial, protegiendo el filo de corte de la plaquita y reduciendo los riesgos de rotura de la misma. Un aspecto negativo es que la presión axial se incrementa, pudiendo causar una desviación de la superficie mecanizada en las piezas de paredes finas de sección transversal.

Las fresas con ángulo de posición de 90° se recomiendan:

- Para piezas de paredes finas.
- Cuando la fijación de la pieza es débil, poco confiable.
- Para donde se requiera una forma de 90°.

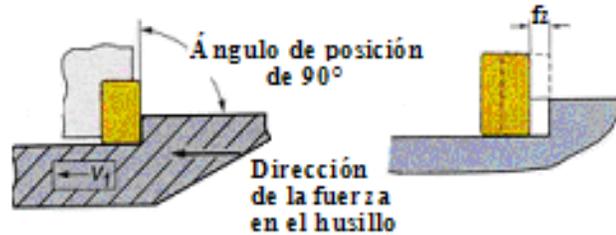


Fig. 2.7: Fresa con ángulo K=90° [11].

Las fresas con ángulo de posición de 45° son:

- Primera elección para uso universal.
- Reducen las vibraciones con voladizos largos.
- Producción de virutas más finas. Permiten una mayor productividad.

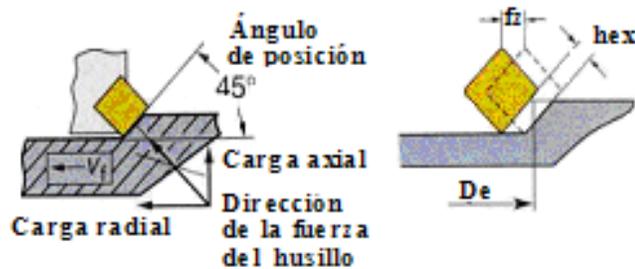
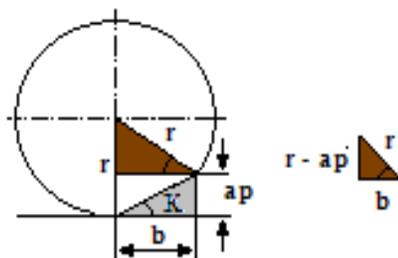


Fig. 2.8: Fresa con ángulo K=45° [11].

La fresa de plaquita redonda tiene un filo de corte de múltiples posiciones. El ángulo K en esta fresa depende de la profundidad de corte, tal como se puede observar en la siguiente figura.



$$r^2 = (r - ap)^2 + b^2$$

$$b = \sqrt{r^2 - (r - ap)^2}$$

$$\tan K = \frac{ap}{b}$$

$$\therefore K = \arctan \frac{ap_r}{\sqrt{\left(\frac{C}{2}\right)^2 - (C - ap)^2}}$$

Fig. 2.9: Dependencia entre K y la profundidad de corte cuando la placa es redonda. [11]

## 2.2.- Selección de datos de corte para fresado.

Los fabricantes de herramientas de corte han desarrollado varios procedimientos de selección para guiar a los usuarios en la determinación correcta de los datos de corte. Un ingeniero o un tecnólogo de experiencia puede estudiar el procedimiento que propone un fabricante y a partir de este establecer los regímenes de corte para el fresado. Aquí se va a explicar un procedimiento que utiliza tablas elaboradas especialmente, las cuales son mucho menos extensas que las brindadas por los fabricantes pero, por la misma razón, pueden resultar menos precisas y no abarcan toda la extensa gama de posibilidades de pasos tecnológicos y materiales a elaborar. No obstante, el procedimiento aquí presentado junto con sus tablas sirve para un primer entrenamiento en la selección de datos de corte, y capacita para asimilar posteriormente los procedimientos que con mayor variedad de tablas ofrecen los fabricantes de fresas.

Una secuencia típica es la siguiente:

Primero se define la correspondencia entre el material a elaborar y el material de las plaquitas, esto es, ISO **P, M, K, N, S** ó **H**.

A continuación se definen la aplicación y las condiciones de mecanizado: **L** (fresado ligero para paso grande), **M** (fresado medio para paso normal), **H** (fresado pesado para paso reducido).

Luego se selecciona la fresa. El tipo de fresa depende del paso tecnológico a realizar. En epígrafes anteriores se ha explicado cuáles son los pasos tecnológicos para los que se emplean los diferentes tipos de fresas.

Además, se seleccionan las dimensiones de la fresa, lo cual está vinculado también al paso tecnológico. En el Anexo III se dan tablas con dimensiones de fresas reales.

Seguidamente se seleccionan los datos de corte. En el mismo Anexo III se dan las tablas de datos de corte para diferentes variantes de pasos tecnológicos y fresas.

Una vez obtenidos estos datos se puede proceder a determinar la velocidad de corte teórica:

$$V_c \text{ teórica} = V_T * K_d * K_T ; [\text{m/min}]$$

$V_T$  - Velocidad obtenida en la tabla.

$K_d$  - Coeficiente de corrección de dureza.

$K_T$  - Coeficiente de corrección de vida útil.

Las velocidades de corte dadas en estas tablas son válidas para determinados valores de dureza que se especifican en las propias tablas, y para una vida útil de 15 minutos, por lo

que si la dureza difiere de esta, se tiene en cuenta el factor de dureza  $K_d$  que se obtiene en la tabla 2 del Anexo II. Si hay diferencias con la vida útil, hay que acudir a la tabla 1 del mismo Anexo.

Luego de calcular la  $V_c$  teórica, se calcula el número de rpm que teóricamente debe girar el husillo.

$$n_{calculada} = \frac{1000 * V_c \text{ teórica}}{\pi * D_c} ; [\text{rpm}]$$

Donde,

$D_c$  – Diámetro de corte de la fresa, mm.

Se procede entonces a buscar los datos de la fresadora que se va a emplear. Cuando es una fresadora convencional con regulación escalonada, se escoge  $n_{real} \leq n_{calculada}$ . Si es una fresadora de regulación no escalonada, como las fresadoras CNC, seguramente se puede hacer  $n_{real} = n_{calculada}$ .

En el caso en que se haya decidido que  $n_{real} < n_{calculada}$ ., entonces hay que calcular la velocidad real:

$$V_c \text{ real} = \frac{\pi * D_c * n_{real}}{1000} ; [\text{m/min}]$$

El avance por diente ( $f_z$ ) se obtiene en la tabla 4 según el material a elaborar, el tipo de fresa y la aplicación del mecanizado. Como el avance obtenido en tablas ( $f_z$ ) está dado en mm/dientes, y el avance en la fresadora ( $V_f$ ) se da en mm/min, es necesario conocer el número de dientes de la fresa (se halla en el anexo III junto con las dimensiones de las fresas) y luego se pasa a calcular:

$$V_f \text{ calculada} = f_z * Z_n * n_{real} ; [\text{mm/min}]$$

Donde,

$Z_n$  - números de dientes de la fresa.

$n_{real}$  - número de rpm, [rpm].

$f_z$  - avance por diente de la fresa, [mm/diente].

Al igual que con las rpm, de acuerdo con las posibilidades de la fresadora escogida, se aplica el criterio  $V_f \text{ real} \leq V_f \text{ calculada}$ .

Si el paso tecnológico es un planeado, normalmente se comprueba si la potencia de la máquina puede asumir el régimen de corte seleccionado. No resulta frecuente que se compruebe la potencia para otros pasos tecnológicos. La potencia necesaria para el corte se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_c = \frac{a_e * a_p * V_{f \text{ real}} * K_{c1}}{60 * 10^6} ; [\text{Kw}]$$

Donde,

$a_e$  - ancho de corte en mm

$a_p$  - profundidad de corte en mm

$K_{c1}$  - fuerza de corte específica, en  $\text{N/mm}^2$ , que se encuentra en la tabla 5 del anexo III.

Debe cumplirse que la potencia disponible  $P_d$  para el fresado sea mayor que la potencia necesaria para el corte  $P_c$ .

$$P_d = N_m * \eta ; [\text{kw}]$$

$N_m$  - es la potencia del motor principal de la fresadora, en kw.

$\eta$  - es el rendimiento de la cadena cinemática del movimiento principal, la cual aparece en el catálogo de la máquina (Anexo IV) o se puede considerar igual a 0.80.

Si no se cumple que  $P_c \leq P_d$ , se tienen dos opciones:

- utilizar una fresadora de más potencia.
- variar el régimen de corte y recalculer la potencia necesaria.

Variar el régimen de corte aquí significa reducir su severidad. Se pueden reducir uno o varios de los siguientes datos de corte:  $a_p$ ,  $a_e$  y  $n_{\text{real}}$ . La reducción de  $n_{\text{real}}$  conlleva el recálculo de la velocidad de avance  $V_f$ , y que  $V_{f \text{ real}} \leq V_{f \text{ calculada}}$ . Al reducir las rpm en una máquina CNC se debe tener cuidado porque la potencia disponible varía con las rpm. Se puede también escoger una fresa de un paso mayor, lo que implica un número menor de dientes, que a su vez se refleja en una menor velocidad de avance.

Finalmente, cuando la potencia ha sido comprobada, se pasa a calcular el tiempo principal de maquinado, el tiempo durante el cual la herramienta está cortando viruta:

$$t_p = \frac{lm}{V_{f \text{ real}}} ; [\text{min}]$$

Donde,

$lm$  - longitud mecanizada, en mm. Esta incluye una adición que corresponde a la mitad del diámetro de corte de la fresa, la longitud a fresar, y un  $\Delta$  de entrada y salida.

$V_{f \text{ real}}$  - avance en mm/min

Volviendo al cálculo de la potencia de corte, es necesario hacer las siguientes observaciones: Los fabricantes de herramientas de corte sugieren varias fórmulas para calcular la potencia necesaria para el corte en el fresado, no obstante, hacer ese cálculo con precisión es difícil porque son muchas las variables a tomar en cuenta, y se termina en

definitiva haciendo un cálculo aproximado. De los pasos de fresado, el más alto consumidor de potencia es el planeado, por lo que será para ese paso que se resolverá un ejemplo.

### 2.2.1.- Ejemplo de determinación de datos de corte para un planeado.

Se va a establecer el régimen de corte para un planeado en la fresadora, según los datos que muestra la figura:

- *Material de la pieza a trabajar:* Acero (AISI/SAE 1045; ver anexo I)
- *Dureza:* HB 150
- *Vida útil que se propone para el borde cortante:* 25 min
- $a_p$  (profundidad de corte axial) = 2 mm
- $a_e$  (profundidad de corte radial o ancho de corte) = 60 mm
- $l$  (longitud a fresar) = 150 mm

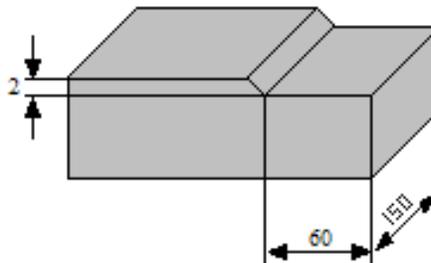


Fig. 2.10: Planeado con ángulo de posición de 45°. [11]

Por tratarse de un planeado que no es a escuadra, se escoge una fresa con ángulo de posición  $K = 45^\circ$ .

Como se explicó anteriormente en el epígrafe 2.1.5, el ancho de fresado no debe exceder el 80 % del diámetro de la fresa. Por esta razón en la tabla 3 del anexo III se escoge  $D = 80$  mm. En esa misma tabla se observa que  $a_p$  máximo es 6 mm, pero el necesario para este ejemplo es  $a_p = 2$  mm, de modo que se puede considerar un planeado bajo condiciones normales (M) y se puede escoger  $Z_n = 6$  filos, con una velocidad del husillo máxima admitida ( $n_{\text{máx}}$ ) de 12 700 rpm. Este es un valor de rpm tope establecido por los fabricantes para garantizar la seguridad del maquinado a alta velocidad. Quiere decir que un valor mayor de rpm es peligroso.

Para seleccionar las plaquitas se entra en la tabla 4 del anexo III con el paso tecnológico: Planeado con  $K = 45^\circ$  para un fresado medio. El tipo de acero a maquinar clasifica como ISO P, por tanto la geometría a seleccionar es PM. En la misma línea de la tabla se encuentran los siguientes datos recomendados:

- Calidad (Q) GC 4030 (este es el material de la plaquita).
- Geometría (G) PM (esta es la geometría o forma de la superficie frontal de la plaquita).
- fz (avance por diente) = 0.24 mm/diente.
- hex (espesor de la viruta) = 0.17 mm.

Se procede a la obtención de la velocidad de corte (VT) en la tabla 5 para hex = 0.17 mm, GC 4030 y el material de la pieza a trabajar, es de 286.5 m/min porque ae > 0.5 \* Dc (60 > 40). Este valor se obtiene interpolando entre 325 y 270 m/min. La interpolación lineal realizada introduce un ligero error que es despreciable.

Los valores de hex que aparecen en la tabla son solo 0.1 y 0.2, de modo que 0.17 es un valor intermedio para el cual se desconoce Vc. La diferencia entre 0.17 y 0.1 es proporcional a la diferencia entre la velocidad de corte desconocida y la que corresponde a 0.1. De la misma manera, la diferencia entre los espesores de viruta 0.2 y 0.1 es proporcional a la diferencia entre las velocidades de corte que les corresponden respectivamente. Esto se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera.

<b>hex</b>	<b>0.1</b>	0.17	<b>0.2</b>		De modo que	→	$\frac{0.17 - 0.1}{V_T - 325} = \frac{0.2 - 0.1}{270 - 325}$
<b>VT</b>	<b>325</b>	VT	<b>270</b>				

$$(0.17-0.1) * (270-325) = (VT - 325) * (0.2-0.1)$$

Al despejar esta expresión:

$$V_T = 286.5 \text{ m/min}$$

Por otra parte, el material a elaborar no tiene la misma dureza que la que aparece en la tabla, de modo que hay que tomar en cuenta esa diferencia:

$$\Delta HB = HB_{Material} - HB_{Tabla} = 150 - 180 = -30$$

En la tabla 2 se encuentran los ΔHB siguientes: -20, -40, -60, etc. De modo que no está ΔHB = -30. Entonces se escoge el Kd que mejor proteja la vida útil del borde cortante, que será en este ejemplo -20, es decir, el inmediato inferior en valor absoluto.

∴ Entrando con ΔHB = -20, se obtiene Kd = 1.07

De manera que como el material a elaborar es un poco menos duro que aquel para el cual son propuestos los datos de corte, la velocidad se puede aumentar en un 7%.

Las tablas están elaboradas, como ya se dijo, para una vida útil del borde cortante de 15 minutos. En este ejemplo se ha planteado 25 minutos de vida útil. En la Tabla 1 se obtiene Kt = 0.90 para T = 25 min.

Entonces,

$$V_{C_{Teórica}} = 286.5 * 1.07 * 0.90 = 275.90 \text{ m/min}$$

de modo que:

$$n_{calculada} = \frac{V_{C_{teórica}} * 1000}{\pi * D_c} = \frac{275.90 * 1000}{\pi * 80} = 1097.77 \text{ rpm}$$

A partir de aquí en este ejemplo se suponen dos variantes:

- a) Se va a emplear una fresadora CNC con regulación no escalonada y potencia 5.5 kw (ver datos de la fresadora vertical Kondia en el Anexo IV).
- b) Se va a emplear una fresadora convencional con regulación escalonada.

Para una máquina de regulación no escalonada, puede hacerse  $n_{real} = n_{calculada}$ . Por tanto, la velocidad de avance real será:

$$V_{f_c} = Z n * n_r * f_z = 6 * 1097.77 * 0.24 = 1580.79 \approx 1580 \text{ mm/min}$$

Ahora se calcula la potencia necesaria para el corte.  $K_{c1}$  es el coeficiente específico de potencia de corte, y se encuentra en la tabla 5 del anexo III.

$$P_c = \frac{a_p * a_e * V_{f_r} * K_{c1}}{60 * 10^6} = \frac{60 * 2 * 1580 * 1600}{60 * 10^6} = 5.056 \text{ Kw}$$

Pero,

$$P_d = N m * \eta = 5.5 * 0.80 = 4.4 \text{ kw,}$$

Como  $P_c > P_d$ , no se puede aplicar este régimen de corte. Una opción es reducir las rpm. Si se recalcula con 900 rpm se puede comprobar que  $P_c = 4.15 \text{ kw}$ , de modo que esa sería la solución. Hay que notar que esa reducción de las rpm lleva la velocidad de avance a 1296 mm/min.

Finalmente se calcula el tiempo principal:

$$t_p = \frac{l_m}{V_{f_r}} = \frac{\Delta_{entrada} + \frac{D_c}{2} + l_{pieza}}{V_{f_r}} = \frac{4 + \frac{80}{2} + 150}{1296} = 0.15 \text{ min}$$

Un esquema de una vista superior (plano xy de la mesa de la fresadora) contribuye a aclarar el porqué de sumatoria  $\Delta$  (representa el  $\Delta_{entrada}$  y el de salida aunque la figura 2.11 solo se representa el  $\Delta_{entrada}$ ) +  $D_c/2 + l$ :

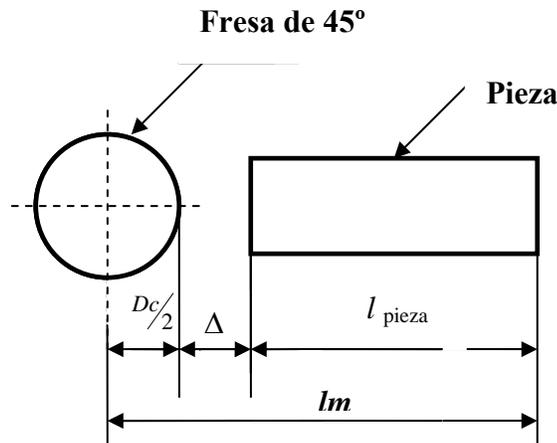


Fig. 2.11: Esquema de la longitud de fresado.

Si en vez de una fresadora de regulación no escalonada se tiene una fresadora con regulación escalonada, como el modelo 6M13 (ver Anexo IV), entonces el régimen teórico se adapta a las posibilidades de la máquina. Si se parte de que:

$$n \text{ calculada} = 1097.77 \text{ rpm},$$

entonces para este modelo de fresadora:

$$n \text{ real} = 1000 \text{ rpm}$$

De aquí que la velocidad de avance calculada ahora sea otra:

$$Vf_c = Zn * n_r * fz = 6 * 1000 * 0.24 = 1440 \text{ mm/min}$$

Pero el mayor avance que permite esta máquina es de 1250 mm/min, de modo que hay que ajustarse a él, lo que implica que el avance real por diente de la fresa será menor que el recomendado.

Como se varió las rpm, la velocidad de corte real ya no es la obtenida de la tabla:

$$Vc_{real} = \frac{n_r * \pi * Dc}{1000} = \frac{1000 * \pi * 80}{1000} = 251 \text{ m/min}$$

Por otra parte,

$$Pc = \frac{ap * ae * Vfr * Kc_1}{60 * 10^6} = \frac{2 * 60 * 1250 * 1600}{60 * 10^6} = 4 \text{ Kw}$$

$$Pd = Nm * \eta = 10 * 0.80 = 8.0 \text{ Kw}$$

Como  $Pc \leq Pd$ , se puede aplicar este régimen de corte.

Y el tiempo principal es:

$$tp = \frac{lm}{Vf_r} = \frac{\Delta_{entrada} + \frac{Dc}{2} + l_{pieza}}{Vf_r} = \frac{4 + \frac{80}{2} + 150}{1250} = 0.16 \text{ min}$$

En resumen, para ambos modelos de fresadoras escogidas para este ejemplo, los datos finales para el planeado son:

- $ap = 2$  mm
- $ae = 60$  mm
- $l = 150$  mm
- Calidad (Q) GC 4030 (este es el material de la plaquita)
- Geometría (G) PM (esta es la geometría o forma de la superficie frontal de la plaquita)
- $fz = 0.24$  mm/diente
- $hex = 0.17$  mm
- Fresa de planear con diámetro de 80 mm, con 6 dientes y  $K = 45^\circ$ .

Modelo de Fresadora	$n$ [rpm]	$V_f$ [mm/min]	$t_p$ [min]
Kondia K600	900	1296	0.15
6M13	1000	1250	0.16

### **Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte para el planeado en el fresado.**

Uno de los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica establece que existen varios procedimientos de selección para guiar a los usuarios en la determinación correcta de los datos de corte del fresado. Procedimientos, que a su vez son más extensos que el propuesto en este trabajo. Para cualquiera de los procedimientos de selección que se desee utilizar es imprescindible el uso y la manipulación de diversas ecuaciones, coeficientes y tablas, donde el factor humano tiene una participación decisiva tal como se explicó en el capítulo anterior.

Otro resultado especifica que no existe un procedimiento general automatizado para el cálculo y la selección de los datos de corte y por tal motivo es necesario desarrollar uno que permita dar solución a los problemas de este tipo que se presentan en la industria mecánica cubana.

Por lo que se decidió la tarea de elaborar una herramienta que permitiera dar solución a este problema facilitando la obtención de los datos de régimen de corte que se utilizan en la fabricación de piezas por maquinado proporcionando toda la información necesaria para su inmediata reproducción (evitando la intervención directa del hombre, que tantos errores podría provocar). En la herramienta propuesta se ha tomado en cuenta que su utilización sea de una forma cómoda, sencilla y sin ningún tipo de complejidad, para que tenga una buena aceptación en la producción y en la docencia de la carrera de Ingeniería Mecánica.

[31]

Para la realización de esta herramienta se utilizó el software MATLAB por las potencialidades que presenta, tiene además una grande variedad de funciones que posibilitan que el desarrollo de la herramienta realizada. Además este programa se estudia en la carrera de Ingeniería Mecánica por su fortaleza para los ingenieros. No se excluye que el procedimiento utilizado para el cálculo del régimen de corte pueda programarse en otro software, pero por las razones antes expuestas y otras que se mencionan a continuación es que se escoge este software.

MATLAB (abreviatura de *MATrix LABoratory*, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de

algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones. [6]

### 3.1.- Implementación de la herramienta informática desarrollada.

Es importante aclarar que debido a la gran variedad de materiales, tipo de herramientas, pasos tecnológicos, máquinas - herramienta y otros factores que influyen en el cálculo de los datos de corte solo se programará una operación de fresado con un solo paso tecnológico, un solo tipo de material y una herramienta de corte. La misma se validará con el ejemplo resuelto en el capítulo anterior y otros de la industria recomendándose su actualización si los datos son satisfactorios.

La figura 3.1 muestra la ventana general del procedimiento, donde a partir de presionar **Calcular**, el usuario puede obtener los resultados necesarios.

The interface is organized as follows:

- Input Parameters:**
  - 1: Tipo de material (Acero no aleado (C = 0...))
  - 2: Dureza del material (HB) (0)
  - 3: Operación (Planeado K=45)
  - 4: Tipo de paso de la fresa (Grande (L))
  - 5: Tiempo de vida útil de la herramienta (10)
  - 6: Diámetro de corte de tabla - Dc (mm) (≤ 50)
  - 7: Botón "Pulse aquí"
  - 8: Intervalo de ancho de corte (MIN)
  - 9: Intervalo de ancho de corte (MAX)
  - 10: Campo de entrada para el ancho de corte
- Datos Geométricos de la pieza:**
  - 11: Sobremedida axial (mm) (0)
  - 12: Ancho de corte (mm) (0)
  - 13: Longitud a planear (mm) (0)
- Datos fresadora:**
  - 14: Potencia (kW) (0)
  - 15: Eficiencia (0)
  - 16: Tipo de fresadora (Fresadora CNC)
- Buttons:**
  - CALCULAR
  - RECALCULAR
- Resultados:**
  - 27: Potencia de Corte (kW) (0)
  - 28: Potencia Disponible (kW) (0)
  - 29: Pc ≤ Pd
- Nota:**
  - Si la Potencia de Corte calculada da como resultado un valor superior al valor de la Potencia Disponible, el usuario debe disminuir la profundidad de corte axial, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir la velocidad de avance hasta que se cumpla la condición de que Pc sea menor o igual que la Pd.
  - Siempre que se varíen algunos de los parámetros anteriores, hacer click en el botón RECALCULAR para obtener el nuevo valor de la Potencia de Corte.
- Output Fields:**
  - 17: Número de pasadas axial (0)
  - 18: Número de pasadas radial (0)
  - 19: Número de pasadas total (0)
  - 20: Profundidad de corte axial (mm) (0)
  - 21: Avance por diente (mm/diente) (0)
  - 22: Frecuencia de Rotación (rpm) (0)
  - 23: Velocidad de avance (mm/min) (0)
  - 24: Velocidad de corte (m/min) (0)
  - 25: Espesor de la viruta (mm) (0)
  - 26: Tiempo principal (min) (0)

Fig. 3.1: Ventana general del procedimiento.

A continuación se darán breves explicaciones sobre como utilizar la herramienta realizada. En menú (1) se selecciona el tipo de material de la pieza a elaborar como se muestra en la figura 3.2. En este caso los materiales referidos son los distintos tipos de aceros. En trabajos posteriores se recomienda ubicar más materiales como son otros aceros y fundiciones. En la opción (2) se introduce la dureza del material seleccionado siempre en Dureza Brinell (HB). En el menú (3) se selecciona la operación a realizar, en este caso solo se seleccionará la operación de planeado con ángulo de 45° por ser este paso el que mayor potencia consume en el fresado. En la opción (4) se selecciona el tipo de paso tal como se muestra en la figura 3.3, en función de la sobremedida y la profundidad de corte se pueden seleccionar tres opciones lo cual se deja a criterio del operario.

The screenshot shows a software interface for calculating cutting data. It is divided into several sections:

- Inputs:**
  - Tipo de material:** A dropdown menu showing various steel types like "Acero no aleado (C = 0.1-0.25 %)", "Acero no aleado (C = 0.25-0.55 %)", "Acero no aleado (C = 0.55-0.80 %)", "Acero de baja aleación (Elem. aleac. <= 5 %) No templado", "Acero de alta aleación (Elem. aleac. > 5 %) Recocido", and "Acero de alta aleación (Elem. aleac. > 5 %) Endurecido".
  - Dureza del material (HB):** A text input field with the value "0".
  - Operación:** A dropdown menu set to "Planeado K=45".
  - Tipo de paso de la fresa:** A dropdown menu set to "Grande (L)".
  - Tiempo de vida útil de la herramienta:** A text input field with the value "10".
  - Datos Geométricos de la pieza:** Input fields for "Sobremedida axial (mm)", "Ancho de corte (mm)", and "Longitud a planear (mm)", all with the value "0".
  - Datos fresadora:** Input fields for "Potencia (kW)", "Eficiencia", and "Tipo de fresadora" (set to "Fresadora CNC"), all with the value "0".
- Buttons:** "Pulse aquí" (orange), "CALCULAR", and "RECALCULAR".
- Results Section:**
  - Potencia de Corte (kW) / Potencia Disponible (kW):** Both input fields show "0". Below them is the condition "Pc <= Pd".
  - Nota:** A text box explaining that if the calculated cutting power is higher than the available power, the user should reduce cutting parameters. It also advises clicking "RECALCULAR" when parameters change.
  - Output Parameters:** A grid of input fields for "Número de pasadas axial", "Número de pasadas total", "Avance por diente (mm/diente)", "Velocidad de avance (mm/min)", "Espesor de la viruta (mm)", "Número de pasadas radial", "Profundidad de corte axial (mm)", "Frecuencia de Rotación (rpm)", "Velocidad de corte (m/min)", and "Tiempo principal (min)". All fields currently show "0".

Fig.3.2: Tipos de materiales utilizados.

Tipo de material: Acero no aleado (C = 0....)

Dureza del material (HB): 0

Operación: Planeado K=45

Datos Geométricos de la pieza: Sobremedida axial (mm): 0, Ancho de corte (mm): 0, Longitud a planear (mm): 0

Datos fresadora: Potencia (kW): 0, Eficiencia: 0, Tipo de fresadora: Fresadora CNC

"Seleccione un diámetro de corte normalizado - Dc"  
 "Pulse el botón para seleccionar el rango del ancho de fresado"  
 "No puede tomar valores inferiores o superiores a los mostrados"

Diámetro de corte de tabla - Dc (mm): 50

Tipo de paso de la fresa: Grande (L), Normal (M), Reducido (H)

Intervalo de ancho de corte: MIN: , MAX:

Introduzca el ancho de corte según la fresa seleccionada

Resultados:

Potencia de Corte (kW): 0, Potencia Disponible (kW): 0,  $P_c \leq P_d$

Nota:  
 Si la Potencia de Corte calculada da como resultado un valor superior al valor de la Potencia Disponible, el usuario debe disminuir la profundidad de corte axial, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir la velocidad de avance hasta que se cumpla la condición de que  $P_c$  sea menor o igual que la  $P_d$ .  
 Siempre que se varíen algunos de los parámetros anteriores, hacer click en el botón RECALCULAR para obtener el nuevo valor de la Potencia de Corte.

Número de pasadas axial: 0, Número de pasadas total: 0, Avance por diente (mm/diente): 0, Velocidad de avance (mm/min): 0, Espesor de la viruta (mm): 0

Número de pasadas radial: 0, Profundidad de corte axial (mm): 0, Frecuencia de Rotación (rpm): 0, Velocidad de corte (m/min): 0, Tiempo principal (min): 0

Fig. 3.3: Tipo de paso de la fresa.

Es importante destacar que mientras mayor sea el paso disminuye el número de dientes de la fresa ( $Z_n$ ) lo cual influye en el valor de la potencia de corte. En el menú (5) se selecciona el tiempo de vida útil de la herramienta tal como se muestra en la figura 3.4. Este no es más que el tiempo en que está cortando el filo de la herramienta. Estos están normalizados en tablas según experimentos realizados por los fabricantes de herramientas, por lo que cuando difieren de 15 min se selecciona un coeficiente el cual será tenido en cuenta en el cálculo de la velocidad de corte.

The screenshot shows a software interface for calculating tool life. It is divided into several sections:

- Inputs:**
  - Tipo de material: Acero no aleado (C = 0...)
  - Dureza del material (HB): 0
  - Operación: Planeado K=45
  - Tipo de paso de la fresa: Grande (L)
  - Diámetro de corte de tabla - Dc (mm): 50
  - Intervalo de ancho de corte: MIN and MAX fields.
  - Tiempo de vida útil de la herramienta: 10
  - Datos Geométricos de la pieza: Sobremedida axial (mm), Ancho de corte (mm), Longitud a planear (mm).
  - Datos fresadora: Potencia (kW), Eficiencia, Tipo de fresadora (Fresadora CNC).
- Buttons:** "Pulse aquí", "CALCULAR", "RECALCULAR".
- Results (Resultados):**
  - Potencia de Corte (kW) and Potencia Disponible (kW) both showing 0.
  - Equation:  $P_c \leq P_d$ .
  - Nota: Si la Potencia de Corte calculada da como resultado un valor superior al valor de la Potencia Disponible, el usuario debe disminuir la profundidad de corte axial, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir la velocidad de avance hasta que se cumpla la condición de que  $P_c$  sea menor o igual que la  $P_d$ . Siempre que se varíen algunos de los parámetros anteriores, hacer click en el botón RECALCULAR para obtener el nuevo valor de la Potencia de Corte.
  - Parameters: Número de pasadas axial, Número de pasadas total, Avance por diente (mm/diente), Velocidad de avance (mm/min), Espesor de la viruta (mm), Número de pasadas radial, Profundidad de corte axial (mm), Frecuencia de Rotación (rpm), Velocidad de corte (m/min), Tiempo principal (min).

Fig. 3.4: Tiempo de vida útil de la herramienta.

En el menú (6) se selecciona el diámetro de corte de la fresa que está tabulado, es imprescindible aclarar que la fresa no corta en un 100% y mas cuando en un taller se selecciona la fresa que exista, pero si es importante y obligatorio para este caso seleccionar un diámetro que este en un intervalo desde 50% hasta un 75% del diámetro corte de tabla ya que los datos que se seleccionen como es el ancho de fresado están en función de esta recomendación. No obstante cada fabricante recomienda cual es el rango de su herramienta y el operario se ajusta a esto. Para el caso de esta herramienta, este rango se puede determinar pulsando el botón (7) y los valores mínimos y máximos son mostrados en las opciones (8) y (9) respectivamente. En la opción 10 se teclea entonces en valor del ancho de fresado que puede obtenerse con la herramienta seleccionada. A la izquierda de estos datos se introducen algunos datos de la pieza necesarios para el cálculo como son la sobremedida axial en mm (11), el ancho de la superficie a planear en mm (12) que puede o no coincidir con el ancho de fresado que puede obtenerse con la fresa y la longitud del planeado en mm (13). Después son introducidos los datos de la fresadora que

se utilizará tales como la Potencia del motor en kW (14), la eficiencia (15) y el tipo de fresadora (16) ya sea CNC o Convencional.

Luego de introducir estos datos se pulsa en el botón **CALCULAR** y se obtienen los resultados tal como se muestra en la figura 3.5.

The screenshot shows a software interface for calculating cutting parameters. It is organized into several sections:

- Input Fields:**
  - Tipo de material: Acero no aleado (C = 0...)
  - Dureza del material (HB): 200
  - Operación: Planeado K=45
  - Diámetro de corte de tabla - Dc (mm): 80
  - Tiempo de vida útil de la herramienta: 25
  - Intervalo de ancho de corte: MIN 40, MAX 60
  - Datos Geométricos de la pieza: Sobremedida axial (mm) 2, Ancho de corte (mm) 200, Longitud a planear (mm) 200
  - Datos fresadora: Potencia (kW) 5.5, Eficiencia 0.8, Tipo de fresadora Fresadora CNC
- Buttons:** "Pulse aquí" (orange), "CALCULAR" (red), and "RECALCULAR" (dashed red).
- Results Section:**
  - Potencia de Corte (kW): 4.32
  - Potencia Disponible (kW): 4.4
  - Nota: Si la Potencia de Corte calculada da como resultado un valor superior al valor de la Potencia Disponible, el usuario debe disminuir la profundidad de corte axial, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir la velocidad de avance hasta que se cumpla la condición de que Pc sea menor o igual que la Pd. Siempre que se varíen algunos de los parámetros anteriores, hacer click en el botón RECALCULAR para obtener el nuevo valor de la Potencia de Corte.
  - Número de pasadas axial: 1
  - Número de pasadas radial: 4
  - Número de pasadas total: 4
  - Profundidad de corte axial (mm): 2
  - Avance por diente (mm/diente): 0.24
  - Frecuencia de Rotación (rpm): 1000
  - Velocidad de avance (mm/min): 1440
  - Velocidad de corte (m/min): 251
  - Espesor de la viruta (mm): 0.17
  - Tiempo principal (min): 0.675

Fig. 3.5: Parámetros del régimen de corte calculado.

Estos se muestran en la parte inferior de la ventana principal. En la opción (17) se muestra el número de pasadas axial, en la (18) el número de pasadas radial y en la (20) el número de pasadas total. En la opción (21) se muestra la profundidad de corte axial en mm, la cual está relacionada con el filo de la herramienta seleccionada y la sobremedida axial (11) dando como resultados el número de pasadas axial (17). Otro resultado importante mostrado es el avance por diente (21) dado en mm/diente, este valor se selecciona por tablas y cuando se recalcula no debe exceder ese valor ya que se afecta la herramienta de corte y los datos de corte. En las fresadoras no se seleccionan los avances en mm/diente sino en mm/min, por lo que es necesario determinar la velocidad de avance en dichas unidades de medida (23). No puede faltar en los resultados la frecuencia de rotación (22), ya que este es el movimiento que garantiza el corte en la fresadora. Con estos parámetros ya calculados se determina la velocidad de corte (24) en m/min. Mediante tablas se selecciona el espesor de

la viruta en mm durante el corte (25). Con todos estos resultados en la opción (27) se muestra la potencia de corte calculada o necesaria para el corte en kW, la cual tiene que ser menor o igual que la potencia disponible de la fresadora (28) para comprobar si el corte puede realizarse. Si la condición se cumple se procede a determinar el tiempo principal de maquinado en min (26).

En caso de que no se cumpla la condición se pueden realizar dos opciones, las cuales fueron explicadas en el epígrafe 2.3. No obstante no está de más aclarar que se debe tener cuidado al disminuir la frecuencia de rotación (rpm) ya que si no se disminuye la velocidad de avance al mismo tiempo puede aumentar el avance por diente afectando la herramienta de corte. El programa está diseñado para que esto no ocurra. Si se opera con una fresadora CNC, al disminuir las rpm, se recalcula la velocidad de avance permaneciendo constante el avance por dientes; si la fresadora es convencional tanto las rpm como la velocidad de avance deben normalizarse a los valores inmediatos inferiores ya que estos parámetros son escalonados lo que trae consigo que se recalculen el avance por dientes pero siempre dando valores menores que los recomendados en tablas. Para determinar nuevamente la potencia de corte al variar cualquier parámetro que dependa de ella se debe presionar el botón **RECALCULAR**.

Hasta ahora se ha explicado como trabajar con la herramienta diseñada, pero hay algunos criterios que deben tomarse en cuenta a la hora de introducir los datos ya que sino los resultados no serían correctos. Al introducir un valor decimal, el mismo debe ser introducido con punto (.) y no con coma, los criterios que deben ser modificados en caso de que haya que recalcular la potencia de corte son los que están resaltados en rojo.

### **3.2.- Importancia económica sobre la necesidad de automatizar el cálculo de los datos de corte.**

Como se planteó anteriormente, para el cálculo de los datos de corte es indispensable el uso de tablas, ecuaciones, coeficientes los cuales tienen que ser manipulados por el hombre. Estos pueden inducir errores en algún momento a la hora de su selección además del tiempo que implica el realizar los cálculos. Esto sin duda atenta contra la productividad y rentabilidad de una producción en cuestión de tiempo y errores en el cálculo de los datos de corte correctos. Esto trae consigo que puedan obtenerse piezas fuera de los rangos de tolerancias exigidos por los consumidores teniendo que desecharse las mismas, la vida útil

de la herramienta de corte disminuye por lo que los fabricantes tendrían que invertir en comprarlas aumentando así los costos de producción.

De aquí la importancia del empleo de herramientas como la diseñada en este trabajo, ya que las mismas conducen a la determinación de los regímenes de corte de manera más precisa, fiable, segura, y en menor tiempo lo que lleva a un salto de la productividad y en la rentabilidad de la producción de piezas por maquinado dando respuestas cada vez más rápidas.

---

## Conclusiones

1. Ha sido posible la recopilación y selección de tablas de datos de corte para la operación de planeado en el fresado.
2. Se logra establecer un procedimiento general que permite la selección y el cálculo de regímenes de corte para la operación de planeado en el fresado a partir de las tablas de datos de corte seleccionadas.
3. El empleo de la herramienta propuesta, conlleva a una sensible disminución de los tiempos empleados en el cálculo, así como a un aumento de la confiabilidad de los resultados obtenidos con la misma.
4. La herramienta informática diseñada es de fácil utilización, cómoda y sencilla para su aceptación.

## **Recomendaciones**

1. Emplear la herramienta diseñada como apoyo en el pregrado y postgrado en las asignaturas de Procesos Tecnológicos II y Proyecto de Ingeniería Mecánica I.
2. Determinar los parámetros de regímenes de corte de alguna pieza real que se fabrique en la industria bajo las mismas condiciones asumidas en este trabajo de diploma.
3. Ampliar este trabajo para otras operaciones de fresado, herramientas de corte y materiales.

## Bibliografía

1. “Fresado”, en *Instituto tecnológico superior central técnico*, España, disponible en: [http://www.inst-mecanica.com/mecanizado\\_en\\_fresadora/OPERACIONES%20BASICAS/FRESADO%20Y%20TIPOS%20DE%20FRESADO.pdf](http://www.inst-mecanica.com/mecanizado_en_fresadora/OPERACIONES%20BASICAS/FRESADO%20Y%20TIPOS%20DE%20FRESADO.pdf)
2. “Fresadoras” (2011), en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora>
3. “Fresar” (2003), en *Bricotodo.com*, disponible en: <http://www.bricotodo.com/fresar.htm>
4. “Herramientas de corte”, en *scribd.com*, disponible en: <http://www.scribd.com/doc/7233506/Herramientas-de-Corte>
5. “Indexable inserts for cutting tools – Designation” (2004), en *Organización Internacional de Estandarización*, disponible en: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=38903](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=38903).
6. “MATLAB”, en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
7. “Matribages incorpora las nuevas funciones de mecanizado de WorkNC”, en *Revista Interempresas*, disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8498-Matribages-incorpora-las-nuevas-funciones-de-mecanizado-de-WorkNC.html>
8. Aldabaldetrecu, Patxi (2007), “Historia de las fresadoras”, en *Museo Máquina-Herramienta de Elgóibar*, España, disponible en: <http://www.museo-maquina-herramienta.com/historia/Lehenengoko-erremintak/Fresatzeko-makinak>
9. Aldabaldetrecu, Patxi (2002), “Evolución Técnica de la Máquina-Herramienta”, en *Revista Interempresas*, disponible en <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>
10. Alonso, C y R. Quiza, (2010) *Comparación de los algoritmos genéticos, el recocido simulado y el método de gradiente reducido generalizado en la optimización de procesos de torneado de pasadas múltiples*. Memoria de Evento COMEC 2010, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, disponible en: <http://eventos.fim.uclv.edu.cu/comec/new/cd2010/AutoPlay/Docs/ponencias/c4/c4.03.pdf>
11. Berberena, O, (2004), *Herramientas y datos de corte*. Tesis de grado. Cuba, Departamento de Procesos Tecnológicos, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
12. Brotons Sánchez, J. C. (2011), “Procesos de fabricación. Fresado”, en *Tecnología de fabricación y tecnología de máquinas*, disponible en: <http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/Tema%2013-2%20Fresado%20.pdf>
13. Castro, Guillermo (2003), “Técnicas Modernas de Mecanizado”, en *Facultad de ingeniería, Universidad de Buenos Aires*, Argentina, disponible en <http://materias.fi.uba.ar/6717/Tecnicas%20Modernas%20de%20Mecanizado%20I.pdf>

14. Ferran Puig y Marta Torres, (2003), “El Mecanizado de Alta Velocidad en Tekniker” en *Revista Interempresas*, disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/26903-El-Mecanizado-de-Alta-Velocidad-en-Tekniker.html>
15. Ginjaume, Albert; Torre, Felipe (2005). “Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y montaje” en *Google Libros*, disponible en: [http://books.google.com/books?id=mE-rMYRKEFsC&pg=PA37&vq=fresadora&dq=fresadora&lr=&hl=es&source=gbs\\_search\\_s&ad=4&sig=9m9NMDDEXLdGI1dmxqebIW57HaE](http://books.google.com/books?id=mE-rMYRKEFsC&pg=PA37&vq=fresadora&dq=fresadora&lr=&hl=es&source=gbs_search_s&ad=4&sig=9m9NMDDEXLdGI1dmxqebIW57HaE)
16. Kalpakjian, Serope; Schmid, Steven R. (2002). "Manufactura, Ingeniería y Tecnología", en *Google Libros*, disponible en: [http://books.google.com/books?id=gilYI9\\_KKAoC&pg=PA646&dq=Procesos+maquinado+formas+diversas&lr=&hl=es&sig=gdQN6HcxukWBaF1vF3NvUrzqD0o#v=onepage&q=Procesos%20maquinado%20formas%20diversas&f=false](http://books.google.com/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA646&dq=Procesos+maquinado+formas+diversas&lr=&hl=es&sig=gdQN6HcxukWBaF1vF3NvUrzqD0o#v=onepage&q=Procesos%20maquinado%20formas%20diversas&f=false)
17. MAD-Eduforma (2006), Oficial de Mantenimiento. Temario General Ebook”, en *Google Libros*, disponible en: <http://books.google.com/books?id=qcG4M1XK6aAC&pg=RA1-PA1147&dq=fresadora+carpinter%C3%ADa&lr=&hl=es&sig=r2LBqYs2Ri023o0ZGc5p6Z11cY8#PRA1-PA1147,M1>
18. Marzal Sorolla, J. A. (2007), “Manual de Seguridad y Salud en operaciones con herramientas manuales, maquinaria de taller y soldadura”, en *Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad Politécnica de Valencia*, España, disponible en: <http://www.upv.es/entidades/SIPRL/indexc.html>
19. MEC (2005). “Mecanizado en fresadora” en *Instituto de Tecnologías Educativas – ITE*, disponible en: [http://curso.cnice.mec.es/cnice2005/2\\_mecanizado\\_fresadora/curso/index.htm](http://curso.cnice.mec.es/cnice2005/2_mecanizado_fresadora/curso/index.htm)
20. Millán Gómez, Simón (2006), “Procedimientos de mecanizado”, en *Google Libros*, disponible en: <http://books.google.com/books?id=PXLIf4R5fHMC&pg=PA181&dq=mordaza+hidr%C3%A1ulica&hl=es&sig=YgcqwZdybIBG8mu3YubPo1FccFA#PPA181,M1>
21. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1996), “Real Decreto 2066/1995, de 22 de diciembre, por el que se establece el certificado de profesionalidad de la ocupación de preparador-programador de máquinas herramientas con CNC”, en *BOE.es*, España, disponible en <http://www.boe.es/boe/dias/1996/02/08/pdfs/A04394-04407.pdf>
22. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1996), “Real Decreto 2065/1995, de 22 de diciembre, por el que se establece el certificado de profesionalidad de la ocupación de tornero fresador””, en *BOE.es*, España, disponible en <http://www.boe.es/boe/dias/1996/01/29/pdfs/A02682-02694.pdf>
23. MU (2006), “Herramientas y accesorios para el mecanizado”, en *Revista Interempresas*, disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/14088-Herramientas-y-accesorios-para-el-mecanizado.html>

24. Padrón S., Berberena, O., Herramientas y Datos de Corte, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 2004
25. Padrón, S., Curso de Máquinas Herramienta, <http://pedu.fim.uclv.edu.cu/course/view.php?id=31>
26. Parson, John T. (2007), "Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool Numerical Control", en *National Inventors Hall of Fame Foundation*, disponible en: [http://www.invent.org/hall\\_of\\_fame/118.html](http://www.invent.org/hall_of_fame/118.html)
27. Sandvik Coromant (2006), "Productividad", en *Sandvik Coromant*, disponible en: [http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey\\_2006/spa/Page4\\_11.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey_2006/spa/Page4_11.pdf)
28. Sandvik Coromant (2007), "CoroMill® para todas las aplicaciones", en *Sandvik Coromant*, disponible en: [http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey\\_2007/spa/136-142.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey_2007/spa/136-142.pdf)
29. Sandvik Coromant (2011), "Guía Técnica de Mecanizado", en *AB Sandvik Coromant*, disponible en: [http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech\\_guide/spa/MTG\\_D.PDF](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/spa/MTG_D.PDF)
30. Sandvik, Coromant (2007). "Clave de códigos para plaquitas y portaplaquitas. Extracto de ISO 1832-1991", en *AB Sandvik Coromant*, disponible en: [http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey\\_2007/spa/013-025.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey_2007/spa/013-025.pdf)
31. Toscano, J. (2002), *Procedimientos para el aseguramiento de la intercambiabilidad en el diseño y la elaboración*. Tesis de Doctorado. Cuba, Departamento de Procesos Tecnológicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
32. Vila, Carlos (2007), "Proceso de fresado periférico. Fresado en concordancia", en *Dep. d'Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny*, España, disponible en <http://www.uji.es/CA/departaments/esid/>
33. Vila, Carlos (2007), "Proceso de fresado periférico. Fresado en oposición", en *Dep. d'Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny*, España, disponible en <http://www.uji.es/CA/departaments/esid/>
34. Widia (2007), "Notas técnicas en fresado", en *widia.com*. disponible en: [http://www.widia.com/widia/en/pdf/Widia\\_ESP\\_INCH\\_330-407.pdf](http://www.widia.com/widia/en/pdf/Widia_ESP_INCH_330-407.pdf)

## Anexos

## Anexo I:

## Lista de referencia de materiales [11].

ISO	Países					
	Gran Bretaña		EE.UU.	Alemania		España
	BS	EN	AISI / SAE	W. nr.	DIN	UNE
P	080M15	--	1015	1.0401	C15	F.111
	050A20	2C/2D	1020	1.0402	C22	F.112
	--	--	1025	1.1158	Ck25	--
	240M07	1B	1215	1.0736	9SMn36	12SMn35
	060A35	--	1035	1.0501	C35	F.113
	080M46	--	1045	1.0503	C45	F.114
	060A52	--	1050	1.1213	Cf53	--
	150M28	14A	1330	1.1170	28Mn6	--
	150 M 19	--	5120	1.0841	St.52 -3	F - 431
	--	--	5140	1.7045	42Cr4	42Cr4
	805M20	362	8620	1.6523	21NiCrMo2	20NiCrMo2
	640A35	111A	3135	1.5710	36NiCr6	--
	--	--	2515	1.5680	12Ni19	--
	BH13	--	H13	1.2344	X40CrMoV5 1	X40CrMoV5
	BM 2	--	M 2	1.3343	S6/5/2	F - 5603
BM 35	--	M 35	1.3243	S6/5/2/5	F - 5613	
M	405S17	--	405	1.4002	--	--
	416 S 21	--	416	1.4005	X12CrS13	F - 3411
	443S65	59	HNV6	1.4747	W80CrNiSi20	F.320B
	349S54	--	EV8	1.4871	X35CrMnNiN21 9	--
	303S21	58M	303	1.4305	X12CrNiS18 8	F.3508
	316S16	58J	316	1.4401	X5CrNiMo 18 10	F.3543
	347S17	58F	347	1.4550	X10CrNiNb 18 9	F.352
	309S24	--	309	1.4828	X15CrNiSi20 12	--
	--	--	S32304	--	X2CrNiN23 4	--
	--	--	S31803	--	X2CrNiMoN22 53	--
K	Grade 150	--	No 25 B	0.6015	GG 15	FG 15
	Grade 220	--	No 30 B	0.6020	GG 20	--
	Grade 260	--	No 35 B	0.6025	GG 25	FG 25
	Grade 300	--	No 45 B	0.6030	GG 30	FG 30
	Grade 350	--	No 50 B	0.6035	GG 35	FG 35
	Grade 400	--	No 55 B	0.6040	GG 40	--
	SNG 600/3	--	--	--	GGG 60	--
	SNG 700/2	--	100 - 70 - 03	0.07070	GGG 70	FGS 70 -2

## Anexo II:

Tabla 1: Factor de corrección ( $K_T$ ) según vida útil de la herramienta. [11]

Vida de la herramienta (min)	10	15	20	25	30	45	60
Factor de corrección	1,10	1,0	0,95	0,90	0,87	0,80	0,75

Tabla 2: Factor de corrección ( $K_d$ ) según la dureza. [11]

Material	Diferencia en la dureza									
	Menor dureza					Mayor dureza				
	Dureza Brinell (HB)									
	-80	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+80	+100
Acero no aleado	--	--	--	1,07	1,0	0,95	0,90	--	--	--
Acero de baja aleación	1,26	1,18	1,12	1,05	1,0	0,94	0,91	0,86	0,83	0,67
Acero de alta aleación	--	--	1,21	1,10	1,0	0,91	0,84	0,79	--	--
Acero inoxidable - austenítico	--	--	1,21	1,10	1,0	0,91	0,85	0,79	0,75	0,68
Acero fundido	--	--	1,31	1,13	1,0	0,87	0,80	0,73	--	--
Fundición maleable	--	1,14	1,08	1,03	1,0	0,96	0,92	--	--	--
Fundición gris	--	--	1,25	1,10	1,0	0,92	0,86	0,80	--	--
Fundición Nodular SG	--	--	1,07	1,03	1,0	0,97	0,95	0,93	0,91	--

## Anexo III:

Tabla 3: Datos de fresas para planear con  $K= 45^\circ$ . [11]

Diámetro de corte de la fresa $D_c$ [mm]	Paso			Profundidad de corte máxima $a_p$ máx [mm]	Velocidad del husillo máxima $n$ máx [rpm]
	Grande (L) Zn	Normal (M) Zn	Reducido (H) Zn		
50	3	4	5	6	16 250
63	4	5	6	6	14 400
80	4	6	8	6	12 700
100	5	7	10	6	11 360
125	6	8	12	6	10 100
160	7	10	16	6	8 900
200	8	12	20	6	7 950
250	10	14	24	6	7 100

Tabla 4: Avances y espesores de viruta para varios pasos de fresado.

Paso Tecnológico	Geometría de la Plaquita	Tipo de Fresado	Avance por diente $f_z$ [mm/diente]	Espesor de la viruta $h_{hex}$ [mm]	Calidades recomendadas	
Planeado con $K = 45^\circ$	PL	Ligero	0.14	0.10	GC 4030	
	ML		0.11		CT 530	
	KL		0.09		GC 3020	
	PM	Medio	0.24	0.17	GC 4030	
	KM				GC 3020	
	MM				0.23	GC 2030
	PH	Pesado	0.35	0.25	GC 4040	
	KH				GC 3040	
	(cerámica, CBN y PCD)			0.21	0.15	(Cerámica) CC 6090
				0.14	0.10	(CBN) CB 50
			0.14	0.10	(PCD) CD 10	
Planeado con $K = 90^\circ$ (Ecuadrado)	PL	Ligero	0.06	0.06	GC 1025	
	ML		0.08	0.08	CT 530	
	KL		0.10	0.10	GC 3020	
	PM	Medio	0.17	0.17	GC 4030	
	MM				GC 2030	
	KM				GC 3040	
	PH	Pesado	0.25	0.25	GC 4040	
	KH				GC 3040	
(cerámica y CBN)			0.10	0.10	(Cerámica) CC 6090 (CBN) CB 50	
Fresas de placas redondas de	PL	Ligero	0.11	0.08	GC 1025	
	ML				GC 2030	
	KL				H 13 A	

<b>uso universal</b>	PM	Medio	0.24	0.17	GC 4020
	MM				CT 530
	KM				GC 3020
	PH	Pesado	0.35	0.25	GC 4040
	KH				GC 3040
	(cerámica y CBN)		0.28	0.20	(Cerámica) CC 6090
		0.14	0.10	(CBN) CB 50	
<b>Fresas de placas redondas para fresado de perfiles</b>	PM	Medio	0.23	0.12	GC 1025
	MM				GC 2040; CT 530
<b>Fresas de disco para ranurar</b>	PM	Medio	---	0.17	GC 4030
	MM				GC 2030
	KM				GC 3020
<b>Fresas de punta esférica (acabado)</b>	P	Ligero	---	---	GC P10A
	M				
	K				
	N				
<b>Fresas de filo largo K = 90°</b>	PL	Ligero	0.08	0.08	GC 1025
	ML		0.10	0.10	GC 2030
	KL		0.08	0.08	H 13 A
	NL		0.20	0.20	
	PM	Medio	0.10	0.10	GC 1025
	MM		0.13	0.13	GC 2030
	KM		0.12	0.12	GC 3040
	PH	Pesado	0.12	0.12	GC 4040
	MH		0.16	0.16	GC 2040
	KH		0.15	0.15	GC 3040

**Tabla 5: Fresado con ancho de corte mayor que el 50 % del diámetro de corte ( $a_e > 0,5 D_c$ ).**

ISO	Material		Fuerza de corte específica $k_c 1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	530	1025	4020	4030	4040
					Espesor de la viruta máxima, $h_{ex}$ [mm]				
					0.1 -0.15- 0.2	0.05 -0.1- 0.2	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.2- 0.4
Velocidad de corte, V [m/min]									
P Acero	Acero no aleado	C = 0,1 – 0,25 %	1500	125	430 – 390 – 350	340 – 310 – 255	490 –405- 330	365 –300- 245	310 -255-170
		C = 0,25 – 0,55 %	1600	150	385 – 350 – 315	305 – 280 – 230	440 -360- 295	325 -270- 220	280 -230- 155
		C = 0,55 – 0,80 %	1700	170	365 – 330 – 300	290 – 260 – 215	415 –340- 280	310 -255- 210	260 -215- 145
P Acero	Acero de baja aleación (Elementos de aleación ≤ 5 %)	No templado	1700	175	300 – 275 – 245	240 – 215 – 180	345 –285- 230	255 –210- 170	215 -180- 120
		Acero de alta aleación (Elementos de aleación > 5 %)	Recocido	1950	200	230 – 205 - 185	180 – 165 – 135	300 –245- 200	195 -160- 130
		Endurecido	2150	200	190 – 170 - 155	150 -135 – 110	215 -180- 145	160 -130- 110	135 -110- 75

**(Continúa en la siguiente página)**

Tabla 5: (Continuación).

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 1 [N/mm <sup>2</sup> ]	Dureza Brinell  HB	530	2030	2040	
					Espesor de la viruta máxima, hex [mm]			
					0.1 – 0.15 - 0.2	0.05 – 0.15 – 0.25	0.1 – 0.2 – 0.3	
Velocidad de corte, V [m/min]								
M	Acero Inoxidable	Ferrítico / martensítico	No templado	1800	200	285 – 255 – 230	240 – 190 - 155	240 – 190 – 155
			Templado	2300	330	215 – 190 - 170	175 – 140 – 115	175 – 140 - 110
		Austenítico	No templado	2000	200	265 – 240 - 215	235 – 190 - 150	200 – 160 – 130
		Austenítico / ferrítico	Soldables < 0,05 % C	2400	260	230 – 205 - 185	165 – 130 - 105	135 – 110 - 85

(Continúa en la siguiente página)

Tabla 5: (Continuación).

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 1 [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	CB50	CC 6090	3020	3040	H13A
					Espesor de la viruta máxima, h <sub>ex</sub> [mm]				
					0.1 -0.15- 0.2	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.2- 0.4	0.1 -0.2- 0.4
Velocidad de corte, V [m/min]									
K	Fundición gris	Baja resistencia a la tracción	900	180	845 -725- 620	1320 -1085- 890	290 -240- 195	260 -240- 195	130 -110- 85
		Alta resistencia a la tracción	1100	245	910 -780- 665	1045 - 860 - 705	235 -190- 155	210 -170- 115	105 -90- 65
K	Fundición Nodular SG	Perlítica	1350	250	495 -420- 360	760 -625- 515	170 -140- 115	150-125- 85	75 – 65 - 48

(Continúa en la siguiente página)

Tabla 5: (Continuación).

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 1  [N/mm <sup>2</sup> ]	Dureza Brinell  HB	CD10	H 13A
					Espesor de la viruta máxima, h <sub>ex</sub> [mm] 0.1 – 0.15 – 0.2	
Velocidad de corte, V [m/min]						
N Aleaciones de Aluminio	Aleaciones de aluminio	Forjada envejecida	650	100	1695 – 1570 – 1455	675 – 630 – 580
	Cobre y aleaciones de cobre	Latón, bronce con plomo, ≤ 1% Pb	550	90	940 – 875 – 810	375 – 350 - 325

**Tabla 6: Fresado con ancho de corte menor que el 50 % del diámetro de corte ( $a_e < 0,5 D_c$ ).**

ISO	Material		Fuerza de corte específica $k_c 1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	530	1025	4020	4030	4040
					Espesor de la viruta máxima, $h_{ex}$ [mm]				
					0.1 -0.15- 0.2	0.05 -0.1- 0.2	0.1 -0.15- 0.3	0.1 -0.15- 0.3	0.1 -0.2- 0.3
Velocidad de corte, $V$ [m/min]									
P Acero	Acero no aleado	C = 0,10 – 0,25 %	1500	125	500 – 490 – 480	365 – 360 – 345	570 –560- 525	425 –415- 390	360 -345- 330
		C = 0,25 – 0,55 %	1600	150	450 – 440 – 430	330 – 325 – 310	515 -505- 470	380 -375- 350	325 -310- 295
		C = 0,55 – 0,80 %	1700	170	425 – 415 – 405	310 – 305 - 290	485 –475- 445	360 -350- 330	305 -290- 280
	Acero de baja aleación (Elementos de aleación $\leq 5$ %)	No templado	1700	175	350 – 345 – 335	260 – 255 - 240	400 –395- 370	295 –290- 275	255 -240- 230
	Acero de alta aleación (Elementos de aleación $> 5$ %)	Recocido	1950	200	265 – 260 - 255	195 – 190 - 185	350 –340- 320	225 -220- 205	190 -185- 175
		Endurecido	2150	200	220 – 215 - 210	160 -160 - 150	255 -245- 230	185 -185- 170	160 -150- 145

**(Continúa en la siguiente página)**

**Tabla 6: (Continuación).**

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 1 [N/mm <sup>2</sup> ]	Dureza Brinell  HB	530	2030	2040
					Espesor de la viruta máxima, hex [mm]		
					0.1 – 0.15 - 0.2	0.05 – 0.15 – 0.25	0.1 – 0.15 – 0.25
Velocidad de corte, V [m/min]							
M Acero Inoxidable	Ferrítico / martensítico	No templado	1800	200	340 – 335 – 325	265 – 250 – 240	285 – 280 – 265
		Templado	2300	330	255 – 250 – 240	195 – 185 – 175	205 – 200 - 190
	Austenítico	No templado	2000	200	320 – 310 – 305	255 – 245 – 235	240 – 235 – 220
	Austenítico / ferrítico	Soldables < 0,05 % C	2400	260	275 – 270 – 260	180 – 170 - 160	160 – 155 – 150

**(Continúa en la siguiente página)**

**Tabla 6: (Continuación).**

ISO	Material		Fuerza de corte específico a kc 1 [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	CB50	CC 6090	3020	3040	H13A
					Espesor de la viruta máxima, hex [mm]				
					0.1 -0.15- 0.2	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.15- 0.25	0.1 -0.2- 0.3	0.1 -0.2- 0.3
Velocidad de corte, V [m/min]									
K	Fundición gris	Baja resistencia a la tracción	900	180	1080 -1045- 1010	1535 -1470- 1410	340 -330- 320	305 -290- 280	145 -145- 140
		Alta resistencia a la tracción	1100	245	1165 -1125- 1085	1220 -1165- 1115	270 -265- 255	245 -235- 225	120 -115- 110
K	Fundición Nodular SG	Perlítica	1350	250	630 -610- 590	890 -850- 815	200 -195- 185	180 -170- 165	85 – 85 – 80

**(Continúa en la siguiente página)**

**Tabla 6: (Continuación).**

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 1 [N/mm <sup>2</sup> ]	Dureza Brinell HB	CD10	H 13A
					Espesor de la viruta máxima, hex [mm] 0.1 – 0.15 – 0.2	
					Velocidad de corte, V [m/min]	
N Aleaciones de Aluminio	Aleaciones de aluminio	Forjada envejecida	650	100	1905 – 1875 – 1845	765 – 750 – 740
	Cobre y aleaciones de cobre	Latón, bronces con plomo, ≤ 1% Pb	550	90	1060 – 1045 – 1025	530 – 520 - 515

## **Anexo IV:**

### **Datos de los certificados técnicos de las Máquinas – Herramienta.**

#### **Fresadora Vertical 6M13**

*Superficie útil de la mesa:* 1600 x 400 mm

*Potencia del motor:* 10 kw

*Rendimiento:* 80 %

*Frecuencia de rotación del Husillo (rpm):* 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

*Avance longitudinal y transversal (mm/min):* 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

*Avance vertical (mm/min):* 8; 10.5; 13.3; 16.6; 21; 26.6; 33.3; 41.6; 53.3; 66.6; 83.3; 105; 133.3; 166.6; 210; 266.6; 333.3; 400.

#### **Fresadora Horizontal de Consola F315/PS**

*Superficie útil de la mesa:* 1250 x 315mm

*Potencia del motor:* 9 kw

*Rendimiento:* 80 %

*Frecuencia de rotación del Husillo (rpm):* 18; 22.4; 28; 35.5; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 335; 450; 560; 710; 900; 1120; 1400; 1800; 2240.

*Avance longitudinal y transversal (mm/min):* 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

*Avance vertical (mm/min):* 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10; 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 250; 315; 400.

#### **Fresadora Vertical Alemana FU315/2PS**

*Superficie útil de la mesa:* 1250 x 315 mm

*Potencia del motor:* 9 kw

*Rendimiento:* 80 %

*Frecuencia de rotación del Husillo (rpm):* 28; 35.5; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560; 710; 900; 1120; 1400.

*Avance longitudinal y transversal (mm/min):* 5; 6.3; 8; 10; 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

*Avance vertical (mm/min):* 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10; 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400.

**Fresadora vertical CNC Kondia K600**

*Recorrido en X: 600, Recorrido en Y: 350 y Recorrido en Z: 140*

*Potencia del motor del husillo: 5,5 kw*

<i>kw</i>	<i>rpm</i>	<i>Longitud de la mesa: 1200 mm Ancho de la mesa: 300 mm Año: 2003</i>
<i>1.1</i>	<i>150</i>	
<i>2.75</i>	<i>375</i>	
<i>5.5</i>	<i>750 a 2 250</i>	
<i>3</i>	<i>4 000</i>	

**Centro de maquinado Kondia B1370**

*Superficie útil de la mesa: 1350 x 700*

*rpm 100 - 8000*

<i>kw</i>	<i>rpm</i>
<i>5.5</i>	<i>330</i>
<i>11</i>	<i>600 a 8000</i>

# Anexo V:

## Código de placas para fresar [11].

SEKR
12
04
AZ


-WM

12345678910

### Fresado

Extracto de ISO 1832-1991

#### 1 Forma de la plaquita

<b>H</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>
<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>M</b>	<b>V</b>	<b>W</b>
<b>L</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>K</b>		

#### 2 Ángulo de incidencia en filo de corte principal

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>N</b>
	<b>O</b>		
<b>P</b>	Indicada para otros ángulos de incidencia que precisen descripciones específicas		

#### 4 Tipo de rompevirutas y de sujeción

<b>N</b>	<b>R</b>
<b>F</b>	<b>A</b>
<b>M</b>	<b>G</b>
<b>W</b>	<b>T</b>
<b>Q</b>	<b>U</b>
<b>X</b>	

#### 3 Tolerancias

Letra símbolo	Tolerancias, mm		
	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>iC</i>
<b>A</b> <sup>1)</sup>	±0,005	±0,025	±0,025
<b>F</b> <sup>1)</sup>	±0,005	±0,025	±0,013
<b>C</b> <sup>1)</sup>	±0,013	±0,025	±0,025
<b>H</b>	±0,013	±0,025	±0,013
<b>E</b>	±0,025	±0,025	±0,025
<b>G</b>	±0,025	±0,13	±0,025
<b>J</b> <sup>1)</sup>	±0,005	±0,025	±0,05 <sup>2)</sup> ±0,13 <sup>2)</sup>
<b>K</b> <sup>1)</sup>	±0,013	±0,025	±0,05 <sup>2)</sup> ±0,13 <sup>2)</sup>
<b>L</b> <sup>1)</sup>	±0,025	±0,025	±0,05 <sup>2)</sup> ±0,13 <sup>2)</sup>
<b>M</b>	±0,08 <sup>2)</sup> ±0,18 <sup>2)</sup>	±0,13	±0,05 <sup>2)</sup> ±0,13 <sup>2)</sup>
<b>N</b>	±0,08 <sup>2)</sup> ±0,18 <sup>2)</sup>	±0,025	±0,05 <sup>2)</sup> ±0,13 <sup>2)</sup>
<b>U</b>	±0,13 <sup>2)</sup> ±0,38 <sup>2)</sup>	±0,13	±0,08 <sup>2)</sup> ±0,25 <sup>2)</sup>

*iC*: Diámetro teórico del círculo inscrito.  
*s*: Espesor de la plaquita.  
*m*: Ver fig.

<sup>1)</sup> Estas clases de tolerancias se aplican normalmente a plaquitas con faceta paralela.  
<sup>2)</sup> La tolerancia depende del tamaño de la plaquita y debe indicarse para cada una de acuerdo con la tolerancia estándar para el tamaño correspondiente. Ver tablas más abajo.

#### Formas de plaquita H, O, P, S, T, C, E, M, W, R

Círculo inscrito	Tolerancias para <i>m</i>		Tolerancias para <i>iC</i>	
	Tipo M	Tipo U	Tipo M, J, K, L	Tipo U
6,35	±0,08	±0,13	±0,05	±0,08
9,525 (10)	±0,08	±0,13	±0,05	±0,08
12,7 (12)	±0,13	±0,20	±0,08	±0,13
15,875 (16)	±0,15	±0,27	±0,10	±0,18
19,05 (20)	±0,15	±0,27	±0,10	±0,18
25,4	±0,18	±0,38	±0,13	±0,25

#### Forma de plaquita D

Círculo inscrito	Tolerancias para <i>m</i>	Tolerancias para <i>iC</i>
6,35	±0,11	±0,05
9,525	±0,11	±0,05
12,70	±0,15	±0,08
15,875	±0,18	±0,10
19,5	±0,18	±0,10

#### 5 Longitud de la arista de corte, *l* mm


Las cifras enteras deben ir precedidas de un 0, p.ej. 9,52 mm se indica con 09

#### 6 Espesor de la plaquita, *s* mm

<b>01</b> <i>s</i> = 1,59	<b>04</b> <i>s</i> = 4,76
<b>T1</b> <i>s</i> = 1,98	<b>05</b> <i>s</i> = 5,56
<b>02</b> <i>s</i> = 2,38	<b>06</b> <i>s</i> = 6,35
<b>03</b> <i>s</i> = 3,18	<b>07</b> <i>s</i> = 7,94
<b>T3</b> <i>s</i> = 3,97	<b>09</b> <i>s</i> = 9,52

#### 7 Faceta paralela, ángulo de incidencia

Faceta paralela	Radio, mm
A - 45°	00 - Agudo
D - 60°	02 - 0,2
E - 75°	04 - 0,4
F - 85°	08 - 0,8
P - 90°	12 - 1,2
Z - Otros	16 - 1,6
	20 - 2,0
	24 - 2,4
	32 - 3,2
	X - Otros

#### 9 Dirección del avance

#### Comparación de longitud de arista de corte *l* en mm (pos. 5) a *iC* en pulgadas

	06	09	11	16	22	27	33	44
<i>iC</i>			09	12	15	19	25	
55°			07	11	15	19	23	31
80°			06	09	12	16	19	25
<i>iC</i>	5/32"	7/32"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"

#### 10 Opción del fabricante

El código ISO consta de nueve símbolos de los cuales 8 y/o 9 sólo se utilizan cuando es necesario. Asimismo, el fabricante puede añadir símbolos adicionales al código ISO después de un guión (p.ej. -WM para identificar el diseño del rompevirutas).

#### M0 - Plaquetas redondas