

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

Título: "Herramienta informática para el cálculo del régimen de corte para una operación del proceso de torneado."

Diplomante: Frank Rodríguez Acosta

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 torneado de forma sencilla. Se muestra información sobre los diferentes tipos de tornos, 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 torneado, característica de estas herramientas así como una clasificación según la norma ISO para su identificación. Se muestra 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 torneado. Se expone además un procedimiento de cálculo para la obtención de los datos de corte para un desbaste medio 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 torneado.

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 turning operation easily. Is shown information about the different types of lathes their characteristics, evolution and main cutting parameters. Is presenting a synthesis of the different materials used in modern cutting tools used in turning, 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 turning. It also explains a method of calculation for the obtaining of the cutting processes for roughing turning step 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

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I: Características generales de los Tornos	4
1.1.- Historia de los tornos.....	4
1.1.1.- Tornos antiguos	4
1.1.2.- Tornos mecánicos.....	5
1.1.2.- Tornos mecánicos.....	5
1.2.- Tipos de tornos.....	6
1.2.1.- Torno paralelo	6
1.2.2.- Torno copiador.....	7
1.2.3.- Torno revólver	7
1.2.4.- Torno automático	7
1.2.5.- Torno vertical	8
1.2.6.- Torno CNC	8
1.2.7.- Otros tipos de tornos.....	9
1.3.- Estructura del torno	9
1.3.1.- Modos de sujeción de las piezas en el torneado	11
1.4.- Herramientas para el torneado	12
1.4.1.- Características de las plaquitas de metal duro	12
1.4.2.- Código de formatos de las plaquitas de metal duro	14
1.5.- Movimientos de trabajo en la operación de torneado	14
1.6.- Operaciones de torneado	15
1.7.- Parámetros de corte del torneado	21
1.7.1.- Velocidad de corte	21
1.7.2.- Velocidad de rotación de la pieza	22
1.7.3.-Velocidad de avance.....	22
1.7.4.- Tiempo de torneado	24
1.7.5.- Fuerza específica de corte.....	24
1.7.6.- Potencia de corte	24
1.8.- Factores que influyen en las condiciones tecnológicas del torneado	25
1.9.- Formación de viruta.....	25
1.10.- Mecanizado en seco y con refrigerante.....	26

1.11.- Normas de seguridad en el torneado	26
Capítulo II: Datos de Corte para Torneado.....	28
2.1.- Selección de herramientas de corte y su régimen de corte.....	28
2.1.1.- Procedimiento para la selección de las herramientas y los datos de corte para la operación de torneado	30
2.2.- Ejemplo de selección de régimen de corte para cilindrado en el torno	33
Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte de la operación de desbaste medio en el torneado.....	37
3.1.- Implementación de la herramienta informática desarrollada	38
3.2.- Importancia económica sobre la necesidad de automatizar el cálculo de los datos de corte	42
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	44
Bibliografía.....	45
Anexos	47

Introducción

Una pieza mecánica está compuesta por un conjunto de superficies y/o características. Esas superficies se obtienen a través de una secuencia de operaciones de remoción de material, tales como torneado, fresado, taladrado, además de un conjunto de operaciones auxiliares y complementarias, como las inspecciones, tratamientos térmicos, tratamientos superficiales, etc. [13]

Para cada una de estas operaciones un operario debe seleccionar herramientas adecuadas y condiciones óptimas de utilización de las mismas. En esta etapa las decisiones se basan preferencialmente en la intuición, o en la tentativa y error, y obviamente en la experiencia acumulada a través del tiempo. En el caso de los procesos de maquinado esta etapa considera la definición de los siguientes parámetros:

- Herramienta adecuada (geometría, material, sistema de fijación)
- Velocidad de corte (V_c) y la rotación (n) de la pieza o de la herramienta según sea el caso
- Avance por revolución (f_n) o la velocidad de avance de la herramienta o pieza según sea el caso (V_f);
- Profundidad de corte (a_p).

Otros factores que influyen en la elección de la herramienta y sus parámetros de corte son: configuración de la pieza, condición de la máquina, fijaciones, las tolerancias y rugosidades exigidas, etc. En resumen, la definición de las condiciones operacionales adecuadas es una tarea compleja y de gran responsabilidad si se mira desde la perspectiva productiva, económica y tecnológica. [13]

Además, la utilización racional de los recursos es una condición indispensable de cualquier proceso productivo en nuestros días, para poder triunfar y lograr insertarse en la economía contemporánea. En este sentido, los procesos de maquinado de metales, no son la excepción, sino la regla, dentro de la industria moderna.

Prácticamente desde sus orígenes, el estudio científico del maquinado se ha centrado en lograr procesos de arranque de virutas cada vez más eficientes, que requieran menores tiempos de elaboración y cuyos costos sean tan bajos como se pueda. Para ello un aspecto de suma importancia es la selección del régimen de corte óptimo. [10]

En la práctica de taller, los ingenieros y técnicos de procesos extraen recomendaciones de herramientas y de parámetros de corte para su utilización desde manuales y catálogos,

estas necesitan ser refinadas y adaptadas a situaciones específicas. Estas tareas de refinamiento, pueden resultar sumamente complejas pues existe una gran relación entre los diferentes parámetros de corte asociados a una operación.

En el torneado, 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 avance y la velocidad de corte. [10]

Esto conlleva a que se requiera tiempo al ser seleccionadas mediante tablas, manuales, catálogos o fórmulas las cuáles son obtenidas bajo ciertas condiciones y que en la mayoría de las veces no se corresponden a situaciones reales en los talleres, por lo que hay que adaptarlas tal como se planteó anteriormente, lo que puede llevar a una menor productividad y rentabilidad en la producción de piezas por maquinado. De aquí la necesidad de reducir este tiempo automatizando la selección y el cálculo de estos parámetros de corte lográndose así una mayor rapidez, fiabilidad, productividad y rentabilidad en el proceso de torneado.

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 desbaste medio en el torneado.

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 desbaste medio en el torneado.
2. Seleccionar un procedimiento para el cálculo de los parámetros del régimen de corte para la operación de desbaste medio en el torneado.

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 desbaste medio en el torneado.

Resultado a obtener:

Se propone como principal resultado una herramienta informática para el cálculo de regímenes de corte para la operación de desbaste medio en el torneado.

Estructura del trabajo de diploma:

Este trabajo de diploma cuenta con tres capítulos. El primer capítulo aborda algunos aspectos relacionados con los tornos, herramientas de corte y campo de empleo. El segundo capítulo se dedica al corte en la operación de torneado 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 los Tornos.

Se denomina **torno** (del latín *tornus*, y este del griego τόρνος, giro, vuelta) a un conjunto de máquinas herramienta que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución. Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Desde el inicio de la Revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

La herramienta de corte va montada sobre un carro que se desplaza sobre unas guías o rieles paralelos al eje de giro de la pieza que se tornea, llamado eje Z; sobre este carro hay otro que se mueve según el eje X, en dirección radial a la pieza que se tornea, y puede haber un tercer carro llamado *charriot* que se puede inclinar, para hacer conos, y donde se apoya la torreta portaherramientas. Cuando el carro principal desplaza la herramienta a lo largo del eje de rotación, produce el cilindrado de la pieza, y cuando el carro transversal se desplaza de forma perpendicular al eje de simetría de la pieza se realiza la operación denominada refrentado.

Los tornos copiadores, automáticos y de control numérico llevan sistemas que permiten trabajar a los dos carros de forma simultánea, consiguiendo cilindrados cónicos y esféricos. Los tornos paralelos llevan montado un tercer carro, de accionamiento manual y giratorio, llamado *charriot*, montado sobre el carro transversal. Con el *charriot* inclinado a los grados necesarios es posible mecanizar conos. Encima del *charriot* va fijada la torreta portaherramientas. [8]

1.1.- Historia de los tornos.

1.1.1.- Tornos antiguos.

La existencia de tornos está atestiguada desde al menos el año 850 a.C. La imagen más antigua conocida se conserva en la tumba de un sumo sacerdote egipcio llamado Petosiris (siglo IV a.C.).

Durante siglos los tornos funcionaron según el sistema de "arco de violín". En el siglo XIII se inventó el torno de pedal y pértiga flexible, que tenía la ventaja de ser accionado con el pie en vez de con las manos, con lo cual estas quedaban libres para otras tareas. En el

siglo XV surgieron otras dos mejoras: la transmisión por correa y el mecanismo de biela-manivela. [3]

1.1.2.- Tornos mecánicos.

Al comenzar la Revolución industrial en Inglaterra, durante el siglo XVII, se desarrollaron tornos capaces de dar forma a una pieza metálica. El desarrollo del torno pesado industrial para metales en el siglo XVIII hizo posible la producción en serie de piezas de precisión. En 1833, Joseph Whitworth se instaló por su cuenta en Mánchester. Sus diseños y realizaciones influyeron de manera fundamental en otros fabricantes de la época. En 1839 patentó un torno paralelo para cilindrar y roscar con bancada de guías planas y carro transversal automático, que tuvo una gran aceptación. Dos tornos que llevan incorporados elementos de sus patentes se conservan en la actualidad. Uno de ellos, construido en 1843, se conserva en el "Science Museum" de Londres. El otro, construido en 1850, se conserva en el "Birmingham Museum".

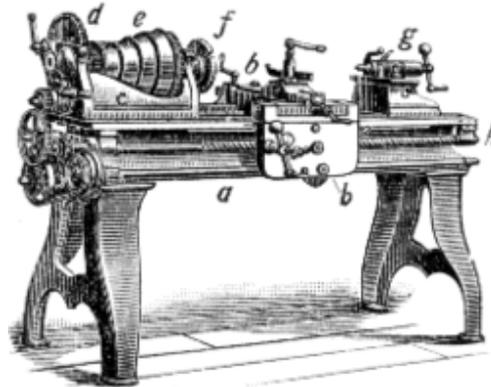


Fig. 1.1: Torno paralelo de 1911 [8]

Fue J.G. Bodmer quien en 1839 tuvo la idea de construir tornos verticales. A finales del siglo XIX, este tipo de tornos eran fabricados en distintos tamaños y pesos. El diseño y patente en 1890 de la caja de Norton, incorporada a los tornos paralelos, dio solución al cambio manual de engranajes para fijar los pasos de las piezas a roscar. [9]

1.1.3.- Introducción del Control Numérico.

El torno de control numérico es un ejemplo de automatización programable. Se diseñó para adaptar las variaciones en la configuración de los 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. Uno de los ejemplos más importantes de

automatización programable es el control numérico en la fabricación de partes metálicas. El control numérico (CN) es una forma de automatización programable en la cual el equipo de procesado se controla a través de números, letras y otros símbolos. Estos números, letras y símbolos están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión cambia, se cambia el programa de instrucciones. La capacidad de cambiar el programa hace que el CN sea apropiado para volúmenes de producción bajos o medios, dado que es más fácil escribir nuevos programas que realizar cambios en los equipos de procesado.

El primer desarrollo en el área del control numérico 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. [8]

1.2.- Tipos de tornos.

Actualmente se utilizan en la industria del mecanizado varios tipos de tornos, cuya aplicación depende de la cantidad de piezas a mecanizar por serie, de la complejidad de las piezas y de la envergadura de las piezas.

1.2.1.- Torno paralelo.

El **torno paralelo** o **mecánico** es el tipo de torno que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramientas más importante que han existido. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.

Para la fabricación en serie y de precisión han sido sustituidos por tornos copiadores, revólver, automáticos y de CNC. Para manejar bien estos tornos se requiere la pericia de profesionales muy bien calificados, ya que el manejo manual de sus carros puede ocasionar errores a menudo en la geometría de las piezas torneadas [8]

1.2.2.- Torno copiadore.

Se llama **torno copiadore** a un tipo de torno que operando con un dispositivo hidráulico y electrónico permite el torneado de piezas de acuerdo a las características de la misma siguiendo el perfil de una plantilla que reproduce el perfil de la pieza.

Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente. También son muy utilizados estos tornos en el trabajo de la madera y del mármol artístico para dar forma a las columnas embellecedoras. La preparación para el mecanizado en un torno copiadore es muy sencilla y rápida y por eso estas máquinas son muy útiles para mecanizar lotes o series de piezas que no sean muy grandes.

Las condiciones tecnológicas del mecanizado son comunes a las de los demás tornos, solamente hay que prever una herramienta que permita bien la evacuación de la viruta y un sistema de lubricación y refrigeración eficaz del filo de corte de las herramientas mediante abundante aceite de corte. [8]

1.2.3.- Torno revólver.

El **torno revólver** es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas sobre las que sea posible el trabajo simultáneo de varias herramientas con el fin de disminuir el tiempo total de mecanizado. Las piezas que presentan esa condición son aquellas que, partiendo de barras, tienen una forma final de casquillo o similar. Una vez que la barra queda bien sujeta mediante pinzas o con un plato de garras, se va taladrando, mandrinando, roscando o escariando la parte interior mecanizada y a la vez se puede ir cilindrando, refrentando, ranurando, roscando y cortando con herramientas de torneado exterior.

Este torno lleva un carro con una torreta giratoria en la que se insertan las diferentes herramientas que realizan el mecanizado de la pieza. También se pueden mecanizar piezas de forma individual, fijándolas a un plato de garras de accionamiento hidráulico. [8]

1.2.4.- Torno automático.

Se llama **torno automático** a un tipo de torno cuyo proceso de trabajo está enteramente automatizado. La alimentación de la barra necesaria para cada pieza se hace también de forma automática, a partir de una barra larga que se inserta por un tubo que tiene el cabezal y se sujeta mediante pinzas de apriete hidráulico.

Estos tornos pueden ser de un solo husillo o de varios husillos:

- Los de un solo husillo se emplean básicamente para el mecanizado de piezas pequeñas que requieran grandes series de producción.
- Cuando se trata de mecanizar piezas de dimensiones mayores se utilizan los tornos automáticos multihusillos donde de forma programada en cada husillo se va realizando una parte del mecanizado de la pieza. Como los husillos van cambiando de posición, el mecanizado final de la pieza resulta muy rápido porque todos los husillos mecanizan la misma pieza de forma simultánea.

La puesta a punto de estos tornos es muy laboriosa y por eso se utilizan principalmente para grandes series de producción. El movimiento de todas las herramientas está automatizado por un sistema de excéntricas y reguladores electrónicos que regulan el ciclo y los topes de final de carrera. [8]

1.2.5.- Torno vertical.

El **torno vertical** es una variedad de torno, de eje vertical, diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Los tornos verticales no tienen contrapunta sino que el único punto de sujeción de las piezas es el plato horizontal sobre el cual van apoyadas. La manipulación de las piezas para fijarlas en el plato se hace mediante grúas de puente. [8]

1.2.6.- Torno CNC.

El **torno CNC** es un torno dirigido por control numérico por computadora. Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada por un ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software que previamente ha confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en torno. Es una máquina que resulta rentable para el mecanizado de grandes series de piezas sencillas, sobre todo piezas de revolución, y permite mecanizar con precisión superficies curvas coordinando los movimientos axial y radial para el avance de la herramienta.

La velocidad de giro de cabezal portapiezas, el avance de los carros longitudinal y transversal y las cotas de ejecución de la pieza están programadas y, por tanto, exentas de fallos imputables al operario de la máquina. [6]



Fig. 1.2: Torno por control numérico. [8]

1.2.7.- Otros tipos de tornos.

Además de los tornos empleados en la industria mecánica, también se utilizan tornos para trabajar la madera, la ornamentación con mármol o granito. El nombre de "torno" se aplica también a otras máquinas rotatorias como por ejemplo el torno de alfarero o el torno dental. Estas máquinas tienen una aplicación y un principio de funcionamiento totalmente diferentes de las de los tornos descritos. [8]

1.3.- Estructura del torno.

El torno universal es el que se encuentra más frecuentemente en los talleres de maquinado. Es una máquina herramienta muy versátil, lo cual quiere decir que en ella se puede hacer un número considerable de pasos tecnológicos diferentes. Se emplean para producciones unitarias y en pequeñas series. Sus partes principales son (ver figura 1.3):

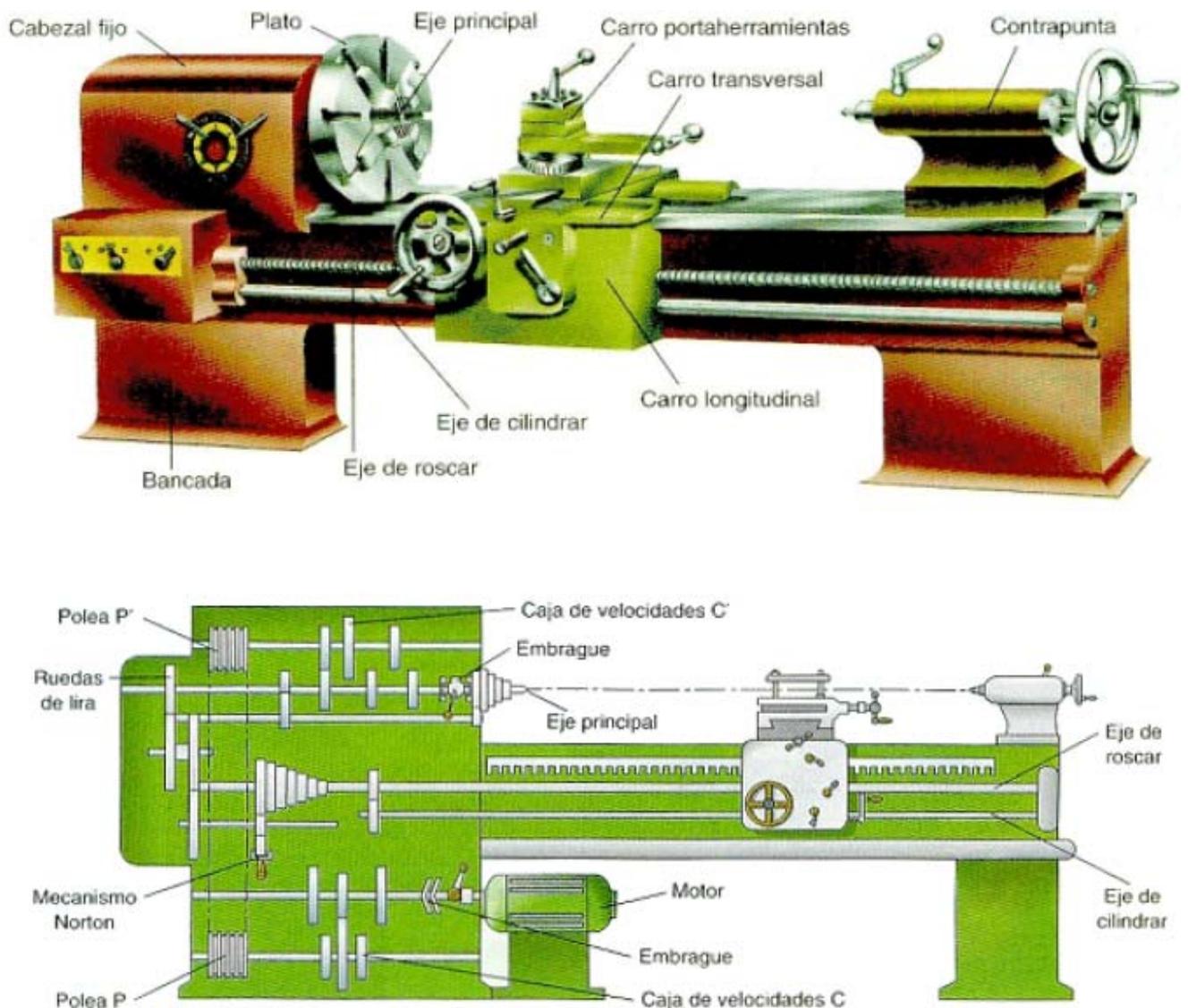


Fig. 1.3: Torno paralelo. Principales partes del torno [5]

La bancada es la parte sobre la cual descansan todas las demás partes de la máquina. El cabezal fijo es en el que usualmente se halla la caja de velocidades. En esta parte del torno se encuentra el husillo principal, en cuyo extremo normalmente se encuentra el plato, que sirve para fijar la pieza que se va a tornear. La colocación de las manivelas de la caja de velocidades en diferentes posiciones permite que el husillo gire con frecuencias de rotación diferentes (rpm). En el carro longitudinal es donde se encuentra el delantal con una parte de los mecanismos de transmisión de los avances. Este carro se mueve sobre las guías de la bancada. El movimiento de avance llega al delantal mediante la barra de avances y el husillo o tornillo de roscar, según sea el caso.

El carro transversal está montado sobre el carro longitudinal y se mueve transversalmente sobre este.

El carro superior, también llamado “charriot”, está montado sobre el carro transversal. A su vez, sobre este carro se encuentra el portaherramientas. Se emplea el carro superior para movimientos auxiliares de posicionamiento de las herramientas, así como para la elaboración de conos, ya que su posición angular con respecto al eje de rotación de la pieza puede ser modificada.

La contrapunta o cabezal móvil se desplaza con movimiento manual sobre las guías longitudinales de la bancada para posicionarla adecuadamente. La contrapunta se emplea como apoyo adicional para el maquinado de piezas largas, también como medio de sujeción de algunas herramientas de corte, tales como brocas, barrenas, escariadores y machos de roscar. La contrapunta tiene un eje hueco que se llama pínola y que se puede mover axialmente de manera manual. En su extremo el agujero del eje tiene un cono normalizado (un cono *morse*), al igual que el husillo de las taladradoras, lo que permite la fijación de las herramientas mencionadas, así como del accesorio conocido como punto. [18]

1.3.1.- Modos de sujeción de las piezas en el torneado.

- Sujeción al plato.

En este caso la pieza se sujeta por uno de sus extremos. El mismo plato que la sujeta le transmite el movimiento de giro, válido para piezas no esbeltas y en este caso la pieza se representa como una viga simplemente empotrada. [12]

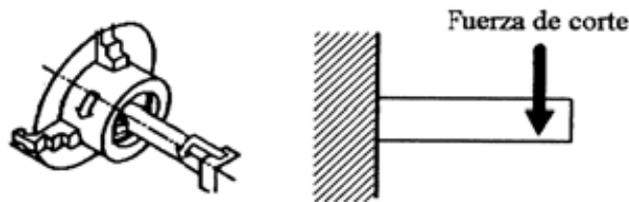


Fig. 1.4: Sujeción al plato. [12]

- Sujeción entre plato y punto.

La pieza se sujeta por uno de sus extremos y por el otro se encuentra apoyada en un punto. El plato es quien transmite el movimiento de giro, esta sujeción es válida para piezas semi-esbeltas. La pieza se representa como una viga empotrada y apoyada.

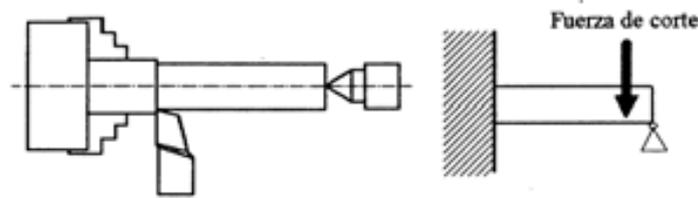


Fig. 1.5: Sujeción entre plato y punto. [12]

- Sujeción entre puntos.

La pieza se apoya en puntos de sus dos extremos. En este caso el movimiento de arrastre se comunica por un punto intermedio. El mismo es válido para piezas semi-esbeltas. La pieza se representa como una viga doblemente apoyada.

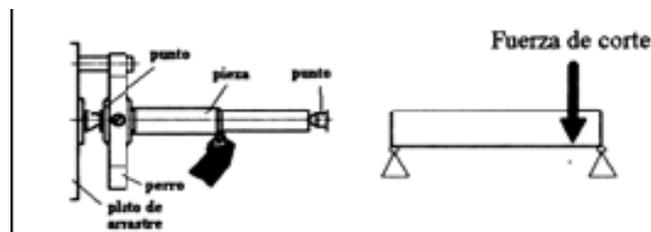


Fig. 1.6: Sujeción entre puntos. [12]

1.4.- Herramientas para el torneado.

Las herramientas de torneado se diferencian en dos factores, el material del que están constituidas y el tipo de operación que realizan. Según el material constituyente, las herramientas pueden ser de acero rápido, metal duro soldado o plaquitas de metal duro (widia) intercambiables.

La tipología de las herramientas de metal duro está normalizada de acuerdo con el material que se mecanice, puesto que cada material ofrece unas resistencias diferentes.

Cuando la herramienta es de acero rápido o tiene la plaquita de metal duro soldada en el portaherramientas, cada vez que el filo se desgasta hay que desmontarla y afilarla correctamente con los ángulos de corte específicos en una afiladora. Esto ralentiza bastante el trabajo. Por ello, cuando se mecanizan piezas en serie lo normal es utilizar portaherramientas con plaquitas intercambiables, que tienen varias caras de corte de usar y tirar y se reemplazan de forma muy rápida. [18]

1.4.1.- Características de las plaquitas de metal duro.

La calidad de las plaquitas de metal duro (Widia) 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. [22]



Fig. 1.7: Plaquita de torneado de metal duro. [22]

Los principales materiales de herramientas para torneado son los que se muestran en la tabla siguiente.

Materiales	Símbolos
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: Materiales de herramientas para torneado. [8]

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

Tabla 1.2: Código de calidades de plaquitas. [8]

1.4.2- Código de formatos de las plaquitas de metal duro.

Como hay tanta variedad en las formas geométricas, tamaños y ángulos de corte, existe una codificación normalizada compuesta de cuatro letras y seis números donde cada una de estas letras y números indica una característica determinada del tipo de plaquita correspondiente. En el anexo IV se muestra el significado de este código y a continuación se muestra con un ejemplo. [8]

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.

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.

1.5.- Movimientos de trabajo en la operación de torneado.

Movimiento de corte: Por lo general se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción los cuales sujetan la pieza a mecanizar. Los tornos tradicionales tienen una gama fija de velocidades de giro, sin embargo los tornos modernos de Control Numérico la velocidad de giro del cabezal es variable y programable y se adapta a las condiciones óptimas que el mecanizado permite.

Movimiento de avance: Es el movimiento de la herramienta de corte en la dirección del eje de la pieza que se está trabajando. En combinación con el giro impartido al husillo,

determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza. Este movimiento también puede no ser paralelo al eje, produciéndose así conos. En ese caso se gira el carro charriot, ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada. Los tornos convencionales tienen una gama fija de avances, o sea, los escalones de avances son escalonados, mientras que los tornos de Control Numérico los avances son programables de acuerdo a las condiciones óptimas de mecanizado y los desplazamientos en vacío se realizan a gran velocidad.

Profundidad de corte: Movimiento de la herramienta de corte que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. La cantidad de material factible de ser arrancada depende del perfil del útil de corte usado, el tipo de material mecanizado, la velocidad de corte, potencia de la máquina, avance, etc.

Nonios de los carros: Para regular el trabajo de torneado los carros del torno llevan incorporado unos nonios en forma de tambor graduado, donde cada división indica el desplazamiento que tiene el carro, ya sea el longitudinal, el transversal o el charriot. La medida se va conformando de forma manual por el operador de la máquina por lo que se requiere que sea una persona muy experta quien lo manipule si se trata de conseguir dimensiones con tolerancias muy estrechas. Los tornos de control numérico ya no llevan nonios sino que las dimensiones de la pieza se introducen en el programa y estas se consiguen automáticamente. [8]

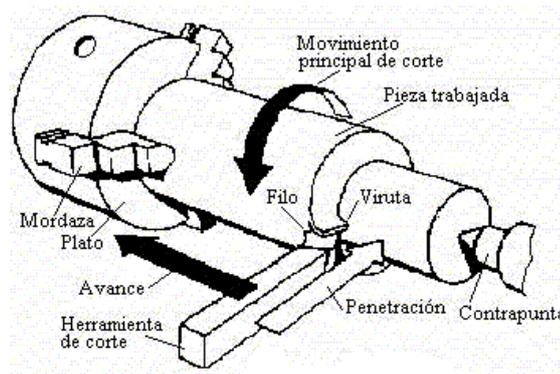


Fig. 1.8: Movimientos del torno. [18]

1.6.- Operaciones de torneado.

Cilindrado.

Esta operación consiste en el mecanizado exterior al que se someten las piezas que tienen mecanizados cilíndricos. Para poder efectuar esta operación, con el carro transversal se regula la profundidad de pasada y, por tanto, el diámetro del cilindro, y con el carro paralelo

se regula la longitud del cilindro. El carro paralelo avanza de forma automática de acuerdo al avance de trabajo deseado. En este procedimiento, el acabado superficial y la tolerancia que se obtenga puede ser un factor de gran relevancia. Para asegurar calidad al cilindrado el torno tiene que tener bien ajustada su alineación y concentricidad.

El cilindrado se puede hacer con la pieza al aire sujeta en el plato de garras, si es corta, o con la pieza sujeta entre puntos y un perro de arrastre, o apoyada en luneta fija o móvil si la pieza es de grandes dimensiones y peso. Para realizar el cilindrado de piezas o ejes sujetos entre puntos, es necesario previamente realizar los puntos de centraje en los ejes. Cuando el cilindrado se realiza en el hueco de la pieza se llama mandrinado.

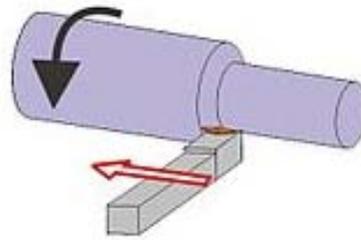


Fig. 1.9: Esquema del cilindrado. [8]

Refrentado.

La operación de refrentado consiste en un mecanizado frontal y perpendicular al eje de las piezas que se realiza para producir un buen acoplamiento en el montaje posterior de las piezas torneadas. Esta operación también es conocida como fronteo. La problemática que tiene el refrentado es que la velocidad de corte en el filo de la herramienta va disminuyendo a medida que avanza hacia el centro, lo que ralentiza la operación. Para mejorar este aspecto muchos tornos modernos incorporan variadores de velocidad en el cabezal de tal forma que se puede ir aumentando la velocidad de giro de la pieza.

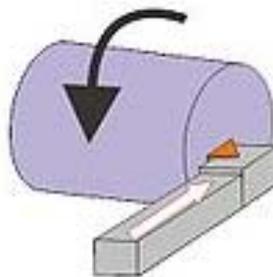


Fig. 1.10: Esquema funcional de refrentado. [8]

Ranurado

El **ranurado** consiste en mecanizar unas ranuras cilíndricas de anchura y profundidad variable en las piezas que se tornearn, las cuales tienen muchas utilidades diferentes. Por ejemplo, para alojar una junta tórica, para salida de rosca, para arandelas de presión, etc. En este caso la herramienta tiene ya conformado el ancho de la ranura y actuando con el carro transversal se le da la profundidad deseada. Los canales de las poleas son un ejemplo claro de ranuras torneadas.

Roscado en el torno

Hay dos sistemas de realizar roscados en los tornos, de un lado la tradicional que utilizan los tornos paralelos, mediante la Caja Norton, y de otra la que se realiza con los tornos CNC, donde los datos de la roscas van totalmente programados y ya no hace falta la caja Norton para realizarlo.

Para efectuar un roscado con herramienta hay que tener en cuenta que las roscas pueden ser exteriores (tornillos) o bien interiores (tuercas), debiendo ser sus magnitudes coherentes para que ambos elementos puedan enroscarse.

Los elementos que figuran en la tabla son los que hay que tener en cuenta a la hora de realizar una rosca en un torno: [8]

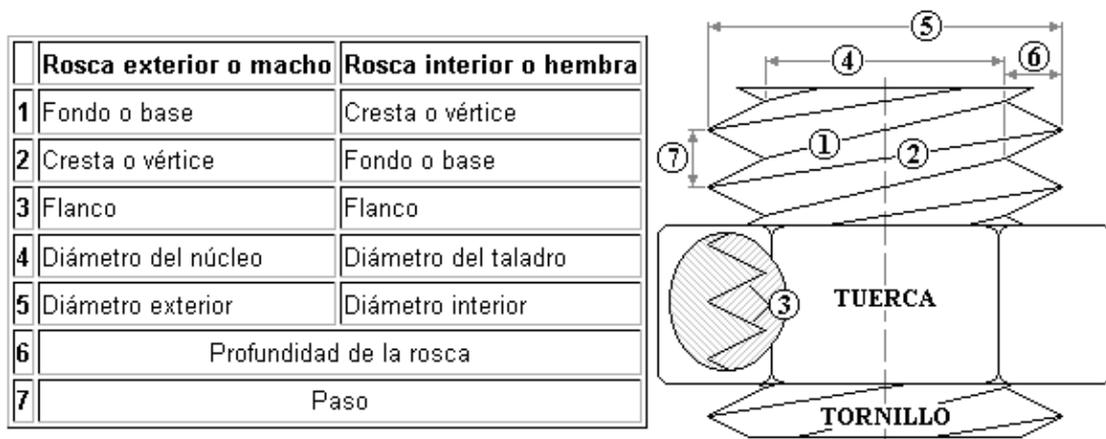


Fig. 1.11: Elementos a tener en cuenta para realizar una rosca. [8]

Roscado en tornos paralelos.

Una de las tareas que pueden ejecutarse en un torno paralelo es efectuar roscas de diversos pasos y tamaños tanto exteriores sobre ejes o interiores sobre tuercas. Para ello los tornos paralelos universales incorporan un mecanismo llamado Caja Norton, que facilita

esta tarea y evita montar un tren de engranajes cada vez que se quisiera efectuar una rosca.

La caja Norton es un mecanismo compuesto de varios engranajes que fue inventado y patentado en 1890, que se incorpora a los tornos paralelos y dio solución al cambio manual de engranajes para fijar los pasos de las piezas a roscar. Esta caja puede constar de varios trenes desplazables de engranajes o bien de uno basculante y un cono de engranajes. La caja conecta el movimiento del cabezal del torno con el carro portaherramientas que lleva incorporado un husillo de rosca cuadrada.

El sistema mejor conseguido incluye una caja de cambios con varias reductoras. De esta manera con la manipulación de varias palancas se pueden fijar distintas velocidades de avance del carro portaherramientas, permitiendo realizar una gran variedad de pasos de rosca tanto métricos como Withworth. Las hay en baño de aceite y en seco, de engranajes tallados de una forma u otra, pero básicamente es una caja de cambios.

Moleteado

El moleteado es un proceso de conformado en frío del material mediante unas **moletas** que presionan la pieza mientras da vueltas. Dicha deformación produce un incremento del diámetro de partida de la pieza. El moleteado se realiza en piezas que se tengan que manipular a mano, que generalmente vayan roscadas para evitar su resbalamiento que tendrían en caso de que tuviesen la superficie lisa.

El moleteado se realiza en los tornos con unas herramientas que se llaman moletas, de diferente paso y dibujo. El moleteado por deformación se puede ejecutar de dos maneras:

- Radialmente, cuando la longitud moleteada en la pieza coincide con el espesor de la moleta a utilizar.
- Longitudinalmente, cuando la longitud excede al espesor de la moleta. Para este segundo caso la moleta siempre ha de estar biselada en sus extremos.

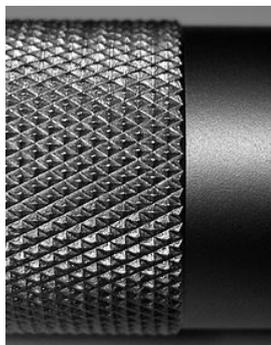


Fig. 1.12: Eje moleteado. [8]

Torneado de conos.

Un cono o un tronco de cono de un cuerpo de generación viene definido por los siguientes conceptos:

- Diámetro mayor
- Diámetro menor
- Longitud
- Ángulo de inclinación
- Conicidad

Los diferentes tornos mecanizan los conos de formas diferentes.

- En los tornos CNC no hay ningún problema porque, programando adecuadamente sus dimensiones, los carros transversales y longitudinales se desplazan de forma coordinada dando lugar al cono deseado.
- En los tornos copiadores tampoco hay problema porque la plantilla de copiado permite que el palpador se desplace por la misma y los carros actúen de forma coordinada.
- Para mecanizar conos en los tornos paralelos convencionales se puede hacer de dos formas diferentes. Si la longitud del cono es pequeña, se mecaniza el cono con el charriot inclinado según el ángulo del cono. Si la longitud del cono es muy grande y el eje se mecaniza entre puntos, entonces se desplaza la distancia adecuada el contrapunto según las dimensiones del cono.

Torneado esférico.

El torneado esférico, por ejemplo el de rótulas, no tiene ninguna dificultad si se realiza en un torno de Control Numérico porque, programando sus medidas y la función de mecanizado radial correspondiente, lo realizará de forma perfecta.

Si el torno es automático de gran producción, trabaja con barra y las rótulas no son de gran tamaño, la rotula se consigue con un carro transversal donde las herramientas están afiladas con el perfil de la rótula.

Hacer rótulas de forma manual en un torno paralelo presenta cierta dificultad para conseguir exactitud en la misma. En ese caso es recomendable disponer de una plantilla de la esfera e irla mecanizando de forma manual y acabarla con lima o rasqueta para darle el ajuste final.

Segado o tronzado.

Se llama segado a la operación de torneado que se realiza cuando se trabaja con barra y al finalizar el mecanizado de la pieza correspondiente es necesario cortar la barra para separar la pieza de la misma. Para esta operación se utilizan herramientas muy estrechas con un saliente de acuerdo al diámetro que tenga la barra y permita con el carro transversal llegar al centro de la barra. Es una operación muy común en tornos revólver y automáticos alimentados con barra y fabricaciones en serie.

Chaflanado.

El chaflanado es una operación de torneado muy común que consiste en matar los cantos tanto exteriores como interiores para evitar cortes con los mismos y a su vez facilitar el trabajo y montaje posterior de las piezas. El chaflanado más común suele ser el de 1mm por 45°. Este chaflán se hace atacando directamente los cantos con una herramienta adecuada.

Mecanizado de excéntricas.

Una **excéntrica** es una pieza que tiene dos o más cilindros con distintos centros o ejes de simetría, tal y como ocurre con los cigüeñales de motor, o los ejes de levas. Una excéntrica es un cuerpo de revolución y por tanto el mecanizado se realiza en un torno. Para mecanizar una excéntrica es necesario primero realizar los puntos de centraje de los diferentes ejes excéntricos en los extremos de la pieza que se fijará entre puntos.

Mecanizado de espirales.

Un espiral es una rosca tallada en un disco plano y mecanizada en un torno, mediante el desplazamiento oportuno del carro transversal. Para ello se debe calcular la transmisión que se pondrá entre el cabezal y el husillo de avance del carro transversal de acuerdo al paso de la rosca espiral. Es una operación poco común en el torneado. Ejemplo de rosca espiral es la que tienen en su interior los platos de garras de los tornos, la cual permite la apertura y cierre de las garras.

Taladrado.

Muchas piezas que son torneadas requieren ser taladradas con brocas en el centro de sus ejes de rotación. Para esta tarea se utilizan brocas normales, que se sujetan en el contrapunto en un portabrocas o directamente en el alojamiento del contrapunto si el diámetro es grande. Las condiciones tecnológicas del taladrado son las normales de acuerdo a las características del material y tipo de broca que se utilice. Mención aparte merecen los procesos de taladrado profundo donde el proceso ya es muy diferente sobre

todo la constitución de la broca que se utiliza. No todos los tornos pueden realizar todas estas operaciones que se indican, sino que eso depende del tipo de torno que se utilice y de los accesorios o equipamientos que tenga. [8]

1.7.- Parámetros de corte del torneado.

Los parámetros de corte fundamentales que hay que considerar en el proceso de torneado son los siguientes, aunque en otras referencias pueden mencionarse otros.

- Elección del tipo de herramienta más adecuado.
- Velocidad de corte (V_c) expresada en metros/minuto.
- Diámetro exterior del torneado.
- Revoluciones por minuto (rpm) del cabezal del torno.
- Avance en mm/rev o en mm/min de la herramienta.
- Profundidad de pasada.
- Esfuerzos de corte.
- Tipo de torno y accesorios adecuados.

1.7.1.- Velocidad de corte.

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la pieza que está en contacto con la herramienta. 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 herramienta que se utilice, de la profundidad de pasada, 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.

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el cabezal del torno, según la siguiente fórmula:

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

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 pieza.

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 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, 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. [21]

La velocidad de corte excesiva puede dar lugar a:

- Desgaste muy rápido del filo de corte de la herramienta.
- Deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado.
- Calidad del mecanizado deficiente.

La velocidad de corte demasiado baja puede dar lugar a:

- Formación de filo de aportación en la herramienta.
- Efecto negativo sobre la evacuación de viruta.
- Baja productividad.
- Coste elevado del mecanizado.

1.7.2.- Velocidad de rotación de la pieza.

La velocidad de rotación del cabezal del torno se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En los tornos 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 los tornos de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación que habitualmente utiliza un variador de frecuencia y puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima. La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte e inversamente proporcional al diámetro de la pieza.

$$n \text{ (rev}^{-1}\text{)} = \frac{V_c \left(\frac{m}{min} \right) * 1000 \left(\frac{mm}{m} \right)}{\pi * D_c \text{ (mm)}} \quad 1.2$$

1.7.3.-Velocidad de avance.

El avance o velocidad de avance en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance de la herramienta de corte es un factor muy importante en el proceso de torneado.

Cada herramienta puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la pieza, denominado *avance por revolución* (f_z). Este rango depende fundamentalmente del diámetro de la pieza, de la profundidad de pasada, y de la calidad de la herramienta. Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas. 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. 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. [8]

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

$$F \text{ (mm/minuto)} = N \text{ (rpm)} \times F \text{ (mm/revolución)} \quad 1.3$$

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

Efectos de la velocidad de avance:

- Decisiva para la formación de viruta
- Afecta al consumo de potencia
- Contribuye a la tensión mecánica y térmica

La elevada velocidad de avance da lugar a:

- Buen control de viruta
- Menor tiempo de corte
- Menor desgaste de la herramienta
- Riesgo más alto de rotura de la herramienta
- Elevada rugosidad superficial del mecanizado.

La velocidad de avance baja da lugar a:

- Viruta más larga
- Mejora de la calidad del mecanizado
- Desgaste acelerado de la herramienta
- Mayor duración del tiempo de mecanizado
- Mayor coste del mecanizado

1.7.4.- Tiempo de torneado.

Es el tiempo que tarda la herramienta en efectuar una pasada.

$$T \text{ (minutos)} = \frac{\text{Longitud de pasada (mm)}}{F \text{ (mm/minuto)}} \quad 1.4$$

1.7.5.- Fuerza específica de corte.

La fuerza de corte es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de la herramienta, de la profundidad de pasada, 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 K_x . La fuerza específica de corte se expresa en N/mm^2 . [21]

1.7.6.- Potencia de corte.

La potencia de corte P_c necesaria para efectuar un determinado mecanizado se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la máquina. Se expresa en kilovatios (kW).

Esta fuerza específica de corte F_c , es una constante que se determina por el tipo de material que se está mecanizando, geometría de la herramienta, espesor de viruta, etc.

Para poder obtener el valor de potencia correcto, el valor obtenido tiene que dividirse por un determinado valor (ρ) que tiene en cuenta la eficiencia de la máquina. Este valor es el porcentaje de la potencia del motor que está disponible en la herramienta puesta en el husillo. [18]

$$P_c = \frac{A_c * p * f * F_c}{60 * 10^6 * \rho} \quad 1.5$$

Donde:

- P_c es la potencia de corte (kW)
- A_c es el diámetro de la pieza (mm)
- f es la velocidad de avance (mm/min)
- F_c es la fuerza específica de corte (N/mm^2)
- ρ es el rendimiento o la eficiencia de el máquina

1.8.- Factores que influyen en las condiciones tecnológicas del torneado.

Existen varios factores que influyen en el proceso de torneado, a continuación se relacionan algunos de ellos. [26]

- **Diseño y limitaciones de la pieza:** tamaño, tolerancias del torneado, tendencia a vibraciones, sistemas de sujeción, acabado superficial, etc.
- **Operaciones de torneado a realizar:** cilindrados exteriores o interiores, refrentados, ranurados, desbaste, acabados, optimización para realizar varias operaciones de forma simultánea, etc.
- **Estabilidad y condiciones de mecanizado:** cortes intermitentes, voladizo de la pieza, forma y estado de la pieza, estado, potencia y accionamiento de la máquina, etc.
- **Disponibilidad y selección del tipo de torno:** posibilidad de automatizar el mecanizado, poder realizar varias operaciones de forma simultánea, serie de piezas a mecanizar, calidad y cantidad del refrigerante, etc.
- **Material de la pieza:** dureza, estado, resistencia, maquinabilidad, barra, fundición, forja, mecanizado en seco o con refrigerante, etc.
- **Disponibilidad de herramientas:** calidad de las herramientas, sistema de sujeción de la herramienta, acceso al distribuidor de herramientas, servicio técnico de herramientas, asesoramiento técnico.
- **Aspectos económicos del mecanizado:** optimización del mecanizado, duración de la herramienta, precio de la herramienta, precio del tiempo de mecanizado.

1.9.- Formación de viruta.

El torneado ha evolucionado tanto que ya no se trata tan solo de arrancar material a gran velocidad, sino que los parámetros que componen el proceso tienen que estar estrechamente controlados para asegurar los resultados finales de economía calidad y precisión. En particular, la forma de tratar la viruta se ha convertido en un proceso complejo, donde intervienen todos los componentes tecnológicos del mecanizado, para que pueda tener el tamaño y la forma que no perturbe el proceso de trabajo. Si no fuera así se acumularían rápidamente masas de virutas largas y fibrosas en el área de mecanizado que formarían madejas enmarañadas e incontrolables.

La forma que toma la viruta se debe principalmente al material que se está cortando y puede ser tanto dúctil como quebradiza y frágil.

El avance con el que se trabaje y la profundidad de pasada suelen determinar en gran medida la forma de viruta. Cuando no bastan estas variables para controlar la forma de la viruta hay que recurrir a elegir una herramienta que lleve incorporado un rompevirutas eficaz. [18]

1.10.- Mecanizado en seco y con refrigerante.

Hoy en día el torneado en seco es completamente viable. Hay una tendencia reciente a efectuar los mecanizados en seco siempre que la calidad de la herramienta lo permita.

La inquietud se despertó durante los años 90, cuando estudios realizados en empresas de fabricación de componentes para automoción en Alemania pusieron de relieve el coste elevado de la refrigeración y sobre todo de 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. Tampoco es recomendable tornear 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, produciendo mal acabado superficial, dispersiones en las medidas de la pieza e incluso rotura de los filos de corte.

En el caso de mecanizar materiales de viruta corta como la fundición gris la taladrina es beneficiosa como agente limpiador, evitando la formación de nubes de polvo tóxicas.

En el torneado en seco la maquinaria debe estar preparada para absorber sin problemas el calor producido en la acción de corte. Para evitar sobrecalentamientos de husillos, etc suelen incorporarse circuitos internos de refrigeración por aceite o aire.

1.11.- Normas de seguridad en el torneado.

Cuando se está trabajando en un torno, hay que tener en cuenta una serie de requisitos para asegurarse de no tener ningún accidente como que cualquier pieza que fuese despedida del plato o la viruta si no sale bien cortada. Pero también de suma importancia es el prevenir ser atrapado(a) por el movimiento rotacional de la máquina, por ejemplo por la ropa o por el cabello largo. [15] A continuación se recomiendan algunas medidas de seguridad en el proceso de torneado.

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 máquina - herramienta. 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.

Capítulo II: Datos de Corte para Torneado.

2.1.- Selección de herramientas de corte y su régimen de corte.

La selección de las herramientas de corte es un paso muy importante en la elaboración de tecnologías de mecanizado, ya que esta decisión influye decisivamente en la productividad y la calidad de las piezas mecanizadas.

No existe un procedimiento único para seleccionar herramientas; hay también muchas recomendaciones en textos de diferentes autores y catálogos de fabricantes, además de la experiencia propia de cada colectivo laboral técnico que se dedica a esta misión. Esto último, la experiencia, es decisiva y se adquiere en el trabajo diario, se trasmite de los más expertos a los más jóvenes y se amplía mediante textos, catálogos, revistas científicas, cursos y el intercambio con otros colectivos.

No obstante, hay ciertas ideas generales que pueden servir para cumplir esta tarea técnica, además de analizar los factores que influyen en la toma de decisiones. Las características de la pieza a fabricar, el material, su forma o diseño, precisión y acabado superficial inciden en la selección del material cortante de la herramienta, su forma y geometría. Con estos elementos se parte para seleccionar el régimen de corte sin olvidar la máquina herramienta que se vaya a utilizar, ya que los datos de corte deben adaptarse a las posibilidades de la máquina en cuanto a potencia, escalones de avances y velocidades.

Por la forma en que están diseñadas las plaquitas intercambiables actuales tienen múltiples características constructivas como radios de redondeo apropiados, ángulos de incidencia, ángulos de ataque, rompevirutas, geometrías de la superficie frontal y recubrimientos más resistentes al desgaste.

Para la selección de los regímenes de corte de torneado se emplean algunas expresiones que a continuación se resumen en la siguiente tabla:

Símbolo	Designación	Fórmula	#	Unidad
i	Cantidad de pasadas.	$i = \frac{S_m}{2 * a_p}$	2.1	Pasadas
<i>a_p</i>	Máxima profundidad de corte posible.	(Ver anexo II)	---	mm
<i>S_m</i>	Sobremedida.	---	---	mm
t	Profundidad de corte.	$t = \frac{S_m}{2 * i}$	2.2	mm

Vc teórica	Velocidad de corte teórica.	$Vc \text{ teórica} = V_T * K_d * K_T$	2.3	m/min
Vt	Velocidad de corte obtenida en una tabla.	(Ver anexo II)	---	m/min
Kd	Coeficiente de corrección por dureza.	(Ver tabla 4)	---	---
KT	Coeficiente de corrección por vida útil.	(Ver tabla 2)	---	---
nc	Frecuencia calculada de rotación del husillo.	$nc = \frac{1000 * Vc}{\pi * d}$	2.4	rpm
d	Diámetro a elaborar.	---	---	mm
Pc	Potencia necesaria para el corte.	$\frac{Vcr * t * fn_r * Kc}{60000} * \left(\frac{0.4}{fn_r * sen(\varphi)} \right)^{0.29}$	2.5	kw
Pd	Potencia disponible para el corte.	$Pd = Nm * \eta$	2.6	kw
fn	Avance.	(Ver anexo III)	---	mm/rev
φ ó K	Ángulo de posición del borde cortante principal.		---	Grados
Kc	Coeficiente para calcular la potencia de corte.	(Ver tabla 5 – Anexo II)	---	N/mm ²
Nm	Potencia del motor principal del torno.	(Ver anexo III)	---	kw
η	Eficiencia en la transmisión de potencia de la cadena del movimiento principal del torno.	(Ver anexo III)	---	%
tp	Tiempo principal de maquinado.	$tp = \frac{l_T * i}{n_r * fn_r}$	2.7	min
IT	Longitud a maquinar.	$l_T = l + \Delta$	2.8	mm

2.1.1.- Procedimiento para la selección de las herramientas y los datos de corte para la operación de torneado.

Existen varios procedimientos para seleccionar las herramientas y los datos de corte, por lo que es imposible plasmarlos todos en un mismo trabajo. No obstante, el estudio particular de una de ellos permite al interesado analizar otras variantes y comprenderlas. En este trabajo se seguirá un procedimiento basado en tablas que han sido elaboradas a partir de las que ha publicado un fabricante. Las tablas de datos de corte que aquí se emplean persiguen solo un objetivo docente, aunque se basan como ya se dijo en recomendaciones de un fabricante.

Como paso preliminar para la selección de la herramienta a utilizar se debe conocer el material de la pieza a elaborar y su dureza (HB), así como el paso tecnológico a realizar y el modelo de torno con su gama de velocidades y avances, y su potencia.

La operación de torneado abarca varios pasos tecnológicos. Aquí solamente se muestra un procedimiento de selección de datos de corte para el cilindrado, ya que el objetivo principal está en programar un solo paso tecnológico, si este funciona bien entonces recomendar extender el programa para el resto de los pasos tecnológicos lo que incluye refrentado, elaboración de conos, torneado de rebajes y mandrilado. [11]

El procedimiento es el siguiente:

1. Decidir la aplicación de mecanizado entre acabado (F), desbaste medio (M) y desbaste (R). Si se trata de una pasada de acabado, entonces hay que conocer la rugosidad superficial (R_a).
2. Escoger la vida útil de la herramienta (T).
3. Escoger la forma de la plaquita (f_p) y el ángulo de posición (φ) (Anexo II, Fig. a.1)
4. Selección del código del vástago (Tabla 1). La 2^{da} letra del vástago debe coincidir con el símbolo 1 de la plaquita.
5. Obtención del régimen de corte.

Según el material de la pieza, en la tabla 5, se obtiene la clasificación en la norma ISO del material de la herramienta (P, M y K).

Con la clasificación ISO y la aplicación del mecanizado se obtienen en las tablas del anexo II los datos siguientes:

- Calidad (Q)
- Geometría (G)
- Códigos de placas recomendadas

5.1. Cálculo del número de pasadas (i) y la profundidad de corte (t).

Si el paso tecnológico es cilindrado, elaboración de conos o mandrinado:

$$i = \frac{S_m}{2 * a_p}; \text{ [pasadas]}$$

S_m es la sobremedida y a_p es la máxima profundidad de corte que se admite, ambos en mm.

Se redondea i al entero inmediato superior.

$$t = \frac{S_m}{2 * i}; \text{ [mm]}$$

5.2. Cálculo de 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 T.

Las velocidades de corte dadas en las tablas que están en los anexos son válidas para valores de dureza especificados en estas, por lo que si la dureza difiere se tiene en cuenta el factor de dureza K_d que se obtiene según la tabla 4. De la misma manera, las tablas están concebidas para una vida útil de 15 minutos; si es diferente, hay que tomar en cuenta K_T en la tabla 2.

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

$$n_c = \frac{1000 * V_{c,teórica}}{\pi * d}; \text{ [rpm]}$$

Donde d es el diámetro a elaborar, en mm.

5.3. Se toman en cuenta los datos del modelo de torno en el que se va a aplicar el régimen de corte seleccionado. Se escoge un valor de rpm igual o inmediato inferior al calculado si se tiene un torno convencional con escalones de rpm. Si el torno es CNC entonces las rpm no se varían. Lo mismo se hace con el avance.

- Se recalcula la V_c con n_{real} del torno.

$$V_{cr} = \frac{\pi * d * n_r}{1000}; \text{ [m/min]}$$

6. Cálculo de la potencia de corte, P_c .

$$P_c = \frac{V_{cr} * t * f n_r * K_c}{60000} * \left(\frac{0.4}{f n_r * \text{sen}(\varphi)} \right)^{0.29} ; [\text{kw}]$$

Donde,

V_{cr} - es la velocidad de corte real, en m/min.

t - es la profundidad de corte, en mm.

$f n_r$ - es el avance real, en mm/rev.

K_c - es un coeficiente de potencia específica de corte, que se obtiene en la tabla 5.

φ ó K - es el ángulo de posición del borde cortante principal.

- Se calcula la potencia disponible (P_d)

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

Donde,

N_m - es la potencia del motor principal del torno, en kw.

η - es el rendimiento de la cadena cinemática del movimiento principal (%).

La potencia disponible P_d se compara con la potencia necesaria para el corte P_c .

Si $P_c \leq P_d$, se pasa al cálculo del tiempo principal (t_p), si no, se tienen dos opciones:

- utilizar un torno de más potencia
- reducir la severidad del régimen de corte y recalculer la potencia. Esto significa reducir la velocidad (las rpm primero, y recalculer V_c) o la profundidad de corte, o el avance, o varios a la vez.

7. Cálculo del tiempo principal.

Si se trata de un cilindrado, mandrinado o refrentado:

$$t_p = \frac{l_r * i}{n_r * f n_r} ; [\text{min}] \quad \text{y} \quad l_r = l + \Delta ; [\text{mm}]$$

Δ : Separación de entrada de la cuchilla, mm.

l : Longitud a torneear, mm.

Con todos los pasos realizados se obtiene como respuesta:

- Código de la placa con su calidad y geometría.
- Código del vástago.
- Velocidad de corte (m/min).
- Frecuencia de rotación del husillo, en rpm.

- Avance (mm/rev).
- Cantidad de pasadas.
- Profundidad de corte (mm).
- Tiempo principal (min).

2.2.- Ejemplo de selección de régimen de corte para cilindrado en el torno.

A continuación se dan los datos para un ejemplo de selección del régimen de corte para un cilindrado en un torno.

Datos iniciales

- *Material de la pieza:* Acero de baja aleación, no endurecido (acero 5140, norma AISI/SAE, ver anexo I)
- *Dureza:* HB 200.
- *Diámetro en bruto:* 70 mm.
- *Máquina Herramienta:* Torno 16K20.
- *Operación:* Torneado.
- *Paso:* Cilindrado de desbaste medio a ϕ 66 mm en longitud 340 mm.

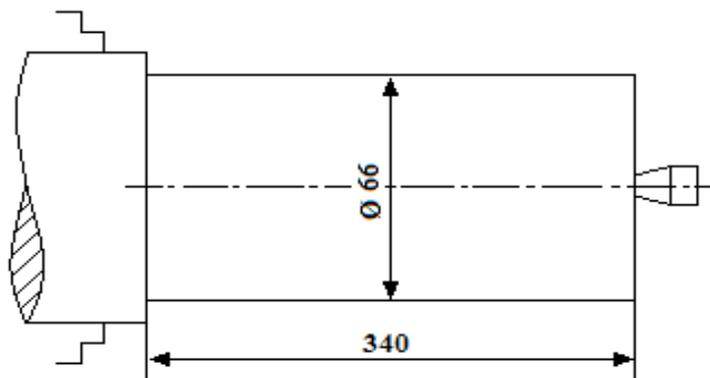


Fig. 2.1: Esquema para el ejemplo de cilindrado de desbaste. [11]

Para seleccionar el régimen de corte según el procedimiento explicado anteriormente se siguen los siguientes pasos:

- 1) Aplicación de mecanizado: desbaste medio (M) debido a que su profundidad de corte es de 2 mm, y es una superficie que va a seguir siendo maquinada.
- 2) Tiempo de vida útil de la herramienta: $T = 25$ min.

- 3) Se escoge la forma de la plaquita y el ángulo de posición, en este caso se asume $f_p = C$ y $\varphi = 95^\circ$, porque se realiza un cilindrado exterior donde hay presente un escalón, además que solo se realizará para un tipo de herramienta. La forma rómbica es la más usada y dentro de ellas la C. No obstante existen otras formas rómbicas para rebajes. [11]
- 4) En la tabla 1 se obtiene el código del vástago: PCLNR donde:
- P = Sujeción por palanca.
 - C = forma de la plaquita, que debe coincidir con la placa ya seleccionada, porque a cada forma de plaquita le corresponde un vástago diferente para la ubicación de esta en el mango.
 - L = tipo de portaplaquitas.
 - N = ángulo de incidencia de la plaquita.
 - R = Sentido de la herramienta (derecha).

Dimensiones del Vástago:

- Altura 20 mm
- Ancho 20 mm
- Longitud 125 mm (K)

Estas dimensiones están dadas por el portaherramientas del torno a utilizar.

5) Cálculo del régimen de corte.

En la tabla 3 (Anexo II) se entra con el paso tecnológico y la aplicación de mecanizado, y se obtiene:

- Calidad (Q) - GC 4025
- Geometría (G) - PM
- Código de la plaquita - CNMG
 - V Tabla = 330 m/min
 - $f_n = 0.3$ mm/rev
 - $a_{p \text{ máxima}} = 5.5$ mm

De la tabla 5 (Anexo II), según ISO se obtiene la clasificación del material de la pieza: P (Acero) y entrando con material de la pieza, se obtiene:

$$K_c = 2150 \text{ N/mm}^2$$

5.1) Número de pasadas (i) y profundidad de corte (t)

$$i = \frac{S_m}{2 * a_p} = \frac{4}{2 * 5.5} = 0.363$$

Como la sobremedida es pequeña, no es necesario llegar a la profundidad máxima que permite esta plaquita; es por ello que se obtiene $i < 1$, pero i es siempre un entero, por eso:

$$i = 1 \quad \text{y} \quad t = \frac{S_m}{2 * i} = \frac{4}{2 * 1} = 2 \text{ mm}$$

5.2) Cálculo de la velocidad de corte teórica.

$$V_{Teórica} = V_{Tabla} * Kd * Kt$$

$$\Delta HB = HB_{Material} - HB_{Tabla} = 200 - 180 = + 20$$

De la tabla 4, entrando con ΔHB se obtiene $Kd = 0.94$ y de la Tabla 2 se obtiene $KT = 0.90$ para $T = 25$ min.

$$V_{C_{teórica}} = 330 * 0.94 * 0.90 = 279.18 \text{ m/min}, \text{ entonces:}$$

$$n_c = \frac{1000 * V_{C_{teórica}}}{\pi * d} = \frac{1000 * 279.18}{\pi * 70} = 1269.51 \text{ rpm}$$

Para una máquina de regulación no escalonada, puede hacerse $n_{real} = n_{calculada}$, en caso contrario se disminuye al valor inmediato inferior y se recalcula la velocidad de corte real

5.3) El régimen teórico se ajusta a las posibilidades del torno (Anexo III) y por tanto los datos reales para el corte son:

$$n_r = 1250 \text{ rpm}$$

$$f_{nr} = 0.3 \text{ mm/rev}$$

La V_{cr} real es:

$$V_{Cr} = \frac{\pi * d * n_r}{1000} = \frac{\pi * 70 * 1250}{1000} = 274.89 \text{ m/min}$$

6) Potencia de corte.

$$P_c = \left[\frac{V_{Cr} * t * f_{nr} * K_c}{60\,000} \right] * \left[\frac{0.4}{f_{nr} * \text{sen}(\varphi)} \right]^{0.29}$$

$$P_c = \left[\frac{274.89 * 2 * 0.3 * 2150}{60\,000} \right] * \left[\frac{0.4}{0.3 * \text{sen}(95^\circ)} \right]^{0.29} = 6.43 \text{ kw}$$

$$P_d = Nm * \eta = 10 * 0.75 = 7.5 \text{ Kw}$$

Como $P_c \leq P_d$, se puede aplicar este régimen de corte.

7) Cálculo del tiempo principal (t_p).

$$t_p = \frac{l_T * i}{n_r * f n_r} = \frac{343 * 1}{1250 * 0.3} = 0.92 \text{ min}$$

Aunque la longitud a tornear es de 340 mm, se considera que l_T es igual a 343 mm porque el operario acerca la cuchilla a la pieza y conecta el avance antes de que la herramienta entre en contacto con la pieza. Este Δ de entrada puede asumirse entre 1 y 5 mm.

Resultados obtenidos

- Código de la Plaquita CNMG 12 04 08 - PM
- Calidad GC4025
- Código del Vástago PCLNR 20 20 K 12
- $V_c = 274.89 \text{ m/min.}$
- $n = 1250 \text{ rpm.}$
- $f n = 0.3 \text{ mm/rev.}$
- $i = 1 \text{ pasada.}$
- $t = 2 \text{ mm.}$
- $t_p = 0.92 \text{ min.}$

Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte de la operación de desbaste medio en el torneado.

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 de torneado. 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.

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. [24]

Para la realización de esta herramienta se utilizó el software MATLAB por las potencialidades que presenta, tiene además una gran variedad de funciones que posibilitan 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. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, una es Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se

pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las *cajas de herramientas (toolboxes)*; y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*. Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones. [4]

3.1.- Implementación de la herramienta informática desarrollada.

Es importante enfatizar que existe una gran variedad de materiales, tipo de herramientas, pasos tecnológicos, máquinas - herramienta y otros factores que influyen en el cálculo de los datos de corte. Este trabajo no tiene como objetivo abarcarlos todos por lo que solo se programará una operación de torneado 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.

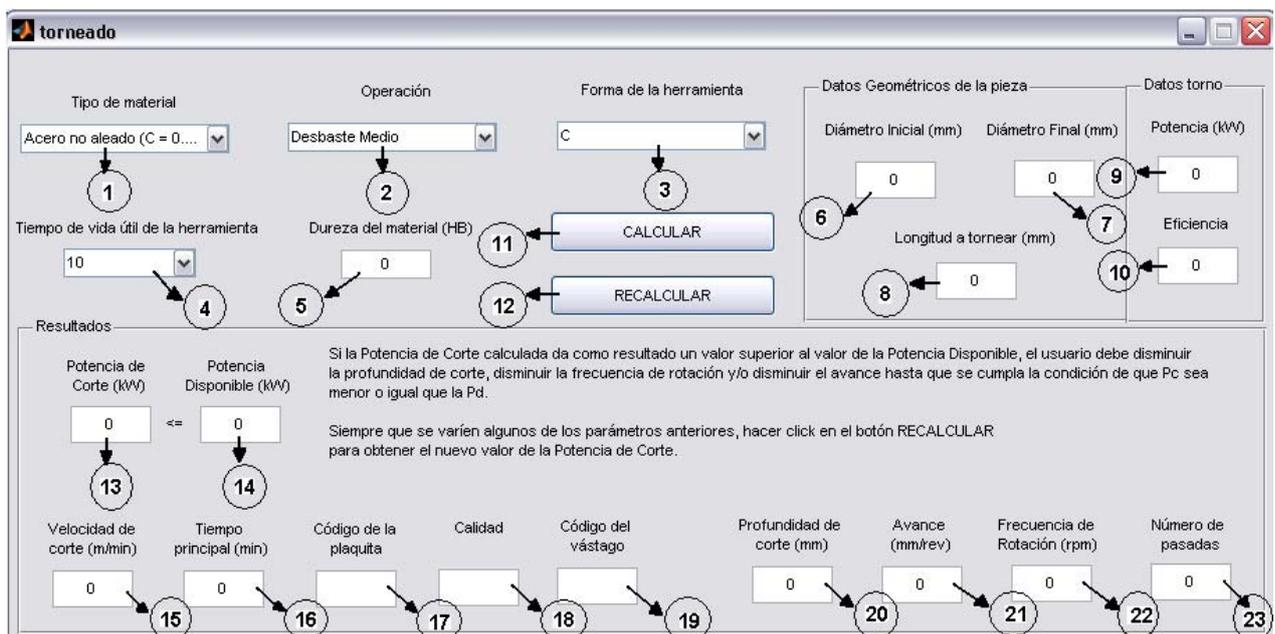


Fig. 3.1: Ventana general del procedimiento.

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. Después de seleccionado el material el cual voy a desbastar se selecciona la operación que se desea realizar (2) entre acabado (F), desbaste medio (M) y desbaste (R). Si se trata de una pasada de acabado, entonces hay que conocer la rugosidad superficial (R_a). Para la herramienta diseñada solo se introducirá la operación de desbaste medio. En el submenú (3) se selecciona la forma de la herramienta o plaquita. Para este caso se seleccionó la plaquita C por ser la más utilizada por su versatilidad. Aunque también se recomienda introducir el resto de las herramientas. El submenú (4) se selecciona el tiempo de vida útil de la herramienta tal como se muestra en la figura 3.3. Este no es más que el tiempo en que esta 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. En la opción (5) se introduce la dureza del material siempre en HB, tal como le especifica la ventana principal. Existe un panel donde se piden los datos geométricos de la pieza, en esta opción se introduce el diámetro inicial de la pieza en milímetros (6) al partir de donde se desea realizar la operación. Este diámetro puede o no coincidir con el diámetro de la pieza en bruto en función de que superficie de la pieza se desee elaborar. Se introduce el diámetro final al que deseo llegar también en milímetros (7), la diferencia entre estos diámetros dividido por dos es lo que se llama sobremedida de maquinado. En esta opción se introduce la longitud que se desea tornear en milímetros (8). A la derecha se presenta otro panel en el cual se solicitan los datos de la máquina herramienta. En esta opción se introduce la potencia que tiene el motor de la máquina herramienta siempre en kW (9) y la eficiencia del motor de la máquina (10). El producto de estos dos parámetros da como resultado la potencia disponible del torno, la cual se muestra en la opción (14). Luego de haber introducido los datos anteriores se pulsa el botón CALCULAR (11) para obtener como resultado los parámetros del régimen de corte como se muestra en la figura 3.4. Estos parámetros son: la Potencia Calculada o necesaria para el corte en kW (13), Velocidad de corte en m/min (15), tiempo principal en min (16), código de la plaquita (17), calidad de la herramienta (18), código del vástago(19), es importante aclarar que la 2^{da} letra del vástago debe coincidir con el símbolo 1 de la plaquita, profundidad de corte en mm (20), avance en mm/rev (21), la frecuencia de rotación del husillo en rpm (22) y el número de pasadas (23).

Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte de la operación de desbaste medio en el torneado

Entre estos parámetros, como se puede observar, se encuentra la Potencia Calculada, la misma tiene que ser menor o igual que la potencia disponible de la máquina herramienta para que se pueda realizar el corte. Si esto no ocurre hay que disminuir algunos parámetros como son la profundidad de corte, el avance o la frecuencia de rotación del husillo (rpm) hasta que se cumpla la condición antes mencionada. Para obtener los nuevos resultados o parámetros referidos anteriormente se pueden cambiar los valores en las casillas (20,21,22) y pulsando el RECALCULAR (12) se recalcula el resultado. Este paso debe realizarse las veces que se necesite hasta que la Potencia Calculada sea menor o igual que la potencia disponible.

Hasta ahora se ha explicado como trabajar con la herramienta realizada, 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, el diámetro inicial de la pieza no puede ser mayor que el diámetro final, ninguna longitud puede ser negativa, la dureza del material siempre debe introducirse en Dureza Brinell (HB), si estamos en presencia de un torno convencional es necesario normalizar los valores de rpm y avance según los escalones que presente dicho torno y recalcular los parámetros de corte, si el torno es CNC esto no es necesario ya que los mismos trabajan con gamas de rpm y avances.

The screenshot shows the 'torneado' software interface. It features several input fields and buttons for calculating cutting parameters. A dropdown menu is open under 'Tipo de material', listing various steel grades and their properties. The interface includes sections for 'Operación', 'Forma de la herramienta', 'Datos Geométricos de la pieza', and 'Datos torno'. At the bottom, there are fields for 'Velocidad de corte (m/min)', 'Tiempo principal (min)', 'Código de la plaquita', 'Calidad', 'Código del vástago', 'Profundidad de corte (mm)', 'Avance (mm/rev)', 'Frecuencia de Rotación (rpm)', and 'Número de pasadas'. A note at the bottom states: '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.'

Fig.3.2: Tipos de materiales utilizados.

Capítulo III: Herramienta informática para el cálculo de los datos de corte de la operación de desbaste medio en el torneado

The screenshot shows the 'torneado' software interface with the following parameters and actions:

- Tipo de material:** Acero no aleado (C = 0...)
- Operación:** Desbaste Medio
- Forma de la herramienta:** C
- Datos Geométricos de la pieza:** Diámetro Inicial (mm) = 0, Diámetro Final (mm) = 0, Longitud a tornear (mm) = 0
- Datos torno:** Potencia (kW) = 0, Eficiencia = 0
- Tiempo de vida útil de la herramienta:** 10 (dropdown menu is open showing options: 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60)
- Dureza del material (HB):** 0
- Potencia disponible (kW):** 0
- Buttons:** CALCULAR (highlighted), RECALCULAR
- Text:** 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, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir el 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.
- Output fields (all zero):** Velocidad de corte (m/min), Tiempo principal (min), Código de la plaquita, Calidad, Código del vástago, Profundidad de corte (mm), Avance (mm/rev), Frecuencia de Rotación (rpm), Número de pasadas.

Fig. 3.3: Tiempo de vida útil de la herramienta.

The screenshot shows the 'torneado' software interface with the following parameters and results:

- Tipo de material:** Acero de baja aleación ...
- Operación:** Desbaste Medio
- Forma de la herramienta:** C
- Datos Geométricos de la pieza:** Diámetro Inicial (mm) = 70, Diámetro Final (mm) = 66, Longitud a tornear (mm) = 340
- Datos torno:** Potencia (kW) = 10, Eficiencia = 0.75
- Tiempo de vida útil de la herramienta:** 25
- Dureza del material (HB):** 200
- Buttons:** CALCULAR, RECALCULAR (highlighted)
- Text:** 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, disminuir la frecuencia de rotación y/o disminuir el 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.
- Resultados:**
 - Potencia de Corte (kW): 6.3236
 - Potencia Disponible (kW): 7.5
 - Relationship: $6.3236 \leq 7.5$
- Output fields:** Velocidad de corte (m/min) = 275, Tiempo principal (min) = 0.91467, Código de la plaquita = CNMG, Calidad = GC4025, Código del vástago = PCLNR, Profundidad de corte (mm) = 2, Avance (mm/rev) = 0.3, Frecuencia de Rotación (rpm) = 1250, Número de pasadas = 1

Fig. 3.4: Parámetros del régimen de corte calculado.

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 desbaste medio para el torneado.
2. Se logra establecer un procedimiento general que permite la selección y el cálculo de regímenes de corte para la operación de desbaste medio para el torneado 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 torneado, herramientas de corte y materiales.

Bibliografía

1. “Consideraciones fundamentales del mecanizado en los tornos”, disponible en: <http://pdf.rincondelvago.com/mecanizado-de-los-tornos.html>
2. “Especificaciones técnicas torno convencional” en *Técnicas Aragonezas Salazar*. Disponible en: <http://www.tecarsa.com/convencionales.htm>
3. “Historia de los tornos” en *Museo de Elgóibar*. Disponible en: <http://www.museo-maquina-herramienta.com/historia/Lehenengoko-erremintak/Tornuak> . Consultado el
4. “MATLAB”, en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
5. “Mecanizado de Metales”, en *I.E.S. “Cristóbal de Monroy”. Dpto. de Tecnología*, disponible en: <http://mediateca.rimed.cu/media/document/1811.pdf>
6. “PROGRAMACION TORNO CNC FAGOR 8050” en *Instituto de Tecnologías Educativas*. España, disponible en: <http://ntic.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2002/programacion/index.htm>
7. “Torno control numérico”, en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_control_num%C3%A9rico
8. “Torno” (2011), en *Wikipedia, la enciclopedia libre*, disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>
9. Aldabaldetrecu, Patxi. (2002). “Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica” en *Metal-Mecánica*. 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. Torneado”, en *Tecnología de fabricación y tecnología de máquinas*, disponible en: http://isa.umh.es/asignaturas/ta/Tema9_1.pdf

13. Durán, O. y A. Navarro. *Automatización de la selección de herramientas de corte para un sistema CAM de torneado*, disponible en: <http://www.mecanica.ucv.cl/~oduran/DuranNavarro.pdf>
14. Lasheras Esteban, José María (2000) "Tecnología mecánica y metrotecnica". Editorial Donostiarra, S. A. ISBN 978-84-7063-087-3. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial%3AFuentesDeLibros&isbn=9788470630873>
15. 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>
16. Montilla, C. y L. Carlos (2006). *Caracterización de regímenes de corte del torno spectralight 0400*. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, disponible en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/93324209-214.pdf>
17. Nelson, M., J. Blanco, L. Iurman y D. Ziegler. (1999). "Potencia de corte en torneado según la posición del campo de líneas de deslizamiento", en *Universidad Nacional del Sur, Dto. de Ingeniería, Laboratorio de Metalurgia y Tecnología Mecánica*, disponible en: <http://biblio.unicen.edu.ar/download/sam99/indice/trabajos/titu52.pdf>
18. Padrón S., Berberena, O., *Herramientas y Datos de Corte*, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 2004.
19. Padrón, S., *Curso de Máquinas Herramienta*, <http://pedu.fim.uclv.edu.cu/course/view.php?id=31>
20. Quiza, R. (2004), *Optimización Multiobjetivos del Proceso de Torneado*. Tesis de Doctorado. Cuba, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías Química y Mecánica, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
21. Sandvik Coromant (2006), "Productividad", en *Sandvik Coromant*, disponible en: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey_2006/spa/Page4_11.pdf
22. 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
23. Sandvik, Coromant (2007). "Clave de códigos para plaquitas y portaplaquitas. Extracto de ISO 1832-1991", disponible en: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/CoroKey_2007/spa/013-025.pdf
24. Toscano, J. (2002), *Procedimientos para el aseguramiento de la intercambiabilidad en el diseño y la elaboración*. Tesis de Doctorado. Cuba, Departamento de Procesos Tecnológicos, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

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: Resumen de vástagos (portaplacas) recomendados para torneado exterior.

Paso	ϕ	Vástago
Cilindrado	95°	PCLN R/L
		SCLC R/L
		MWLN R/L
Cilindrado de rebajes	93°	PDJN R/L
		MTJN R/L
		MVJN R/L
		SCJC R/L
		SVJB R/L
		SVUB R/L
Cilindrado	75°	PSBN R/L
Cilindrado	45°	PSSN R/L
		STDC R/L
Cilindrado	91°	STGC R/L
Cilindrado de rebajes	-	SRDC R/L

Tabla 2: Factor de corrección (K_T) según vida útil de la herramienta.

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

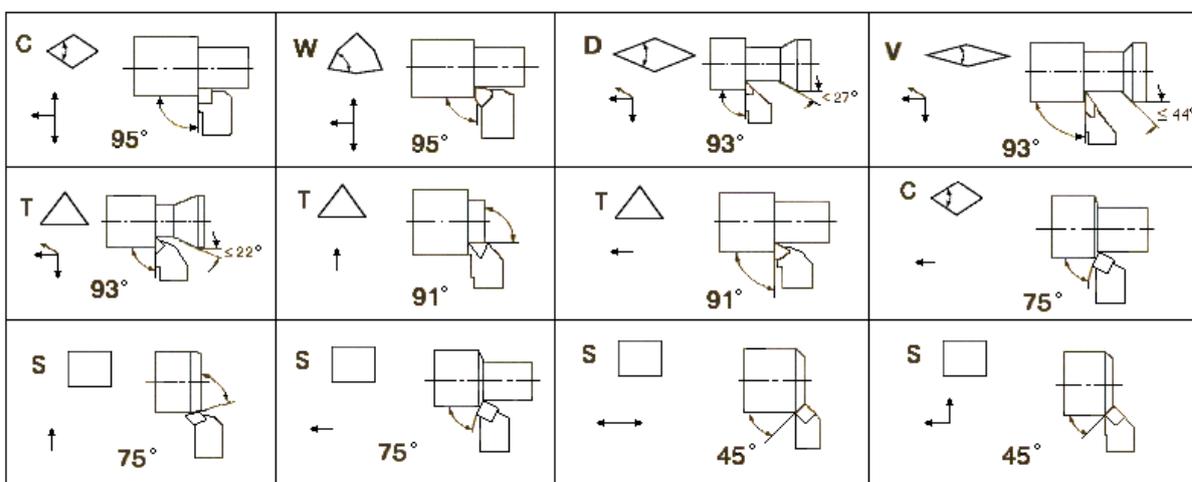


Fig. a.1: Formas de plaquitas (f_p) y ángulos de posición (ϕ) [11].

Tabla 3: Regímenes para torneado exterior de desbaste medio para acero (ISO-P), con dureza HB 180, y carburo cementado GC 4025.

Código de placa	Profundidad de corte $a_p \leq$ [mm]	Radio de la punta r_ϵ [mm]	Avance f_n [mm/rev]	Velocidad de corte V [m/min]
CNMG 120408 PM	5.5	0.8	0.3	330
DNMG 110408 PM	5.0			
SNMG 120408 PM	6.0			
WNMG 060408 PM	3.0			
CNMG 120412 PM	5.5	1.2	0.35	310
DNMG 110412 PM	5.0			
SNMG 120412 PM	6.0			
WNMG 080412 PM	4.0			

Tabla 4: Factor de corrección (Kd) según la dureza.

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	--

Tabla 5: Fuerza de corte específica para torneado.

ISO	Material		Fuerza de corte específica kc 0,4 [N/mm ²]
P Acero	Acero no aleado	C = 0,1 – 0,25 % C = 0,25 – 0,55 % C = 0,55 – 0,80 %	2000 2100 2200
	Acero de baja aleación (Elementos de aleación ≤ 5 %)	No endurecido Acero para rodamientos Endurecido y templado Endurecido y templado	2150 2300 2550 2850
	Acero de alta aleación (Elementos de aleación > 5 %)	Recocido Acero de herramienta endurecido	2500 3900
	Acero fundido	No aleado De baja aleación (≤ 5 %) De alta aleación (> 5 %)	2000 2100 2650
M Acero Inoxidable	Acero inoxidable - Barras / forjadas Ferrítico / martensítico	No templado Templado por precipitación Templado	2300 3550 2850
	Acero inoxidable - Barras / forjadas Austenítico	Austenítico Templado por precipitación Super - austenítico	2300 3550 2950
	Acero inoxidable - Barras / forjadas Austenítico / ferrítico (Dúplex)	No soldable ≥ 0,05 % C Soldable < 0,05 % C	2550 3050
	Acero inoxidable Fundido Ferrítico / martensítico	No templado Templado por precipitación Templado	2100 3150 2650
	Acero inoxidable – Fundido Austenítico	Austenítico Templado por precipitación Super - austenítico	2200 3150 2700
	Acero inoxidable – Fundido Austenítico – ferrítico (Dúplex)	No soldable ≥ 0,05 % C Soldable < 0,05 % C	2250 2750
K Fundición	Fundición maleable	Ferrítica (de viruta corta) Perlítica (de viruta larga)	940 1100
	Fundición gris	Baja resistencia a la tracción Alta resistencia a la tracción	1100 1150
	Fundición Nodular SG	Ferríticas Perlíticas Martensíticas	1050 1750 2700

Anexo III:

Datos de los certificados técnicos de las Máquinas – Herramienta utilizadas.

Torno 16K20

Altura de centro sobre bancada: 245 mm

Distancia entre puntos: 2000 mm

Potencia del motor: 10 kw

Rendimiento: 75 %

Frecuencia de rotación del Husillo (rpm): 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Avance longitudinal (mm/rev): 0.05; 0.06; 0.075; 0.09; 0.1; 0.125; 0.15; 0.175; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 2.0; 2.4; 2.8.

Avance transversal (mm/rev): 0.025; 0.03; 0.0375; 0.045; 0.05; 0.0625; 0.075; 0.0875; 0.1; 0.125; 0.15; 0.175; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 1.0; 1.2; 1.4.

Torno 1K62

Altura de centro sobre bancada: 200 mm

Distancia entre puntos: 1400 mm

Potencia del motor: 10 kw

Rendimiento: 75 %

Frecuencia de rotación del Husillo (rpm): 12.5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 y 2000.

Avance longitudinal (mm/rev): 0.070; 0.074; 0.084; 0.097; 0.11; 0.12; 0.13; 0.14; 0.15; 0.17; 0.195; 0.21; 0.23; 0.26; 0.28; 0.30; 0.34; 0.39; 0.43; 0.47; 0.52; 0.57; 0.61; 0.70; 0.78; 0.87; 0.95; 1.04; 1.14; 1.21; 1.4; 1.56; 1.74; 1.9; 2.08; 2.28; 2.42; 2.8; 3.12; 3.48; 3.8; 4.16.

Avance transversal (mm/rev): 0.035; 0.037; 0.042; 0.048; 0.055; 0.06; 0.065; 0.07; 0.074; 0.084; 0.097; 0.11; 0.12; 0.13; 0.14; 0.15; 0.17; 0.195; 0.23; 0.26; 0.28; 0.30; 0.34; 0.39; 0.43; 0.47; 0.52; 0.57; 0.6; 0.7; 0.78; 0.87; 0.95; 1.04; 1.14; 1.21; 1.4; 1.56; 1.74; 1.9; 2.08.

Torno 1A616

Altura de centro sobre bancada: 180 mm

Distancia entre puntos: 710 mm

Potencia del motor: 4,5 kw

Rendimiento: 80 %

Frecuencia de rotación del Husillo (rpm): 11.2; 18; 28; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560; 710; 900; 1120; 1400; 1800; 2240.

Avance longitudinal (mm/rev): 0.08; 0.114; 0.13; 0.146; 0.155; 0.193; 0.16; 0.228; 0.26; 0.292; 0.31; 0.39; 0.32; 0.455; 0.52; 0.585; 0.62; 0.78; 0.65; 0.91; 1.04; 1.17; 1.24; 1.56.

Avance transversal (mm/rev): 0.08; 0.114; 0.13; 0.146; 0.155; 0.193; 0.16; 0.228; 0.26; 0.292; 0.31; 0.39; 0.32; 0.455; 0.58; 0.585; 0.62; 0.78; 0.65; 0.91; 1.04; 1.17; 1.24; 1.56.

Torno SV-63A

Altura de centro sobre bancada: 360 mm

Distancia entre puntos: 2000 mm

Potencia del motor: 10 kw

Rendimiento: 80 %

Frecuencia de rotación del Husillo (rpm): 8; 10.5; 14; 16; 19; 21.2; 25; 28; 33.5; 37.5; 45; 50; 60; 67; 80; 90; 106; 118; 140; 150; 190; 212; 250; 280; 335; 375; 450; 500; 670; 900; 1180.

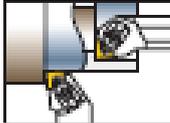
Avance longitudinal (mm/rev): 0.109; 0.125; 0.141; 0.156; 0.172; 0.187; 0.219; 0.25; 0.281; 0.312; 0.344; 0.375; 0.437; 0.5; 0.562; 0.625; 0.687; 0.75; 0.875; 1.0; 1.125; 1.375; 1.5; 1.750; 2.0; 2.25; 2.5; 2.75; 3.0; 3.5; 4.0; 4.5; 5.0; 5.5; 6.0.

Avance transversal (mm/rev): 0.064; 0.07; 0.077; 0.085; 0.096; 0.11; 0.126; 0.14; 0.154; 0.171; 0.192; 0.22; 0.256; 0.28; 0.38; 0.342; 0.384; 0.44; 0.51; 0.56; 0.615; 0.685; 0.77; 0.88; 1.025; 1.136; 1.23; 1.37; 1.54; 1.76; 2.05; 2.24; 2.47; 2.74; 3.08; 3.53.

Anexo IV:

Código de plaquitas para torneado. [23]

CILINDRADO



Herramientas para tornear

Clave de códigos para plaquitas y portaplaquitas
Extracto de ISO 1832-1991

