



Universidad de Valladolid



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo
de Producto

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Autor: **Amor Alcón, Gonzalo.**

Tutores: **Rodríguez Ovejero, Quirino.**

Reboto Rodríguez, Enrique.

Departamento de Ciencia de los Materiales

IM / EGI / ICGF / IM / IPF

Valladolid, Julio 2018.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

ABSTRACT

En este trabajo se presenta una evolución histórica de las máquinas-herramienta, centrándose en el torno y la fresadora, siguiendo los diferentes niveles de automatización determinados por George. H Amber y Paul S. Amber en su libro "Anatomy of Automation". Esta evolución se trata desde el punto de vista de las necesidades que van surgiendo a lo largo de la historia y cómo van cubriéndose según avanza la tecnología de las máquinas-herramienta y la técnica.

Después de la evolución histórica se realiza una descripción del torno y la fresadora, tratando sus diferentes componentes, tipos de máquinas, su funcionamiento y sus posibilidades de trabajo.

Este trabajo finaliza con un análisis de la evolución ergonómica de las máquinas-herramienta, enfocado al operario encargado de su utilización, desde las más primitivas hasta las máquinas de hoy en día.

PALABRAS CLAVE

Automatización – Máquinas Herramienta – Torno – Fresadora – Ergonomía

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Índice

1. Introducción.	11
2. Evolución Histórica de las Máquinas-Herramienta.	
Los Niveles de Automatización.	15
2.1. Categoría A (0).	18
2.2. Categoría A (1).	27
2.3. Categoría A (2).	47
2.4. Categoría A (3).	55
2.5. Categoría A (4).	61
2.6. Categoría A (5).	65
2.7. Categoría A (6).	67
2.8. Categoría A (7), A (8) y A (9).	69
3. El Torno.	71
3.1. Arquitectura del torno.	75
3.1.1. Bancada.	76
3.1.2. Cabezal.	78
3.1.3. Carro Portaherramientas.	80
3.1.4. Contracabezal	82

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

3.1.5. Elementos Accesorios.	83
3.1.5.1. Lunetas.	83
3.1.5.2. Elementos Copiadores.	85
3.2. Transmisión de Movimiento.	87
3.3. Clasificación de los Tornos.	91
3.3.1. Torno Paralelo u Horizontal.	91
3.3.2. Torno vertical.	94
3.3.3. Torno Semiautomático o Revólver.	95
3.3.4. Torno Automático.	97
3.3.5. Torno CNC.	100
3.4. Trabajos del Torno.	103
4. La Fresadora.	113
4.1. Arquitectura de la Fresadora.	119
4.1.1. Bancada.	121
4.1.2. Carnero o Puente Deslizante.	121
4.1.3. Ménsula.	122
4.1.4. Mesa de Trabajo.	122
4.1.5. Husillo Principal.	123

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

4.1.6.	Árbol Portaherramientas o Portafresas.	124
4.1.7.	Cabezal Universal.	125
4.1.8.	Elementos Accesorios.	125
4.1.8.1.	Plato divisor.	126
4.2.	Transmisión de Movimiento.	129
4.2.1.	Fresadora Horizontal Monopolea.	129
4.2.2.	Fresadora Vertical Conopolea.	131
4.3.	Clasificación de las Fresadoras.	133
4.3.1.	Según la Orientación de su Eje Principal respecto a la Mesa de Trabajo.	133
4.3.1.1.	Horizontal.	133
4.3.1.2.	Vertical.	135
4.3.1.3.	Universal.	137
4.3.2.	Según su Número de Ejes.	139
4.3.2.1.	Fresadoras de Tres Ejes.	140
4.3.2.2.	Fresadoras de Cuatro Ejes.	140
4.3.2.3.	Fresadoras de cinco ejes.	141

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

4.3.3. Fresadoras Especiales.	142
4.3.3.1. Fresadoras Copiadoras.	142
4.3.3.2. Fresadoras de Puente Móvil.	144
4.3.4. Fresadoras CNC.	145
4.3.5. Centros de Mecanizado.	147
4.4. Trabajos de la Fresadora.	149
5. Evolución Ergonómica de las Máquinas-Herramienta.	157
5.1. Evolución Ergonómica.	159
5.2. Ergonomía Actual en el Puesto de Trabajo.	164
5.3. Seguridad y Prevención de Riesgos y Accidentes.	165
5.3.1. Mandos.	165
5.3.2. Elementos de Transmisión.	167
5.3.3. Zona de Trabajo del Torno.	169
5.3.4. Zona de Trabajo de la Fresadora.	170
5.3.5. Ropa de Trabajo y Protección Personal.	171
6. Bibliografía.	173

1. Introducción.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Las máquinas-herramienta se pueden definir como máquinas estacionarias y motorizadas que se utilizan para dar forma o mecanizar materiales sólidos, especialmente metales. El modelado se consigue eliminando parte del material de la pieza o estampándola con una forma determinada. Son la base de la industria moderna y se utilizan directa o indirectamente para fabricar piezas de máquinas y herramientas.

A lo largo de la historia, las máquinas-herramienta han sufrido una constante evolución, apareciendo nuevas familias y tipos de forma constante y mejorando los componentes de las ya existentes. Esto se debe a que el hombre siempre ha ansiado la evolución tecnológica y técnica, buscando el progreso, tratando de alcanzar objetivos superiores a los anteriores, que en este ámbito, se trata de la realización de nuevos trabajos en las máquinas-herramienta, la mejora y perfeccionamiento de los procesos conocidos, la obtención de calidades cada vez más finas, buscando la normalización de los componentes que permita la intercambiabilidad de piezas entre máquinas y fabricantes.

Esta evolución está marcada por la liberación del operario de determinadas tareas manuales, tratando de aumentar la seguridad y la ergonomía, al mismo tiempo que se aumentan las prestaciones de las máquinas y sus capacidades en cuanto a volumen de producción, reducción de tiempos, reducción de costos, etc.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

2. Evolución Histórica de las Máquinas-Herramienta. Los Niveles de Automatización.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

El libro “Anatomía de la Automatización”, escrito por George H. Amber y Paul S. Amber, cuyo título original es “Anatomy of Automation”, fue publicado en 1962, presentando en él su “Escala patrón de la automatización”. Esta clasificación está fundamentada en la idea de que para llevar a cabo cualquier trabajo son necesarias energía e información, pudiendo aportarlas el ser humano o una máquina que lo sustituya. Por lo tanto, la idea subyacente en la tabla es que cada nivel de automatización está en consonancia con un atributo humano que la máquina reemplaza, ya sea por mecanización o automatismo. Los atributos reemplazados serían energía, destreza, diligencia, juicio, evaluación, aprendizaje, razonamiento, creatividad y dominación.

TABLA: Escala de automatización

Categoría	Atributo Humano Sustituido
A (0)	<i>Ninguno</i>
A (1)	<i>Energía: se reemplazan los músculos</i>
A (2)	<i>Destreza: alimentación automática</i>
A (3)	<i>Diligencia: sin feedback o sin retorno de información</i>
A (4)	<i>Juicio: retorno de información posicional o feedback posicional</i>
A (5)	<i>Evaluación: feedback sobre el proceso</i>
A (6)	<i>Aprendizaje: por experiencia</i>
A (7)	<i>Razonamiento: intuición; relación causa-efecto</i>
A (8)	<i>Creatividad: ejecuta diseños sin ayuda</i>
A (9)	<i>Dominación: supermáquina, manda en otras</i>

Fuente: Amber & Amber, Anatomy of Automation, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

2.1. CATEGORÍA A (0)

En consecuencia, el primer nivel de automatización que se presenta es el nivel A (0), en el que no fue mecanizado ningún atributo humano. Este nivel cubre desde la edad de piedra hasta la edad de hierro. Las máquinas-herramienta pertenecientes a este nivel de automatización son las más primitivas, siendo así el caso de los tornos utilizados en torno a los años 1000 y 850 a.C, los cuáles eran máquinas toscas utilizadas por los etruscos para fabricar cuencos. Por ello el torno es una de las primeras máquinas que se inventaron y su evolución es destacable a lo largo de la historia.

Desde la edad de piedra, el fundamento de la evolución tecnológica de las máquinas-herramienta ha sido el binomio herramienta-máquina. La herramienta ha sido, durante siglos, una extensión de la mano del ser humano hasta que aparecieron las primeras máquinas, las cuales eran muy rudimentarias pero ayudaron y facilitaron su utilización. En épocas pasadas, a pesar de no existir las máquinas-herramienta propiamente dichas, llegaron a aparecer tanteos de máquinas que sirviesen para poder realizar operaciones de torneado y taladrado.

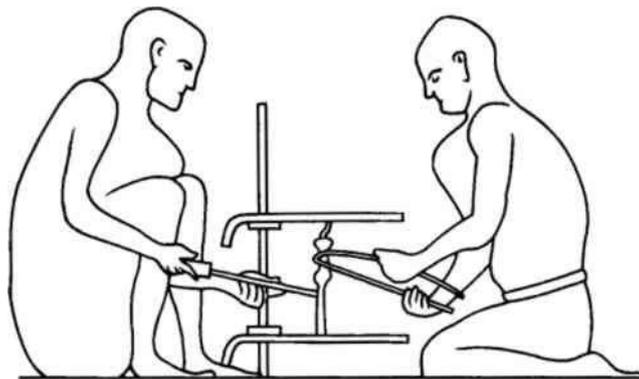
Cuando se va a tratar el tema de la evolución y el desarrollo de las máquinas-herramienta, desde la aparición de las primeras máquinas más rudimentarias hasta la el nivel tecnológico alcanzado a día de hoy, se ve necesario fijar la aparición y el desarrollo de la tornillería. Para encontrar los primeros indicios de elementos roscados es necesario remontarse a la prehistoria. Todo apunta a que el origen del roscado recae sobre las operaciones de taladrado con movimiento alternativo mediante cuerdas. Esta técnica consistía en enrollar y desenrollar repetidamente una cuerda en un palo vertical, de modo que ésta iba realizando unas muescas helicoidales en forma de filetes que cumplían de función de tornillo, mientras que la cuerda cumplía la función de tuerca.

Tradicionalmente, la invención del tornillo ha sido atribuida al matemático griego Arquitas de Tarento (siglo IV a.C.), fiel seguidor de Pitágoras. Por su parte, en el siglo III a.C. el famoso Arquímedes desarrolló el tornillo sinfín para darle aplicación en el bombeo de líquidos. Por lo tanto, la utilización de tornillería ha estado siempre presente, por ejemplo, en las presas destinadas a la fabricación de aceite o vino se utilizaban unos tornillos enormes de madera. Además de tornillería fabricada en madera, también estaba presente la tornillería metálica primitiva, cuya fabricación consistía en un ingenioso método utilizando un alambre. Consistía en enrollar el alambre en espiral en torno a una barra metálica y, al forjar un material más blando en torno a él se obtenía una especie de "tuerca" con la que se roscaba la barra metálica obteniendo el tornillo.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

A pesar de su presencia a lo largo de la historia, no fue hasta el siglo XVI que empezó a generalizarse el uso de tornillos y tuercas (normalmente fabricados en madera) como elementos de unión y, como se comentará más adelante, no se comenzaron a producir masivamente hasta el siglo XIX.

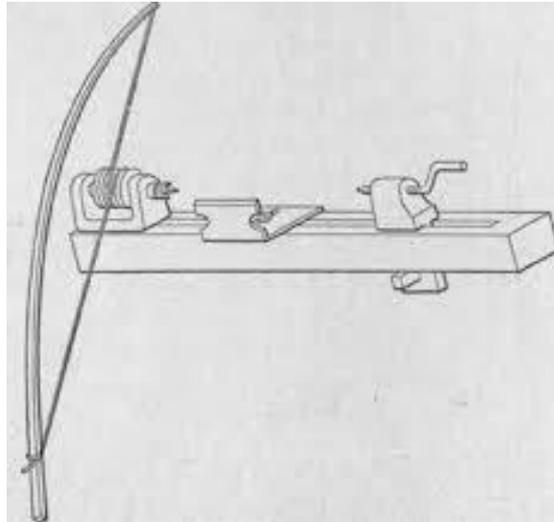
Un relieve hallado en la tumba de Petosiris, es considerada la representación más antigua conservada de los tornos más primitivos. En él se puede apreciar a dos operarios, que se reparten las tareas necesarias para llevar a cabo el torneado. Uno de los operarios debía apoyar la herramienta sobre un soporte, y el otro operario, por su parte, debía hacer girar la pieza a mecanizar. El giro de la pieza se producía gracias a la acción de los dos cabos de una cuerda arrollada a uno de los vástagos que al tirar de ellos alternativamente se generaba la fuerza para hacer girar la pieza. La problemática de este sistema consistía en que el giro producido era de vaivén, por lo que el corte se realizaba exclusivamente cuando el giro se producía en la dirección del filo de la herramienta.



Relieve mostrando uno de los tornos más primitivos.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

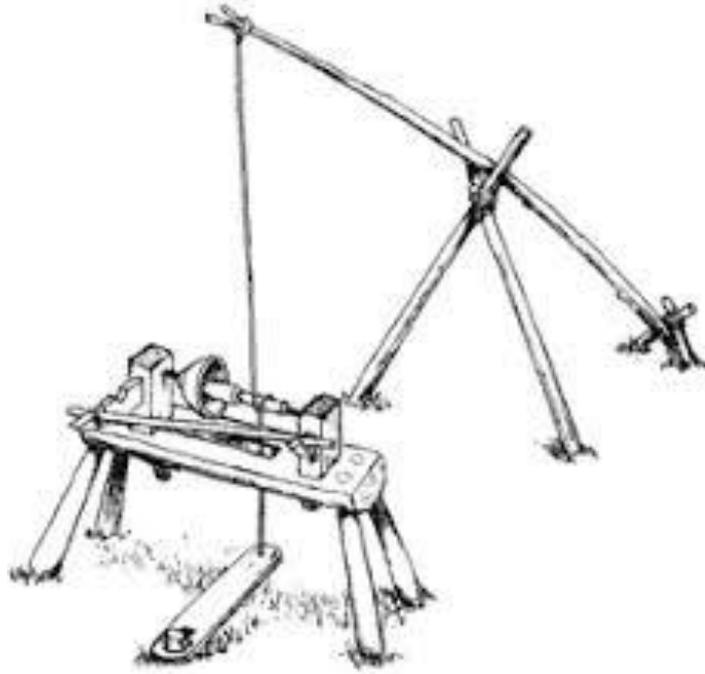
De este modo, surgió el “arco de violín”. Este instrumento, todavía utilizado residualmente en la actualidad en algunos países, consta de un arco y una cuerda gracias a los cuales fue el primer instrumento en conseguir crear un movimiento de rotación alternativo.



Torno accionado con arco de violín.

El torno accionado con arco de violín junto a otros tornos utilizados para mecanizar, sobre todo madera, antes de la aparición del torno de pedal y pértiga, no permitían el manejo de la herramienta con las dos manos.

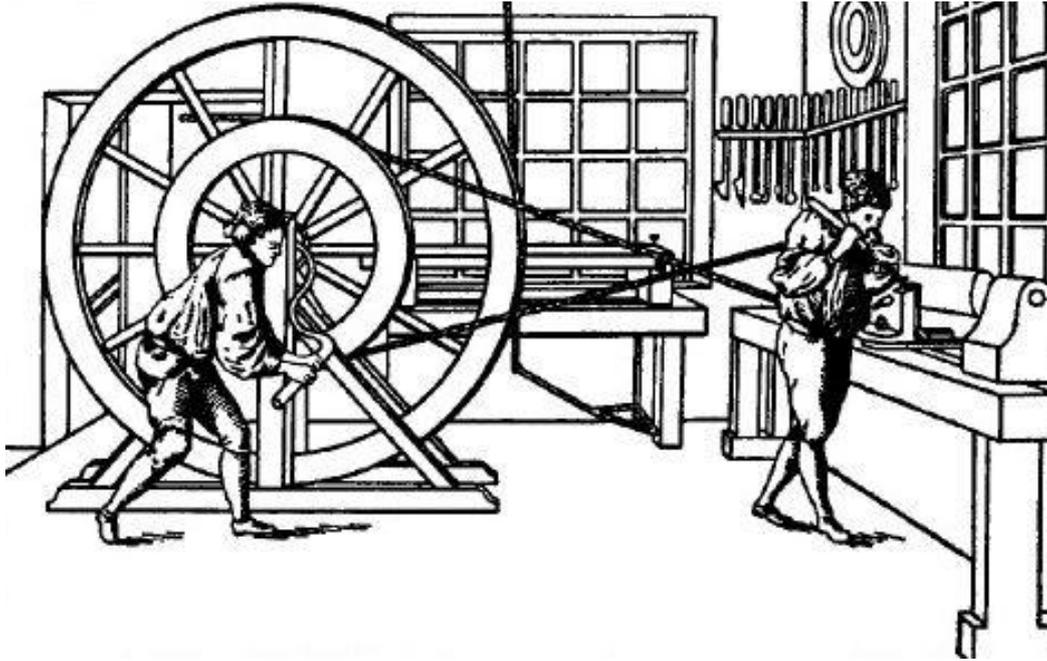
Ya en torno al año 1250, para tratar de dar solución a este problema se produjo la aparición del torno de pedal y de pértiga flexible, el cual era accionado con el pie, suponiendo una grandísima innovación respecto a lo visto hasta ese momento, como por ejemplo el torno accionado con arco de violín, pues esta nueva máquina permitía tener las manos libres facilitando así el manejo de la herramienta de torneado y, por lo tanto permitiendo una mejora de la calidad y la precisión de los resultados.



Torno de pedal y pértiga flexible.

Tal fue el avance y la innovación que supuso el torno de pedal y pértiga que, hasta el siglo XV no se producirían nuevos avances. De hecho, a principios de este siglo se consiguió dotar al torno de rotación continua gracias a un sistema de transmisión por correa. Este sistema requería que la fuerza impulsora fuese suministrada al hacer girar, a mano, una rueda de elevado diámetro mediante una manivela. Dicha rueda llevaba el nombre de “la gran rueda” y estaba enlazada con el vástago que portaba la pieza a través de una correa cruzada.

El uso de este sistema no fue muy extendido pues, como se aprecia en la siguiente imagen, requería de un esfuerzo humano muy elevado al tener que ser dos operarios los que estuviesen involucrados en su funcionamiento. Uno de los operarios debía accionar la manivela para provocar el movimiento de la rueda y ésta, a su vez, provocaría el movimiento de giro de la pieza a trabajar por el segundo operario, que debería mecanizar a mano dicha pieza sosteniendo la herramienta en las manos.



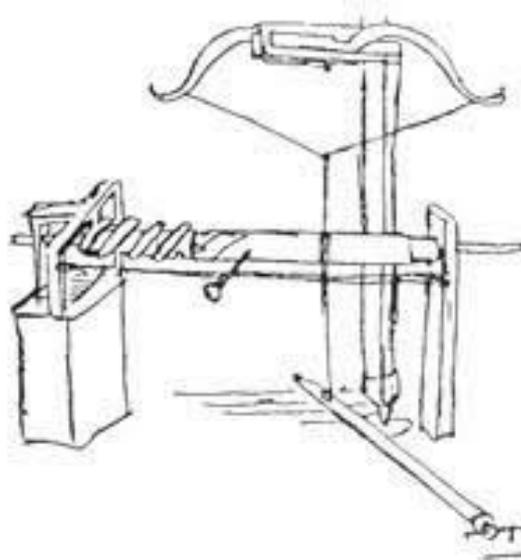
Torno con sistema de transmisión por correa.

A pesar de que no fuese un sistema muy extendido, éste presentaba una ventaja en cuanto a provocar el giro de la pieza. En este sistema la rueda grande habitualmente se encontraba llena de algún elemento (normalmente de arena) para darle un mayor peso, de modo que pudiese aprovecharse su inercia en el movimiento para evitar tener que estar accionando la manivela sin pausa.

A finales del mismo siglo, alrededor del año 1480, en el torno de pedal se combinó éste con un vástago y una biela. De este modo, introduciendo este mecanismo, apareció el torno de accionamiento continuo que hizo necesario el uso de una biela-manivela combinada con un volante inercial para evitar los puntos muertos al subir y al bajar.

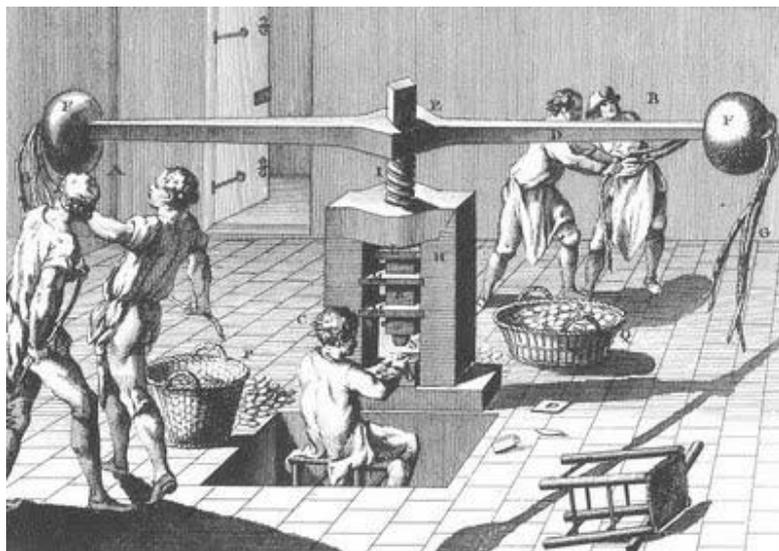
Leonardo da Vinci, también a finales del siglo XV, llegó a trabajar en una variante del torno de pedal y pértiga que se hace innovadora y realizó un boceto de un torno de pedal y doble pértiga. Lamentablemente, debido a la falta de medios existentes en la época, no llegó a fabricarse. Este boceto estaba contenido en su “Códice Atlántico”; este escrito contenía, además, bocetos de otras variaciones de tornos que tampoco pudieron llegar a fabricarse pero que sirvieron de inspiración y orientación para desarrollos posteriores.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Boceto de un torno de pedal y doble pértiga de Leonardo da Vinci.

Así, siguiendo con su afán por la innovación y el avance tecnológico, para el año 1520 da Vinci ya había concluido los diseños de las tres principales máquinas de la época para la acuñación de monedas, siendo éstas la laminadora, la recortadora y la prensa balancín, siendo esta última ejemplo e inspiración para la generalización de dicha técnica de acuñado, ya en el siglo XVII, por Nicolás Briot en el año 1626.

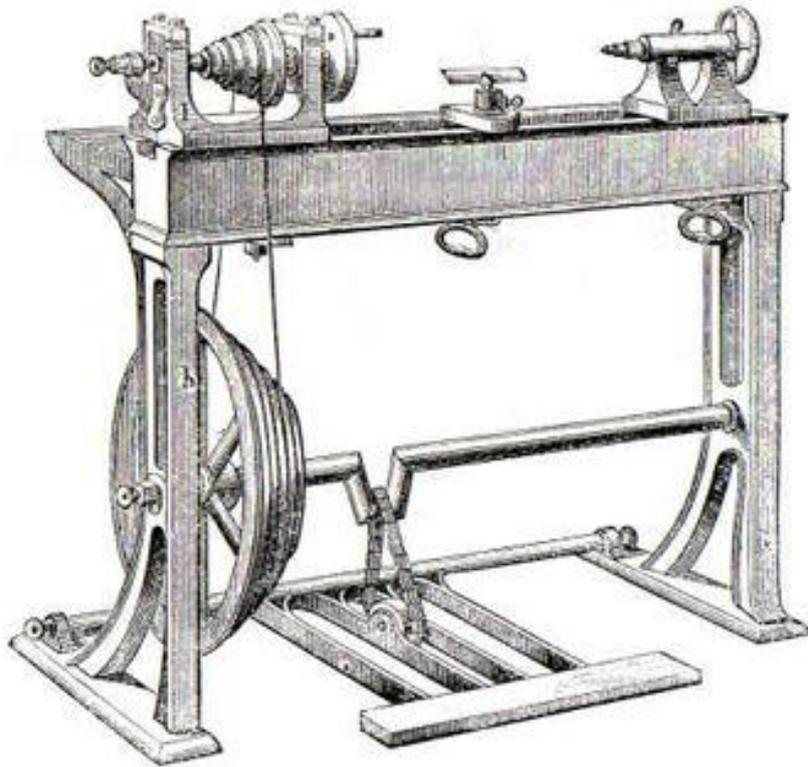


Prensa balancín de Nicolás Briot, 1626.

Leonardo da Vinci, además, invirtió gran cantidad de tiempo en el cálculo de relaciones entre engranajes y las formas ideales de los dientes de los mismos. Estos estudios de da Vinci transcurrieron sobre todo al iniciarse la fabricación de engranajes metálicos (sobre todo de latón) destinados a formar parte de instrumentos del campo de la astronomía y de los relojes mecánicos.

A mediados del siglo XVI, en torno al año 1560, se le introdujeron una serie de mejoras al torno de giro continuo alcanzado en el anterior siglo. Estas mejoras se redujeron, básicamente, a la introducción de algunos elementos de fundición como la rueda, los soportes del eje principal, el contrapunto y un apoyo para la herramienta. No fue hasta algunos años más tarde que se introdujo el mandril, consiguiendo así sujetar los objetos, fundamentalmente cilíndricos, que fuesen a trabajar en rotación. Gracias a estas introducciones se comenzó a poder mecanizar y a trabajar ya con piezas de acero (mayoritariamente pequeñas), aunque tardó varios años en convertirse en una práctica generalizada debido a que en la época se señalaba que existían muy pocos hombres que tuviesen capacidad para mecanizar o tornear un material como el hierro.

A finales del siglo XVI se dio uno de los avances más importantes en la evolución de las máquinas herramienta, pues se consiguió dotar al giro de la pieza de diferentes velocidades. Para conseguirlo se introdujo un nuevo sistema de ruedas o de poleas en los tornos de pedal. El giro de la pieza se lograba a través del ajuste de una correa en contacto con un primer juego de poleas que compartían eje con la pieza y, con un segundo juego de poleas que formaba parte del sistema de biela-manivela accionado por el pedal. De este modo, el tornero al accionar el pedal provocaba el movimiento de las poleas obteniendo diferentes velocidades según la disposición de la correa, es decir, de la combinación de poleas superiores e inferiores escogida.



Torno de pedal con sistema de poleas.

Tras los avances e innovaciones que se dieron en el siglo XV y XVI, se pensaba que ya se daban todos los requisitos para que se produjese un fuerte desarrollo tecnológico, sin embargo, éste fue prácticamente inexistente hasta, aproximadamente, mediados del siglo XVII cuando se enuncia el principio de la prensa hidráulica, publicado en el “Tratado del equilibrio de los líquidos” por Blaise Pascal. En dicho tratado, el físico y matemático francés enunciaba que “la presión ejercida sobre un líquido confinado y en reposo se transmite integralmente a todos los puntos de éste”, es decir, que si se aplica una presión a cierto líquido encerrado y en una situación estática, esa presión se transmite en todas las partículas del fluido de manera uniforme.

A pesar del gran descubrimiento que suponía el principio de Pascal, no fue hasta un siglo más tarde que se decidió aplicarlo para usos industriales como el acuñado de monedas. La prensa hidráulica fue beneficiándose de los avances técnicos y tecnológicos que iban aconteciendo a lo largo de los años, aumentando así alcanzar cada vez presiones más altas, consiguiendo adaptarse a trabajos cada vez más duros y, no fue hasta mediados del siglo XIX que no se pudo realizar trabajos sobre hierro.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

2.2. CATEGORÍA A (1)

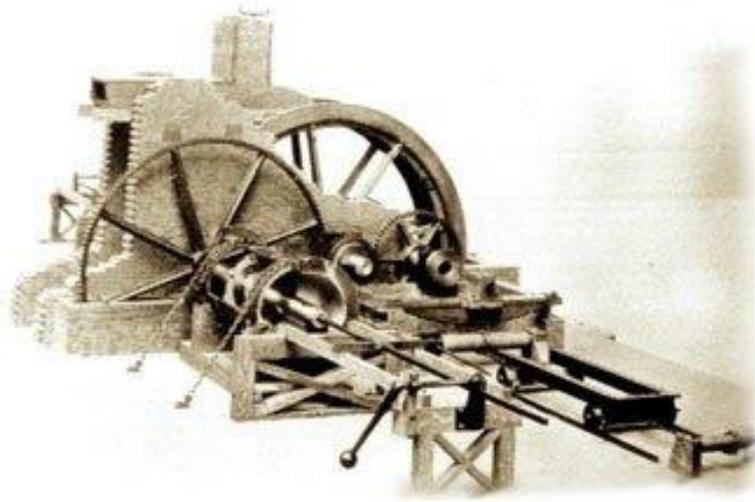
Esta segunda categoría de los niveles de automatización abarca aproximadamente desde finales del siglo XVIII hasta el siglo XIX completo. En esta etapa ya comenzaron a actualizarse las máquinas, desarrollando además máquinas nuevas que realizaran trabajos automatizados. El principal objetivo era implementar las máquinas en las fábricas para que la producción fuera más eficiente y por lo tanto generar más ganancias, por ejemplo con el concepto de partes intercambiables.

A lo largo del siglo XVIII, prácticamente todos los esfuerzos del hombre estaban orientados a la obtención de una nueva fuente de energía. Ya entre finales del siglo XVII y principios del XVIII se dio a conocer el principio fundamental de la máquina de vapor, para que a los pocos años se fabricasen máquinas de vapor muy rudimentarias, con el objetivo de achicar agua de las minas inglesas. A pesar de ello, fue James Watt quien diseñó y fabricó definitivamente una máquina de vapor con el objetivo de ser utilizada industrialmente.

La concepción de la idea de máquina de vapor de James Watt se dio a conocer en torno al año 1765, sin embargo, no consiguió fabricar una máquina de vapor para uso industrial que fuese válida hasta 1780. Esto se debe a que las mandrinadoras existentes en ese momento, las cuales Watt utilizaba para cilindrar interiormente los cilindros, estaban destinadas en un principio para el mecanizado de cañones (formaban parte de las primeras máquinas-herramienta motorizadas) por lo que las tolerancias obtenidas eran demasiado grandes sin llegar a adecuarse a las exigencias. Por estos motivos, James Watt encargó John Wilkinson la invención de una nueva mandrinadora.

Desde aproximadamente el año 1775, se puede concretar gracias a la contribución del industrial inglés John Wilkinson, la aparición del siguiente nivel de automatización A (1) al reemplazar el atributo humano de la energía, pues se prescindió del esfuerzo muscular por parte de la persona que fuese a operar con la máquina. Éste innovador inglés desarrolló una mandrinadora horizontal de precisión con la cual se logró el mecanizado de superficies cilíndricas internas. Gracias a esta innovación se consiguió fabricar máquinas de vapor con cilindrados obtenidos con un acabado mucho mejor, consiguiendo unas tolerancias mucho más ajustadas, de modo que se logró un superior rendimiento energético. Tal fue el logro que las mandrinadoras modernas se han basado en la misma concepción que la que seguía la mandrinadora horizontal de Wilkinson.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Mandrinadora horizontal de John Wilkinson, 1775.

Esta máquina era técnicamente más avanzada y contaba con una precisión mucho mayor que las mandrinadoras vistas hasta su aparición. Al igual que sus predecesoras, era accionada mediante un rueda hidráulica, pero Wilkinson había introducido un cabezal giratorio desplazable, algo realmente ingenioso pues en esta máquina se consiguió alcanzar un error máximo del cual se decía que era “del espesor de una moneda de seis peniques en un diámetro de 72 pulgadas”. Semejante tolerancia, hoy en día puede parecer demasiado grosera y, aunque en aquel momento tampoco era demasiado reducida, era la suficiente para permitir un ajuste, en las máquinas de vapor, entre pistón y cilindro que respaldase el hermetismo. El mismo Wilkinson aseguraba que fue capaz de mandrinar un cilindro de 145 centímetros de diámetro, con la precisión y tolerancia antes mencionada se puede intuir la importancia y repercusión de tal avance para la época.

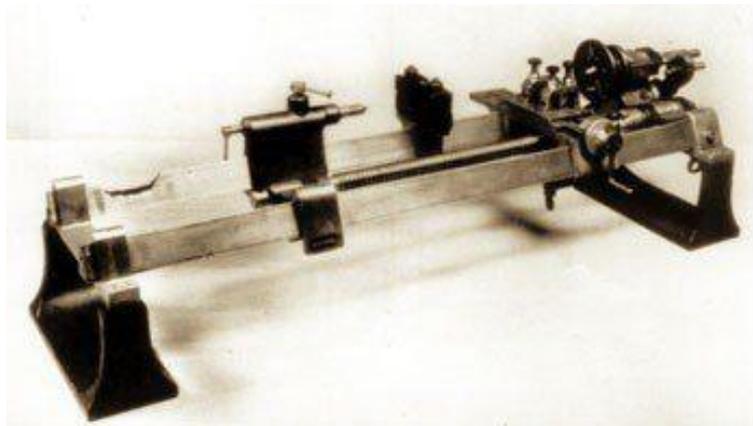
Por lo tanto, la máquina de vapor de Watt supone el comienzo de la primera revolución industrial dando lugar a cambios de gran trascendencia, tanto en el campo de la tecnología como en la economía y en la sociedad. Watt consiguió la construcción de una máquina que alcanzaba potencias y una regularidad en su funcionamiento totalmente desconocidas en años anteriores y, además logró eliminar la dependencia sobre un lugar concreto. A pesar de ser algo tan trascendental, no se hubiese llegado a construir si no se hubiese dado la evolución técnica de la máquina-herramienta necesaria para ello.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Debido a que en los siglos XVII y XVIII los relojes e instrumentos científicos se fabricaban utilizando tornos y máquinas de roscar de gran precisión, cabe destacar la construcción de un torno de roscar en 1777 por un inglés, Jesé Ramsden. El roscado con torno se fundamentaba en la combinación del movimiento rotatorio aplicado a la pieza con el movimiento de avance longitudinal de la herramienta.

Esta máquina herramienta, era accionada a mano, gracias a una manivela, y consistía en un porta-herramientas, situado sobre un soporte de perfil triangular, que se hace resbalar longitudinalmente hacia una pieza a roscar, sujeta entre puntos, que al mismo tiempo se hace rotar sobre su eje mediante un sistema de engranajes. A partir de este primer torno de roscar, el roscado mediante torno alcanzó su máximo desarrollo durante el siglo XVIII.

El desarrollo industrial continuó con el desarrollo de una nueva máquina herramienta, en torno a 1797, y nuevamente, por un innovador e inventor británico, Henry Maudslay, uno de los principales fabricantes de máquinas-herramienta. Maudslay, además, fue de los primeros en abordar la necesidad de la fabricación de máquinas-herramienta a las cuales se dotase de una mayor precisión para poder fabricar otras máquinas-herramienta. Su aportación sirvió de precedente al torno actual; se trataba de un torno paralelo (el primer torno construido en metal en su totalidad) al que incorporó un portaherramientas deslizante.



Torno paralelo con porta-herramientas deslizante de Henry Maudslay, 1797.

El desarrollo de esta máquina herramienta no terminó ahí, alrededor de seis años más tarde fueron añadidos el husillo y el cambio de velocidades, lo cual fue toda una revolución pues permitió el tallado de roscas. La introducción del husillo patrón, que es la parte que permite el giro de la pieza a mecanizar, en colaboración con el estadounidense David Wilkinson, supuso una mejora respecto al torno industrial diseñado por Jacques de Vaucanson, inventor francés que incorporó, en 1780, un

porta-herramientas que avanzaba accionando un tornillo manual. Con el nuevo sistema de husillo se pudo dar a la herramienta de corte una velocidad de avance constante. Además, se dice que les llevó alrededor de diez años llegar a un diseño satisfactorio de husillo patrón.

La fabricación de la rosca en tornillos era el objetivo primario del torno paralelo de Maudslay, pero el deseo de éste consistía en convertir a estos tornillos en piezas intercambiables. Por lo tanto, para cumplir las especificaciones y conseguir la intercambiabilidad en los tornillos, era necesario poder medirlos con cierta precisión a la hora de acabar un ciclo de trabajo y tener una referencia de partida. Para conseguirlo fabricó un micrómetro para su uso personal en 1805, al cual se dice que se refería como “El señor Canciller”. Según apuntaba uno de los discípulos más avanzados de Maudslay, era un sistema de medición capaz de tomar medidas de la milésima parte de la pulgada, la cual suponía una precisión muy alta en aquel momento.

De hecho, la necesidad de obtener medidas tan precisas no surgió hasta el momento en que la intercambiabilidad de piezas, especialmente en las armas, empezó a exigir tolerancias mínimas en la fabricación de estas. Esta fue a su vez la causa del desarrollo, en esas mismas fechas, del sistema métrico decimal.

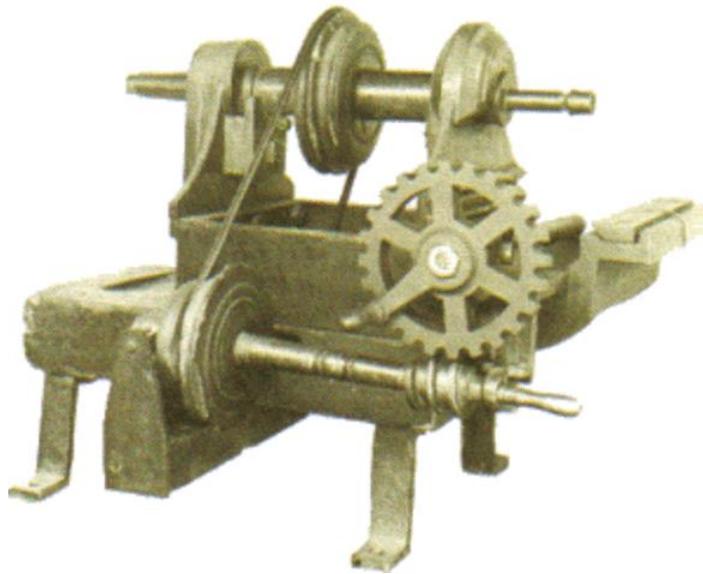
Fue gracias al pionero norteamericano Eli Whitney cuando surgieron las primeras tentativas en cuanto a la fabricación de piezas intercambiables, aunque simultáneamente estaban teniendo lugar en Europa por parte de Maudslay. Debido a estas tentativas en cuanto a la intercambiabilidad de piezas para un mismo producto, Whitney fue capaz, en 1798, de conseguir un acuerdo con el gobierno estadounidense por el cual entregaría 10,000 fusiles con piezas intercambiables. No obstante, la viabilidad de este acuerdo se basaba más en una mano de obra metódica que en la presencia de maquinaria especializada. El procedimiento se basaba básicamente en el limado a mano de piezas utilizando plantillas de forma que la mano de obra fuese capaz de reproducir, lo más fielmente posible, piezas con las mismas dimensiones.

Algunos años más tarde fueron apareciendo en escena nuevas máquinas-herramienta que son las precursoras de las que conocemos hoy en día. Es así el caso de la primera cepilladora, que fue creada por Richard Roberts en Manchester, Inglaterra, en 1817, y en Estados Unidos, por su parte, el pionero Eli Whitney desarrolló en 1818 la primera fresadora horizontal cuyo objetivo era el de poder fabricar fusiles de una manera más ágil, después de cumplir con su acuerdo con el gobierno estadounidense. Whitney fue, además, pionero en el estudio de la fabricación en serie, lo cual suma como otro razón para el desarrollo de su fresadora.

De forma prácticamente unánime, Eli Whitney fue oficialmente el inventor y primer desarrollador de la máquina fresadora propiamente dicha. Sin embargo, Jacques de Vaucason, ya mencionado anteriormente, es reconocido como el primero en fabricar a mano las primeras fresas en el siglo XVIII, buscando el perfeccionamiento del tallado de engranajes y las utilizaba incorporándolas en los tornos de pedal.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Por lo tanto, el nacimiento de la primera fresadora propiamente dicha está relacionado con la guerra de independencia y con la necesidad de fabricar el armamento en grandes series, a pesar de que en los tornos de pedal ya se realizaban operaciones de fresado antes de la aparición de las máquinas-herramienta específicas para estas operaciones. Como se aprecia en la siguiente imagen, resalta el eje sinfín.

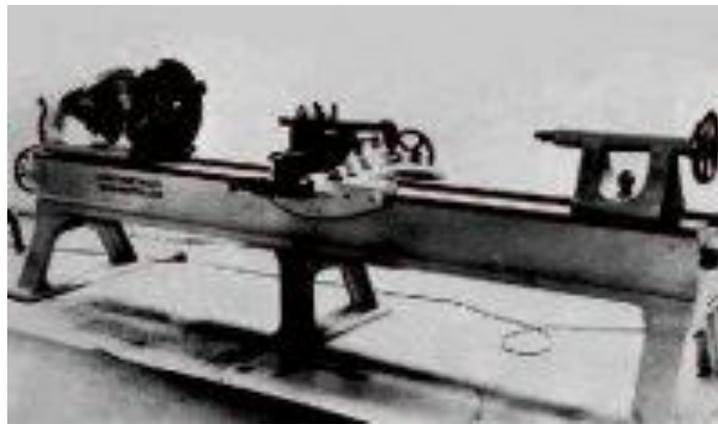


Fresadora horizontal diseñada por Eli Whitney en 1818.

Poco más tarde, a lo largo de la década de 1820 a 1830, Thomas Blanchard, de nuevo en Estados Unidos, creó un novedoso torno para fabricar cajas de fusil. El fundamento de este torno consistía en una rueda palpadora que seguía el contorno de un patrón (de caja de fusil), guiando así a la herramienta encargada de realizar el corte de modo que se consiguiese torneear una caja de dimensiones idénticas a las del patrón. Este torno supone el punto de inicio de lo que hoy en día se conoce como torno copiador.

En Inglaterra, comenzaron las primeras investigaciones en torno a la fabricación mediante máquinas herramienta teniendo en cuenta medidas de precisión. El pionero en este campo fue Joseph Whitworth, que desde 1830, estudió métodos de medida de precisión, provocando así el que las máquinas herramienta creadas por Maudsley y Wilkinson acelerasen su expansión considerablemente. De hecho, la medida de precisión sirvió como precedente para la fabricación de elementos intercambiables con una fiabilidad cada vez superior, lo que supuso, claramente, un paso fundamental hacia la fabricación en serie.

De entre las aportaciones a destacar de Whitworth cabe destacar en la construcción de una máquina de medida en la que incorporó un tornillo micrométrico, lo cual supuso una innovación realmente revolucionaria junto al trabajo realizado en el campo de la normalización de roscas y la construcción de calibres. Sus diseños y construcciones tuvieron fundamental influencia sobre los demás fabricantes de la época, pues construyó en 1839 un torno paralelo que patentó. A este torno lo construyó con una bancada de guías planas y un carro transversal automático, lo cual tuvo una enorme aceptación. Poco después, tanto en Europa como en Estados Unidos, se construyen una serie de tornos que, aunque mejorasen las prestaciones del de Whitworth, seguían manteniendo la estructura de éste.



Torno paralelo de Joseph Whitworth construido en 1839.

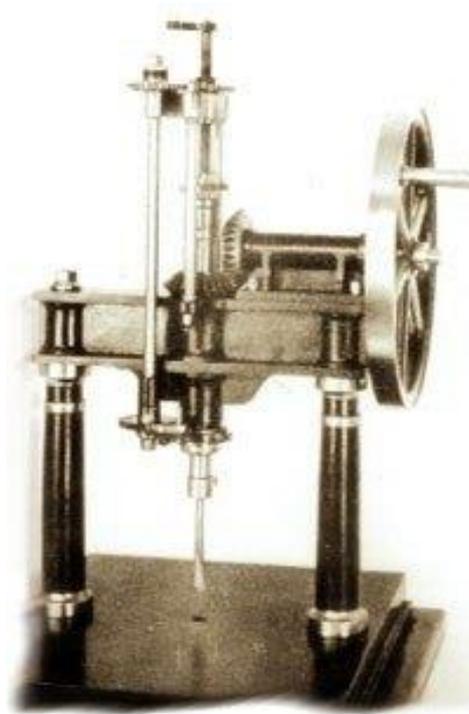
Después de patentar su torno paralelo, Whitworth comenzó una serie de estudios que culminaron en la presentación de un escrito titulado “Una auténtica superficie plana, en lugar de ser de uso común se considera prácticamente desconocida”. En este escrito se explicaba un método por el cual se podía obtener una superficie perfectamente plana a partir de simplemente tres piezas metálicas. Esto supuso el origen de lo que hoy en día se conoce como mesas de planitud, patrones, etc.

Además de su dedicación al campo de la fabricación de máquinas, Whitworth también contribuyó notablemente en la fabricación de herramientas y dio solución a la problemática del sistema de clasificación de las roscas, la cual estaba causando serios perjuicios por conflictos de intercambiabilidad y compatibilidad entre diferentes fabricantes. Completó el desarrollo de un sistema de normalización de roscas basándose en la pulgada y al que se llamó sistema de roscas Whitworth. Este nuevo sistema de roscas tuvo gran acogida y aceptación en Gran Bretaña, por lo que fue rápidamente introducido en la industria y aceptado oficialmente por el Instituto de Ingenieros Civiles de Inglaterra. En este sistema, el perfil del filete se corresponde a un triángulo isósceles y el ángulo correspondiente al vértice de la cresta es de 55° .

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

En cambio, en Estados Unidos la aceptación no fue la misma que en Inglaterra, pues allí se rechazó la normalización de Whitworth y adoptaron años más tarde un sistema de normalización desarrollado en los límites de su territorio al que se conoce como sistema Seller, el cual dista muy poco del sistema inglés. Para el sistema norteamericano se diseñó un perfil en forma de triángulo equilátero, siendo el ángulo de la cresta de 60° . A su vez, en Europa continental, no se aceptó ninguno de los dos sistemas anteriores, adoptando a finales del siglo XIX en Zurich el sistema de rosca métrica. En este sistema el perfil de la rosca es en forma de triángulo isósceles con su vértice formando un ángulo de 60° .

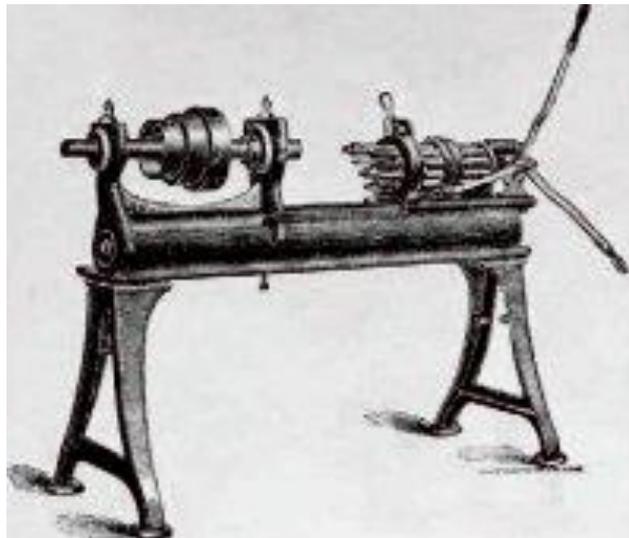
Fue en Inglaterra donde se estaban produciendo la mayoría de las invenciones de máquinas herramienta, y así siguió siendo en el caso de la primera taladradora, fabricada totalmente en metal, y la primera limadora, las cuales fueron inventadas por el inglés John Nasmyth, discípulo de Maudslay, en el año 1840 en la ciudad de Manchester. A lo largo de los años, Nasmyth había detectado la necesidad existente en el cincelado y limado sobre piezas pequeñas, por ello diseñó y construyó la primera limadora, a la que se hacía referencia como “brazo de acero de Nasmyth”.



Taladradora vertical de James Nasmyth, construida en 1840.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

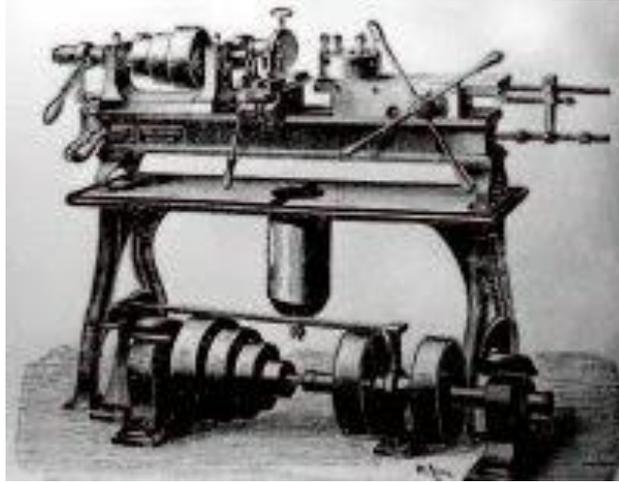
Por esos años se comenzó a construir tornos pesados, lo que hizo posible mecanizar piezas de cada vez mayor diámetro. Tal era el avance técnico al respecto que, ya en 1858, la empresa estadounidense “George S. Lincoln” fabrica un torno que alcanza a mecanizar cilindros de 2200 mm de diámetro, algo nunca visto hasta el momento. Este acontecimiento coincidió con el desarrollo de la llamada torreta revólver. La torreta revólver nació para tratar de dar solución a la problemática existente a la hora de realizar diferentes operaciones en la misma máquina y sobre la misma pieza. Esta problemática consistía, por tanto, en la necesidad de poder llevar a cabo esas operaciones diferentes en un mismo amarre de pieza.



Torno convencional con la torreta revólver incorporada.

El objetivo primario de la introducción de la torreta revólver, además de solucionar la problemática ya comentada, era la fabricación de tornillería y pequeñas piezas de revolución. En un principio la torreta revolver se incorporaba a los tornos convencionales y no se normalizaron estas máquinas-herramienta hasta dos años más tarde por las empresas americanas “Brown & Sharpe” y “Pratt & Whitney”. El primer modelo que fabricaron en 1867 tuvo en todo el mundo un enorme éxito y aceptación, incluso llegando a ser imitados por otras empresas en el continente europeo.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Torno revólver fabricado por "Brown & Sharpe" en 1867.

La empresa "Brown & Sharpe", además de la fabricación del exitoso torno revolver, en el año 1868 comenzó a fabricar de forma industrial un pequeño micrómetro de bolsillo, algo realmente novedoso para la época, cuyo diseño, realizado algunos años antes de su distribución, pertenecía al ingeniero y mecánico francés Laurent Palmer. La historia de cómo una empresa americana fue la primera en fabricar un diseño de un ingeniero francés comienza en una exposición en París, donde el micrómetro fue presentado por Laurent Palmer, llamando la atención de Joseph Brown. Una década después del comienzo de su fabricación, tanto en Estados Unidos como en Europa, ya era un elemento común en la industria de la metalurgia.



Micrómetro fabricado por "Brown & Sharpe" en 1868.

Existen sospechas de la presencia de elementos roscados desde la prehistoria y, a pesar de que la invención del tornillo propiamente dicho se remonta a la antigua Grecia (IV a.C.) no hubo una generalización como elemento de unión hasta el siglo XVI. Su producción masiva no se inició hasta mediados del siglo XIX.

El liderazgo en cuanto a la innovación y fabricación de máquinas-herramienta en el siglo XIX, como puede apreciarse, está dividido entre Europa y Estados Unidos. En la primera mitad del siglo, Europa y más concretamente Inglaterra fue líder indiscutible en este campo de fabricación, de hecho era prácticamente el único fabricante de máquinas-herramienta. Sin embargo, a mediados de siglo esta tendencia cambió radicalmente cuando los ingleses comenzaron a enfocar sus esfuerzos, principalmente, en el diseño y construcción de grandes máquinas con el objetivo de ser capaces de mecanizar piezas destinadas a los ferrocarriles, en cuyo desarrollo estaban apostando. En Estados Unidos, por su parte, apostaron por el desarrollo de maquinaria ligera provocando el nacimiento de nuevos e importantes tipos de maquinaria (entre los que cabe destacar el torno revólver) para mecanizar pequeñas piezas como tornillería, piezas integrantes de máquinas tanto de coser como de escribir, etc.

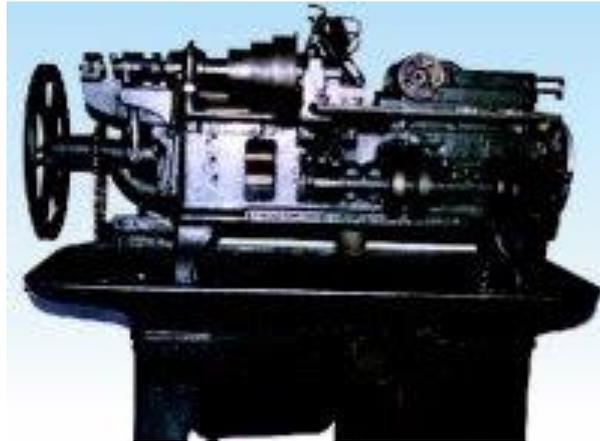
El inicio de la que se puede denominar tecnología del acero se dio a principios del siglo XIX, consolidándose en torno al año 1861 gracias al desarrollo de hornos con lo que se logró producir masivamente el acero. y descubrir de forma progresiva aleaciones del mismo. Por lo tanto, a parte del torno revólver, en esta segunda mitad del siglo XIX los americanos consiguen aumentar las prestaciones de las máquinas que fabricaban gracias al descubrimiento de nuevos materiales, como el acero aleado descubierto por Robert Mushet en 1865. Con la introducción de estos nuevos materiales se fabricaron nuevas herramientas que permitieron doblar la capacidad de mecanizado con respecto a las herramientas utilizadas hasta aquel momento, fabricadas por ejemplo en acero al carbono.

De entre los materiales descubiertos, destaca la aparición del acero rápido en los últimos años del siglo. Con el descubrimiento del acero rápido comienzan a fabricarse nuevas herramientas de corte, suponiendo un tremendo avance con respecto a todos los materiales utilizados hasta el momento para la fabricación de estas herramientas. Este nuevo material logró triplicar la velocidad periférica de corte al multiplicar por siete la capacidad de desprendimiento de viruta, por lo tanto se hizo necesaria la adaptación de las máquinas-herramienta a las nuevas circunstancias.

La aparición del primer torno automático tuvo lugar en Suiza en el año 1872 gracias al ingeniero alemán Jacob Schwizer. A partir de este momento, los tornos automáticos comenzaron a utilizarse para grandes series, mientras que los tornos revólver se utilizaban para series cortas, por lo tanto los dos tipos de tornos se acabarían complementando y se continuó su desarrollo en paralelo. En los años restantes del siglo, se siguen fabricando nuevos modelos de tornos revólver con sus torretas tanto en disposición horizontal como vertical. Entre estos modelos destaca el torno semiautomático construido por la empresa alemana "Pittler" en 1892. Este modelo destaca porque permitía realizar roscado interiores y exteriores, lo que lo convirtió en una máquina muy utilizada y de gran popularidad.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

A finales del siglo XIX, se produce un fuerte desarrollo de los tornos automáticos. En 1893, la empresa "Pratt & Whitney" construyó un torno automático con torreta de eje vertical. En 1898, apareció en Estados Unidos un nuevo torno automático mono husillo, fabricado por "Brown & Sharpe", que contaba con una torreta revólver de eje horizontal, que resultó ser el origen de toda una familia de máquinas cuya influencia ha llegado a nuestros días.



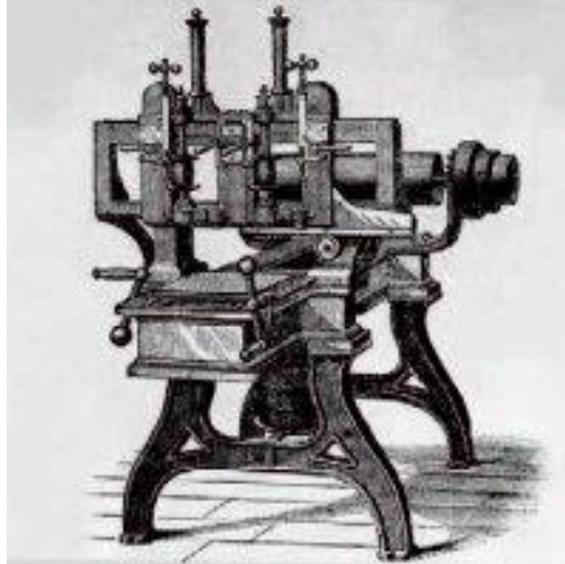
Torno automático de Jacob Schwizer, 1872.

El mismo año, "Pratt & Whitney" construye un torno parecido al que ya fabricó en 1893, pero esta vez equipado con cargador automático de piezas, siendo por lo tanto el primer alimentador incorporado a este tipo de máquinas-herramienta.

Como ya se ha visto anteriormente, el liderazgo en el desarrollo de las máquinas-herramienta a lo largo del siglo XIX estuvo repartido entre Europa y Estados Unidos, pero en el caso particular del desarrollo de las fresadoras, los americanos se mantuvieron a la cabeza prácticamente a lo largo de todo el siglo. Con la construcción de la fresadora de Eli Whitney en 1818, nace la fresadora como máquina-herramienta propiamente dicha, y de forma prácticamente inmediata, la técnica de fresado comenzó a ser estudiada más intensa y generalizadamente, por lo que sufrió un enorme avance apreciable en la fresadora construida por el norteamericano Robert Johnson tan solo dos años después de la construcción de la de Whitney, y en la construida por James Nasmyth en 1830. Esta última, desarrollada en este caso por un inglés, estaba provista de un divisor orientado al mecanizado de tornillos hexagonales.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

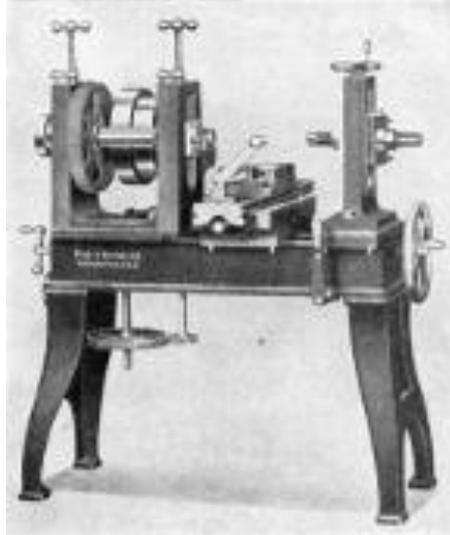
La fresadora de Nasmyth tuvo gran repercusión, llegando hasta Estados Unidos, donde la empresa norteamericana “Gay & Silver” construyó la primera fresadora completamente metálica, influenciados por la de Nasmyth, a la cual se le introdujo un carro de reglaje vertical con un soporte para el husillo portaherramientas.



Fresadora desarrollada por “Gay & Silver” en 1830.

Más tarde, en 1848 la empresa “Robbins & Lawrence” construye una fresadora mucho más robusta y que era capaz de alcanzar una mayor precisión gracias a la incorporación de un juego de poleas de tres escalones y de capacidad de desplazamientos en sentido tanto vertical y horizontal, como transversal. La siguiente imagen es una representación de la fresadora de la empresa norteamericana anteriormente mencionada y en ella puede apreciarse de forma clara el juego de poleas en tres escalones.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Fresadora construida por "Robbins & Lawrence en 1848.

Según avanzaba el tiempo hacia la mitad de siglo, se iban produciendo notables intentos y tentativas de estudio y desarrollo hacia la evolución de las fresadoras, de hecho no se había alcanzado la mitad de siglo cuando Elisha Root desarrolló e incorporó el llamado carnero cilíndrico (que es la parte superior del conjunto de la fresadora), que era ajustable en sentido vertical y se elevaba junto al husillo porta-fresas o portaherramientas.

Para dar comienzo a la segunda mitad de siglo, en 1850, de nuevo la empresa norteamericana "Robbins & Lawrence" desarrolla la primera fresadora copiadora de perfiles. Años antes ya habían aparecido máquinas-herramientas copiadoras pero en la familia de los tornos. En el año 1857, vuelve a hacer acto de presencia el desarrollo europeo cuando la empresa inglesa "Sharpe, Stewart & Co" fabrica la primera fresadora vertical, a partir de la cual comienza la distinción entre fresadoras horizontales y verticales.

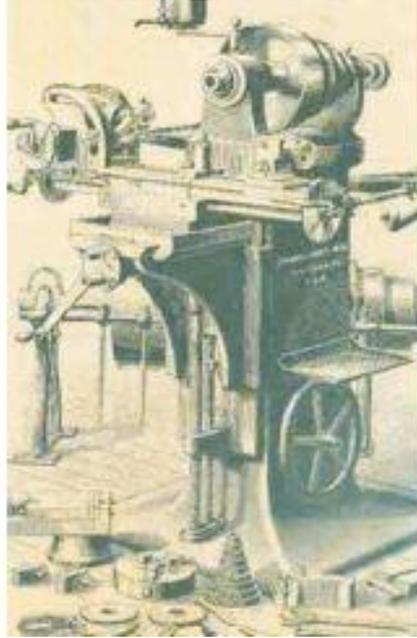
Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Fresadora vertical desarrollada por “Sharpe, Stewart & Co” en 1857.

El desarrollo de engranajes ha sido objeto de estudio a lo largo de muchos años, dándose diferentes tipos y modelos según fuese su función. De este modo, en 1862 se construye en Estados Unidos la primera fresadora universal. El creador de esta máquina-herramienta fue Joseph R. Brown ante la necesidad de dar solución al tallado de los llamados engranajes helicoidales. La equipación de esta máquina consistía en un divisor universal, una consola con desplazamiento vertical y avance automático longitudinal y transversal de la mesa. A partir de este punto, la fresadora universal se convierte en la más extendida debido a la variedad de operaciones que se podían realizar en ella y porque, en cierta medida, reúne parte (cada vez mayor debido a su desarrollo a lo largo de los años) de las posibilidades de trabajo y características de las fresadoras desarrolladas hasta el momento.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Fresadora universal desarrollada por Joseph R. Brown en 1862.

Tras la aparición de la fresadora universal, ésta siguió disfrutando de avances debido a la gran dedicación de tanto norteamericanos como europeos. De hecho en 1874, esta vez en Francia, Pierre Philippe Huré desarrolló una fresadora realmente innovadora por su sistema de doble husillo, vertical y horizontal, dispuestos a noventa grados y posicionable mediante giro manual. Después de este avance, el desarrollo volvió al continente americano, concretamente a la empresa “Cincinnati”, que desarrolló en 1884 su primera fresadora universal que supuso y sigue suponiendo una de las máquinas-herramienta más significativas e importantes del siglo XIX. La fresadora universal “Cincinnati” incorporaba un carnero cilíndrico desplazable axialmente, algo nunca visto hasta ese momento. En la siguiente imagen se identifica perfectamente el carnero cilíndrico y se intuye eje de su desplazamiento.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

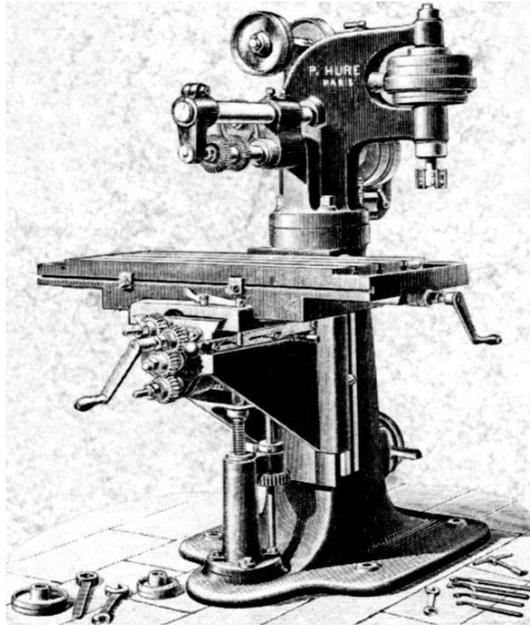


Fresadora universal "Cincinnati", 1884.

Este modelo de fresadora construido por "Cincinnati" fue diseñada por Fred Holz, y tuvo un enorme éxito que ni la propia empresa esperaba. Por ello decidió abandonar su actividad habitual centrada en la fabricación de tornillería y valvulería, para enfocar todos sus esfuerzos en la fabricación de fresadoras, llegando a cambiar su denominación social a "The Cincinnati Milling Machine Company". Tal fue el éxito de esta fresadora que llegó a comercializarse durante décadas prácticamente sin variaciones.

Más tarde, apenas dos años antes de que acabase el siglo XIX, de nuevo el francés Pierre Philippe Huré construye una innovadora fresadora. En ella incorpora un cabezal universal mediante el cual se podía trabajar en diferentes posiciones (horizontal vertical y otras posiciones) preparándolo anteriormente con un movimiento giratorio. La siguiente imagen es muy clara en cuanto a la morfología de la máquina. Esta fresadora ha tenido gran influencia en el desarrollo y construcción de los actuales centros de fresado de CNC.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Fresadora desarrollada por P. P. Huré en 1898.

A finales del siglo XIX las fresadoras universales prácticamente ya habían alcanzado su pleno desarrollo. Por ello, la empresa norteamericana “Brown & Sharpe” comenzó a fabricar hasta cinco modelos de fresadoras universales de diferentes tamaños y capacidades de potencia. Cabe destacar la construcción de la primera fresadora universal en territorio español, concretamente en Eibar por Cruz Ochoa a principios del siglo XX.

Como se ha visto ahora, el desarrollo del maquinismo fue posible gracias a la aparición de la máquina de vapor pues dio solución a la necesidad de energía. A su vez, el diseño y fabricación de multitud de familias diferentes de maquinaria y procesos de trabajo hicieron posible el enorme desarrollo industrial del siglo XIX, pudiendo fabricarse piezas metálicas de todo tipo. Solo gracias a la utilización de las máquinas-herramienta ha podido llevarse a cabo la fabricación de las máquinas de vapor, de barcos, de material destinado al ferrocarril, la evolución del automovilismo, de la siderurgia, etc. De hecho las máquinas-herramienta son el único medio por el que se puede llevar a cabo la fabricación de otras máquinas-herramienta o cualquier otro tipo de maquinaria o elemento de las mismas fabricado con un material metálico.

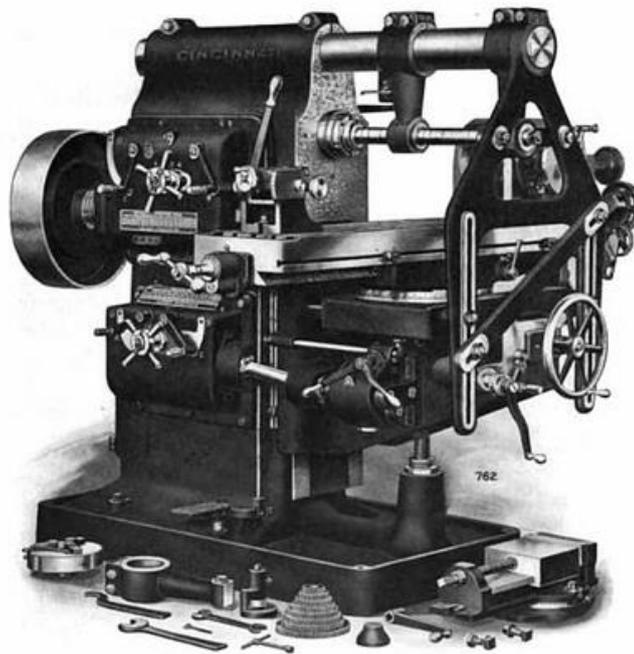
Para demostrar la gran importancia de la fresadora universal “Cincinnati” respecto a las demás fresadora, existe una anécdota protagonizado por ésta y la fábrica automovilística “Berliner”, ubicada en Lyon (Francia). En el año 1912 esta fábrica optó por llevar a cabo un ensayo con las principales firmas de fresadoras existentes en aquel momento, con el objetivo de conseguir una guía fiel que sirviese de ayuda a la hora de decidir qué fresadora incorporar a su fábrica. Para realizar el ensayo la empresa escogió las cinco firmas más competitivas del mercado, adquiriendo un modelo de

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

máquina fresadora de cada una de ellas. Junto con la máquina fresadora, cada firma envió un operario especializado en su utilización y, de este modo, las cinco fresadoras trabajaron durante ocho meses en las mismas condiciones de producción.

A la vista de los resultados, Berlinet destacó la comodidad y fiabilidad de su manejo y utilización, junto a la estabilidad de su bastidor que quedaba totalmente asegurada gracias a una serie de tirantes interiores que servían de refuerzo. De este modo, en 1912 la fresadora universal “Cincinnati” fue consagrada como la mejor fresadora universal del momento.

Una vez finalizado el plazo de ocho meses, comenzó la escrupulosa comprobación de la producción efectiva de cada máquina. Los resultados fueron realmente favorables para la fresadora “Cincinnati”, pues mostraban que la producción efectiva de esta fresadora había superado en un 10-15% a la de las demás fresadoras en competencia. Los resultados, además, mostraban que el desgaste de sus componentes también había sido menor que la de sus competidoras, por lo tanto la empresa automovilística francesa se decantó por la fresadora universal “Cincinnati”, realizando un pedido de 52 unidades de diferentes dimensiones.



Fresadora “Cincinnati” comercializada en 1912.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

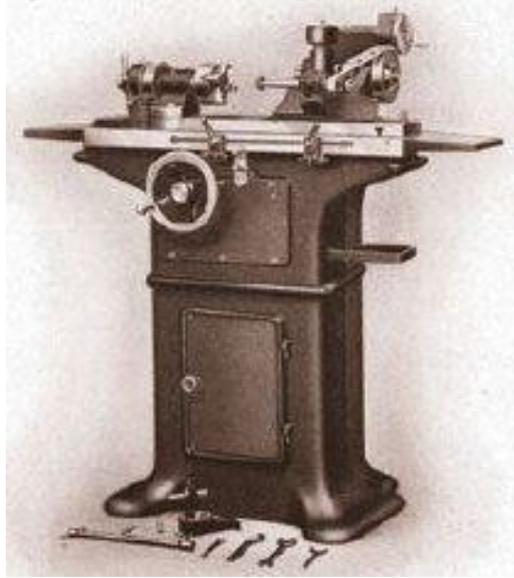
Antes de finalizar el siglo XIX, en el año 1890, apareció la caja Norton. La caja Norton es un mecanismo compuesto de varios engranajes que fue diseñado y patentado en Estados Unidos y que fue incorporado por primera vez a los tornos paralelos en 1894 por la empresa "Hendey Machine Co" para dar solución al cambio manual de engranajes para fijar los pasos de las piezas que se pretendía roscar.

Años atrás, los primeros tornos paralelos fabricados permitían la construcción de diferentes roscas completando el cambio del tren de engranajes. Con la aparición de la caja Norton muchos de esos cambios se hicieron innecesarios, principalmente cuando un rango de roscas está dentro de un mismo sistema. Como se ha visto anteriormente, debido a la existencia de diferentes sistemas de normalización de roscas (como el sistema Seller americano, el sistema Whitworth inglés o el sistema de rosca métrica de Europa continental), cuando se pasaba de un sistema a otro no había más remedio que realizar el cambio manual de engranajes.

El mecanismo de la caja Norton consta de varios trenes desplazables de engranajes o simplemente de un tren basculante y un cono de engranajes. Gracias a este mecanismo se consigue conectar el movimiento del cabezal del torno con el carro portaherramientas, donde se encuentra incorporado el husillo patrón. Es decir, con la caja Norton se logra evitar la tarea de montar un tren de engranajes cada vez que se quiera realizar una operación de roscado, facilitando así estas operaciones, pudiendo ejecutar roscas de diversos pasos y tamaños tanto en exteriores sobre ejes, como en interiores sobre tuercas.

Entre los años 1880 y 1933, aparecieron la rectificadora universal y la sierra de cinta, dando de este modo por finalizada la primera revolución industrial, la cual podemos representar con la aparición de ocho máquinas: brochadora, mandrinadora, torno, cepilladora o limadora, fresadora, taladradora, rectificadora y sierra de cinta.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Rectificadora universal de "Brown & Sharpe", 1880.

Esta rectificadora universal consistía en una rectificadora cilíndrica a la que la empresa "Brown & Sharpe" le incorporó un dispositivo para realizar rectificadas interiores, adquiriendo así el calificativo de "universal". Este concepto de rectificadora alcanzaría una difusión extraordinaria a lo largo del siglo XX.

2.3. CATEGORÍA A (2)

Tras esta primera revolución industrial, las máquinas herramienta comenzaron a mostrar destreza, atributo humano al que reemplazaron al convertirse en máquinas mono-cíclicas semiautomáticas de avance automático, naciendo así el segundo nivel de automatización A (2). En los años de invención de las máquinas de este nivel, situados ya en el siglo XX, todavía no había aparecido el control numérico (CN). Hoy en día, muchas de estas máquinas herramienta siguen presentes y se siguen utilizando en ciertas plantas industriales, aunque no es menos cierto que su uso es, cada vez, más reducido.

El comienzo del siglo XX se concibió como la llegada de una nueva era de progreso en la cual se abría un amplio abanico de posibilidades. A pesar de que en los primeros años del nuevo siglo ya circulaban alrededor de un total de 8.000 automóviles en Estados Unidos, todavía no existía una industria organizada, ni para la fabricación de automóviles ni para la gran cantidad de productos, máquinas, etc, desarrollados a lo largo del siglo XIX.

En el año 1887 se logró hacer que la electricidad estuviese disponible para usos industriales gracias al sistema de generación polifásico de Nikola Tesla. Este sistema permitía generar electricidad a través del principio de corrientes inducidas, conseguido gracias al descubrimiento algunos años antes del campo magnético rotatorio, el cual es la base para la fabricación de los distintos sistemas de motores y generadores de corriente alterna polifásico. George Westinghouse adquirió las patentes del sistema polifásico de Tesla, para generadores, transformadores y motores de corriente alterna, para su posterior implementación de la planta de generación energética de las cataratas del Niágara, en la cual se construyeron los dos primeros generadores de Tesla, y los más grandes construidos hasta el momento, que tenían unos 5000 caballos de fuerza.

La aparición de esta fuente de energía no pudo ser más oportuna, cuando las fuentes de energía del siglo XIX comenzaban a resultar insuficientes, llegando a consolidarse como una nueva fuente de energía capaz de garantizar el desarrollo industrial del nuevo siglo. A principios de siglo comenzaron a reemplazarse las máquinas de vapor y las turbinas, encargadas hasta ese momento de accionar las transmisiones de los talleres industriales, por los motores de corriente continua que se fabricaban a pequeña escala. Estos motores fueron poco a poco acoplándose directamente, de forma progresiva e individualizada, a la máquina-herramienta propiamente dicha.

En cuanto a exigencias en las tolerancias de fabricación, a principios de siglo no superaban el 0'001 de pulgada, pues, además de que las máquinas-herramientas no habían logrado alcanzar un mayor nivel de precisión, no se hacía necesario por el momento una mayor precisión en la fabricación de los productos. Sin embargo, a partir de 1910, debido a que surgieron una serie de nuevas exigencias en cuanto a la calidad requerida en los productos, comenzó a utilizarse un nivel de tolerancia menos grosero y más ajustado. Con respecto a la fabricación de elementos de medición de precisión y calidad, los norteamericanos eran punteros, de hecho a principios del siglo XX, Estados Unidos era el mayor fabricante a escala mundial de micrómetros, el cual era un elemento muy utilizado en los talleres pues era el capaz de realizar las mediciones de máxima precisión.

De este modo, la aparición de nuevas necesidades en cuanto a precisión y calidad de los productos fabricados y la intensa evolución de la producción automovilística, hicieron necesario el desarrollo de la máquina-herramienta, la metrología y la aplicación de los procedimientos de fabricación en masa.

A finales del siglo XIX, los sistemas de producción industrial eran esencialmente artesanales, siendo así el caso de la producción automovilística. Los automóviles se hacían prácticamente a mano y en cantidades pequeñas, fabricándose sus diversos componentes en talleres autónomos externos a la firma automovilística, donde los sistemas de medida eran primarios y heterogéneos, lo que obligaba a los ensambladores a ajustar continuamente los componentes para hacer que cada pieza encajase, lo cual acababa siendo una operación muy costosa.

El automóvil era un producto que solo podía adquirir la gente con gran poder adquisitivo, pues cada uno de ellos era construido a mano por artesanos, mecánicos y maquinistas. Cada operario tenía multitud de trabajos manuales, diferentes unos de otros, utilizando herramientas multipropósito, de modo que cada automóvil era un producto exclusivo adaptado a los gustos y necesidades del cliente. Esto quiere decir que como cada vehículo era diferente, la variación natural propia del trabajo manual provocaba pequeñas diferencias tanto en el motor como en la pieza más simple del vehículo.

Ante esta problemática, en 1903 nace, de la mano del ingeniero norteamericano Henry Ford, la "Ford Motor Company", emergiendo de esta manera un nuevo modelo de organización productiva, el "fordismo", cuya plena vigencia duró más de medio siglo y cuyos efectos se siguen sintiendo todavía en muchos ámbitos de nuestra sociedad actual. Ford pensó que para aumentar la producción y ahorrar costes era necesario eliminar ese dificultoso proceso de ajuste, para lo cual había que tender a la total intercambiabilidad de los componentes y la utilización del mismo sistema de medida para todas las partes, las cuales debían ser producidas con la máxima precisión.

Estas nuevas necesidades en cuanto a precisión y calidad de los productos y, en el caso de la fabricación de automóviles, de los componentes del mismo, provocaron un mayor desarrollo tecnológico dando lugar, a su vez, a la aparición de máquinas-herramienta más avanzadas y de un aspecto más cercano a las que se pueden ver a día de hoy. Este desarrollo además venía acompañado de la aparición de la nueva fuente de energía eléctrica y del descubrimiento de nuevos materiales, como los mencionados anteriormente, que incrementaron considerablemente las prestaciones de las herramientas utilizadas e incluso de los componentes de las propias máquinas.

En una primera fase, Ford diseñó una metodología por la cual los ensambladores no necesitaban desplazarse para buscar las piezas abandonando su puesto de trabajo, de modo que éstas les eran entregadas en su lugar de trabajo. Sacando provecho de los últimos avances de mecanizado y materiales que progresivamente se estaban dando desde años atrás, Ford se aseguró de que los operarios que se encontraban montando las piezas en el vehículo no necesitaban ajustar cada una de ellas, limar posibles impurezas, etc. El objetivo era que cada pieza llegase completamente lista al operario encargado de montarla en el vehículo, lo cual suponía una enorme reducción del tiempo empleado por cada trabajador en realizar una tarea.

A partir de 1908 dio un paso más, pues introdujo el principio de especialización, de manera que cada operario se movía de un vehículo a otro realizando siempre las mismas operaciones, lo cual repercutía en una mayor rapidez y destreza. Con estas modificaciones el trabajo que antes se tardaba en realizar 9 horas, ahora se hacía en unos minutos.

A pesar de que estas introducciones en el sistema de producción fueron toda una revolución, la verdadera revolución llegaría con la inauguración en 1913 de la nueva planta de Highland Park, en Detroit, en la que introdujo un nuevo y revolucionario sistema de organización de la producción: la cadena de montaje móvil. En la cadena de montaje era el coche el que se movía de un lugar a otro de la fábrica, evitando así el desplazamiento de los operarios y aumentando su productividad de forma radical. Paralelamente, la propia Ford asumió el principio de la integración vertical, de modo que comenzó a fabricar prácticamente el total de los componentes del vehículo.

De este modo, dio comienzo la fabricación en serie de las piezas del automóvil, ensamblándose todas de forma ordenada en la cadena de montaje. En la cadena de montaje las piezas se iban montando de forma que cuando el automóvil llegase al final de la cadena éste estuviese acabado. Para ello se necesitaba gran cantidad de mecánicos especializados en pocas piezas, dispuestos a lo largo de la cadena de montaje.



Cadena de montaje de Henry Ford.

Mediante su cadena de montaje para la fabricación de vehículos, Henry Ford demostró una rentabilidad y rapidez sin precedentes, pues hasta su llegada muchos fabricantes preferían la fabricación artesanal a dar comienzo a la fabricación artesanal. La compañía de Ford terminó por convertirse, en poco tiempo, en el mayor fabricante de coches del mundo.

De este modo nació la producción industrial en masa, la cual dominó el panorama productivo a lo largo de todo el siglo XX. La trascendencia que el sistema de producción "fordista" ha tenido, no sólo en relación a la industria del automóvil, si no en todos los ámbitos de la fabricación industrial, ha sido enorme y ha marcado de manera determinante la evolución de la economía productiva hasta nuestros días.

El primer modelo de automóvil fabricado por la compañía fue el Ford Modelo T, el cual supuso el comienzo de este nuevo modelo de producción desconocido hasta el momento, por lo que puede ser el automóvil más significativo de la historia, siendo según la propia compañía, "la máquina que cambió el mundo". El modelo fue fabricado entre 1908 y 1927 ininterrumpidamente y prácticamente sin variaciones, llegando a fabricarse 15 millones de automóviles de este modelo. Tal fue el éxito a escala global de este modelo que para el año 1923, uno de cada dos automóviles era un Ford Modelo T.

Anteriormente ya se ha mencionado que con el avance que supusieron las introducciones de Henry Ford, comenzaron a desarrollarse las máquinas-herramienta. Las máquinas que se comenzaron a desarrollar pertenecen a la categoría A (2) de los niveles de automatización, sustituyendo el atributo humano de la destreza, apareciendo así máquinas mono-cíclicas semiautomáticas y de avance automático, propias de la era de la producción en serie.

Ya en el siglo XIX se llegaron a desarrollar máquinas-herramienta automáticas y semiautomáticas, lo que puede llevar a confusión a la hora de marcar el límite entre los niveles de automatización A (1) y A (2), aunque las A (2) han de ser al mismo tiempo A (1) por definición. Esta dificultad a la hora de marcar el límite entre unas y otras se debe a que desde principios del siglo XX hasta el nacimiento del control numérico (CN), y en algunos casos hasta años más tarde, se mantuvieron las formas de la arquitectura de la máquina en la práctica totalidad de las mismas, las cuales alcanzaron su plenitud en el siglo XIX.

Aun manteniendo esta arquitectura prácticamente intacta, las máquinas-herramienta evolucionaron y se desarrollaron otras con mayor potencia, rigidez, precisión, y que además, eran automáticas, pudiendo alcanzar mayores velocidades de giro gracias a la incorporación de cabezales de cojinetes o rodamientos de bolas. Los avances logrados en cuanto al desarrollo de la máquina-herramienta contribuyeron de un modo muy rentable al increíble incremento logrado en la productividad industrial en general y, especialmente, en la industria aeronáutica y automovilística.

El aspecto de las máquinas de esta época puede llegar a resultar familiar hoy en día, pues en algunos talleres se siguen manteniendo en funcionamiento a pesar de que algunas puedan alcanzar entre noventa y cien años de antigüedad. No es menos cierto que su presencia es cada vez menor, quedando relegadas a pequeños talleres hasta que finalmente su uso acabe por desaparecer debido al continuo desarrollo de nuevas máquinas, de la electrónica, la automática, etc.

La aplicación de accionamientos hidráulicos se hizo posible, por una parte, debido al perfeccionamiento en la construcción de cilindros precisos y herméticos y, por otra, al desarrollo de bombas capaces de bombear aceite a presión para el accionamiento de los citados cilindros. Esto fue posible gracias a la capacidad de dos grandes ingenieros: el americano Janney, que diseñó y fabricó en 1906 una bomba de pistones de caudal variable, y el inglés Hele Shaw que construyó, en 1912, una bomba giratoria a pistones radiales y caudal variable.

En conclusión, la evolución de las máquinas-herramientas, como ya se ha definido, fue provocada por las necesidades e inquietudes existentes, sin embargo se dio gracias a dos causas; por un lado el descubrimiento de nuevos materiales como el acero rápido, y por otro, la automatización de varios movimientos gracias a la aparición de motores eléctricos, sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Algunos ejemplos de las máquinas-herramienta de este nivel son tornos, taladradoras, mandrinadoras horizontales, fresadoras, etc. Estos ejemplos son los mostrados en las siguientes imágenes.



Torno paralelo.



Fresadora vertical Bridgeport serie 1.



Mandrinadora horizontal.

Para llevar a cabo el mecanizado de una sola pieza en una de estas máquinas-herramienta del nivel A (2), lo normal será que el operario lleve a cabo las siguientes tareas:

1. Planificación de la secuencia de operaciones.
2. Elección de las herramientas adecuadas.
3. Preparación y cambio de las herramientas.
4. Elección de los avances, velocidades y profundidades de corte.
5. Ajuste de los parámetros anteriores en una máquina.
6. Carga y descarga de las piezas.
7. Posicionamiento de la pieza con respecto a las herramientas, y viceversa.
8. Control del movimiento de la cuchilla durante el proceso de arranque de viruta.
9. Arranque y parada de la máquina para hacer que la pieza (o la herramienta) pase desde la posición que ocupa al final de cada pasada a la correspondiente al comienzo de la pasada siguiente.
10. Verificación de las piezas mecanizadas.

(Las tareas numeradas anteriormente irán apareciendo en las próximas páginas haciendo referencia al número que las acompaña).

El operario encargado de accionar las máquinas de este nivel ha de ser un experto si se quieren realizar todas estas funciones de manera eficaz, a pesar de que durante el proceso de arranque de viruta se limite a la observación y control de la formación de la misma. No todas estas operaciones tienen necesariamente que correr por cuenta del operario, reduciendo así los requerimientos de cualificación y responsabilidad del mismo.

Analizando las capacidades y limitaciones reales tanto de las máquinas de este nivel A (2), como de la mano de obra, es decir del operario, se evidencia que las operaciones 3 y 5-10 no pueden llegar a realizarse de un modo económico y automático en estas máquinas-herramienta cuando solo hay que hacer una pieza o unas pocas. Se ve necesaria la realización de series numerosas de piezas iguales para llegar a rentabilizar la fabricación previa de plantillas o modelos que permitan la producción de superficies complicadas, por ejemplo con un torno o una fresa con copiadores. De este modo, la aparición del control numérico (CN) pretende dar solución a la problemática de la realización de superficies complicadas, siendo éste un procedimiento para controlar, o mandar los movimientos de los órganos de una máquina mediante números.

2.4. CATEGORÍA A (3)

La automatización, tal como hoy la conocemos, comienza con el siguiente nivel de automatización. El nivel A (3) requiere del reemplazo del atributo humano de la diligencia, lo que quiere decir que se espera una repetición automática de los ciclos en la máquina-herramienta (ejecuta instrucciones rutinarias sin ayuda humana). Estas máquinas no reportan ningún feedback, pues la repetición automática puede estar administrada, por ejemplo, por una leva, es decir, una vez realizada la pieza no hay una respuesta de la máquina aportando una medición o comparación de los resultados para tratar de reducir al máximo los errores apreciados en el siguiente ciclo.

En este nivel se encuentran dos formas de automatización diferenciadas: la automatización dura o fija, y la automatización blanda o programable. Es necesario comprender que las instrucciones que recibe la máquina sobre qué hacer, cómo hacerlo y cuando hacerlo, constituyen el programa insertado en la máquina-herramienta.

AUTOMATIZACIÓN DURA O FIJA:

En la automatización dura, como en el caso de las máquinas de transferencia o transfer, el sistema de programación lo constituyen una serie de levas, topes, guías y circuitos eléctricos “alámbricos” empleando la lógica de relés, lo que quiere decir que el tratamiento de datos está asociado a temporizadores y contadores. La fabricación con máquinas con este tipo de automatización en muchos casos puede no resultar rentable, pues son tan específicas que puede que no sean aptas para más que un trabajo. Por lo tanto, para que su utilización resulte económica, estas máquinas deben trabajar durante periodos considerables, fabricando la pieza o el producto para el que fueron concebidas y programadas.

Sin embargo, debido a que la demanda de los mercados de consumo masivo es cambiante, los productos destinados a cubrirlas necesitan cambios para ofrecer un mejor funcionamiento. Por ello, las máquinas de automatización dura deben tener la máxima flexibilidad posible, conservando a su vez las especificaciones propias de la producción en masa, siendo así como comienza la constitución de las máquinas a base de módulos. La combinación de estos módulos, conocidos como máquinas de producción de cabezal polivalente autónomo, resulta en la formación de un sistema capaz de la elaboración de una pieza o producto. Estos cabezales polivalentes ofrecen una gran gama de medidas gracias a la normalización, e incorporados a columnas y

bancadas forman los componentes modulares o módulos a partir de los cuales se pueden obtener todo tipo de máquinas-herramienta.

Finalmente, las máquinas conformadas a base de módulos pueden combinarse y enlazarse mediante mecanismos de transferencia o transfer, que se encargan del manejo del material o el elemento en curso de producción llevándolo automáticamente desde un proceso hasta otro.

Los mecanismos de transferencia nacen ante la necesidad de trasladar las piezas de un puesto de trabajo, o máquina, a otros. Las máquinas que disponen de estos mecanismos son las máquinas de transferencia o transfer y, normalmente, están provistos de unos raíles portadores, a través de los cuales se arrastran las piezas gracias a una cadena sin fin que se mueve de forma intermitente en función de las necesidades de la producción. Existen más sistemas de transferencia además del compuesto por los raíles portadores y la cadena sin fin. Puede conformarse el mecanismo por raíles continuos por los que se impulsa la pieza mediante pistones neumáticos o hidráulicos, por un transportador aéreo (reservado a piezas de peso reducido) o por disposición radial de los cabezales en torno a una mesa giratoria (reservada a producciones que consten de pocas operaciones, entre tres y diez).



Máquina transfer con mecanismo de correa sin fin.

AUTOMATIZACIÓN BLANDA, FLEXIBLE O PROGRAMABLE (CN):

La automatización blanda se basa en que si una máquina se programa con cinta, mando programable, caja de mandos manual o microprocesador, es más fácil cambiar el dispositivo de mando, lo que hace que ese sistema o mecanismo sea mucho más flexible. Es así como nace el control numérico (CN).

En 1945 es donde habría que marcar el punto de partida del control numérico (CN), pues fue en este año cuando dos científicos relacionados con la Universidad de Pennsylvania desarrollaron la primera computadora electrónica digital o, al menos, la primera en tener un funcionamiento óptimo a escala global. Estos científicos son John W. Manly y J. Presper Ecker, cuya computadora bautizaron como E.N.A.C., la cual era muy grande y requería de un consumo de energía muy alto, además de que su proceso de programación no era sencillo, sin embargo, esta computadora funcionaba.

La aplicación del control numérico (CN) a una máquina-herramienta no llegó hasta el año 1948, de la mano de John Parson, quien se fijó como objetivo dar solución a la problemática existente en el fresado de superficies complejas tridimensionales en la industria de la aeronáutica. De este modo, en colaboración con el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), Parson desarrollo los mecanismos de control para una fresadora, consiguiendo tres años más tarde aplicar a una fresadora "Cincinnati" un control experimental que funcionase. El método de programación consistía en perforar un código binario sobre una cinta, de modo que la máquina ejecutaba simultáneamente movimientos coordinados sobre tres ejes. La cinta perforadora consiste, básicamente, en una larga tira de papel en la que se realizan agujeros con el fin de almacenar datos. Actualmente este método se encuentra obsoleto debido a los avances en electrónica que se tratan más adelante.



Cinta perforadora.

La cinta perforadora supone una ampliación de una idea fundamental ya existente: el rollo de pianola. Este rollo de pianola suponía un método de mando por cinta, el cual se mantuvo durante muchos años como un buen método de control de complicadas máquinas de tejer y de contabilidad. Por lo tanto, la cinta perforadora no fue una idea nueva pero sí original, cuya información perforada previamente debían leer los sensores de la máquina-herramienta.

Los modelos de estas máquinas-herramienta desarrollados entre los años 50 y 60 no mostraron la eficacia esperada y resultaban demasiado caros, por lo que el verdadero éxito del control numérico (CN) no llegó hasta los años 70, gracias al desarrollo de la microelectrónica, dando lugar al control numérico por computadora (CNC).

En un principio, con la incorporación del control numérico (CN), las máquinas realizaban la función 7 de la lista, es decir, posicionaba la pieza con respecto a la herramienta, en cambio, todas las demás debían ser realizados por el operario. Según avanzaba el tiempo, se fueron añadiendo de forma gradual las funciones 3, 5, 8, 9, y 10, haciendo que las máquinas-herramientas fuesen capaces de cambiar la herramienta de forma automática, así como las velocidades y los avances en función de las necesidades de cada operación, y, una vez terminada una operación, reposicionar rápidamente la herramienta, dar inicio o detener las secuencias, en cualquier momento, según lo que se necesite, y hasta llegar a realizar la verificación de las piezas una vez mecanizadas.

Cabe destacar que, para poder llevar a cabo estas tareas o funciones, la máquina-herramienta necesita conocer a priori las dimensiones aproximadas de la pieza a mecanizar, de modo que pueda calcular el número de pasadas necesarias para realizar el desbaste de la misma antes de la última pasada de acabado.

Poco a poco se fabricaron máquinas-herramientas de control numérico (CN) con mayor precisión y repetibilidad, además se logra que las funciones 1,2 y 4 pudiesen programarse en la cinta perforadora con una buena planificación previa. De este modo, se consigue que las nueve funciones puedan programarse y controlarse con la cinta perforadora, permitiendo así la casi completa automatización de la máquina-herramienta de uso general para cualquier volumen de producción.

Poco después se comprendió que podría utilizarse un ordenador de gran tamaño para gobernar un conjunto de máquinas, apareciendo así un limitado número de sistemas de control numérico directo (DNC), basándose en la idea de que los programas fueran enviados a las máquinas de forma directa, sin la cinta perforadora como intermediario, desde un ordenador principal de gran capacidad que comparten varias máquinas-herramienta en tiempo real.

A pesar de que esta versión de control numérico directo (DNC) no tuvo mucha aceptación, pronto las máquinas de control numérico (CN) se convirtieron en máquinas de control numérico por computadora (CNC) debido a la aparición de pequeños ordenadores más baratos, la ampliación de memoria gracias a microprocesadores, y mandos programables. De este modo, se pudo disponer a pie de máquina de funciones de almacenamiento de programas, compensación de herramientas, edición de programas, realización de cálculos y la posibilidad de enviar y recibir información de fuentes remotas. En este punto el operario podía llegar a programar manualmente para realizar un gran número de piezas prescindiendo de un programador.

Resumidamente, con la aparición del control numérico por computadora (CNC) se empezó a programar las funciones de la máquina herramienta directamente en la memoria del ordenador. Este avance provocaba que la modificación de determinadas funciones de las máquinas fuese mucho más sencilla y rápida pues bastaría simplemente con la modificación del programa, algo mucho más complicado con la utilización de las cintas perforadoras.

Las máquinas-herramienta incluidas en este nivel de automatización son máquinas automáticas de ciclo repetido con mando en bucle abierto. Para explicar esto último se van a tratar los elementos integrantes de un sistema CN de bucle abierto que gobierna un eje de movimiento de una máquina. El posicionamiento correcto de una pieza a mecanizar mediante una operación dada es leído en una cinta perforadora por la unidad de control de la máquina (MCU), convirtiendo esta señal en impulsos accionando a su vez el servomotor, el cual es un motor auxiliar con el que se puede aumentar la energía de la que se dispone a conveniencia de forma automática. La unidad de control de la máquina (MCU) cuenta con un contador de mando, lo cual implica que cuando éste llegue a cero el movimiento deseado ya se habrá producido pues ya no quedarán órdenes.

Una de las máquinas-herramienta que puede tener este nivel de automatización es la roscadora automática multihusillo. En la siguiente imagen se muestra una de estas máquinas, la cual puede tener un aspecto algo antiguo u obsoleto, sin embargo, en las más modernas no se apreciaría su morfología debido a que las últimas máquinas-herramienta tienden a estar muy "tapadas", de modo que apenas se aprecian sus componentes.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Roscadora automática multihusillo.

En conclusión, el nivel de automatización A (3) se basa en la repetición de ciclos, es decir, en el control numérico (CN) de bucle abierto. Por ello, se forzó la necesidad de sustituir el juicio humano por el juicio propio de la máquina herramienta. Es esa la motivación para alcanzar el nivel de automatización A (4). Es necesario destacar que la diferencia principal entre las máquinas herramientas del nivel A (3) y A (4) es que unas son de bucle abierto y otras de bucle cerrado, es decir, que unas no reportan feedback, y las otras sí. De hecho ambos niveles han funcionado con programación con cinta perforadora y se han adaptado a la aparición del control numérico por computadora (CNC).

2.5. CATEGORÍA A (4)

En el nivel de automatización A (4) se consigue remplazar el juicio humano, lo que quiere decir que mide y compara el resultado obtenido con la medida o resultado deseado, ajustándose para minimizar los errores. Por lo tanto son máquinas en bucle cerrado, existe feedback, de modo que devuelve al proceso la información recogida acerca del comportamiento operativo. Por lo tanto, se trata de máquinas autorreglables y de medición autónoma capaces de corregirse a sí mismas.

En los sistemas de bucle cerrado el feedback producido es en cuanto a posición, medida, velocidades, etc, por lo tanto, un sencillo ejemplo de máquina-herramienta de nivel de automatización A (4) podría ser una máquina en la que la posición de la pieza fuese medida mediante algún tipo de sensor o detector, y que posteriormente esa información fuese transmitida a un comparador donde se comparase con el valor deseado. De este modo, si la salida (medida) y la entrada (valor deseado) no coinciden, se produce la emisión de una señal de error que hace que el proceso se ajuste para reducir el error. Este ejemplo de máquina podría ser perfectamente una rectificadora automática, la cual comprobase una cota y realizase un reposicionamiento automático de la herramienta (muela, en el caso de las rectificadoras) para compensar el desvío.

Por lo tanto, en el hipotético caso de utilizar una máquina para realizar un taladro vertical en una pieza, una vez que ésta se haya preparado sobre la mesa de la máquina, ambas deben colocarse en la posición relativa correcta correspondiente al agujero que se quiera realizar con el taladro. En el caso de que el mando de la máquina sea en bucle cerrado, éste necesita de un transductor o sensor que detecte la posición o la velocidad de la mesa y transmita esa información a la unidad de control, de forma que ésta pueda comparar la situación en curso con la situación deseada. Si éstas no coinciden, es la misma unidad de control la que emite una señal de error que hace que los motores reposicionen la mesa tratando de reducir así el error y de alcanzar la posición y velocidad deseadas.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

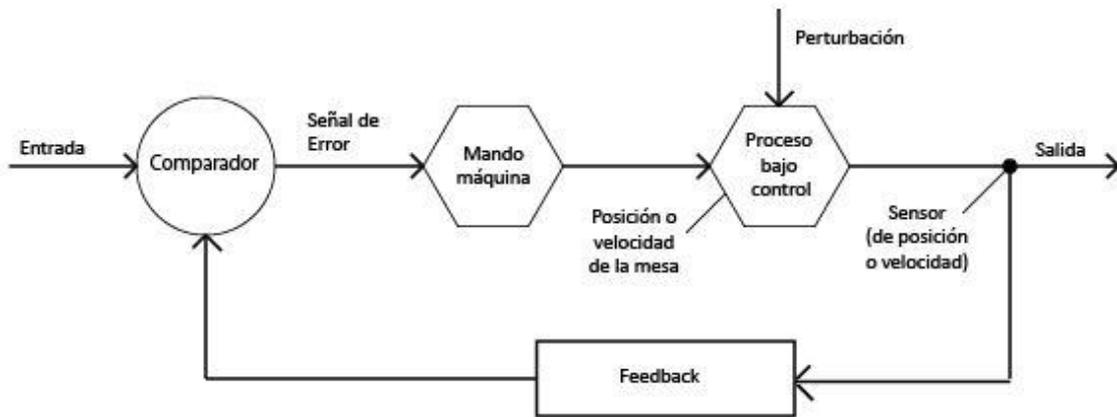


Diagrama de nivel de automatización A (4) en bucle cerrado.

Este sistema de mando en bucle cerrado se encuentra en la mayoría de las máquinas de control numérico (CN), pues estos sistemas tienden a ser más precisos y a tener reacciones más rápidas a las señales de entrada, sin embargo, pueden llegar a mostrar ciertos problemas de estabilidad, provocando que el valor obtenido ronde al valor buscado en vez de llegar a él, lo cual en los sistemas de mando en bucle abierto no sucede.

En los años 50 apareció la primera máquina herramienta de CN en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), la cual ya reportaba feedback en cuanto a la posición de puntos y es considerada la primera perteneciente al nivel de automatización A (4), desde entonces el desarrollo de estas máquinas-herramienta ha sido muy significativo. Algunos ejemplos de las máquinas pertenecientes a este nivel de automatización son tornos revolver CNC, centros de mecanizado CNC, etc.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Torno revolver CNC.

Los centros de mecanizado tienen la capacidad de realizar múltiples operaciones en una pieza, utilizando herramientas rotativas de distintos filos de corte con la mínima intervención humana. Su origen ha sido la evolución lógica de la fresadora, de modo que se lograra aumentar la productividad, la flexibilidad y la precisión, acompañado por la incorporación de la electrónica, como es lógico. Se diferencia de las fresadoras CNC en que los centros de mecanizado, además del fresado, pueden realizar taladrados y roscados.



Centro de mecanizado CNC.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

2.6. CATEGORÍA A (5)

El siguiente nivel de automatización es el nivel A (5), se caracteriza por el control adaptable o adaptativo (CA) y en él se logra remplazar la evaluación humana, es decir, consigue evaluar múltiples factores durante la ejecución del proceso, realiza evaluaciones sobre ellos y los concilia utilizando algoritmos matemáticos. La idea de este tipo de mando surge en el año 1974.

Las máquinas pertenecientes a este nivel de automatización tienen la capacidad de adaptación del proceso buscando de algún modo conseguir su comportamiento óptimo. A diferencia de los niveles A (3) y A (4), que podían existir con y sin computadora como CN o CNC, en este nivel es indispensable disponer de un ordenador, el cual es programado con modelos descritos por ecuaciones matemáticas que definan el comportamiento del proceso, los condicionantes de dicho proceso y los aspectos del proceso que han de ser optimizados. Resulta obvio que para poder elaborar el modelo es necesario conocer perfectamente la teoría del proceso a optimizar, de modo que puedan elaborarse las fórmulas describiendo su comportamiento real.

La obtención efectiva de este nivel de automatización es relativamente sencilla en procesos continuos sobre lo que se conoce a la perfección la teoría que los fundamenta y en los que la medición de sus parámetros es bastante sencilla, siendo éste el caso, por ejemplo, de las refinerías de petróleo fundamentadas en la transmisión de calor y la dinámica de fluidos (materias muy bien estudiadas). Sin embargo, su aplicación a los sistemas de producción no es tan sencilla, pues los procesos industriales son bastante complejos y la variación de parámetros no puede determinarse desde un primer momento por no tener una medición sencilla. Por esta razón no hay demasiadas máquinas con este nivel de automatización en talleres mecánicos.

Un controlador más complejo puede utilizarse para diferentes procesos y, por tanto, el mayor costo en el desarrollo puede compartirse entre diversas aplicaciones. Sin embargo, se hace necesario recordar que la utilización del control adaptable o adaptativo (CA), no sustituye el buen conocimiento del proceso que es fundamental para elegir las especificaciones correctas.

Los elementos básicos del control adaptable (CA) son:

1. Identificación: detección de la perturbación en el proceso o en la salida.
2. Análisis: estudio del modo de optimización posible.
3. Modificación: emisión de una señal para alterar las entradas.

Un ejemplo que ayuda a la comprensión de este sistema es de una rectificadora entre puntos con mando en control adaptable o adaptativo (CA) en la que el sistema toma medidas de las fuerzas en la herramienta, así como las dimensiones de la pieza a tratar. En esta operación, las fuerzas de corte de la muela tienden a flexionar la pieza según se aleja ésta de los puntos, es decir, que realizando el rectificado de un cilindro la flexión máxima se consigue en el punto medio. Por este motivo, en el programa de control adaptable las fórmulas introducidas previamente, relacionarían la deformación con las fuerzas de amolado, alterando así el avance de la muela para tratar de minimizar la deformación.

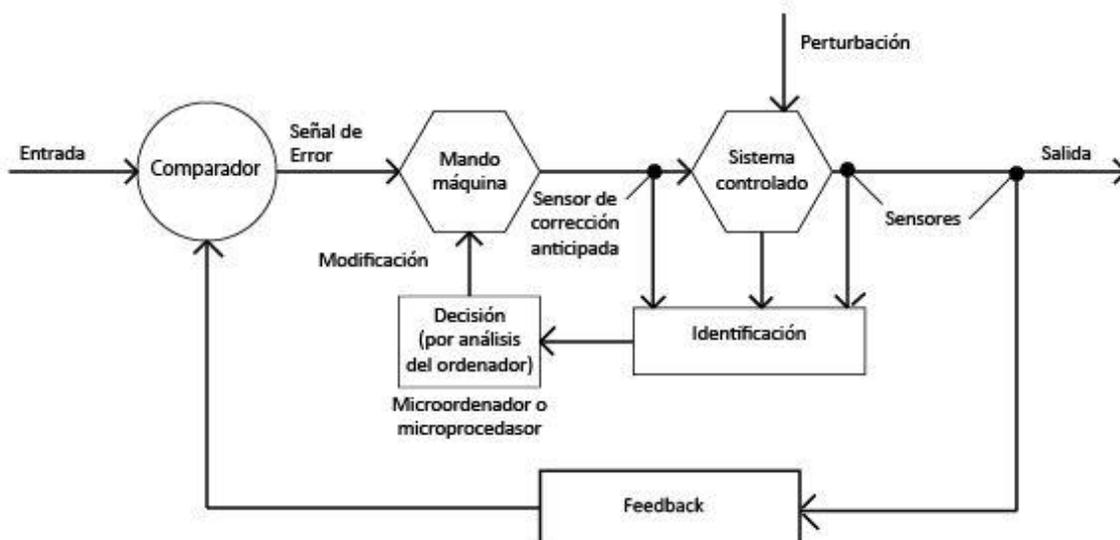


Diagrama de nivel de automatización A (5) en bucle de control adaptable.

2.7. CATEGORÍA A (6)

El siguiente nivel de automatización A (6) es lo que se conoce como inteligencia artificial (IA) o autoprogramación limitada. La inteligencia artificial se define como un programa de computación diseñado para realizar determinadas operaciones que se consideran propias de la inteligencia humana, de hecho, este nivel logra un proceso de aprendizaje por experiencia, prescindiendo de la ayuda humana.

En la década de los 60, Marvin Minsky cofundó el laboratorio de IA del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y describió la inteligencia artificial como la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes. Otra de las definiciones otorgadas a la inteligencia artificial en esta década fue que consiste en hacer que las computadoras hagan cosas que, de momento, las personas hacemos mejor.

En el ámbito de la inteligencia artificial existen diferentes áreas como la lógica difusa, algoritmos bio-inspirados, razonamiento probabilístico y redes neuronales artificiales.

- Lógica difusa: ésta permite a los programas informáticos realizar la distinción entre valores que se sitúan entre lo verdadero y lo falso. Por ejemplo, permite diferenciar entre, por ejemplo, ente frío, templado y caliente, mediante el uso de modelos matemáticos y, por lo tanto, resulta muy útil a la hora de realizar máquinas con capacidad de asimilación de información difícil de definir. Estos sistemas tratan de reproducir la toma de decisiones humanas pero de una forma más rápida. Además presentan tolerancia al ruido en la entrada de datos y actualmente se encuentran muy extendidos. Las lavadoras inteligentes o los sistemas de aire acondicionado utilizan estos sistemas.
- Algoritmos bioinspirados: mediante métodos tradicionales, muchos problemas de optimización son imposibles de resolver y necesitan del uso de algoritmos evolutivos basados en la naturaleza para llegar a soluciones óptimas. Inspirados en los principios darwinianos, estos algoritmos simulan los mecanismos existentes en la evolución de los seres vivos como la selección natural y la reproducción. Son tenidos muy en cuenta debido a su potencial para resolver problemas complejos, siendo utilizados con frecuencia en aplicaciones relacionados con la asignación de recursos, clasificación de patrones, planificación de procesos u optimización de las rutas de vehículos.

- Razonamiento probabilístico: Expresa la probabilidad condicional de que ocurran determinados hechos, teniendo en cuenta relaciones probabilísticas entre sucesos que han ocurrido previamente. Por ejemplo, si disponemos de la cantidad adecuada de ejemplos históricos de datos, podemos saber la posibilidad de tener gripe si se tiene un dolor de cabeza. La importancia que tienen para todas las áreas de la ingeniería es mayúscula, al poseer un vínculo tan estrecho con la probabilidad de aspectos casuales dado el efecto observado.
- Redes neuronales artificiales: La creación de máquinas capaces de procesar la información igual que el ser humano ha sido un objetivo que los científicos han perseguido desde los comienzos de la inteligencia artificial. Las redes de neuronas artificiales son un paradigma de aprendizaje automático cuya inspiración es la forma en la que trabaja el sistema nervioso biológico, en el que millones de neuronas trabajan en equipo mediante interconexiones y producen salidas a estímulos recibidos.

Se caracterizan por gozar de propiedades como la capacidad de aprendizaje a partir de ejemplos. Al emular el funcionamiento del cerebro humano, poseen en muchos casos, características parecidas. Son capaces de abstraer características esenciales a partir de entradas que presentan información irrelevante, aprender de la experiencia y generalizar casos anteriores a nuevos casos. Son por tanto, especialmente adecuadas para aplicaciones donde ningún modelo matemático identificable pueda ser programado. Se han utilizado para hacer predicciones en el mercado financiero, patrones de fraude económico, hacer predicciones de tiempo atmosférico y generalmente para problemas de clasificación y reconocimiento de patrones.

En la fabricación de hoy en día ya se están empleando estas técnicas avanzadas para el control y optimización de los procesos y las líneas de producción. Una máquina ya puede aprender mejor, más rápido y de manera más fiable que una persona partiendo de los mismos datos. Es más, ni siquiera es necesario que parta de los mismos datos, porque con los sensores y la tecnología adecuados puede, en realidad, partir de muchos más y procesarlos de manera que un humano no sería capaz.

Con el objetivo de introducir mayores niveles de independencia en las máquinas CNC, un estudio sobre la optimización de tornos y fresadoras, ha llegado a calcular la secuencia óptima de controles para una trayectoria de la herramienta, para una geometría de la herramienta dada y tipo de material que se desea mecanizar. Se simula el proceso, encuentra la solución óptima y reconstruye los estados teniendo en cuenta la rugosidad de la superficie.

2.8. CATEGORÍAS A (7), A (8) y A (9)

Estos niveles de automatización no son una realidad actualmente, de hecho, habría que reservarlos para la ciencia ficción.

Nivel de automatización A (7): este nivel de automatización sustituye el atributo del razonamiento humano, la máquina muestra intuición relacionando causas con efectos. Se trata de inteligencia artificial (AI) avanzada, la cual mostraría razonamiento intuitivo.

Nivel de automatización A (8): este nivel de automatización sustituye el atributo humano de la creatividad, la máquina ejecuta diseños sin ayuda humana. Estas máquinas se caracterizarían por mostrar originalidad.

Nivel de automatización A (9): este último nivel de automatización sustituye el atributo humano de la dominación. Se trata de la “supermáquina”, una máquina que manda sobre otras. El ejemplo perfecto para este nivel de automatización se puede encontrar en la conocida novela “2001, una odisea en el espacio”. En ella se puede encontrar a HAL, al cual se define como una computadora o supercomputadora algorítmica programada heurísticamente, es la encargada de controlar todas las funciones vitales de la nave espacial, llegando a cambiar su comportamiento a lo largo de la novela de forma brusca.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

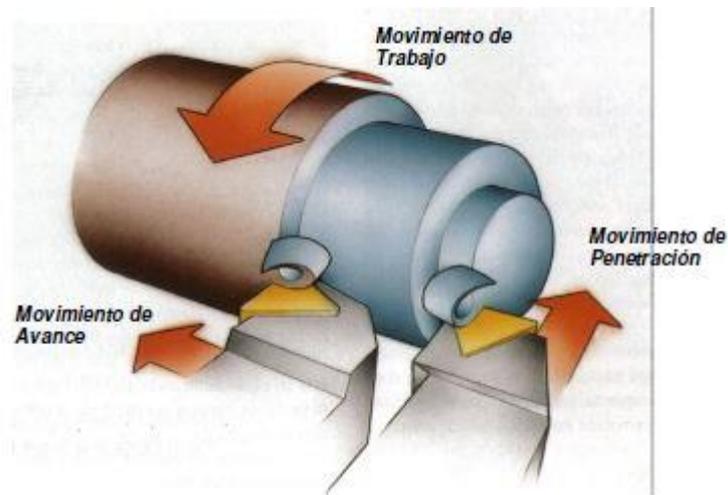
3. EL TORNO

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

“Torno” es la denominación general para describir las máquinas-herramientas que permiten el mecanizado de piezas con geometría de revolución, ya sean cilindros conos o hélices. Las operaciones de estas máquinas-herramientas se basan en provocar el giro de la pieza a mecanizar mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento de avance controlado por la propia máquina-herramienta, contra la superficie de la pieza, generándose de este modo la viruta a partir de las partes sobrantes de la pieza. Es decir, el torno permite transformar un sólido indefinido (tocho) provocando su giro en torno a su eje y “arrancándole” material de su periferia (arranque de viruta) con el objetivo de obtener una geometría definida (pieza o producto).

Por lo tanto, en el torno la pieza gira sobre su eje realizando un movimiento de rotación denominado “movimiento de trabajo”, y es atacada por una herramienta con desplazamientos de los que se diferencian dos:

1. **Movimiento de avance:** es un movimiento generalmente paralelo al eje de la pieza, es el movimiento que define el perfil de revolución a mecanizar.
2. **Movimiento de penetración:** es un movimiento perpendicular al anterior, es el que determina la sección o profundidad de viruta a extraer.



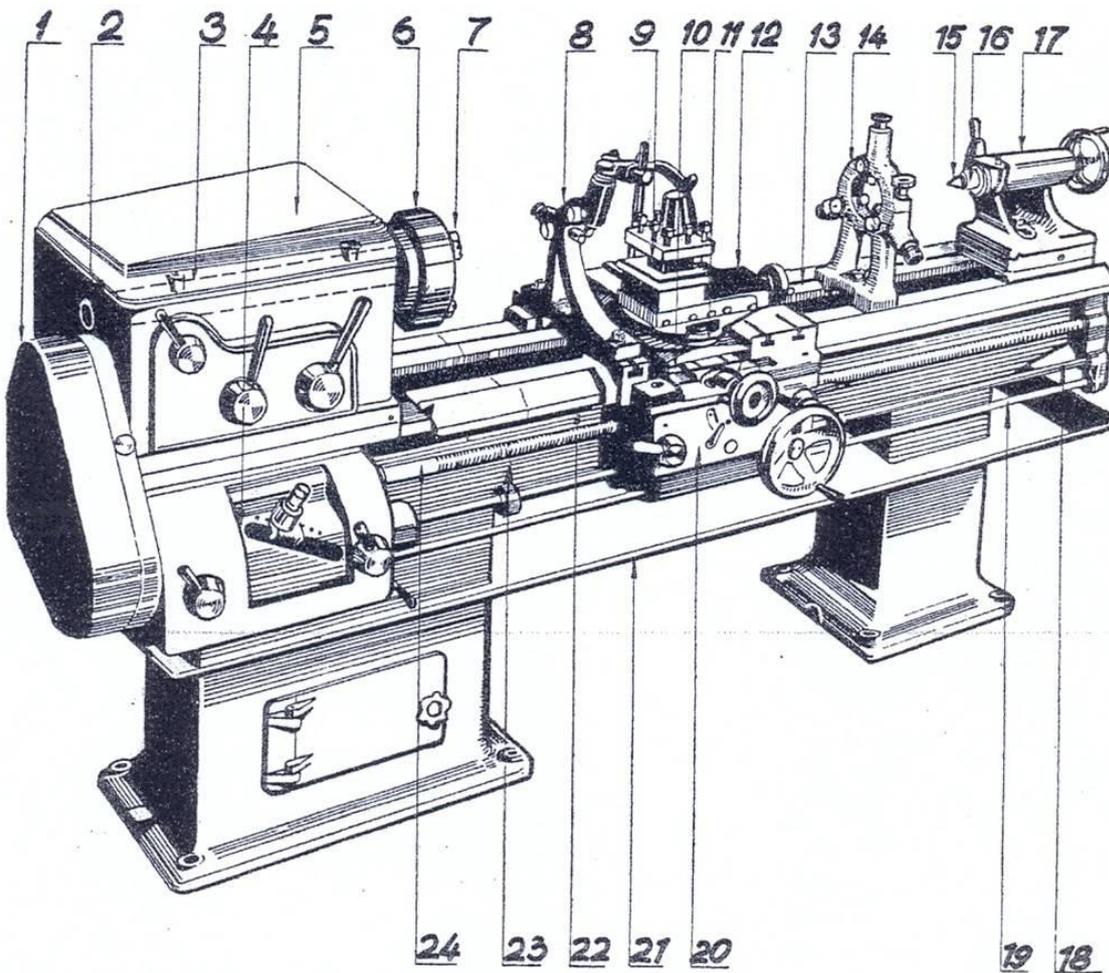
Representación de los movimientos en el torno.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Como se ha podido comprobar analizando la evolución de las máquinas-herramienta a lo largo de la historia, el torno ha sido una de las primeras en aparecer en escena y de las más usadas desde la edad de piedra hasta nuestros días. De hecho, su desarrollo técnico y tecnológico no solo lo ha llevado a ser la máquina-herramienta que se conoce en la actualidad y a tener tal relevancia, sino que ha sido, además, de gran importancia para el nacimiento, desarrollo y evolución de otras máquinas-herramientas.

3.1. ARQUITECTURA DEL TORNO

Las distintas formas de torno existen hace más de 2000 años, pero en su versión “moderna”, datan, como ya se ha mencionado, del año 1797, con el desarrollo de una máquina-herramienta dotada de barra de avance por Henry Maudslay. El objetivo era gobernar el avance de la herramienta de forma mecánica. De este modo fue desarrollándose la arquitectura del torno hasta llegar a las partes reconocidas a día de hoy, y que se pueden apreciar en la siguiente imagen y serán explicadas a continuación.



Componentes principales de un torno paralelo.

1. Tapa de la lira.
2. Agujero del eje principal para la entrada de barra de material.
3. Eje principal.
4. Caja de cambios de avances.
5. Cabezal.
6. Plato universal.
7. Garras del plato universal.
8. Luneta móvil.
9. Torreta portaherramientas.
10. Carro transversal.
11. Plataforma giratoria.
12. Carro orientable o charriot.
13. Guías de la bancada.
14. Luneta fija.
15. Contrapunto.
16. Eje del contracabezal.
17. Contracabezal.
18. Eje de cilindrar.
19. Barra de accionamiento del interruptor eléctrico o barra de avance.
20. Carro principal o longitudinal con su delantal.
21. Bandeja para viruta.
22. Cremallera.
23. Bancada.
24. Eje de roscar o husillo patrón.

3.1.1. BANCADA (23)

La bancada es la pieza más grande del torno y, normalmente, va provista de unos nervios que le dan solidez e impiden que pueda deformarse, de modo que hace de armazón o soporte de la máquina-herramienta, es decir, sirve de apoyo y guía a los demás mecanismos del torno. Por lo tanto la bancada (23) es “la espina dorsal” del torno.

La bancada (23) cuenta con dos juegos de guías (13) longitudinales y paralelas, interiores y exteriores, normalmente en la cara superior de su morfología. Puede encontrarse que las guías tengan forma de V invertida, o bien que una de ellas tenga esta forma y la otra sea una guía plana, pudiendo suceder esto en ambos pares o simplemente en uno de ellos. Debido a que otros componentes del torno son montados sobre las guías descritas, éstas deben mecanizarse con gran precisión de forma que se asegure fielmente su paralelismo, pues deben de servir de perfecto asiento y permitir el desplazamiento suave y sin juego de componentes como el carro

principal (20). Además, para asegurar el buen ajuste y montaje de los demás componentes, se debe evitar en la medida de lo posible la abrasión y el desgaste de las guías, por lo que habitualmente se realiza un endurecimiento superficial de las mismas y se presta gran atención durante el trabajo en torno a tratar de no dañarlas pues todo desarreglo supondría la inutilización de la máquina-herramienta.

En la siguiente imagen se pueden apreciar las guías (13) en la cara superior de la bancada. Este modelo presenta una de las guías en forma de V (situada a la izquierda) y otra plana (situada a la derecha). También se pueden distinguir en la cara lateral de la bancada, de arriba abajo respectivamente, el eje de roscar o husillo patrón (24), el eje de cilindrar (18) y la barra de avance o barra de accionamiento del interruptor eléctrico (19). Esta última barra no está presente en todos los modelos de torno y permite, mediante un conmutador, la puesta en marcha del motor eléctrico o la inversión de su sentido de giro. En los modelos de torno que no disponen de este tercer eje, la puesta en marcha se hace mediante pulsadores eléctricos situados normalmente en la parte superior del cabezal.

También puede apreciarse, sobre el eje de roscar o husillo patrón (24), la cremallera (22) de la bancada. Esta cremallera es un dispositivo mecánico alojado en el delantal con dos engranajes, piñón y cremallera, cuya finalidad es convertir un movimiento de rotación en uno de traslación, de modo del el carro principal (20) puede moverse longitudinalmente sobre las guías de la bancada.



Detalle de la bancada con las guías, los ejes laterales y la cremallera.

3.1.2. CABEZAL (5)

El cabezal (5) se encuentra en montaje fijo, sin variar su posición sobre las guías internas de la bancada, ajustado a un extremo de ésta, normalmente a la izquierda, y sujeto a ella mediante tornillería. En su interior se encuentra el mecanismo encargado de provocar el movimiento de rotación de la pieza a distintas velocidades, es decir, el cabezal contiene los engranajes o poleas que han de impulsar la pieza a trabajar y las unidades de avance. Por lo tanto, incluye el motor, el husillo, la caja de velocidades, la caja de avances (4) o Caja Norton.

La siguiente imagen muestra el cabezal (5) de un torno paralelo. En la parte superior de la imagen se pueden apreciar unos mandos sobre una placa plateada, los cuales se corresponden a los mandos de la caja de velocidades. En la parte media de la imagen, a la altura de las barras de roscar, de cilindrar y de avance, se aprecian de nuevo unos mandos, los cuales se corresponde con la caja de avances (4). Más adelante será explicada la transmisión del movimiento a través de estos mecanismos.



Cabezal de un torno.

El husillo del que se ha hablado anteriormente es el eje del torno, el cual tiene como función sostener en un extremo el dispositivo de amarre de la pieza, como puede ser el plato de garras o una pinza, y sobre él están montadas las poleas donde se recibe el movimiento proveniente del motor. Debido a que la precisión del torno es dependiente, en gran medida, del husillo, éste se suele construir con una alta robustez y sobre cojinetes muy resistentes, pudiendo éstos precargarse de bolas o rodillos cónicos. Es un elemento hueco durante toda su longitud para poder alimentar material a través de él, por lo tanto el diámetro de dicho hueco u orificio determinará la medida máxima del diámetro del material que pueda alimentarse a través del husillo para ser mecanizado.



Husillo montado sobre cojinetes de rodillos.

En la imagen inicial, donde se señalan los componentes del torno, se indica el agujero del eje principal (3) para la entrada de material. Este agujero forma parte del cabezal (5) y se encuentra en su parte posterior, es utilizado para la entrada automática de material, es decir alimentación automática. Esta alimentación automática será explicada más adelante.

3.1.3. CARROS

Los carros tienen la misión de desplazar la herramienta cortante. La herramienta ha de acercarse a la pieza para conseguir la profundidad de pasada requerida y obtener el movimiento de avance que se desee. En los tornos están presentes tres carros diferenciados:

- Carro principal o de desplazamiento longitudinal (20): es el encargado de producir el movimiento de avance de la herramienta, desplazándose manual o automáticamente en paralelo al eje principal (3) del torno. Se encuentra apoyado sobre la bancada (23) y se desplaza a lo largo de sus guías (13).

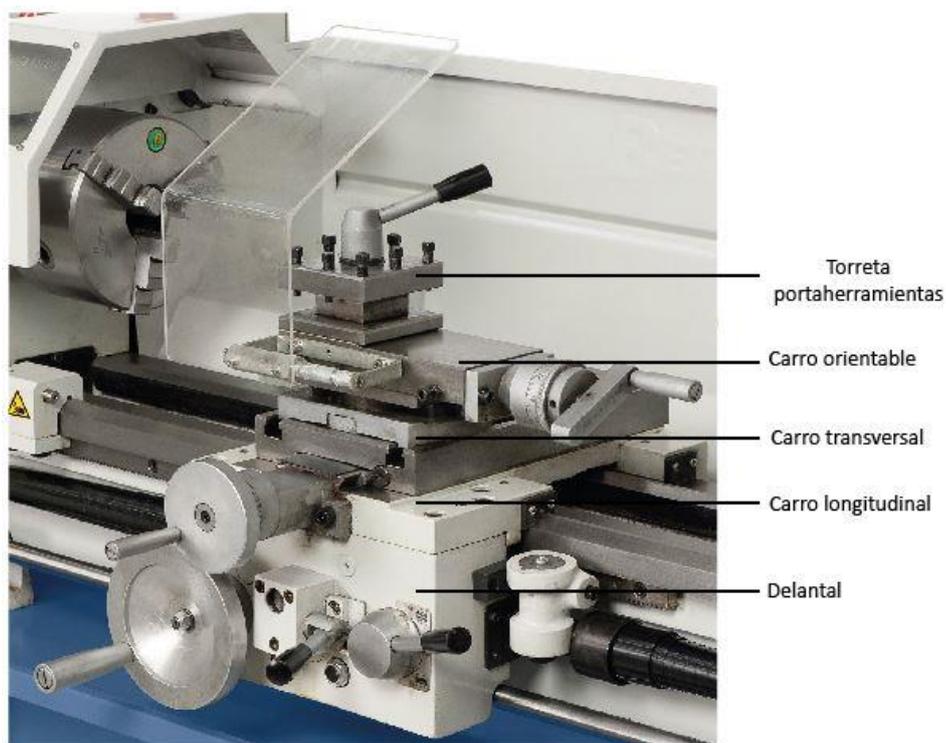
El carro de desplazamiento longitudinal (20) consta de dos partes diferenciadas las cuales forman un ángulo recto entre sí. La primera es la que se desliza sobre las guías (13) de la parte superior de la bancada y, la otra parte, el delantal, va atornillada a la primera y baja por la parte anterior de la bancada. El delantal contiene en su interior los mecanismos necesarios para conseguir los movimientos automáticos y manuales de las herramientas de roscado, cilindrado y refrentado.

- Carro de desplazamiento transversal (10): se mueve perpendicularmente al eje principal (3) del torno manual o automáticamente, determinado así la profundidad de pasada en el mecanizado. El carro de desplazamiento transversal (10) se desliza sobre unas guías perpendiculares, normalmente de cola de milano, sobre la parte superior del carro principal de desplazamiento longitudinal (20).
- Carro orientable o charriot: está presente en los tornos paralelos. Se encuentra apoyado sobre una plataforma giratoria (11) en torno a un eje central que puede fijarse al carro transversal (10) en la posición angular que se precise para el torneado de conos. Sobre este carro se encuentra el dispositivo en el cual se coloca la herramienta, la torreta portaherramientas (9).

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

En la siguiente imagen se muestra el conjunto formado por los carros explicados. Se señalan cada uno de los carros así como la torreta portaherramientas (9) y el delantal, mencionados anteriormente y señalados como parte del carro principal o de desplazamiento longitudinal (20) y del carro orientable (12), respectivamente. En la imagen también puede llegar a apreciarse las guías de cola de milano del carro longitudinal (20) sobre las que se desliza el carro transversal (10).

En la mitad inferior de la imagen pueden verse dos volantes, uno sobre el otro. El superior es el encargado de proporcionar el movimiento transversal del carro de desplazamiento transversa (10), es decir, el movimiento de penetración, mientras que el volante inferior es el encargado de proporcionar el movimiento longitudinal del carro principal o de desplazamiento longitudinal (20) a lo largo de la bancada (23), siendo este desplazamiento el correspondiente al avance de la herramienta.



Conjunto formado por los carros de un torno.

3.1.4. CONTRACABEZAL (17)

Es un dispositivo situado en los tornos cuyo eje (16) es coincidente con el eje del cabezal, es decir, con el eje principal (3). Tiene como función principal servir de apoyo a piezas largas que se quiere mecanizar exteriormente y que su longitud es excesiva para ser trabajada al aire. Por lo tanto, estas piezas estarían amarradas por uno de sus extremos y apoyadas sobre el contrapunto (15) por el otro.

Como se aprecia en la imagen, el contracabezal (17) está compuesto por un cuerpo principal (reforzado con tirantes en este caso para mayor robustez), con una base llamada suela, mecanizada en su parte inferior con el perfil adecuado para que sea deslizante sobre las guías de la bancada.

En la parte superior del conjunto se mecaniza un agujero pasante a lo largo del cual se desliza un tubo o caña, cuyo movimiento axial es controlado accionando el volante situado en el extremo derecho. Esta caña lleva mecanizado en su extremo interior un cono (tipo Morse) que servirá para alojar diferentes accesorios, como contrapunto (15), portabrocas, y en general una amplia gama de herramientas con mango cónico.

La palanca que se encuentra en la parte izquierda del cuerpo del contracabezal (17) hace las veces de freno del sistema. De este modo, para poder accionar el volante primero se ha de liberar la palanca de freno.



Contracabezal de un torno paralelo.

3.1.5. ELEMENTOS ACCESORIOS

Los elementos accesorios son unos dispositivos que pueden incorporarse a los tornos con el fin de facilitar o permitir la realización de un trabajo u operación determinada que no sería posible sin ellos o, por lo menos, resultaría más dificultosa.

3.1.5.1. LUNETAS

Estos elementos se consideran dispositivos de sujeción y apoyo de la pieza de trabajo. Es necesario diferenciar entre dos tipos diferentes de luneta, la luneta fija y la luneta móvil.

- Luneta fija (14): se utiliza para soportar piezas largas sujetas en un plato de garras o entre centros del torno, es decir, entre puntos. Se coloca y se alinea con las guías de la bancada (13) y puede quedar en cualquier punto de la bancada (23) del torno, siempre y cuando deje libre el recorrido del carro principal o de desplazamiento longitudinal (20).



Luneta fija.

- Luneta móvil (8): también denominadas lunetas de seguimiento, se denominan así las lunetas montadas sobre el carro principal (20). Estas lunetas se desplazan junto a dicho carro sobre las guías de la bancada (13). Con este dispositivo se evita que la pieza “salte” hacia arriba y fuera del alcance de la herramienta de corte.



Luneta móvil.

3.1.5.2. ACCESORIOS COPIADORES

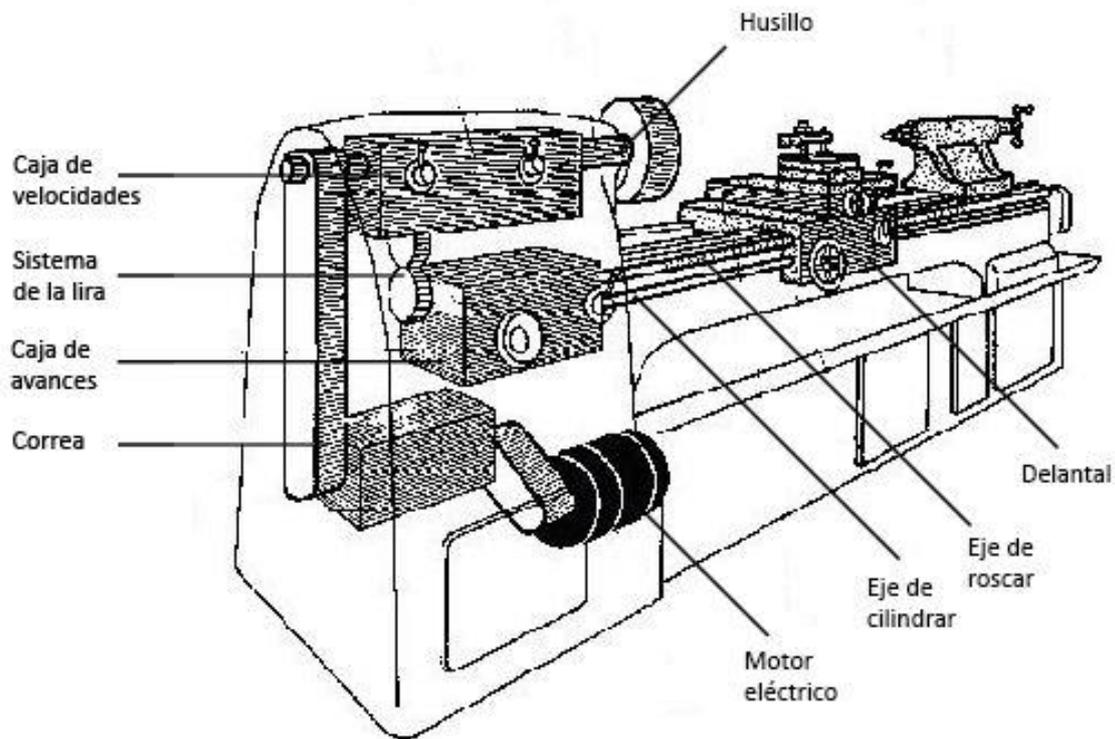
Estos accesorios se incorporan a los tornos con el objetivo de la reproducción de una pieza construida previamente, es decir, trata de reproducir una pieza patrón o una plantilla preparada para este fin. De este modo se consiguen, con bajo costo, piezas de tamaño considerable en series pequeñas

Su funcionamiento consiste básicamente en la acción de un palpador muy sensible que sigue el contorno de la plantilla o pieza patrón, transmitiendo su movimiento por un mecanismo hidráulico o magnético a un carro que tiene movilidad independiente. Con la incorporación de estos dispositivos es necesaria una herramienta que permita la evacuación de la viruta de manera sencilla, además de un buen sistema de lubricación y refrigeración.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

3.2. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Para comenzar con la transmisión de movimiento se muestra un esquema de conjunto donde se ven los diferentes elementos que se van a tratar más adelante.



Esquema de los componentes interiores de un torno paralelo.

El movimiento parte de un motor eléctrico situado, normalmente, en la parte inferior del extremo izquierdo de la máquina-herramienta. Este movimiento es transmitido al husillo del mismo cabezal, una vez regulado convenientemente en la caja de velocidades, situada en la parte superior del cabezal. El movimiento transmitido del motor al husillo se transmite por medio de un sistema polea-correa, pudiendo ésta ser de perfil dentado para ofrecer una transmisión más fiel evitando la posibilidad de que ésta patine.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

La última polea de este sistema se encuentra montada sobre un eje que accede al interior de la caja de velocidades y es paralelo al eje del husillo. Sobre este eje hay dispuesto un sistema de engranajes de distintos diámetros, mediante los cuales se consigue transmitir al husillo el número de revoluciones que se desee y se haya determinado en los mandos de la caja de velocidades.



Interior de la caja de velocidades.

Posteriormente, el movimiento deriva de la caja de velocidades a la caja de avance o la caja Norton, situada ésta debajo de la anterior. Estas dos cajas están conectadas por la caja de la lira, la cual contiene el sistema compuesto por la propia lira o guitarra y una serie de engranajes desmontables. Este sistema conecta la parte posterior del eje principal del torno con la caja de avances y determina la relación de transmisión entre ambos.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Sistema de lira y engranajes desmontables.

En el interior de la caja de avances se encuentra una serie de engranajes que, según su disposición, transmiten diversos avances a los carros. A la salida de la caja de avances se encuentran dos ejes ya mencionados: el eje de cilindrar y el eje de roscar o husillo patrón. El primero, el eje de cilindrar, transmite las velocidades de la caja Norton al interior del delantal, de modo que, a través de un nuevo sistema de engranajes, son transformadas en avances automáticos de los carros longitudinal y transversal. Como ya se ha mencionado, el desplazamiento transversal del carro portaherramientas a lo largo de la bancada sobre sus guías, se produce por un sistema de cremallera que transforma un movimiento de rotación en un movimiento de traslación. Por su parte, el eje de roscar o husillo patrón es el encargado de transmitir avances automáticos al carro de desplazamiento longitudinal para los casos de operaciones de roscado.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TORNOS

Los tornos primitivos se utilizaban para realizar trabajos en madera, piedra y materiales semejantes, como es el caso por ejemplo del torno accionado con arco de violín. En este torno la pieza a trabajar gira entre dos puntos horizontales gracias al movimiento del arco generado por una mano del operario, mientras que la otra mano maneja la herramienta de corte. Este instrumento, que consigue crear por primera vez un movimiento de rotación alternativo, consta de un arco y una cuerda, la cual se encuentra enrollada en torno a la pieza a mecanizar.

Poco a poco, el desarrollo del torno fue dando lugar a nuevos tipos de tornos destinados a facilitar la realización de determinados trabajos que supondrían mayor complejidad en otros tipos. De este modo, como se ha podido ver a lo largo de la evolución histórica de la máquina-herramienta, aparecieron el torno horizontal o paralelo, el torno vertical, el torno semiautomático o revólver, el torno automático y el torno de control numérico por computadora (CNC). Estos tipos de torno son explicados a continuación, señalando su fundamento y utilidad.

3.3.1. TORNO PARALELO U HORIZONTAL

El torno paralelo ha sido, de todos los tipos de torno, el de mayor difusión y el más utilizado, a pesar de no ofrecer grandes posibilidades en cuanto a fabricación en serie.

El torno paralelo trabaja en dos ejes (X, Z), pues tiene desplazamientos de avance y desplazamientos de penetración, y como ya se ha visto, cada uno de estos desplazamientos tiene su carro correspondiente. Con el torno paralelo pueden realizarse todos los trabajos descritos hasta el momento gracias a estos desplazamientos y, en el caso de la mecanización de conos, gracias al charriot, que al inclinarse los grados necesarios permite la realización de este trabajo. La mayoría de los tornos paralelos disponen de bandeja de recogida de viruta y de sistema de refrigeración circulante.

Sin embargo, a día de hoy ha quedado relegado a la realización de trabajos de menor importancia, a su utilización en talleres de aprendizaje y de mantenimiento de elementos puntuales o específicos, de hecho, es adecuado solamente para piezas únicas y para trabajos especiales. Estos tornos precisan de cierta pericia por parte de los operarios que lo utilizan, pues el manejo manual de sus carros puede ocasionar errores a menudo en la geometría de las piezas torneadas.

A pesar de estos posibles errores a la hora de su operación, los trabajos típicos de un torno paralelo son el torneado exterior o cilindrado, el torneado interior o mandrinado, y el taladrado en torno, en el cual la broca se amarra en el contracabezal. También, una vez realizadas las anteriores operaciones, se realiza un tronzado para separar la pieza trabajada o mecanizada del tocho en bruto amarrada al plato de garras.

Cabe señalar el torneado cónico, pues 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. Más adelante se comentará el torneado cónico, por ejemplo de rótulas, las cuales son difíciles de hacer manualmente en un torno paralelo para conseguir exactitud en las mismas.

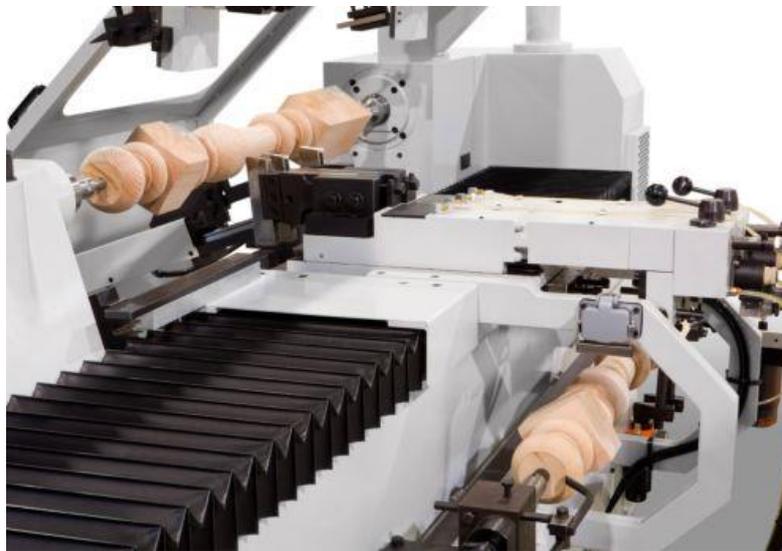


Torno paralelo.

Anteriormente se han explicado los accesorios copiadores que pueden incorporarse a los tornos, entre ellos al torno paralelo u horizontal. Los trabajos a realizar en los tornos con accesorio copiador son trabajos sobre piezas con complejidad geométrica, como por ejemplo la mecanización de conos (torneado cónico) o de esferas (torneado esférico), como en el caso de las rótulas.

Con estos accesorios el mecanizado de las piezas con estas geometrías no tiene mayor problema porque se utiliza una plantilla de copiado que permite que el palpador se desplace por la misma y los carros actúen de forma coordinada. Por lo tanto, fabricando previamente una pieza modelo, pueden realizarse piezas idénticas y a mayor velocidad reduciendo notablemente los tiempos, a pesar de la complejidad que alcance su geometría. Tal es el caso del ya comentado torneado cónico, en el que no hay problema porque la plantilla de copiado permite que el palpador se desplace por la misma y los carros actúen de forma coordinada. Además se puede llegar a realizar trabajos que no sería posible mediante tornos convencionales.

La siguiente imagen muestra un accesorio copiador montado sobre un torno paralelo. Pueden apreciarse dos piezas (dos patas de mesa), la superior se trata de la pieza a mecanizar, mientras que la inferior es la pieza modelo o la plantilla de copiado. El palpador deberá seguir el contorno de la pieza, de modo que transmita el movimiento requerido a la herramienta de corte.



Accesorio copiador actuando sobre madera.

3.3.2. TORNO VERTICAL

El torno vertical se usa para mecanizar piezas grandes, de difícil manejo y, normalmente, de baja altura y gran diámetro, que por su magnitud o su peso se hace imposible la fijación de las mismas a un torno paralelo. Gracias a estos tornos se consigue evitar las dificultades de montaje y de equilibrio de las piezas para su mecanizado.

En este tipo de torno, también denominado torno vertical de husillo suspendido, el husillo se encarga de las operaciones de mecanizado pero también de la automatización. Es decir, el eje de rotación está dispuesto verticalmente, por lo tanto, el plato giratorio del torno se encuentra en un plano horizontal que supone una capacidad de montaje de piezas de gran peso y volumen. Está claro entonces que cuando se habla de tornos verticales se habla de unas máquinas de gran tamaño capaces de mecanizar piezas de grandes dimensiones. Estos tornos facilitan el apoyo de las piezas y permiten un amarre más sencillo.

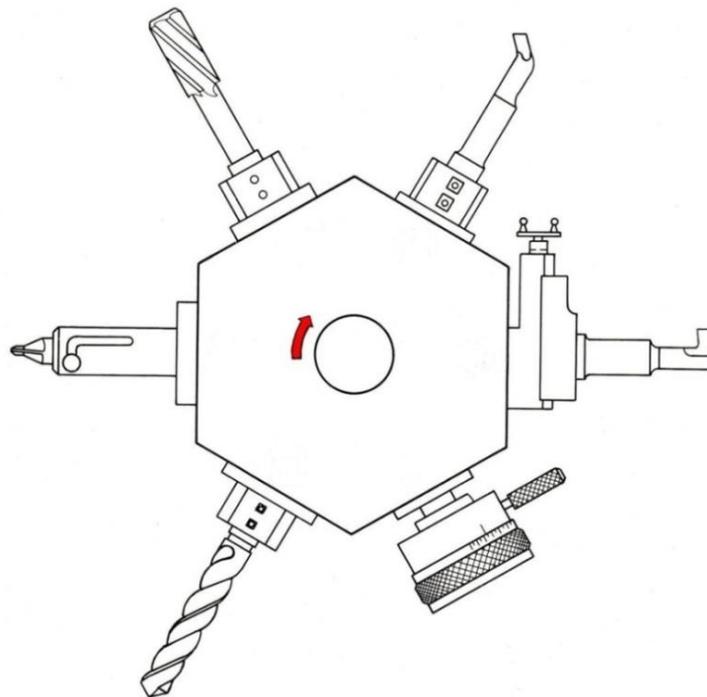


Torno vertical.

3.3.3. TORNO SEMIAUTOMÁTICO O REVÓLVER

En los tornos revólver, en lugar del contracabezal o cabezal móvil, llevan incorporado un tambor giratorio denominado torreta revólver, que permite la entrada en juego de las diferentes herramientas con un giro parcial de la misma. Cuando se hacen trabajos en serie es viable la utilización de este tipo de máquinas debido a su rapidez y precisión.

El revólver suele tener seis caras sobre las que se montan las herramientas, pudiendo girar en torno a un eje vertical para obtener una posición de trabajo óptima, teniendo un desplazamiento longitudinal, manual o mecánico, que dote a la herramienta de movimiento de avance. El cambio de herramienta automático se produce cuando el revólver se aleja del husillo, de modo que al final del recorrido realiza un giro colocando la siguiente herramienta en posición de trabajo. Por lo tanto, el orden de las herramientas en el revólver no es aleatorio, ha de estar bien estudiado. Debido a este cambio de herramienta una vez acabado el ciclo le acompaña la denominación de semiautomático. Estos tornos, como puede deducirse por la variedad de herramientas con las que se puede trabajar, pueden realizar diferentes operaciones sobre la misma pieza, como puede ser cilindrado interior y exterior, taladrado, escariado, ranurado, moleteado... y, una vez finalizada la pieza, un tronzado para separarla del tocho en bruto sujeto al plato de garras.



Torreta revólver para torno.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Estos tornos además de la torreta revolver sobre un carro longitudinal, incorporan además una torreta portaherramientas secundario de desplazamiento transversal y longitudinal unida al delantal, de modo que puedan realizarse varias operaciones sobre una pieza utilizando diferentes herramientas simultáneamente y a gran velocidad. Por lo tanto, estas máquinas consiguen reducir los tiempos considerablemente y pueden trabajar grandes series de producción.

La siguiente imagen muestra un torno con torreta revolver, la cual puede verse en la parte superior derecha de la máquina. La máquina mostrada no es una máquina moderna, debido de nuevo a que estas máquinas según han ido evolucionando han ido estando más tapadas, por lo que en las máquinas modernas resulta más complicado apreciar sus componentes.



Torno revólver.

3.3.4. TORNO AUTOMÁTICO

Estos tornos permiten realizar todo el mecanizado de las piezas sin intervención del operario, debido a su automaticidad, conseguida gracias a la incorporación de diversos tipos de levas, utilizados para realizar trabajos en serie, reduciendo el tiempo y el coste de los mismos.

El proceso de trabajo se encuentra enteramente automatizado, incluida la alimentación de material a trabajar, introduciéndose una barra de gran longitud por el cabezal y el husillo de modo que unas pinzas la sujetan mediante un apriete hidráulico.

Se puede trabajar con tronos automáticos monohusillo o bien multihusillo. La diferencia entre estas dos máquinas, además del obvio número de husillos, son sus aplicaciones.

- Tornos automáticos monohusillo: son utilizados para realizar trabajos de mecanizado sobre piezas pequeñas que necesiten grandes series de producción. La alimentación de material se produce a través del único husillo de la máquina, de forma que solo se realiza una pieza por cada ciclo. Sobre el material o tocho en bruto trabajan simultáneamente diferentes herramientas, realizando varias operaciones y finalizando con un tronzado, dando así por terminado el ciclo que habrá de repetirse continuamente.

Las siguientes imágenes muestran un torno automático monohusillo. El modelo escogido puede tener aspecto algo antiguo debido a que estos modelos se encuentran más descubiertos que los modelos más modernos, los cuales cada vez se fabrican más tapados, impidiendo apreciar sus componentes.

En la imagen de la izquierda se muestra el trono al completo, apreciándose en la izquierda de la imagen el tubo por el que se alimenta el material hasta la entrada en el cabezal. En la parte derecha puede observarse el motor del que parte el movimiento. En el caso de los tornos automáticos multihusillo, habría varios tubos de alimentación de material en bruto.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

En la imagen de la derecha se muestran las diferentes herramientas y el sistema de refrigeración, trabajando simultáneamente sobre una misma pieza. Una de las herramientas realiza una operación de tronzado sobre la pieza, de modo que cuando esta está acabada cae sobre una especie de contenedor que almacena tanto la viruta como el resto de piezas acabadas, dejando paso a más material para repetir el proceso una y otra vez.



Torno automático monohusillo.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

- Tornos automáticos multihusillo: son utilizados para realizar trabajos de mecanizado sobre piezas pequeñas que necesiten grandes series de producción. La alimentación de material se produce a través de varios husillos de la máquina, de forma que se realizan tantas piezas como husillos haya por cada ciclo. En estos tornos se mecanizan varias piezas simultáneamente, recibiendo cada una varias operaciones al mismo tiempo. Al igual que en los monohusillo, los ciclos finalizan con la operación de tronzado y retroceso de las herramientas a su punto de partida.

En la siguiente imagen pueden apreciarse los agujeros de salida del material, así como las diferentes herramientas que actuarán, al mismo tiempo, sobre las piezas a mecanizar.



Torno automático multihusillo

A la hora de realizar la elección de torno a utilizar, es importante el compromiso entre “tiempo de puesta a punto” y “tiempo de producción”. En el caso de los tornos automáticos, requieren puestas a punto muy largas y costosas, sin embargo sus tiempos de producción por pieza son realmente cortos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los tornos automáticos pueden funcionar mediante la actuación de diferentes tipos de levas. Cada leva, aun las del tipo más simple, no deja de tener almacenado un determinado programa de trabajo, encargado de transmitir al palpador que actúa sobre ella. Esta particularidad, traducida a términos mecánicos, significa que puede reproducir indefinidamente un ciclo de trabajo de unos órganos mecánicos conectados al palpador de la leva. Por ello su empleo en los tornos automáticos es una de sus principales aplicaciones, y por ello, el tiempo de preparación y puesta a punto de los tornos automáticos para la realización de un determinado trabajo es muy elevado y costoso, pues el trazado de esta clase de levas requiere de unos conocimientos tecnológicos elevados.

3.3.5. TORNO CNC

En el apartado de la evolución histórica ya se ha visto la aparición del CNC como un tipo de automatización blanda o programable que puede aplicarse a las máquinas herramientas. Por lo tanto, el torno CNC es una máquina-herramienta destinada al mecanizado de piezas y gobernada mediante el control numérico por ordenador. Este tipo de control está basado en un sistema de lenguaje que se comunica mediante la generación de códigos alfanuméricos teniendo en cuenta los ejes cartesianos X, Y, Z.

Para la utilización de estas máquinas-herramienta es necesaria la elaboración de un programa, el cual es una lista secuencial de instrucciones de mecanizado que han de ser ejecutadas por la máquina. Dichas instrucciones deben contener toda la información necesaria para lograr llevar a cabo el trabajo sobre la pieza a mecanizar.

El procedimiento a seguir para la realización de un programa, por lo tanto, parte del desarrollo de un orden lógico de las operaciones que se han de llevar a cabo, planeando las secuencias de principio a fin antes de escribir el programa. Es también necesaria la realización de los cálculos necesarios para la ejecución del trabajo, ya sean cálculos sobre las velocidades o simplemente un cálculo de coordenadas. En el programa también han de ir “descritas” las herramientas que han de utilizarse, indicando así los cambios en su momento preciso del trabajo, asegurándose claro, que dichas herramientas se encuentren presentes en la máquina-herramienta para evitar errores. De este modo, con la secuencia descrita, se podría escribir el programa que la máquina ejecutaría para realizar un trabajo determinado.

Los tornos CNC son muy versátiles ya que realizan funciones de taladrado y giros. Estos últimos, revolucionaron el mercado porque han facilitado la realización de cortes horizontales, verticales, curvos, los cuales anteriormente llevaban muchas horas de realización para los operarios. Los torno CNC pueden ser al mismo tiempo tornos de alimentación automática, tornos horizontales, tornos verticales, tornos revolver...

Un torno CNC puede hacer todos los trabajos que normalmente se realizan mediante diferentes tipos de torno como paralelos, copiadores, revolver, de alimentación automática e incluso los verticales. Su rentabilidad depende del tipo de pieza que se mecanice y de la cantidad de piezas que se tengan que mecanizar en una serie. Puede realizar piezas de gran complejidad que sería muy complejo de hacer con otro tipo de tornos o por lo menos facilita y agiliza su realización.

Con respecto al aspecto comentado anteriormente sobre el compromiso entre “tiempos de puesta a punto” y “tiempos de producción”, los tornos CNC tienen puestas a punto muy cortas, mientras que sus tiempos de producción por pieza son más largos que en el caso de los tornos automáticos.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

En el caso ya mencionado del torneado esférico, por ejemplo el de rótulas, no tiene ninguna dificultad si se realiza en un torno de CNC, porque programando sus medidas y la función de mecanizado radial correspondiente, lo realizará de forma perfecta. Al igual que en el caso anterior, en el torneado cónico no hay ningún problema porque, programando adecuadamente sus dimensiones, los carros transversales y longitudinales se desplazan de forma coordinada dando lugar al cono deseado.

La siguiente imagen muestra un torno CNC. A pesar de su modernidad, pueden apreciarse bastante bien sus elementos, como la bancada, el plato de garras, los carros portaherramientas, el delantal, el cabezal móvil o contracabezal, etc.



Torno CNC.

Una vez vistos los tornos automáticos y los tronos CNC, se ve necesario señalar algunas de sus diferencias, marcadas como ventajas o inconvenientes de una u otra.

Uno de los aspectos que ya se ha mencionado es el del compromiso entre “tiempos de puesta a punto” y “tiempos de producción”. En el caso de los tornos automáticos, requieren puestas a punto muy largas y costosas, sin embargo sus tiempos de producción por pieza son realmente cortos. Por su parte, los tornos CNC tienen puestas a punto muy cortas, mientras que sus tiempos de producción por pieza son más largos que en el caso de los tornos automáticos.

La mayoría de piezas producidas en máquinas de levas deben, además, someterse a otras operaciones posteriores en máquinas transfer, desbarbadoras, rectificadoras, etc. Esto supone stocks intermedios, espacio ocupado, manipulaciones ‘improductivas’, etc. En un CNC, claro está, la velocidad de corte y las condiciones de trabajo son siempre ideales y estudiadas para cada operación, así se consigue optimizar el tiempo alcanzando el máximo nivel de calidad.

En cuanto a la parte de ajuste y preparación, el trabajo con herramientas de plaquitas utilizadas en tornos CNC, siempre es más rápido y cómodo a la hora de realizar ajustes y preparaciones que las herramientas de forma, y la posibilidad de realizar los ajustes a nivel 'electrónico' y no mecánico, también reduce enormemente los tiempos muertos para la manipulación de la máquina.

Otro factor a tener en cuenta son los paros para ajuste, cambios de barra, etc. Una máquina equipada con cargador de barras, equipo anti-incendios, detectores de rotura de herramientas y otros 'ingenios' disponibles, puede trabajar a 3 turnos con muy poca atención del personal. En cambio, una máquina de levas tiene muchos paros inesperados que no sólo comportan una pérdida del rendimiento, sino también una atención del operador.

Cabe destacar la diferencia entre tornos automáticos y tornos CNC en cuanto a los materiales que trabajan. Para un torno CNC un material duro no es problema; al contrario que en las máquinas de levas, que se sienten mucho más cómodas trabajando latón y otras aleaciones de fácil mecanización que aceros inoxidables, titanio y otros materiales de elevada complejidad.

3.4. TRABAJOS DEL TORNO

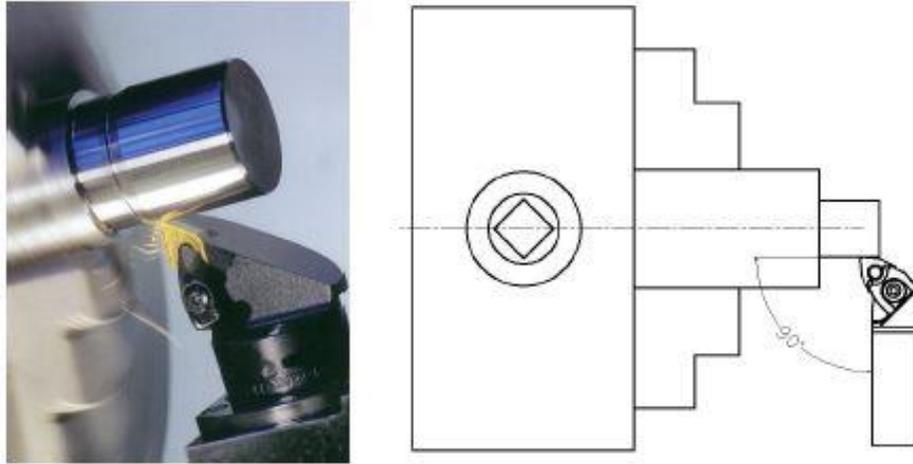
Como se ha mencionado anteriormente, el torno es una máquina-herramienta en la que la pieza tiene un movimiento de rotación en torno a su eje, mientras que la herramienta se desplaza según una trayectoria rectilínea. Por lo tanto, la pieza realiza el movimiento de corte y la herramienta el movimiento de avance.

En el torno se pueden llevar a cabo una serie de trabajos de gran variedad, aunque reduciéndose todos ellos al mecanizado de superficies elementales, tales como planos, cilindros, conos, etc, conseguidos por medio de las operaciones básicas explicadas a continuación:

- Torneado o cilindrado exterior: El cilindrado constituye la mayor parte del trabajo de torno. Esta operación consiste en dar forma y dimensión a la superficie lateral de un cilindro recto de revolución, con movimientos de penetración perpendiculares al eje de la misma, por medio del carro transversal, y con movimiento de avance paralelo al eje, por medio del carro longitudinal. Se realiza mediante la sujeción de la pieza entre puntos o en un plato de mordazas, para posteriormente realizar el arranque de viruta con una herramienta a derechas, de modo que las fuerzas de corte que resultan del avance de la herramienta de derecha a izquierda tienden a empujar la pieza contra el cabezal motor, favoreciendo así la sujeción.

Para poder llevar a cabo esta operación, con el carro de desplazamiento transversal se regula la profundidad de pasada y, por tanto, el diámetro del cilindro y, con el carro de desplazamiento longitudinal se regula la longitud del cilindro. El carro transversal avanza de forma automática de acuerdo al avance que requiere el trabajo realizado. En este procedimiento, el acabado superficial y la tolerancia que se obtenga es un factor de una gran relevancia, por ello, para asegurar la calidad al cilindro trabajado, el torno tiene que tener un buen ajuste de su alineación y concentricidad.

En esta operación, el mejor arranque de viruta se obtiene formando un ángulo levemente superior a 90° entre el filo de corte y la superficie de la pieza.



Cilindrado exterior de una pieza.

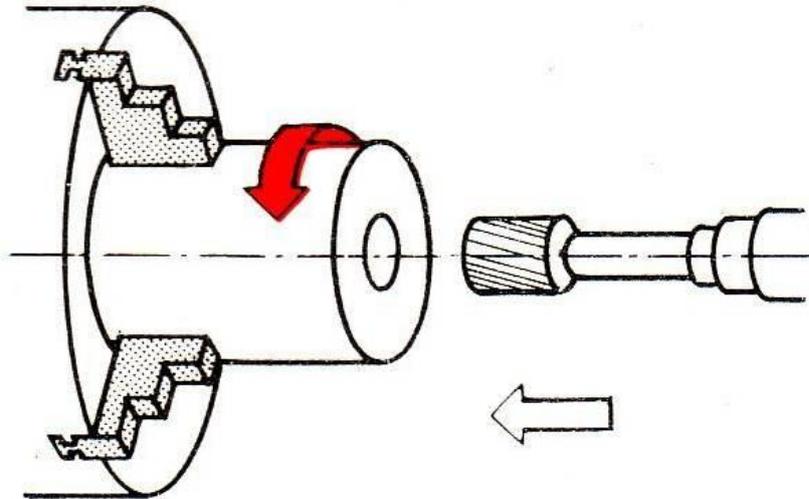
- Mandrinado o cilindrado interior: esta operación consiste en dar cilindrar un agujero hasta alcanzar la medida previamente fijada en el plano de la pieza. Para llevar a cabo esta operación, previamente ha de haberse realizado una operación de taladrado.



Mandrinado de una pieza.

- Escariado: se trata de una operación de acabado de agujeros, realizados previamente, de gran precisión realizada con una herramienta multifilo. Ofrece un acabado superficial excelente, agujeros de gran calidad y tolerancias dimensionales estrechas gracias a su gran velocidad de penetración y a sus profundidades de corte reducidas.

En la siguiente imagen las flechas indican el movimiento de giro de la pieza y el movimiento de avance o de penetración de la herramienta multifilo.



Escariado en torno.

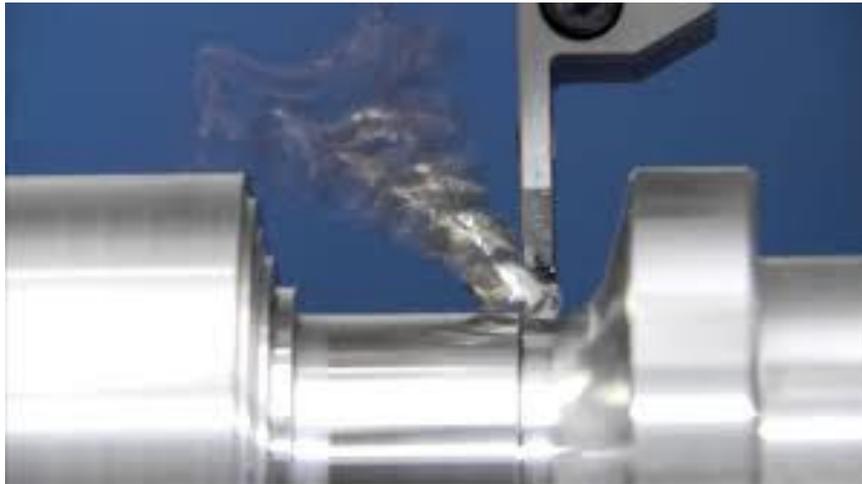
- **Refrentado:** esta operación consiste en la obtención de superficies planas perpendiculares al eje de rotación de la pieza. Se mecaniza el extremo de la pieza, por lo tanto, es un mecanizado frontal y perpendicular al eje de las piezas que se trabajan. En este procedimiento existe una problemática, consistente en que la velocidad de corte en el filo de la herramienta va aumentando a medida que avanza hacia el centro. Para lidiar con este aspecto muchos tornos modernos incorporan variadores de velocidad en el cabezal de tal forma que se puede ir regulando la velocidad de giro de la pieza.



Refrentado de una pieza.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

- Ranurado: esta operación consiste en la realización de ranuras, es decir, la realización de canales a lo largo de una pieza, ya sea con el objetivo de un posterior ensamblado con otra pieza o simplemente como un orificio para permitir el paso de otros elementos, dependiendo de su función. Estas ranuras pueden ser de anchura y profundidad variable y un ejemplo claro de ranuras torneadas es el de los canales de las poleas.



Ranurado de una pieza.

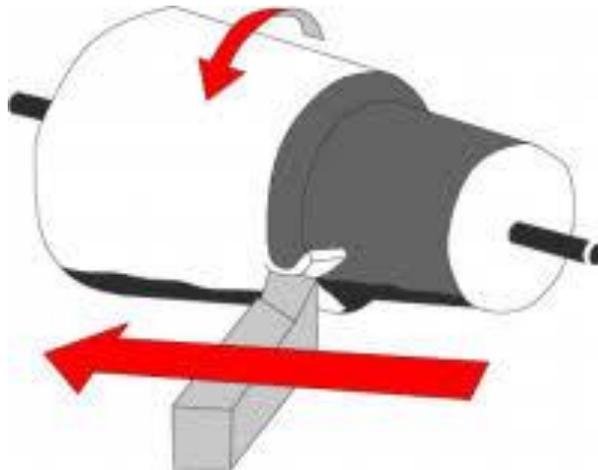
- Tronzado: esta operación consiste en cortar una pieza en partes independientes. Cuando se trabaja con barra y al finalizar el mecanizado de la pieza correspondiente es necesario cortar la barra para separar la pieza de la misma. Para esta operación se utilizan herramientas muy estrechas con un saliente 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.



Tronzado de una pieza.

- Torneado cónico: esta operación consiste en dar a una pieza forma de cono o tronco de cono de revolución.

En la siguiente imagen las flechas indican el movimiento de giro de la pieza y el movimiento de avance de la herramienta.



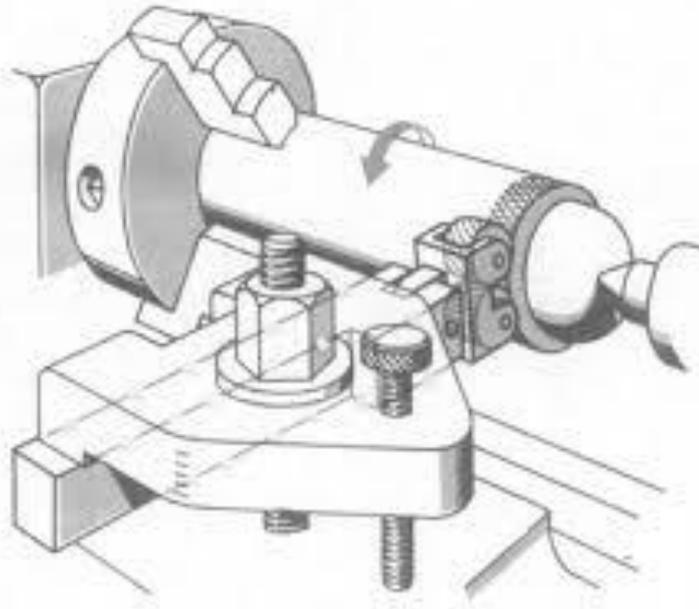
Torneado cónico.

- Taladrado en torno: esta operación consiste, como indica su nombre, en realizar un agujero cilíndrico en la pieza que se mecaniza. El taladrado en torno se realiza por medio de brocas fijas en la torreta o en el eje del cabezal fijo, el cual tiene que ser coincidente con el eje del husillo de cabezal fijo.



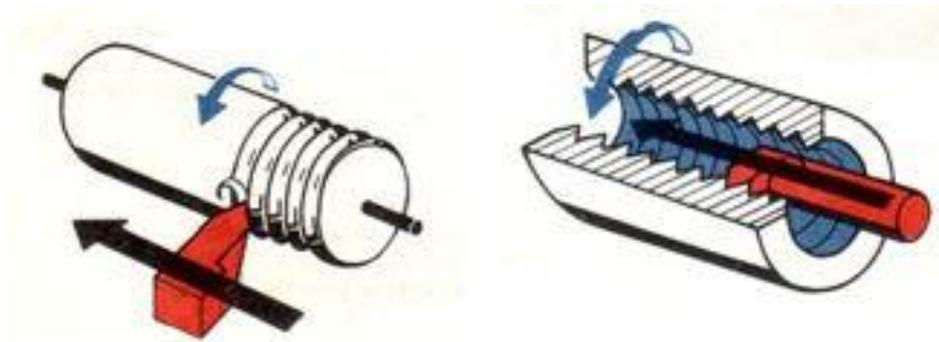
Taladrado en torno de una pieza.

- **Moletado**: esta operación consiste en marcar la superficie de las piezas cilíndricas con surcos especiales, para que resulten más agradables a la vista o para que adquieran una rugosidad determinada que se útil para su manejo. El moletado se realiza con unas herramientas denominadas moletas, de las cuales viene el nombre de la operación, las cuales presionan la pieza mientras da vueltas. Dicha deformación produce un incremento del diámetro de partida de la pieza. El moletado 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.



Moletado de una pieza.

- **Roscado:** esta operación consiste en la ejecución de una rosca, es decir, una hélice de perfil variado, sobre la superficie exterior o interior de un cilindro. De este modo si la rosca es exterior, la pieza se llama tornillo, y si la rosca es interior, se llama tuerca. Para llevar a cabo el roscado, los tornos paralelos incorporan el mecanismo de la caja Norton, ya mencionada anteriormente, que facilita esta tarea y evita montar un tren de engranajes cada vez que se quisiera efectuar una rosca.



Roscado exterior e interior de una pieza en torno.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

4. LA FRESADORA

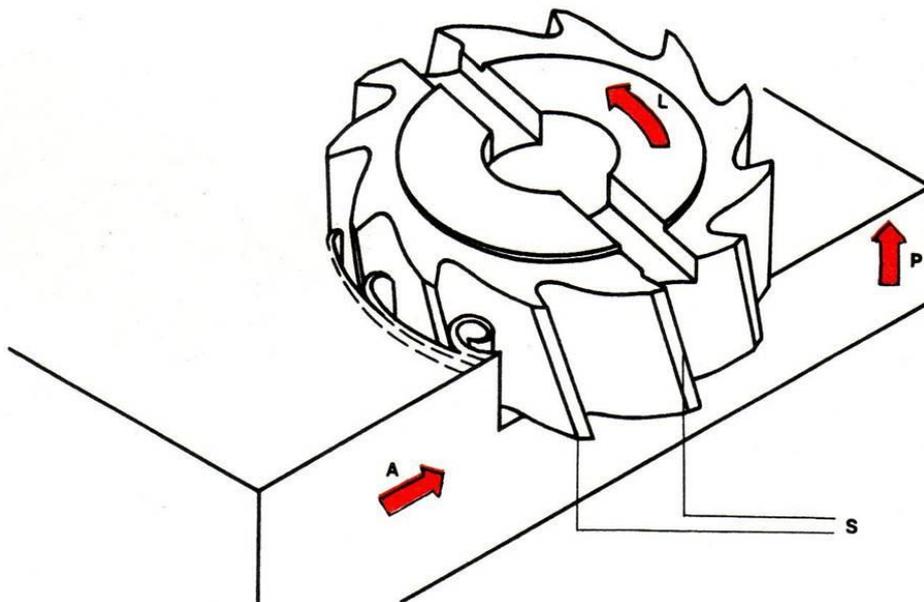
Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

La fresadora es una máquina-herramienta que, como su nombre indica, está destinada a la realización de trabajos de fresado. El fresado es un procedimiento de elaboración mecánica en la que la herramienta, llamada fresa, la cual es circular con múltiples filos en su periferia, es dotada de movimiento circular uniforme, arrancando así material de la pieza que es empujada contra ella. Por lo tanto, en la fresadora el movimiento de corte lo tiene la herramienta, la cual gira montada sobre el denominado árbol portafresas, mientras que, el movimiento de avance por su parte, es realizado por la pieza, que ha de encontrarse en la mesa móvil de la máquina-herramienta.

Estas máquinas, al contrario que los tornos que se han visto hasta el momento, no sirven para obtener superficies de revolución, con las excepciones de procedimientos de taladrado y mandrinado, procedimientos que en estas máquinas son llevados a cabo, lógicamente, con fresas. Se pueden producir una gran variedad de formas, consiguiendo una buena calidad en los acabados superficiales con una alta tasa de remoción de viruta.

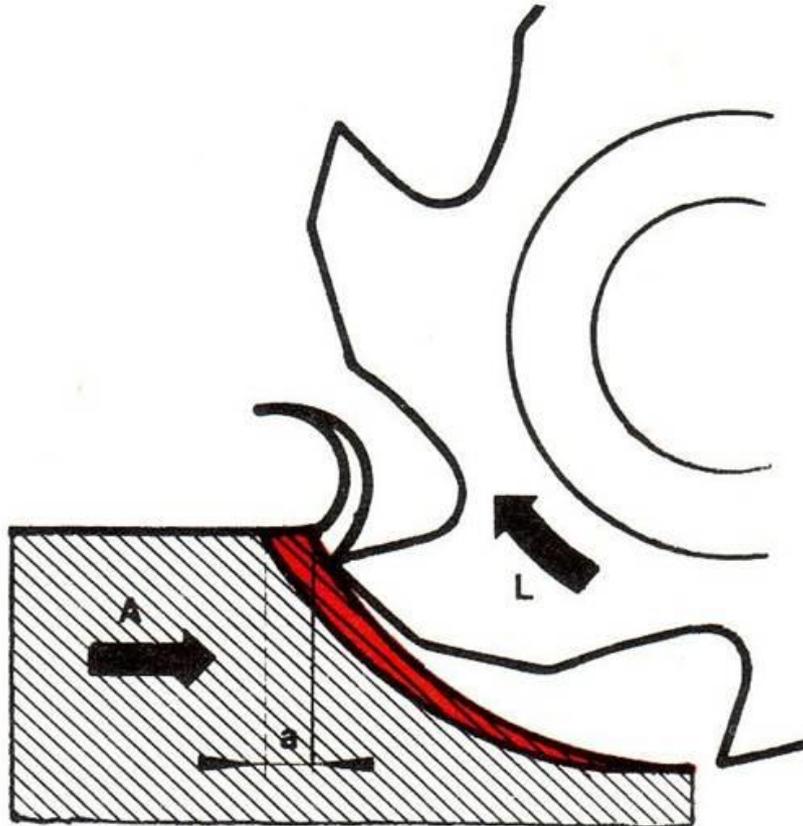
Con las fresas, según el tipo de fresadora que se esté utilizando, se pueden realizar diferentes tipos de fresados. Estos tipos de fresados son: Fresado frontal, fresado frontal y tangencial, fresado tangencial en oposición y fresado en concordancia.

1. Fresado frontal: en este tipo de fresado la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo de la pieza.



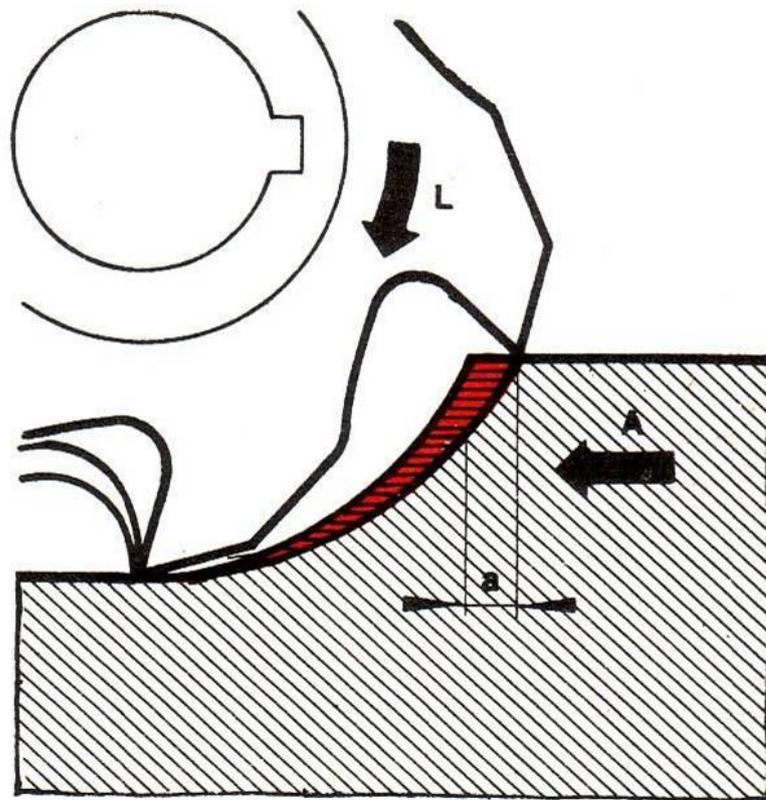
Fresado frontal.

2. Fresado tangencial en oposición: en este tipo de fresado el eje de la fresa es paralelo a la superficie de la pieza a mecanizar y progresa en sentido contrario al avance de la pieza. Cuando el avance de la pieza es opuesto al sentido de giro de la fresa, los dientes de ésta tienden a resbalar sobre la superficie de la pieza, hasta que la presión del filo hace que éste se clave progresivamente en el material a fresar. El espesor de la viruta aumenta hasta el punto en que es arrancada, alcanzando en este instante el espesor máximo de viruta.



Esquema de fresado tangencial en oposición.

3. Fresado tangencial en concordancia: en este tipo de fresado el eje de la fresa es paralelo a la superficie de la pieza a mecanizar y progresa en el mismo sentido de avance de la pieza. Por lo tanto, este caso es completamente opuesto al anterior, la fresa empuja la pieza contra la mesa de trabajo, de modo que se obtiene de golpe el espesor máximo de viruta, suponiendo esto un riesgo de rotura de los dientes por el posible arrastre de la pieza por la herramienta hacia sí. Este fresado solo resulta viable para fresadoras que incorporen sistemas que anulen el juego de la mesa, es decir, que haya holgura entre el husillo y la mesa.



Esquema de fresado tangencial en concordancia.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

En el análisis de la evolución histórica de las fresadora se ha situado el nacimiento de la fresadora como máquina-herramienta propiamente dicha, muchos años después del nacimiento del torno. El nacimiento de la fresadora, como ya se ha mencionado, se sitúa unánimemente en el año 1818 con la fabricación de la fresadora de Eli Whitney en Estado Unidos. La técnica de fresado, por su parte, se cree que años antes de esta aparición de la fresadora como máquina-herramienta propiamente dicha ya se practicaba con la incorporación de las herramientas de fresado o fresas en los tornos paralelos.

4.1. ARQUITECTURA DE LA FRESADORA

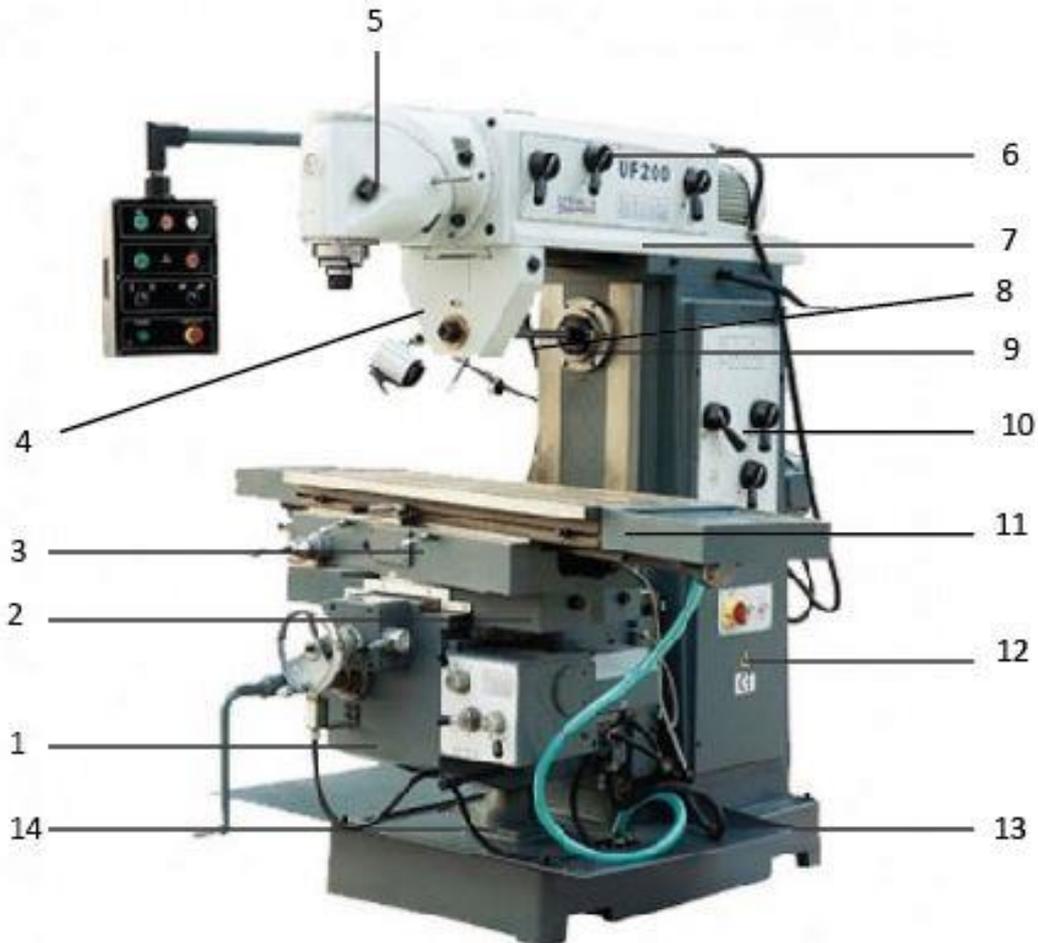
La fresadora es una máquina que, al igual que el torno, está compuesta por un elevado número de partes o de elementos de gran importancia, aportando cada uno de ellos una cualidad fundamental tanto a la propia máquina-herramienta como al proceso de mecanizado. Además de los elementos fijos de estas máquinas, cabe destacar una serie de accesorios o elementos auxiliares que han de utilizarse según los requerimientos del proceso que quiera llevarse a cabo o según las características de la pieza que se ha de mecanizar.

Algunos de estos elementos son comunes para absolutamente todas las variaciones de fresadoras, en cambio, existen elementos que según el tipo de fresadora del que se trate, podrá estar presente o podrá haber sido sustituido por otro elemento. Por lo tanto, para tratar los elementos componentes de las máquinas fresadoras, se va a mostrar una fresadora universal, tratando de explicar sus principales partes.

Más adelante, se explicarán los diferentes tipos de fresadora, tratándolas según la disposición de su eje principal respecto a la mesa de trabajo y según el número de husillos que tengan. En la clasificación de las fresadoras según la disposición de su eje principal, se encuentran las horizontales, las verticales y las ya mencionadas universales que reúnen las cualidades de las dos anteriores.

La siguiente imagen muestra, por lo tanto, una fresadora de tipo universal, señalando sus componentes principales.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia



Componentes principales de una fresadora universal.

1. Ménsula.
2. Carro transversal.
3. Plataforma giratoria.
4. Soporte(s).
5. Cabezal universal.
6. Panel de cambio de velocidades del husillo principal.
7. Carnero o puente deslizante.
8. Husillo principal.
9. Árbol portafresas o portaherramientas.
10. Panel de cambio de avances.
11. Mesa de trabajo.
12. Columna.
13. Base.
14. Husillo de traslación vertical de la mesa.

4.1.1. BANCADA

La bancada, al igual que el mismo componente en los tornos, constituye una columna sólida o un montante hueco de gran robustez y en los que se encuentra una serie de nervios que lo fortalecen, pues ha de ser capaz de resistir los grandes esfuerzos que se puedan producir durante el trabajo de la fresadora. La estructura de este elemento de la fresadora debe estar debidamente estabilizada para que las tensiones internas del material en que se haya fabricado no perjudiquen la precisión que han de tener las piezas una vez mecanizadas.

La bancada está compuesta de tres partes distinguidas:

- Base (13): es la parte de la bancada en contacto con el suelo, en la que se encuentra, generalmente, el dispositivo refrigerante. Este refrigerante se extrae por medio de una bomba accionada por un motor, conduciéndolo junto a la herramienta a través de un tubo flexible, también llamado lanza.
- Columna (12): en su interior se encuentra el soporte de la cadena cinemática y demás dispositivos encargados de mandar el movimiento a los carros. En la parte frontal del cuerpo se encuentran las guías sobre las que se desliza la ménsula (1) y, en la parte superior, el alojamiento para el árbol portafresas (9) y para el cabezal vertical. Este alojamiento se trata del extremo del husillo principal (8).
- Cabeza: se trata de la parte superior de la columna (12). En ella están las guías de cola de milano para el deslizamiento del carnero o puente deslizante (7).

4.1.2. CARNERO O PUENTE DESLIZANTE (7)

Es la parte superior del conjunto de la fresadora que se desliza sobre la cabeza de la máquina. Este elemento cuenta con unos soportes (4), igualmente deslizantes, cuya función es servir de puntos de apoyo al árbol portafresas (9) para evitar que la herramienta trabaje al aire y para lograr una máxima reducción de la longitud de flexión de dicho árbol.

4.1.3. MÉNSULA (1)

La ménsula (1) es el elemento de la fresadora que proporciona el desplazamiento vertical de la pieza, es decir, el movimiento de penetración, al deslizarse sobre las guías frontales de la columna (12), apoyándose sobre un husillo (14) encargado de la traslación vertical de la mesa.

Sobre la ménsula (1) se apoya el carro transversal (2), el cual está dotado de una plataforma giratoria (3) en ambos sentidos para poder inclinar la mesa de trabajo (11). Tanto esta mesa (11) como los carros pueden moverse manual o automáticamente a través de volantes o de la caja de avances (10), respectivamente.

4.1.4. MESA DE TRABAJO (11)

La mesa de trabajo (11) se encuentra situada en la parte superior de la plataforma giratoria (3) y su función es la de albergar los accesorios y las piezas a mecanizar. Su superficie ha de ser perfectamente plana, rectificada y con ranuras longitudinales en forma de T. Estas ranuras tienen como utilidad la de la recogida del refrigerante una vez finalizada su función y lo devuelven a su depósito situado en la base.

Tiene la capacidad de desplazamiento longitudinal en ambos sentidos gracias a un mecanismo de tonillo-tuerca. Dicho tornillo es un husillo roscado apoyado sobre los extremos de la mesa, mientras que la tuerca es solidaria a la plataforma giratoria (3).

Estas mesas llevan unos topes deslizantes en una ranura frontal de la misma, de modo que éstos puedan situarse en cualquier punto a lo largo de la mesa para poner límites al recorrido de trabajo según las necesidades concretas del procedimiento que se lleve a cabo.

En la imagen se muestra una mesa de trabajo (11) de una máquina fresadora. En ella se pueden apreciar en la cara principal de la fresadora la ranura a lo largo de toda la mesa donde se encuentran los topes deslizantes. En la cara superior de la mesa, pueden apreciarse las ranuras longitudinales en T a lo largo de toda la mesa de trabajo. También pueden verse dos volantes, de los cuales el de la izquierda acciona la plataforma giratoria y, el de la derecha, por su parte, acciona el movimiento longitudinal de la mesa de trabajo.



Mesa de trabajo de una fresadora.

4.1.5. HUSILLO PRINCIPAL (8)

También llamado árbol principal, el husillo principal (8) es un árbol hueco, de aleación de acero tratado dotado de gran robustez y, sobre el que se acopla la fresa por medio de una serie de accesorios de fijación y arrastre.

En su extremo delantero, o también llamado nariz, tiene un cono interior de tipo Morse para permitir el acoplamiento de las fresas o bien, como se explicará a continuación, permitir el acoplamiento del árbol portafresas (9).

4.1.6. **ÁRBOL PORTAFRESAS (9)**

Se sitúa en el carnero o puente deslizante (7) de la fresadora, acoplado a la máquina en un alojamiento cónico de tipo Morse en el extremo del husillo principal (8), o como antes de ha descrito, acoplado a la nariz del husillo principal. La fijación de estos dos elementos se realiza por medio de un tirante, que va desde la parte posterior de la máquina-herramienta y cuyo extremo se introduce en la parte cónica del husillo principal (8) mediante roscado.

El árbol portafresas (9) debe de ir acompañado de soportes (4) que eviten el descentramiento y reduzcan las vibraciones provocadas por las fresas durante el mecanizado. El arrastre de las fresas que se incorporen al árbol (9) se consigue, normalmente, empleando chavetas.

En la imagen se muestra un árbol portafresas. Puede verse con claridad las formas en que acaban sus extremos, por lo tanto, puede saberse que el extremo izquierdo del árbol en la imagen es el que irá anclado a la nariz del husillo principal (8) de la fresadora, mientras que el extremo derecho irá sobre el soporte (4) exterior, pudiendo haber otro soporte (4) que se encuentre en algún punto a lo largo del árbol (9) para evitar el descentramiento del mismo.



Árbol portaherramientas o portafresas.

4.1.7. CABEZAL UNIVERSAL (5)

Es considerado un elemento autónomo que al acoplarse a la fresadora permite la disposición del árbol portafresas (9) en cualquier posición. Este cabezal universal (5) permite transformar una máquina-herramienta de eje horizontal en una máquina de eje inclinable, posibilitando así el fresado de superficies oblicuas e incluso el planeado de superficies trabajando con el árbol portafresas (9) en disposición vertical.



Cabezal universal para fresadora.

4.1.8. ELEMENTOS ACCESORIOS

Los elementos accesorios son unos dispositivos que pueden incorporarse a las fresadoras con el fin de facilitar o permitir la realización de un trabajo u operación determinada que no sería posible sin ellos o, por lo menos, resultaría más dificultosa.

4.1.8.1. PLATO DIVISOR

Los platos divisores son dispositivos especiales que pueden incorporarse a las fresadoras y son utilizados para obtener divisiones igualmente espaciadas en la periferia de las piezas, como pueden ser los engranajes.

Dentro de los platos divisores destacan los platos divisores universales, los cuales permiten hacer toda clase de divisiones circulares, ya sean en cilindros o conos, además de permitir la realización de piñones helicoidales gracias a la universalidad de sus movimientos.

Los objetivos de los platos divisores son:

1. El soporte de uno de los extremos de la pieza.
2. La transmisión, cuando sea necesario, de un movimiento de rotación a la pieza. Por ejemplo, a la hora de tallar piñones helicoidales.
3. Permitir todos los sistemas de división, ya sea simple, compuesto, diferencial o angular.
4. Permitir el tallado de piñones rectos, helicoidales y cónicos, entre otros elementos.



Plato divisor universal para fresadora.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Su participación en los trabajos de fresado amplía considerablemente la aplicación de estas máquinas, ya que se utilizan para la elaboración de diversas herramientas cortantes, tales como escariadores, útiles de aborcadado o abocardadores, avellanadores, machos de roscar, fresas y otras. También se emplean para el maquinado de piezas normalizadas de máquinas, como cabezas de tornillos, tuercas cuadradas y hexagonales, ranuras, estrías, ruedas dentadas, etc.

En resumen, los platos divisores son utilizados para girar periódicamente la pieza alrededor de su eje, en ángulos equidistantes o no. Para efectuar una rotación regulada de la pieza en los procesos de elaboración de ranuras y/o ruedas dentadas helicoidales, entre otros elementos.

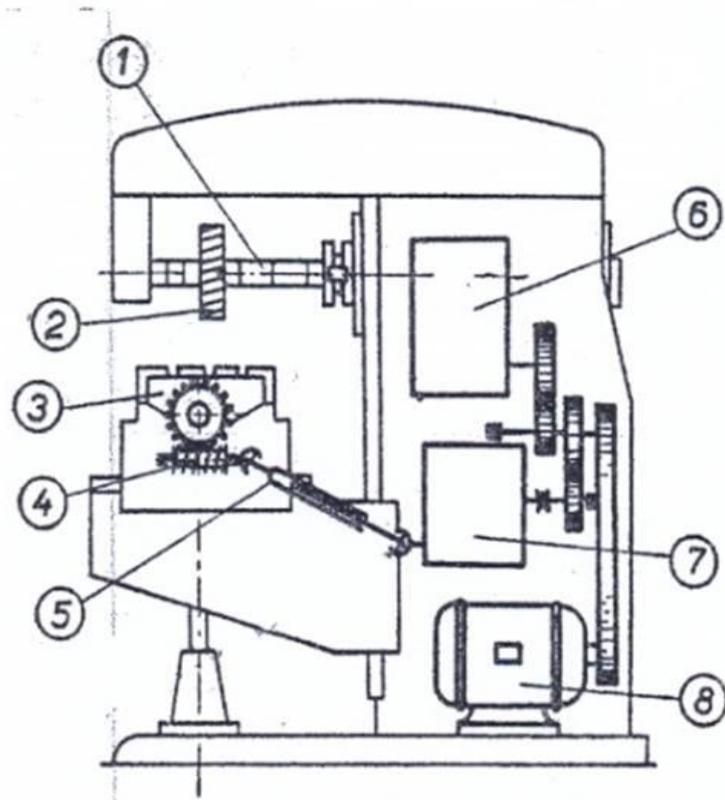
Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

4.2. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Para explicar la transmisión de movimiento, las cadenas cinemáticas de las fresadoras, se ve necesario explicar por separado fresadoras horizontales y fresadoras verticales.

El movimiento de transmisión desde el motor necesita un sistema de reducción y variación de velocidad que puede basarse en un mecanismo de conos, poleas o de trenes de engranajes.

4.2.1. FRESADORA HORIZONTAL MONOPOLEA



Esquema del mecanismo de una fresadora horizontal monopolea.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

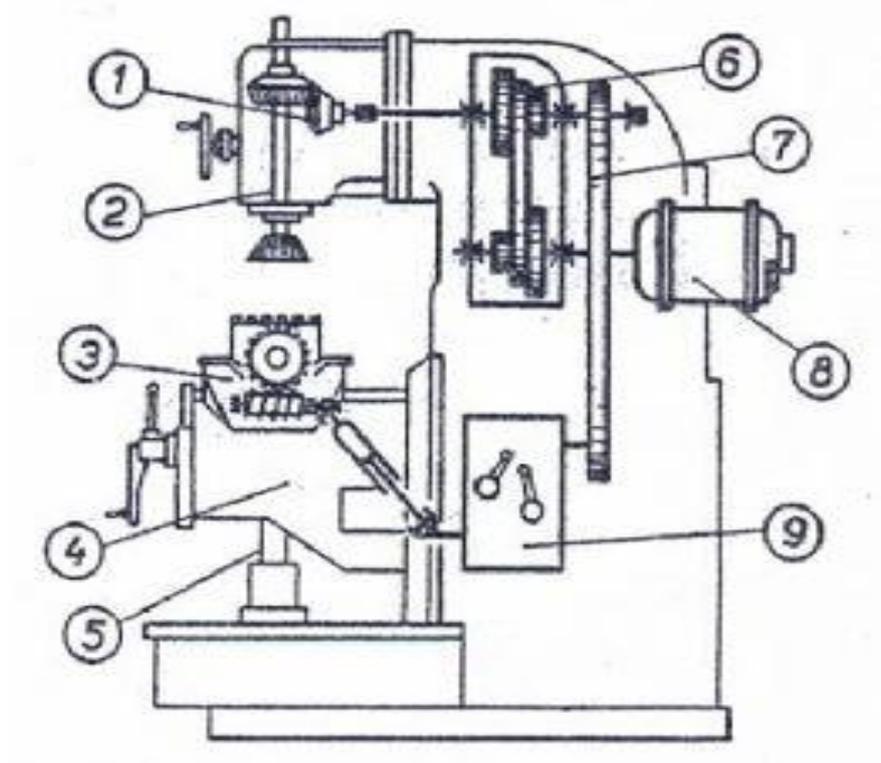
1. Eje portafresas o árbol portafresas
2. Fresa
3. Mesa
4. Mecanismo de avance de la mesa
5. Eje o tornillo telescópico
6. Caja de cambios de velocidades
7. Caja de cambios para avances
8. Motor

En el sistema de monoplea, el ataque se hace por medio de una polea de correas trapeciales que va desde el motor (8) a una caja de cambios de velocidades (6) por engranajes que hay en la parte superior del cuerpo de la fresadora. El sistema empleado es casi exclusivamente del tipo de engranajes desplazables, se emplea en casi todas las fresadoras de cualquier potencia.

El movimiento generado en el motor (8), situado en la parte inferior de la máquina, entra en la caja de velocidades (6) por un árbol paralelo e inferior al árbol principal portafresas (1) al que ha de llegar el movimiento para accionar la fresa (2) o herramienta. Este árbol paralelo, mediante una serie de engranajes dispuestos adecuadamente, transmite el movimiento a un árbol intermedio que, a su vez, transmitirá dicho movimiento al árbol principal.

Por otro lado, el movimiento generado en el motor eléctrico también llega a la caja de avances (7), desde donde se transmite al mecanismo de avance de la mesa (4) mediante un eje o tronillo telescópico (5).

4.2.2. FRESADORA VERTICAL CONOPOLEA



Esquema del mecanismo de una fresadora vertical conopolea.

1. Ataque del eje principal por engranajes cónicos
2. Eje principal
3. Mecanismo de avances de la mesa
4. Ménsula
5. Husillo de traslación vertical de la mesa
6. Cono de poleas
7. Correa de transmisión para avances
8. Motor
9. Caja de cambios para avances

En un sistema conopolea o de conos escalonados de poleas, el movimiento se genera en el motor eléctrico (8), el cual se transmite gracias a una correa de transmisión (7) tanto a la caja de velocidades (9) como a la caja de avances.

En la caja de avances (9), el movimiento puede modificarse con la consola de selector de avances, de modo que el movimiento transmitido, mediante el eje tornillo telescópico al mecanismo de avance de la mesa (3) así como a la ménsula (4) accionada por el husillo de traslación vertical de la mesa (5), es el requerido por el procedimiento a llevar a cabo.

Por otro lado, en la caja de velocidades, mediante un sistema de cono de poleas (6) y, de ejes paralelos, se transmite el movimiento con la velocidad requerida gracias a la consola de selección de velocidades hasta el cabezal vertical que contiene en su interior el eje o árbol principal (2) perpendicular a los anteriores. Dentro de dicho cabezal, el árbol que transmite el movimiento al árbol principal tiene en el extremo un engranaje cónico (1), que manda el movimiento al eje o árbol principal (2) a la vez que transforma el giro horizontal del mismo en vertical, es decir, sobre un eje vertical.

4.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FRESADORAS

Anteriormente, para explicar los elementos y partes fundamentales de la máquina fresadora, se ha “despiezado” una fresadora universal, pues esta máquina posee características tanto de fresadora horizontal como de fresadora vertical. Estos tres tipos de fresadoras pueden agruparse en una misma categoría según un método de clasificación según la orientación de su eje principal con respecto a la mesa de trabajo. Al hablar de la orientación del eje principal de la máquina con respecto a la mesa de trabajo, se está hablando, esencialmente, de la orientación del eje de giro de la herramienta.

Como ya se ha señalado anteriormente, además de esta categoría de fresadoras según la disposición de su eje principal, también pueden clasificarse estas máquinas según el número de ejes de éstas, es decir, es una clasificación en función de los grados de libertad que pueden darse cuando se lleva a cabo una operación de mecanizado de arranque de viruta. También pueden encontrarse fresadoras especiales como la fresadora copiadora o la fresadora de puente móvil.

4.3.1. FRESADORAS SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE SU EJE PRINCIPAL RESPECTO A LA MESA DE TRABAJO

4.3.1.1. FRESADORA HORIZONTAL

No es habitual la fabricación de fresadoras horizontales en sentido estricto, sin embargo, pueden incluirse en esta categoría todas aquellas fresadoras cuyo árbol portafresas esté en disposición horizontal y que no posea características universales.

Estas máquinas utilizan fresas cilíndricas que se montan sobre el árbol portafresas, situado en el eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina. Este eje se apoya por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro extremo sobre un rodamiento situado en el puente o carnero. En las máquinas fresadoras horizontales en sentido estricto, es decir, que no se trabaje en disposición horizontal por tratarse de una fresadora universal, el carnero o puente no es deslizante, sino fijo, debido a que existe

la necesidad de desplazarlo hacia atrás para la incorporación de un cabezal que permita trabajar en orientación vertical.

Con esta disposición y características, esta máquina-herramienta es capaz de llevar a cabo principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras. Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad del proceso mediante el montaje de varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado en el árbol portafresas. La profundidad máxima de una ranura está limitada, lógicamente, por la diferencia entre el radio exterior de la fresa y el radio exterior de los casquillos de separación que la sujetan al eje portafresas.

Una variedad muy notable de estas fresadoras es la de las fresadoras horizontales de bancada fija. Estas fresadoras, de gran importancia, carecen de ménsula móvil y, a cambio, cuentan con un cabezal con desplazamiento vertical sobre las guías del cuerpo y el cual está provisto de un motor independiente. Con estas características, la capacidad de trabajo de estas máquinas es muy notable.



Fresadora horizontal con ménsula móvil.

Debido a la disposición de su eje principal en horizontal, los tipos de operaciones de fresado que pueden llevar a cabo estas máquinas-herramienta son los que requieran de una fresa o herramienta cuyo eje esté en disposición horizontal o paralela a la mesa de trabajo. Por lo tanto, en estas fresadoras pueden llevarse a cabo operaciones de fresado tangencial, ya sea en oposición o en concordancia en función del sentido de giro de la herramienta y del sentido del desplazamiento de la mesa de trabajo, como ya se ha explicado anteriormente.

De entre los tipos de fresado que cumplen con estos requisitos, pueden encontrarse el fresado de ranuras, el fresado Straddle colocando dos fresas sobre el árbol portafresas, el fresado de pandillas combinando varias fresas sobre el árbol portafresas, el fresado de forma utilizando fresas con la forma de la cavidad o ranura que se quiera obtener, etc. Estos tipos de fresado se explican más adelante, en el apartado de “trabajos de la fresadora”.

4.3.1.2. FRESADORA VERTICAL

Este tipo de fresadora se caracteriza por tener su eje principal en disposición vertical, sobre el cual se acoplan herramientas de diversos tipos. Estas máquinas llevan un cabezal incorporado, normalmente orientable de modo que se obtengan diferentes ángulos de acción sobre la pieza a mecanizar.

En estas máquinas-herramienta, el eje del husillo, como ya se ha mencionado tiene una orientación vertical, es decir, se orienta perpendicularmente a la mesa. El montaje de las fresas se realiza sobre el husillo y éstas adquieren un movimiento de giro sobre su eje. Generalmente, en estas máquinas-herramienta se controla la profundidad del corte gracias al desplazamiento vertical ya sea del propio husillo o de la mesa de trabajo. Por ello, pueden encontrarse dos tipos de fresadoras verticales bien diferenciados según el elemento encargado del desplazamiento vertical para poder llevar a cabo la operación.

El primero de estos tipos de fresadora vertical es el de bancada fija, que al igual que el mismo tipo de fresadora horizontal ya explicado anteriormente, carece de ménsula móvil, por lo que es el husillo en sí el que se mueve en paralelo a su propio eje, es decir, verticalmente, hasta alcanzar la pieza sobre la mesa de trabajo, mientras que esta última solamente posee un desplazamiento perpendicular al husillo, es decir, horizontalmente. El segundo tipo, por su parte, es el de torreta o de consola, en el cual el husillo carece de desplazamiento durante el tiempo de las operaciones de corte y es la mesa de trabajo la que cuenta con desplazamiento tanto horizontal como vertical para lograr llevar a la pieza hasta la herramienta para poder llevar a cabo el trabajo.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Debido a la disposición de su eje principal en vertical, los tipos de operaciones de fresado que pueden llevar a cabo estas máquinas-herramienta son los que requieran de una fresa o herramienta cuyo eje esté en disposición vertical o perpendicular a la mesa de trabajo.

De entre los tipos de fresado que cumplen con estos requisito, pueden encontrarse tanto el fresado frontal como el fresado tangencial en concordancia o en oposición, según actúe la fresa sobre la cara perpendicular a su eje de giro, o bien sobre la cara paralela a su eje de giro. Pueden realizarse fresados laterales, fresados planos, fresados angulares para obtener superficies que formen cierto ángulo con el eje de giro de la herramienta o fresa, así como fresados de forma.



Fresadora vertical de torreta o de consola.

4.3.1.3. FRESADORA UNIVERSAL

Este tipo de fresadoras se denomina así debido a la variedad de operaciones que se pueden llevar a cabo en ellas y por reunir, en cierto modo, una parte importante de las posibilidades de trabajo y de las cualidades que caracterizan al resto de fresadoras mencionado anteriormente.

La universalidad de estas máquinas-herramienta reside en la posibilidad de hacerla trabajar como fresadora vertical o como fresadora horizontal. En cuanto a poder trabajar como fresadora horizontal, la máquina cuenta con un husillo principal en el cual pueden acoplarse árboles portafresas horizontales y, de hecho, las fresadoras universales, al igual que las fresadoras horizontales, cuentan con un carnero o puente deslizante capaz de realizar un movimiento de desplazamiento hacia delante y hacia atrás sobre unas guías horizontales, las cuales se encuentran en la parte superior del cuerpo de la fresadora. Por lo tanto, a dicho carnero dispuesto hacia delante, colgante sobre la mesa de trabajo, pueden acoplarse los soportes que mantienen al árbol portafresas, a su vez anclado al husillo de la fresadora.

Por otro lado, para poder trabajar con una fresadora universal como fresadora vertical, el carnero ha de disponerse hacia atrás, colgante sobre la parte posterior de la fresadora. Al dejar despejada la cara principal de la máquina-herramienta, se puede incorporar a ésta un cabezal vertical, de modo que el husillo transmite el movimiento a la herramienta de trabajo amarrada al cabezal en el eje vertical de éste.

Respecto al cabezal incorporado para trabajar con la máquina-herramienta como fresadora vertical, pueden darse dos tipos de cabezales diferenciados, siendo el cabezal vertical orientable y el cabezal universal.

- Cabezal vertical orientable: este cabezal es considerado semiuniversal, que solo puede orientarse sobre el plano vertical, transmitiéndose el movimiento desde la nariz del husillo principal de la máquina-herramienta hasta el husillo del cabezal incorporado por medio de un tren de engranajes cónico-helicoidales.
- Cabezal universal: es considerado un elemento autónomo que al acoplarse a la fresadora permite la disposición del árbol portafresas en cualquier posición. Este cabezal permite transformar una máquina-herramienta de eje horizontal en una máquina de eje inclinable, posibilitando así el fresado de superficies oblicuas e incluso el planeado de superficies trabajando con el árbol portafresas en disposición vertical. Este cabezal, por lo tanto, a pesar de acoplarse del mismo modo que el cabezal vertical orientable, aporta una mayor versatilidad a la máquina-herramienta abriéndole una amplia gama de posibilidades, incluso llegando a la fresadora horizontal.

La universalidad de la maquina también viene marcada por la capacidad de orientación de la mesa respecto al árbol portafresas, así como la disposición de la mesa para el montaje sobre la misma de numerosos accesorios que asistan al proceso de mecanizado, como pueden ser las mordazas que amarran la pieza, el contrapunto que interviene cuando por exigencias del trabajo se requiere el montaje de la pieza entre puntos, el aparato divisor empleado para realizar divisiones regulares, etc.

Se puede observar que es la misma imagen que se ha utilizado anteriormente para señalar los componentes de las fresadoras, por lo que resulta fácil la distinción de cada uno de ellos.



Fresadora universal.

En este tipo de máquinas-herramienta pueden realizarse las operaciones que pueden realizar las máquinas explicadas anteriormente, aun que éstas presentan una mayor versatilidad.

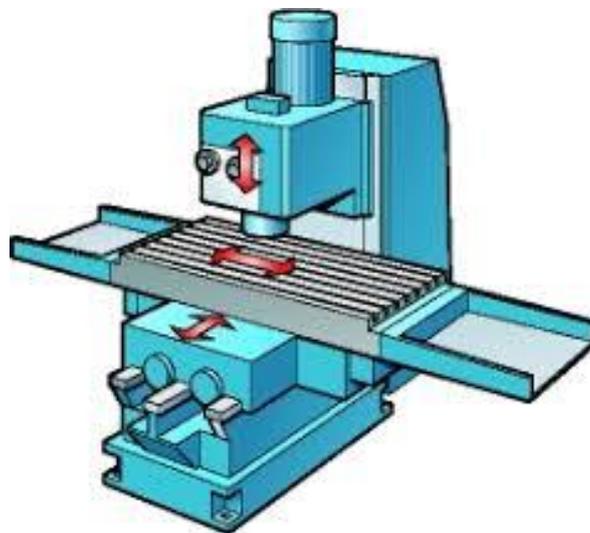
También pueden realizarse tallados de engranajes, utilizando el plato divisor, explicado anteriormente, sin embargo, cada vez se realizan menos tallados de engranajes en fresadoras universales debido al crecimiento de máquinas especiales y específicas para esa tarea denominadas talladoras de engranajes.

4.3.2. FRESADORAS SEGÚN SU NÚMERO DE EJES

Como se ha mencionado anteriormente, además de clasificar a las fresadoras por la orientación de su eje principal respecto a la mesa de trabajo, se pueden clasificar en función del número de ejes que contengan, es decir de los grados de libertad con que cuentan para llevar a cabo un proceso de mecanizado.

4.3.2.1. FRESADORA DE TRES EJES

Este tipo de máquinas fresadoras permiten el control sobre los movimientos relativos entre la pieza y la fresa en los tres ejes de un sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z). En la imagen puede verse claramente el movimiento correspondiente a cada eje del sistema cartesiano. El hecho de que las fresadoras más simples dispongan de tres movimientos, implica que disponen de un movimiento más que los tornos, por ella las piezas que se realizan en fresadora son mucho más variadas y pueden requerir una mayor complejidad respecto a las del torno.



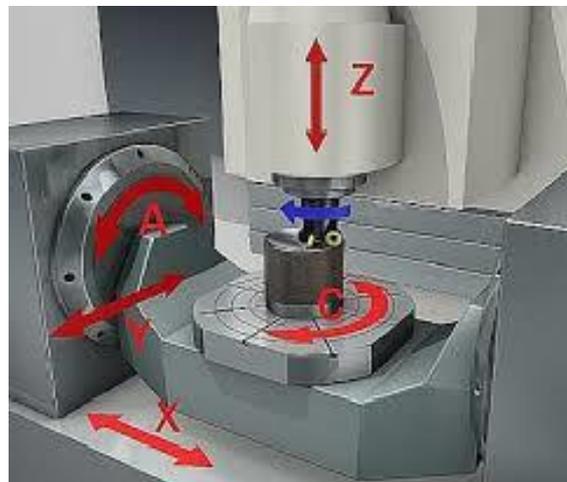
Esquema de una fresadora vertical de tres ejes sin ménsula móvil.

4.3.2.2. FRESADORA DE CUATRO EJES

En este tipo de fresadoras, además de los movimientos relativos entre la pieza y la fresa en los tres ejes del sistema de coordenadas cartesiano (X, Y, Z), puede controlarse un movimiento de giro de la herramienta sobre su eje, mediante un mecanismo divisor o un plato giratorio. Por lo tanto estas máquinas-herramienta son utilizadas para la generación de superficies que necesiten un patrón cilíndrico como puede ser el caso de los engranajes o los ejes estriados.

4.3.2.3. FRESADORA DE CINCO EJES

En este tipo de fresadoras, además de los movimientos relativos entre la pieza y la fresa en los tres ejes del sistema cartesiano de coordenadas (X, Y, Z), puede controlarse el movimiento de giro de la pieza sobre dos ejes, uno de ellos paralelo al de la herramienta, es decir, sobre su propio eje como en el caso de las fresadoras de cuatro ejes, y el otro se trata de un eje perpendicular al eje de la herramienta; o bien estos giros pueden ser sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta sobre un eje perpendicular al anterior gracias a un cabezal vertical orientable o un cabezal universal. Estas fresadoras se utilizan para la generación de formas complejas.



Esquema de una fresadora de 5 ejes.

Como se ha podido apreciar, los ejes adicionales a los ejes del sistema de coordenadas cartesianas son ejes rotativos. Existen fresadoras con un mayor número de ejes para casos muy especiales.

4.3.3. FRESADORAS ESPECIALES

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

4.3.3.1. FRESADORA COPIADORA

Este tipo de fresadoras tiene por objeto el fresado de piezas por copiado mediante señales de un palpador que recorre la superficie de una pieza modelo situada en la mesa de trabajo. Al lado se encuentra un cabezal vertical que puede deslizarse sobre unas guías prismáticas situadas en el cuerpo de la fresadora, pudiendo así llevar a cabo la reproducción de todas las señales que es capaz de emitir el palpador para obtener una pieza exacta a la morfología de la pieza modelo. El concepto de estas fresadoras es el mismo del de los tornos con accesorios copiadores, explicados anteriormente.

Además de fresadoras copiadoras de una sola mesa de trabajo, se encuentran también fresadoras copiadoras con una mesa de trabajo principal y una auxiliar. Sobre esta mesa auxiliar se coloca la pieza modelo, actuando sobre ella el palpador. Por otro lado, sobre la mesa de trabajo principal se sitúa la pieza a mecanizar, sobre la que se encuentra el cabezal vertical que contiene la herramienta de corte. Por lo tanto las fresadoras copiadoras son un tipo especial de fresadoras verticales o fresadoras universales con el eje principal en orientado verticalmente con respecto a la mesa de trabajo, aunque también pueden ser consideradas como fresadoras especiales, pertenecientes entonces a otra categoría.

El sistema de seguimiento mencionado puede ser de diferentes tipos, como puede ser un sistema mecánico de seguimiento, un sistema hidráulico, un sistema electrohidráulico o puede llegar a llevarse a cabo el trabajo mediante un sistema de control electrónico.

La siguiente imagen muestra una fresadora copiadora, en la cual pueden distinguirse la mesa principal y la mesa auxiliar sobre la que se actuará con la pieza modelo. Además se pueden apreciar claramente los volantes que accionan el desplazamiento de cada una de las mesas de trabajo, así como de la ménsula y del carro transversal.



Fresadora copiadora.

Estas fresadoras están destinadas a realizar piezas que cuentan con una geometría compleja, que otras fresadoras no son capaces de reproducir o, por lo menos, su reproducción resulta considerablemente más costosa.

Un ejemplo sencillo de pieza a realizar en este tipo de fresadoras son piezas que requieran el tallado de una rampa. Para ello se ve necesario el tallado previo de un modelo exacto de la pieza que se quiere obtener, con el objetivo de que el palpador recorra su geometría transmitiendo el movimiento adecuado a la herramienta de corte.

Cabe destacar que estas fresadoras no están pensadas para la realización de series cortas, pues es necesaria la fabricación previa de una pieza modelo que resulta considerablemente más costosa que las siguientes piezas basadas en ésta.

4.3.3.2. FRESADORA DE PUENTE MÓVIL

Se denomina así al tipo especial de fresadoras en las que la mesa permanece inmóvil y el movimiento sucede en la herramienta, que se desplaza a lo largo de la pieza a mecanizar, por medio de una estructura similar a la de un puente grúa. Su uso principal es el de la mecanización de piezas de gran tamaño, por ejemplo las destinadas a aeronáutica o algunos modelos para fundiciones. Son ideales cuando la fuerza a ejercer, requerida, es poca. Para trabajar en largas distancias y a mucha altura.

En contra, es importante saber que este tipo de máquinas no cuenta con mucha flexibilidad, puesto que suelen tener uno o dos motores de gran tamaño, cuya función es mover el peso del puente grúa. Esto hace que tengan una gran robustez, lo que se traduce en un mayor peso a desplazar.

El modelo de fresadora de puente móvil que se muestra en la imagen es un ejemplo de fresadora de tres ejes que cuenta con el husillo en disposición vertical respecto a la mesa de trabajo. Este modelo en particular está destinado para utilización en el campo de la aeronáutica.



Fresadora de puente móvil.

4.2.4. FRESADORAS CNC

El control numérico, como ya se ha explicado en apartados anteriores, se puede definir como una forma de automatización programable en la que el proceso se controla mediante números, letras y símbolos, es decir, un sistema alfanumérico. Por lo tanto, estas máquinas CNC no requieren la intervención del operario más allá de su preparación y su supervisión. A pesar de ello, para la utilización de estas máquinas-herramienta es necesaria la elaboración de un programa, el cual es una lista secuencial de instrucciones de mecanizado que han de ser ejecutadas por la máquina. Dichas instrucciones deben contener toda la información necesaria para lograr llevar a cabo el trabajo sobre la pieza a mecanizar.

El procedimiento a seguir para la realización de un programa parte del desarrollo de un orden lógico de las operaciones que se han de llevar a cabo, planeando las secuencias de principio a fin antes de escribir el programa. Es también necesaria la realización de los cálculos necesarios para la ejecución del trabajo, ya sean cálculos sobre las velocidades o simplemente un cálculo de coordenadas. Esencialmente el proceso de programación y preparación es prácticamente el mismo tanto en fresadoras como en tornos, aunque hablando estrictamente del programa existen numerosas diferencias.

Básicamente, las fresadoras CNC son muy similares a las convencionales y poseen las mismas partes móviles. Sin embargo, no presentan palancas ni manivelas para accionar estas partes móviles, sino una pantalla insertada en un panel de controles y una caja metálica donde se alojan los componentes eléctricos y electrónicos que regulan el funcionamiento de motores destinados a efectuar el mismo trabajo que hacían las palancas y manivelas de las viejas máquinas. Entre estos componentes se encuentra el CNC, que es una computadora principalmente responsable de los movimientos de la fresadora a través del correspondiente software. La combinación de electrónica y motores o servomotores de accionamiento es capaz de lograr todas las operaciones de fresado posibles.

Se han descrito las fresadoras en función del número de ejes que poseen, ahora bien, es claro que el fresado de piezas más complejas requerirá un mayor número de ejes que piezas más sencillas que puedan realizarse con una fresadora de tres ejes, cuya trayectoria no sea únicamente lineal, sino también rotatoria. En este punto es donde el concepto de CNC entra en juego, dando origen a una multiplicidad de ejes complementarios controlados de forma independiente y determinados por el movimiento de mesas giratorias y/o cabezales orientables. Esto origina una diversidad de modelos de máquinas que posibilitan el mecanizado de la pieza por diferentes planos y ángulos de aproximación.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Las fresadoras CNC están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, cavidades, contornos de superficies y operaciones de tallado de dados, en las que se deben controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de fresado. Aunque, dependiendo de la complejidad de la máquina y de la programación efectuada, las fresadoras CNC pueden funcionar de manera automática, normalmente se necesita un operador para cambiar las fresas, así como para montar y desmontar las piezas de trabajo.

Entre las industrias que emplean habitualmente fresadoras CNC se encuentran la automovilística (diseño de bloques de motor, moldes y componentes diversos), la aeroespacial (turbinas de aviones) y la electrónica (elaboración de moldes y prototipos), además de las dedicadas a la fabricación de maquinaria, instrumental y componentes eléctricos. Debido a que con la programación de las coordenadas se consigue la coordinación de los desplazamientos longitudinal, transversal, vertical y del propio cabezal que sostiene la herramienta, de este modo se alcanzan geometrías de gran complejidad.

Un ejemplo puede ser la realización de una rampa, ejemplo ya mencionado en las fresadoras copiadoras pero que en este caso supondría la necesaria coordinación de todos los desplazamientos posibles tanto de la pieza como de la herramienta o fresa para poder realizar el mecanizado adecuadamente y con la precisión requerida.

Todos los tipos de fresadoras explicados hasta el momento pueden ser gobernadas por un sistema CNC.

La siguiente imagen muestra una máquina fresadora gobernada por un sistema CNC. En este modelo pueden apreciarse a la perfección todos sus componentes al no estar “encerrados”.



Fresadora CNC.

4.2.5. CENTROS DE MECANIZADO

El centro de mecanizado es el resultado de la evolución de la “máquina herramienta de fresar” debido a la necesidad de aumentar la productividad, la flexibilidad y la precisión del trabajo. Simultáneamente se han mejorado las condiciones de seguridad de los trabajadores. Esta evolución ha tenido como origen la incorporación de elementos electrónicos a las antiguas máquinas electromecánicas.

Un centro de mecanizado es ante todo una máquina herramienta de conformado de piezas por arranque de material, por lo tanto es una máquina fija, alimentada por una fuente de energía exterior, capaz de modificar la forma del material o pieza a mecanizar mediante el arranque de viruta. Las características esenciales de un centro de mecanizado, que nos sirven para diferenciarlo de otro tipo de máquinas, son las siguientes:

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

- Cuenta con un control numérico (CNC).
- Puede realizar otras operaciones de mecanizado, además del fresado.
- Dispone de un cambiador automático de herramientas.

La fresadora clásica se ha transformado en un centro de mecanizado como consecuencia de hacer posible que desarrolle operaciones tradicionalmente realizadas por otro tipo de máquinas, fundamentalmente, el taladrado y el roscado. Este tipo de operaciones se ejecutan mediante un movimiento de corte circular, por lo que en un momento fueron integradas en una misma máquina, que ahora conocemos con el nombre de centro de mecanizado.

Por tanto, puede decirse que un centro de mecanizado es una máquina herramienta gobernada por un sistema de control numérico que puede realizar distintas operaciones de mecanizado tales como fresado, taladrado y roscado. En consecuencia, la diferencia entre centros de mecanizado y fresadoras de control numérico, es que éstas últimas son máquinas herramienta que a pesar de estar dotadas de control numérico, solamente están preparadas para ejecutar operaciones de fresado.

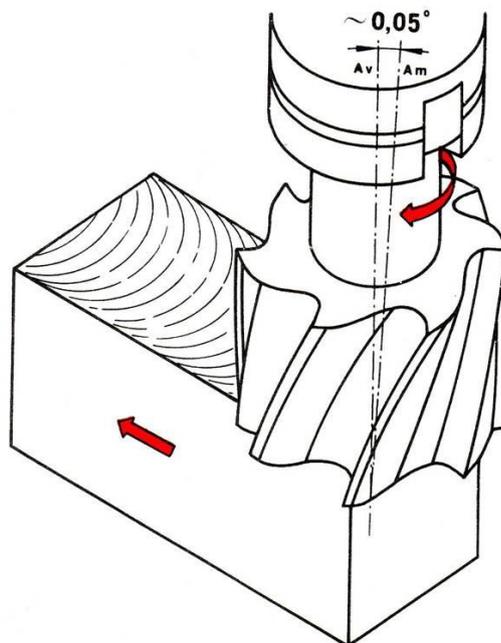


Centro de mecanizado CNC.

4.4. TRABAJOS DE LA FRESADORA

Las máquinas fresadoras se caracterizan por su gran versatilidad, posibilitando así la ejecución de numerosos y diferentes tipos de operaciones y procesos de mecanizado. Algunas de las posibilidades de trabajo de las fresadoras son las siguientes

- Fresado frontal: esta operación hace superficies planas en la cara de la pieza de trabajo. Esta operación de mecanizado se realiza en las superficies que son perpendiculares al eje de la cuchilla. La operación se realiza con la fresa frontal montada en el eje de la máquina.



Fresado frontal de una pieza.

- **Fresado lateral:** es el proceso de mecanizado en el que se produce una superficie vertical plana en los lados de una pieza de trabajo. Esta operación se realiza utilizando una fresa de corte lateral.



Fresado lateral de una pieza.

- **Fresado plano:** es un proceso de fresado de superficies planas manteniendo el eje de la fresa paralelo a la superficie que se está fresando. Es equivalente al fresado tangencial, ya sea en concordancia o en oposición.



Fresado plano de una pieza.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

- Fresado Straddle: es un proceso en el que se utilizan dos fresas laterales para mecanizar dos lados opuestos de una pieza de trabajo simultáneamente.



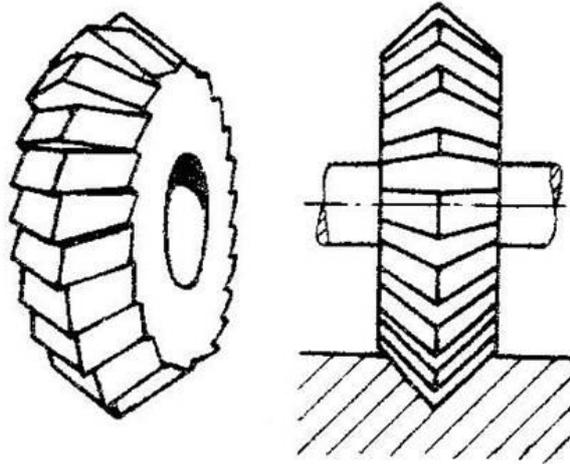
Fresado Straddle de una pieza.

- Fresado angular: es un proceso de fresado de superficies planas que no son paralelas ni perpendiculares al eje de la fresa. También se llama fresado de ángulo. Se utiliza una fresa de ángulo único para realizar esta operación.

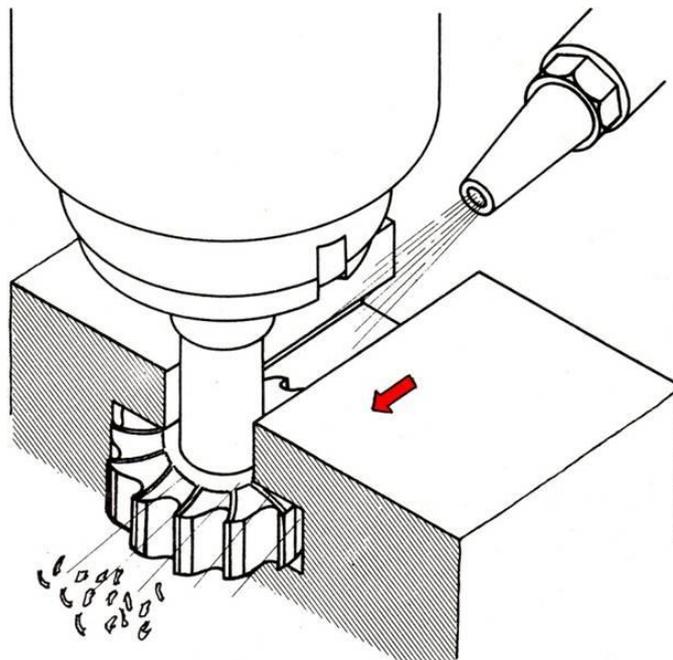


Fresado angular de una pieza.

- **Fresado de forma:** es el proceso de mecanizado de un contorno compuesto por curvas, líneas rectas, o ambas, en un solo corte. Para realizar esta operación, se utilizan fresas con la forma del contorno que se va a cortar. Esta operación se lleva a cabo utilizando fresas de redondeo, tanto convexas como cóncavas y de esquina. La imagen del fresado angular también puede ser considerado como fresado de forma.

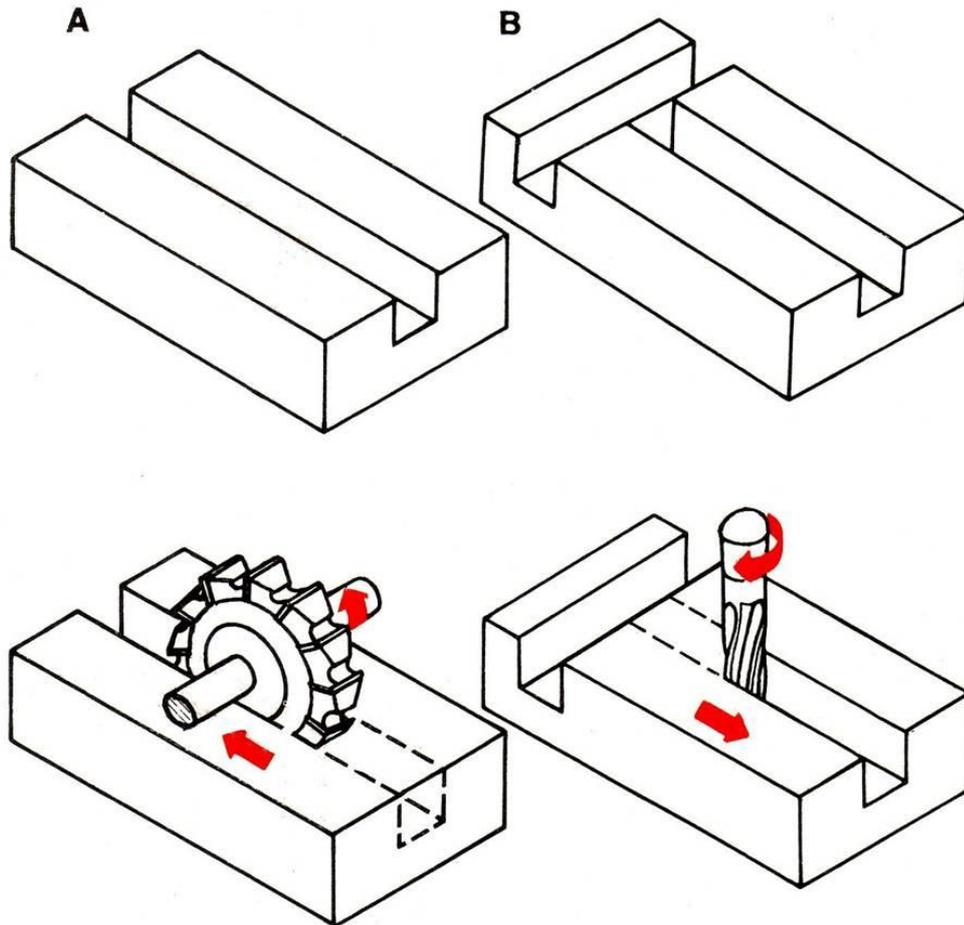


Fresado de forma en fresadora horizontal.



Fresado de forma en fresadora vertical.

- **Fresado de ranuras:** es un proceso de mecanizado que se utiliza para producir ranuras estrechas o ranuras en la pieza de trabajo. También se usa para dividir la pieza de trabajo en dos partes iguales o desiguales. Esta operación de fresado se realiza utilizando una fresa de sierra. El ancho de este cortador es muy inferior en comparación con el ancho de la pieza de trabajo.



Fresado de ranuras en fresadora horizontal (A) y en fresadora vertical (B).

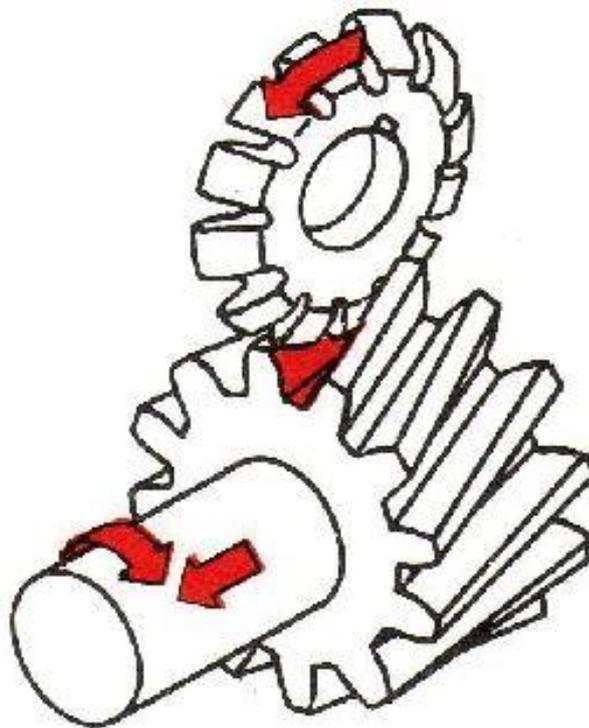
- Fresado de engranajes: es el proceso de fresado que se usa para mecanizar engranajes en la pieza de trabajo. Esta operación se realiza mediante el uso de fresas de forma denominadas cortadoras de engranajes evolventes.



Fresado de engranajes.

- Fresado de pandillas: es el proceso de mecanizado en el que dos o más fresas se utilizan juntas para realizar diferentes operaciones de fresado simultáneamente. En el fresado de pandillas, los cortadores están montados en el árbol portafresas o portaherramientas.
- Fin de fresado: es el proceso de producir superficies planas que pueden ser horizontales, verticales y en cualquier ángulo teniendo como referencia la mesa de trabajo. Las fresas de extremo se usan para realizar esta operación.

- Fresado helicoidal: esta operación de fresado se realiza para producir objetos con diseño helicoidal, como engranajes helicoidales, taladros retorcidos, etc., que se realiza en la periferia de la pieza de trabajo cilíndrica.



Fresado helicoidal.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

- Fresado de rosca: es el proceso de fresado utilizado para mecanizar roscas en la pieza cilíndrica de trabajo.



Fresado de una rosca exterior.

5. Evolución Ergonómica de las Máquinas-Herramienta

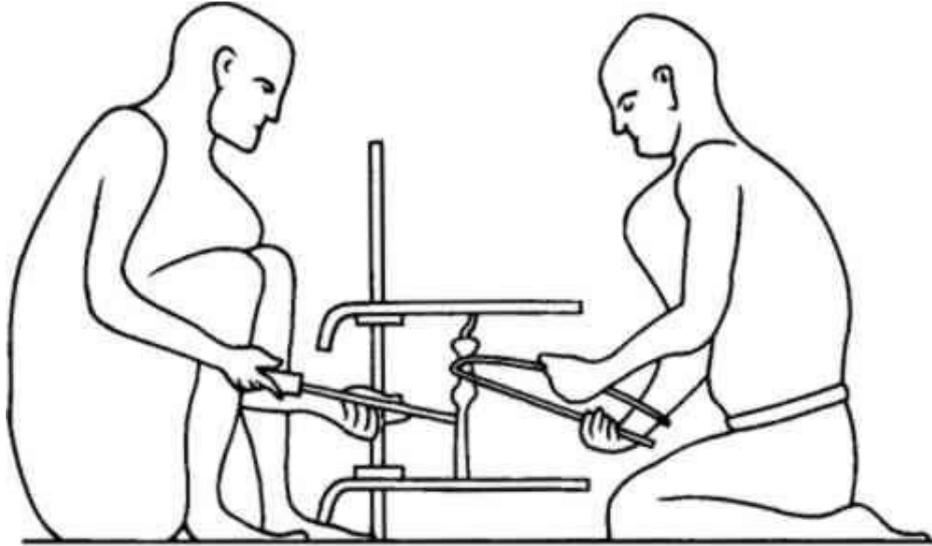
Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

5.1. EVOLUCIÓN ERGONÓMICA

A lo largo de la historia, la evolución de las máquinas-herramienta ha estado muy marcada por la mejora tanto de la ergonomía como de la seguridad en la utilización de las mismas por lo operarios. Como se ha podido ver en el apartado de la evolución histórica de las máquinas-herramienta, según iban apareciendo nuevos tipos de máquinas e innovaciones en las ya existentes, el operario iba teniendo cada vez menor intervención en el trabajo, reduciéndose así los accidentes a la hora de operar estas máquinas. La reducción en la intervención o en la necesidad de actuación por parte del operario en el proceso viene marcada por los niveles o categorías de automatización tratados anteriormente. Estos niveles de automatización sustituyen a un atributo humano, por lo tanto, según se asciende de nivel, se van atribuyendo todas las habilidades necesarias para realizar un determinado trabajo a la propia máquina encargada de realizarlo.

De este modo encontramos que el primer nivel de automatización que se presenta es el nivel A (0), en el que no fue mecanizado ningún atributo humano, lo que quiere decir que las máquinas-herramienta pertenecientes a este nivel de automatización son las más primitivas, siendo así el caso de los tornos utilizados en torno a los años 1000 y 850a.C. Estas máquinas eran accionadas a mano, tanto el movimiento de giro de la pieza a mecanizar como el movimiento de avance y penetración de herramienta, por lo tanto, puede fijarse en este punto el comienzo de esta evolución ergonómica.

La representación más antigua que se conserva de los tornos más primitivos mostraba a dos operarios que se repartían las tareas de provocar el giro de la pieza y de sostener la herramienta de corte. No solo se puede observar el problema del vaivén producido en la pieza que producía unos acabados no muy buenos y una precisión mejorable, hay que considerar también el factor humano, por la necesidad de la presencia de dos personas para realizar un trabajo. En la imagen puede observarse una recreación de dicha representación donde pueden apreciarse con mayor claridad los elementos que la componen.



Recreación de un relieve que muestra uno de los tornos más primitivos.

El siguiente paso se dio con la aparición del sistema del arco de violín, explicado al comienzo de este escrito (página 20), con el cual se lograba poder trabajar con un solo operario, generando este el movimiento de giro de la pieza gracias al arco de violín. Sin embargo, el necesario uso de las dos manos seguía presente, además, la sujeción de la herramienta con la mano podía producir un mayor número de accidentes y daños en el operario que si dicha herramienta estuviese sujeta por otro elemento o dispositivo.

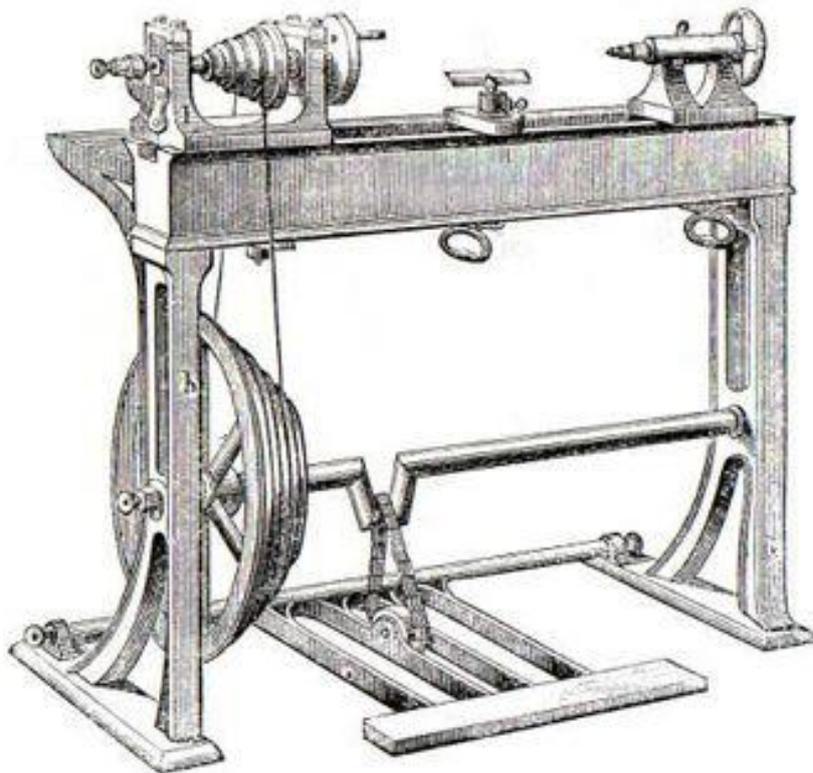
Además, como puede observarse en la imagen, la posición de las personas que realizan el trabajo es muy forzada. El trabajar sentado o de rodillas sobre el suelo, con una postura encorvada de la espalda puede provocar daños en la misma, además de dolores que provoquen un mayor cansancio a la hora de realizar el trabajo.

De este modo, en el siglo XIII apareció el primer torno accionado por pedal, el llamado torno de pedal y pértiga que, al accionar el pedal con el pie éste provocaba el movimiento de una pértiga unida a él por una cuerda enrollada en el tocho a mecanizar. La introducción de este torno permitió el uso de la herramienta con las dos manos al liberar una de ellas de la tarea de provocar el movimiento de la pieza. Por lo tanto, queda claro que la evolución iba encaminada a la liberación del operario del trabajo físico.

Esto supuso un punto de inflexión, siendo el punto de partida para la aparición de nuevos tornos a pedal que aumentaban las prestaciones de su predecesor. De hecho, en el siglo XVI se consiguió dotar a la pieza de giro continuo y, posteriormente, dotar al giro de la pieza de diferentes velocidades. Para conseguirlo se introdujo un nuevo sistema de ruedas o de poleas en los tornos de pedal. El giro de la pieza se lograba a través del ajuste de una correa en contacto con un primer juego de poleas que

compartían eje con la pieza y, con un segundo juego de poleas que formaba parte del sistema de biela-manivela accionado por el pedal.

De este modo, el tornero al accionar el pedal provocaba el movimiento de las poleas obteniendo diferentes velocidades según la disposición de la correa, es decir, de la combinación de poleas superiores e inferiores escogida. Junto a estas innovaciones, hay que sumar la aparición de elementos trascendentales como el contrapunto, soportes para el eje principal y un apoyo para la herramienta., lo que supuso la liberación de las manos y una importante reducción de peligro para el operario. Como puede observarse en la siguiente imagen, estos tornos permitieron al tornero trabajar en una postura más erguida, evitando sentarse en el suelo, comprometiendo la salud del trabajador.



Torno de pedal con sistema de poleas.

En el siglo XVIII, ya con la revolución industrial, fueron naciendo nuevas máquinas-herramienta, capaces de alcanzar precisiones y tolerancias muy superiores a las vistas hasta el momento, así como la posibilidad de trabajar sobre series de mayor tamaño, buscando la intercambiabilidad de piezas y una cierta normalización en los componentes de determinadas máquinas. De cara al operario, esto supuso una reducción de los trabajos posteriores necesarios para conseguir que la pieza cumpla con determinadas especificaciones. De entre los avances a destacar se encuentra la aparición del husillo patrón que permitió dotar a la herramienta de un movimiento de avance constante.

En este punto, a pesar de los numerosos avances e innovaciones tecnológicas y técnicas que se dieron en el campo de las máquinas-herramientas, los trabajos y el accionamiento de estas máquinas aun eran muy manuales, requiriendo la intervención directa del operario. Además, muchas de las máquinas-herramientas que iban a ir apareciendo eran de sobremesa, por lo tanto, para lograr una postura erguida adecuada del operario éstas debían ser colocadas sobre una mesa, tratando de buscar una altura apropiada para evitar daños en el trabajador y evitar el cansancio prematuro. Poco a poco, la evolución de la máquina-herramienta desembocaría en máquinas con una altura adecuada a los estudios ergonómicos en cuanto a la postura ideal de trabajo.

A mediados del siglo XIX nace la torreta revólver, lo cual supone un gran avance en cuanto a lo que al operario se refiere. Gracias a la torreta revólver, el operario podía eliminar la tarea de cambio de herramienta entre tarea y tarea, pudiendo realizar una buena planificación previa, ubicando todas las herramientas necesarias en la torreta.

Por estos mismos años se produjeron los descubrimientos de numerosos materiales nuevos que proporcionaron numerosos beneficios al ámbito de la fabricación, permitiendo la fabricación de nuevas herramientas con las que los operarios mecanizasen metales de forma más rápida y con mayor precisión.

A finales del mismo siglo se dio el nacimiento de los tornos automáticos, que como ya se ha explicado anteriormente son capaces de realizar repetidamente un mismo trabajo, facilitando la tarea del operario y consiguiendo la producción de grandes series. Estos tornos permitieron alejar al operario del propio trabajo sobre la pieza cuando se introdujo la alimentación automática de material en bruto.

Por las mismas fechas también se produjo la aparición de la caja de avances tipo Norton. Con esta introducción se logró eliminar de entre las tareas del operario la de montar un tren de engranajes cada vez que se quiera realizar una operación de roscado, facilitando así estas operaciones, pudiendo ejecutar roscas de diversos pasos y tamaños tanto en exteriores sobre ejes, como en interiores sobre agujeros. De este modo, el trabajo del operario va tornándose menos arriesgado y a la vez más rápido y fluido, permitiéndole alcanzar un ritmo de trabajo y un volumen de producción superior a años anteriores.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Paralelamente, la evolución de las fresadoras permitía la realización de una cada vez mayor variedad de operaciones, mejorando a su vez las ya existentes, facilitando y agilizando las tareas de los operarios.

En el siglo XX, gracias a la industria automovilística y a la aparición del motor eléctrico que dejó atrás las máquinas de vapor y las turbinas, se alcanzaron niveles de tolerancia muy elevados a los que acompañaron nuevas herramientas que permitían a los operarios alcanzar las especificaciones exigidas en cuanto a precisión. También se introdujeron elementos de seguridad para el operario, como las mamparas protectoras, las cuales impedían la proyección de viruta que pudiese causar daños en el operario.

En la actualidad, todavía se trabaja con máquinas que aparecieron en el siglo XX que, a pesar de que hoy en día se han producido numerosas mejoras e innovaciones en sus componentes, el concepto es básicamente el mismo. Con este tipo de máquinas es importante controlar la viruta para evitar daños, así como su retirada. Las virutas largas son peligrosas porque pueden enredarse en brazos y piernas y causar graves lesiones. Las virutas continuas y en espiral pueden evitarse eligiendo velocidades, profundidades de corte y espesores de viruta adecuados, o empleando herramientas de torneado con rompevirutas. Para retirar la viruta por parte del operario deberán emplearse ganchos para viruta con mango y protector.

Un avance muy importante ha sido el de los visualizadores de cota. Estos dispositivos son capaces de determinar las cotas en los ejes cartesianos (X, Y, Z), ubicando correctamente la herramienta en cualquier momento durante el proceso de mecanizado. Gracias a estos dispositivos, el operario evita el riesgo que conlleva realizar mediciones durante el proceso, pues, a pesar de que deberían realizarse con la máquina-herramienta parada, la búsqueda de reducción de tiempos puede empujar al operario a asumir el riesgo y tomar medidas con la máquina-herramienta en marcha. El peligro de esta acción se basa en un posible enganche de ropa, pelo, etc, además de la posible proyección de viruta contra el operario, pudiendo provocar daños severos.



Visualizador de cota.

Como ya se ha explicado anteriormente, con la aparición del CNC se trabaja con máquinas que prácticamente no necesitan la intervención de un operario más allá de la supervisión y preparación de la misma, así como la preparación del programa para el proceso de mecanizado de la pieza requerida.

5.2. ERGONOMÍA ACTUAL EN EL PUESTO DE TRABAJO

A la hora de preparar un puesto de trabajo con máquinas herramientas, existen una serie de indicaciones o requisitos que se trata de cumplir con el fin de crear un puesto de trabajo óptimo para el operario. De este modo las máquinas deberán diseñarse de forma que permitan obtener una máxima producción con un mínimo de esfuerzo por parte del operario. Esto puede lograrse adaptando la máquina al trabajador.

Al diseñar los elementos de una máquina-herramienta sobre los que actúa el operario deberán tenerse en cuenta los factores ergonómicos. Un diseño racional del puesto de trabajo incluye también la disposición de equipos auxiliares de mantenimiento, tales como accesorios de carga y descarga. Además, todos los mandos deberán estar situados dentro de la esfera fisiológica o al alcance de las dos manos. Los mandos han de estar dispuestos de forma clara y su forma de accionamiento deberá regirse por la lógica. En las máquinas pensadas para operarios que trabajan de pie, deberán evitarse los mandos accionados por pedal.

La experiencia ha demostrado que es beneficioso diseñar el puesto de trabajo para las dos posiciones, de pie y sentado. Cuando el operario tenga que trabajar de pie se le deberá dar la posibilidad de cambiar de postura. En muchos casos los asientos mullidos proporcionan un gran alivio para pies y piernas cansados.

Deberán tomarse medidas para crear un confort térmico óptimo, teniendo en cuenta la temperatura del aire, la humedad relativa, el movimiento del aire y el calor radiante. El taller deberá estar adecuadamente ventilado con el fin de eliminar las emanaciones gaseosas deberá haber dispositivos extractores locales. Cuando se mecanicen piezas a partir de material en barras deberán usarse tubos guía revestidos de material fonoabsorbente. El lugar de trabajo deberá disponer preferiblemente de un alumbrado de distribución uniforme y con un adecuado nivel de iluminación.

5.3. SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ACCIDENTES

La prevención de los accidentes con tornos comienza en la fase de diseño. Los proyectistas deben prestar especial atención a los mandos y a los elementos de transmisión.

5.3.1. MANDOS

Todos los tornos deberán estar dotados de un interruptor o seccionador eléctrico que permita efectuar de forma segura los trabajos de mantenimiento y reparación. Este interruptor deberá desconectar la corriente en todos los polos, cortar de forma fiable las conexiones neumáticas e hidráulicas y desahogar la presión de los circuitos. En las máquinas grandes el interruptor de desconexión deberá ser de un diseño tal que pueda bloquearse con un candado en la posición de circuito abierto, como medida de seguridad contra su reconexión accidental.

Los mandos de la máquina estarán dispuestos de manera que el operario pueda distinguirlos y alcanzarlos fácilmente, y que su manipulación no entrañe ningún peligro. Esto significa que los mandos no deberán colocarse nunca en lugares donde solo puedan ser alcanzados pasando la mano sobre la zona de trabajo de la máquina, o donde puedan ser golpeados por virutas proyectadas.

Los interruptores que controlan la presencia de las defensas y las enclavan con la transmisión de la máquina, deberán seleccionarse e instalarse de manera que abran positivamente el circuito tan pronto como la defensa abandone su posición de protección. Por su parte, los dispositivos de parada de emergencia deberán provocar la detención inmediata del movimiento peligroso correspondiente. Estarán diseñados y ubicados de manera que puedan ser accionados fácilmente por el trabajador que esté en peligro. Los pulsadores de parada de emergencia deberán ser fácilmente accesibles y de color rojo.



Dispositivo de parada de emergencia.

Los elementos de accionamiento de los mecanismos de control que puedan dar lugar a un movimiento peligroso en la máquina-herramienta, deberán tener una protección que impida todo accionamiento involuntario. Por ejemplo, las palancas de acoplamiento de los embragues en el cabezal y en el carro de bancada deberán contar con dispositivos de enclavamiento o pantallas de seguridad. Un pulsador puede hacerse más seguro alojándolo en un hueco o rodeándolo con un collarín protector.

Los mandos manuales deben estar diseñados y ubicados de manera que el movimiento de la mano se corresponda con el movimiento que se está controlando de la máquina. Los mandos deberán marcarse por medio de rótulos fácilmente legibles y comprensibles y, para evitar malentendidos o dificultades lingüísticas, se recomienda el uso de símbolos.

5.3.2. ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

Todos los elementos móviles de transmisión (correas, poleas, engranajes) deberán estar protegidos con una cubierta o defensa adecuada. Las personas encargadas de la instalación de la máquina pueden contribuir de modo considerable a la prevención de los accidentes en las mismas. Las máquinas-herramienta deben instalarse de forma que los operarios que los atienden no se estorben ni pongan en peligro mutuamente. Los operarios no deberán estar de espaldas a los pasillos. Cuando los puestos de trabajo vecinos o las zonas de paso estén dentro del alcance de las virutas que salen despedidas, deberán instalarse pantallas protectoras.

Las zonas de paso deberán marcarse con claridad. Deberá dejarse espacio suficiente para los equipos de mantenimiento de materiales, para apilar las piezas y para los armarios de herramientas. Las guías para el material en barras no deberán sobresalir hacia las zonas de paso. El piso sobre el que permanece el operario deberá estar aislado del frío. Además habrá que tener cuidado de que el aislamiento no suponga un obstáculo con el que se pueda tropezar, y de que el revestimiento del piso no pueda volverse resbaladizo ni siquiera cuando quede cubierto por una película de aceite.

Las medidas técnicas de seguridad en el taller deberán estar dirigidas en particular hacia los puntos siguientes:

- Los dispositivos de sujeción de las piezas (platos fijos, platos de garras, mandriles) deberán equilibrarse dinámicamente antes de utilizarse.
- La velocidad máxima admisible de los platos de garras deberá ser marcada por el fabricante sobre el plato y deberá ser respetada por el tornero.
- Cuando se utilicen platos centradores con rosca plana, deberá garantizarse que no puedan salir despedidas las mordazas al poner en marcha la máquina-herramienta.
- Los platos de este tipo deberán diseñarse de forma que no pueda sacarse la llave antes de asegurar las mordazas. Normalmente, las llaves de plato deberán diseñarse de manera que sea imposible dejarlas en el plato.

En el caso de los tronos, es fundamental disponer de equipos elevadores auxiliares para facilitar el montaje y desmontaje de platos y mandriles pesados. El plato deberá fijarse firmemente para evitar que se suelte del eje en caso de que se frene repentinamente en el caso del torno. Esto puede conseguirse con una tuerca de retención roscada a izquierdas sobre la cabeza del eje, empleando un acoplamiento

rápido tipo "Camlock", dotando al plato de una chaveta de enclavamiento o asegurándolo con un anillo de bloqueo dividido en dos mitades.

Cuando se empleen dispositivos hidráulicos para fijación de la pieza, tales como platos de garras, mandriles y contrapuntos accionados hidráulicamente, se habrán de tomar medidas para que sea imposible introducir las manos dentro de la zona peligrosa de cierre de los dispositivos. Esto se puede conseguir limitando a 6 mm el recorrido del elemento de apriete, colocando los mandos de hombre muerto de manera que no sea posible introducir las manos en la zona peligrosa, o disponiendo una protección móvil que tenga que estar cerrada para que pueda iniciarse el movimiento de apriete.

Cuando sea peligroso poner en marcha el torno con las mordazas del plato abiertas, la máquina deberá ir equipada con un dispositivo que impida iniciar la rotación del eje antes de cerrar las mordazas. La falta de energía no deberá provocar la apertura o el cierre de los dispositivos hidráulicos de sujeción de la pieza.

Si se produce una disminución de la fuerza de apriete del plato hidráulico, deberá detenerse el giro del eje, y deberá ser imposible ponerlo en marcha. La inversión de la dirección de apriete de dentro a fuera (o viceversa) mientras gira el eje, no deberá provocar el decalado del plato de su posición en el eje. Solo deberá ser posible desmontar los dispositivos de sujeción de su lugar en el eje cuando este último deje de girar.

En cuanto a las fresadoras, es necesario montar correctamente la herramienta en el husillo y tratar de asegurar el correcto sentido de giro de la herramienta. Es además fundamental, lógicamente, asegurarse de que nadie active el cabezal mientras se realiza el cambio de posición de la correa del cabezal.

Una vez que la máquina esté en funcionamiento, la pieza trabajada y la fresa deben estar bien sujetas. Una pieza mal sujeta en su desplazamiento, bajo el esfuerzo de corte de la herramienta, aumentará instantáneamente el paso de mecanizado, pudiendo de esta forma provocar la rotura de la fresa y la proyección de trozos de la misma, poniendo en peligro la seguridad del operario.

5.3.3. ZONA DE TRABAJO DEL TORNO

Los platos de garras de los tornos deberán protegerse con cubiertas abisagradas. Si es posible, las cubiertas protectoras deberán ir enclavadas con los circuitos de accionamiento del eje. Los tornos verticales deberán estar protegidos con barras o placas para evitar lesiones producidas por las piezas giratorias. Deberán disponerse plataformas con barandillas para permitir al operario observar el proceso de mecanizado de forma segura. En ciertos casos pueden instalarse cámaras de televisión para que el operario pueda vigilar el filo y el proceso de corte de la herramienta.

Las zonas de trabajo de los tornos automáticos y de los tornos de control numérico y de control numérico computarizado deberán ser totalmente cerradas. Los cerramientos de las máquinas totalmente automáticas solo deberán tener aberturas para introducir el material a mecanizar, expulsar la pieza torneada y retirar la viruta de la zona de trabajo. Estas aberturas no deberán suponer un peligro al pasar por ellas la pieza terminada, y deberá ser imposible alcanzar la zona de peligro a través de ellas. Las zonas de trabajo de los tornos semiautomáticos, de control numérico y de control numérico computarizado, deberán estar cerradas durante el proceso de mecanizado.

Los cerramientos consisten normalmente en cubiertas deslizantes con interruptores fin de carrera y un circuito de enclavamiento. Las operaciones que requieren un acceso a la zona de trabajo, tales como el cambio de la pieza o de las herramientas de corte, la medición, etc., no deberán efectuarse mientras el torno no haya parado de una forma segura. El poner a cero una transmisión de velocidad no se considera una parada segura. Las máquinas con este tipo de transmisión deberán tener unas cubiertas protectoras enclavadas que no se puedan desenclavar mientras la máquina no haya parado de una forma segura (por ejemplo, cortando la alimentación eléctrica del motor del eje).

Cuando sea necesario realizar operaciones especiales de ajuste de la herramienta, se dispondrá un mando de movimiento lento que permita ciertos movimientos de la máquina estando abierta la cubierta protectora. En tales casos, el operario podrá estar protegido mediante circuitos de diseño especial que, por ejemplo, permitan efectuar los movimientos solo de uno en uno. Esto se puede conseguir por medio de mandos que requieran utilizar ambas manos.

5.3.4. ZONA DE TRABAJO DE LA FRESADORA

La zona de trabajo y las inmediaciones de la máquina deben mantenerse limpias y libres de obstáculos y manchas de aceite. Los objetos caídos y desperdigados pueden provocar tropezones y resbalones peligrosos, por lo que deben ser recogidos antes de que esto suceda. Además, la máquina debe mantenerse en perfecto estado de conservación, limpia y correctamente engrasada. Las virutas deben ser retiradas con regularidad, sin esperar al final de la jornada, utilizando un cepillo o brocha para las virutas secas y una escobilla de goma para las húmedas y aceitosas. (Todo lo descrito en este párrafo es aplicable a la zona de trabajo en torno).

Es conveniente en estas máquinas-herramienta que las carcasas de protección de los engranajes y transmisiones vayan provistas de interruptores instalados en serie, que impidan la puesta en marcha de la máquina cuando las protecciones no están cerradas.

A la hora de comenzar el trabajo, es necesario comprobar que la mordaza, el plato divisor, o el dispositivo de sujeción de piezas de que se trate esté fuertemente ajustado a la pieza y a la mesa de trabajo. También es necesario realizar las comprobaciones de que tanto la pieza como la herramienta se encuentran bien colocadas y en la posición correcta para evitar paradas no planeadas o posibles accidentes.

Volviendo a la necesidad de una limpieza severa en el puesto de trabajo, es importante que la mesa de la fresadora no encuentre obstáculos en su recorrido, ni que sobre ella haya piezas o herramientas abandonadas que puedan caer o ser alcanzadas por la fresa. Además, las carcasas de protección de las poleas, los engranajes, y el eje del cabezal, deben estar en su sitio y bien fijados.

Siempre que el trabajo lo permita, se protegerá la fresa con una cubierta que evite los contactos accidentales y las proyecciones de fragmentos de la herramienta, caso de que se rompiera. Esta protección es indispensable cuando el trabajo de fresado se realice a altas velocidades.

Durante el mecanizado, se han de mantener las manos alejadas de la fresa. Si el trabajo se realiza en ciclo automático, las manos no deberán apoyarse en la mesa de la fresadora. Además, todas las operaciones de comprobación, ajuste, etc., deben realizarse con la fresadora parada, especialmente las siguientes: alejarse o abandonar el puesto de trabajo, sujetar la pieza a trabajar, medir y calibrar, comprobar el acabado, limpiar y engrasar, ajustar protecciones, dirigir el chorro del líquido refrigerante, ect.

5.3.5. ROPA DE TRABAJO Y PROTECCIÓN PERSONAL

Los monos deberán ser ceñidos y cerrados por botones o cremallera hasta el cuello. No deberán tener bolsillos en el pecho, y las mangas deberán ir ceñidas a las muñecas. No deberán usarse cinturones. Cuando se trabaje en una máquina-herramienta no deberán llevarse anillos ni pulseras. Deberá ser obligatorio usar gafas de seguridad. Cuando se mecanicen piezas pesadas deberán calzarse botas de seguridad con puntera de acero. Siempre que haya que retirar viruta se utilizarán guantes protectores.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

6. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Amber, George. H, Amber, Paul.S (1962). **Anatomy of Automation**. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, Inc.
- DeGarmo, E., Black, J. and Kohser, R. (2002). **Materiales y procesos de fabricación**. Barcelona: Reverté.
- F. Figueroa, Fernando (1979). **El Torno**. Madrid: La Muralla, Ediciones Don Bosco.
- F.Figueroa,Fernando, J.Sanz (1979). **La Fresadora**. Madrid: La Muralla, Ediciones Don Bosco.
- Soulard, Robert (1965). **Historia de la Máquina**. Madrid: Continente.
- P. Womack, James, T. Jones, Daniel, Ross, Daniel (1990). **La Máquina que Cambió el Mundo**. Madrid: Bresca (Profit Editorial)
- Silva Suarez, Manuel (2007). **Técnica e Ingeniería en España: El Ochoientos, Pensamiento, Profesiones y Sociedad**. Zaragoza: Real Academia de Ingeniería.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

- **Historia y evolución de las herramientas y las máquinas-herramienta** – Prezi.com (2018). Disponible en: <https://prezi.com/7q-2kb51b56f/historia-y-evolucion-de-las-herramientas-y-maquinas-herramie/>
- **Tornos a partir de 1950.** - Monografias.com. (2018) Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos68/tornos/tornos.shtml>
- **HISTORIA DEL TORNO (DÉCIMO).** - Tittozamora.blogspot.com.es. (2018). Disponible en: <http://tittozamora.blogspot.com.es/2012/10/historia-del-torno-decimo.html>
- **HISTORIA Y EVOLUCION DE LAS HERRAMIENTAS Y MAQUINAS HERRAMIENTA.** - prezi.com. (2018). Disponible en: <https://prezi.com/7q-2kb51b56f/historia-y-evolucion-de-las-herramientas-y-maquinas-herramie/>
- **Prensa de balancín** – Blogspot.com (2010). Disponible en: <http://panshizxp-francisca.blogspot.com/2010/04/prensa-de-balancin-de-nicolas-briot.html>
- **MUSEO DE LA MÁQUINA-HERRAMIENTA DE MAQUINARIA MADRID.** - Maquinariamadrid.com. (2018). Disponible en: <http://www.maquinariamadrid.com/docs/museo.pdf>
- **Tornos a partir de 1750.** - Industriasymas.com.ar. (2012). . Disponible en: <http://www.industriasymas.com.ar/node/2102>
- **La Historia del torno.** - Brando-myblogg222.blogspot.com.es. (2018). Disponible en: <http://brando-myblogg222.blogspot.com.es/2010/02/la-historia-del-torno.html>
- **Breve corte histórico sobre maquinados en tronos** - Monografias.com. (2018). Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/breve-corte-historico-maquinados-tornos/breve-corte-historico-maquinados-tornos.shtml>
- **Torneado de madera** - Forgaxes.com (2018). Disponible en: <http://forgaxes.com/web/fxtorno.php?codidioma=C>
- **Tornos hasta 1750** - Blogspot.com (2008). Disponible en: http://newtec-contabilidadyfinanzas-sena.blogspot.com/2008_11_13_archive.html
- **Evolución de la fresadora** – Blogspot.com (2009). Disponible en: <http://ruben1025.blogspot.com/2009/09/evolucion-de-la-fresadora.html>

- **La Caja Norton** – Academia.edu (2018). Disponible en: http://www.academia.edu/9771166/LA_CAJA_NORTON
- **Sistemas polifásicos** - Blogspot.com (2018). Disponible en: <http://bradzuleta.blogspot.com/>
- **Fabricación en serie** – Mentescuriosas.es (2012). Mentecuriosas. Disponible en: <https://mentescuriosas.es/fabricando-en-serie/>
- **Maquinas, Herramientas y CNC.** – Wordpress.com (2011). Disponible en: <https://pyrosisproyect.wordpress.com/2011/09/08/por-la-orientacion-del-eje-de-giro/>
- **Historia y evolución del CNC.** - Industriasyempresas.com.ar. (2018). Disponible en: <http://www.industriasyempresas.com.ar/node/2088>
- **Qué es el CNC - control numérico por computadora.** - Mecanizados Sinc.com (2018). Disponible en: <https://www.mecanizadossinc.com/cnc-control-numericopor-computadora/>
- **¿Qué es el CNC? O control numérico por computadora.** - cosmocax. (2007). Disponible en: <https://cadcamcae.wordpress.com/2007/06/14/el-control-numericopor-computadora-el-cnc/>
- **DNC SYSTEMS (Direct Numerical Control).** - Es.slideshare.net. (2018). Disponible en: <https://es.slideshare.net/ElsonPaul/dnc-systems>
- **Control adaptativo o adaptable (CA)** - Slideshare.net (2018). Disponible en: <https://es.slideshare.net/frannluque/control-adaptativo-28021034>
- **Inteligencia Artificial (AI)** – Grupogaratu.com (2016). Disponible en: <https://grupogaratu.com/inteligencia-artificial-para-industria40/>
- **Fabricación avanzada y técnicas de Inteligencia Artificial (AI)** – Interempresas.net (2018). Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/209412-FATIMA-Fabricacion-Avanzada-y-Tecnicas-de-Inteligencia-Artificial-en-las-Maquinas.html>

MÁQUINAS-HERRAMIENTA

- **Principios del torneado** – Epetrg.edu.ar (2018). Disponible en: <http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/principiosdetorneado.pdf>
- **Lunetas para torno** - Wordpress.com (2011). Disponible en: <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/accesorios-para-el-torno/lunetas>
- **Torno paralelo.** - Modeleriaind.blogspot.com.es. (2008). Disponible en: <http://modeleriaind.blogspot.com.es/2008/11/este-torno-de-mecnico-se-construye-con.html>
- **Torno copiador** – Espaciomarketing.com (2018). Disponible en: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/torno-copiador>
- **Torno CNC** – Blogspot.com (2013). Disponible en: <http://comher.blogspot.com/2013/05/hyundai-wia-torno-de-control-numerico.html>
- **Torno CNC.** - Espaciomarketing.com (2018). Disponible en: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/torno-cnc>
- **Tornos CNC Automáticos.** - Multihusillos.com (2018). Disponible en: <http://www.multihusillos.com/es/190142/TornosCNC-Tornosautomaticos-Tornosmultihusillos/MULTIHUSILLOSCuandoyporque.html>
- **Máquinas de levas versus CNC.** – Interempresas.net. (2018). Disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/26101-Maquinas-de-levas-versus-CNC.html>
- **Mecanizado por arranque de viruta: Torneado** - Ehu.eus (2018). Disponible en: http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/405_ca.pdf
- **La fresadora** - Slideshare.net (2018). Disponible en: <https://es.slideshare.net/franklintierra/la-fresadora-13709421>
- **Fresado tipo de proceso.** - Es.slideshare.net. (2018). Disponible en: <https://es.slideshare.net/puerkito/fresado-tipo-del-proceso>
- **Cabezal divisor.** – Ecured.cu (2018). Disponible en: <https://www.ecured.cu/Cabezal divisor de una fresadora>

- **Qué tipos de fresadoras existen** - Grupo Nicolás Correa Calderería. (2018). Disponible en: <http://www.gnccaldereria.es/tipos-fresadoras-existen/>
- **Tipos de fresadoras** - Wordpress.com (2011). Disponible en: <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/66/>
- **Fresadoras según el número de ejes** - Imh.eus (2018). Disponible en: <http://www.imh.eus/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/introduccion-a-los-procesos-de-fabricacion/conformacion-por-mecanizado/mecanizado-por-arranque-de-viruta/fresado>
- **Fresadoras tipo puente** - Directindustry.es (2018). Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/jobs/product-6118-936881.html>
- **Fresadoras CNC** – Espaciomarketing.com (2018). De Máquinas y Herramientas. Disponible en: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>
- **Centros de Mecanizado** – Interempresas.net (2018). Disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1395-Centros-de-Mecanizado.html>
- **Mecanizados por decoletaje de precisión.** – Kuzudecoletaje.es (2014). Disponible en: <http://kuzudecoletaje.es/que-es-un-centro-de-mecanizado/>
- **Ventajas y desventajas de los centros de mecanizado** – Grumeber.com (2016). Disponible en: <http://www.grumeber.com/ventajas-desventajas-centros-mecanizados-cnc/>
- **AUTOMATIZACIÓN DE LA FRESADORA BRIDGEPORT SERIE I** - Espe.edu.ec (2006). Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3563/1/T-ESPEL-0071.pdf>

SEGURIDAD

- **Prevención de riesgos, seguridad y protección ambiental.** – ikastroak.ulhi.net (2011). Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/TFM/TFM01/es_DFM_TFM01_Contentos/website_index.html
- **TRABAJANDO EN EL TORNO: RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS** - Ccoo.es (2018). Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5523.pdf>
- **NTP 86: Dispositivos de parada de emergencia. Año 1984** – insht.es (2011). Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_086.pdf
- **Normas de seguridad en la fresadora.** – blogspot.com (2012). Disponible en: <http://mfresadora.blogspot.com/2012/09/normas-de-seguridad.html>
- **Normas de seguridad en el trabajo con fresadora.** - Google.com (2018). Disponible en: <https://sites.google.com/site/jnmv2107f9/normas-de-seguridad-en-el-trabajo-con-fresadora>
- **Servicio de prevención de riesgos laborales (Centro de innovación - universidad de Oviedo).** - Uniovi.es (2018) Disponible en: <http://www.prevencion.uniovi.es/seguridad/seguridadtaller>
- **Ficha de normas de seguridad.** – Siafa.com.ar (2011). Disponible en: <http://www.siafa.com.ar/fichas/ficha3a.pdf>

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia

Autor: **Amor Alcón, Gonzalo.**

Tutores: **Rodríguez Ovejero, Quirino.**

Reboto Rodríguez, Enrique.

Departamento de Ciencia de los Materiales

IM / EGI / ICGF / IM / IPF

Valladolid, Julio 2018.

Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta
(Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia