

EVOLUCIÓN HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Desde la prehistoria, la evolución tecnológica de las máquinas-herramienta se ha basado en el binomio herramienta-máquina. Durante siglos, la herramienta fue la prolongación de la mano del hombre hasta la aparición de las primeras máquinas rudimentarias que ayudaron en su utilización. Aunque en la antigüedad no existieron máquinas-herramienta propiamente dichas; sin embargo, aparecieron dos esbozos de máquinas para realizar operaciones de torneado y taladrado.

En ambos casos, utilizando una de las manos, era necesario crear un movimiento de rotación de la pieza en el torneado y de la herramienta en el taladrado. Debido a esta necesidad nació el llamado “arco de violín”, instrumento de accionamiento giratorio alternativo compuesto de un arco y una cuerda, utilizado desde hace miles de años hasta la actualidad en que todavía se utiliza de forma residual en algunos países. Hacia 1250 nació el torno de pedal y pértiga flexible accionado con el pie, representando un gran avance sobre al accionado con arco de violín puesto que permitía tener las manos libres para el manejo de la herramienta de torneado.



Grabado de torno accionado por arco (1435), principio de funcionamiento todavía en uso en algunos países.

Hasta finales del siglo XV no se producen nuevos avances. Leonardo da Vinci, en su “Códice a Atlántico”, realizó un boceto de varios tornos que no pudieron construirse por falta de medios, pero que sirvieron de orientación para próximos desarrollos. Se trataba de un torno de roscar de giro alternativo, otro de giro continuo a pedal y un tercero para roscado con husillo patrón y ruedas intercambiables.

Para principios del siglo XVI Leonardo da Vinci había diseñado las tres principales máquinas para el acuñado de monedas: la laminadora, la recortadora y la prensa de balancín. Según parece, estos diseños sirvieron a Cellini para construir una rudimentaria prensa de balancín en 1530, pero la puesta en práctica generalizada se atribuye a Nicolás Briot en 1626.

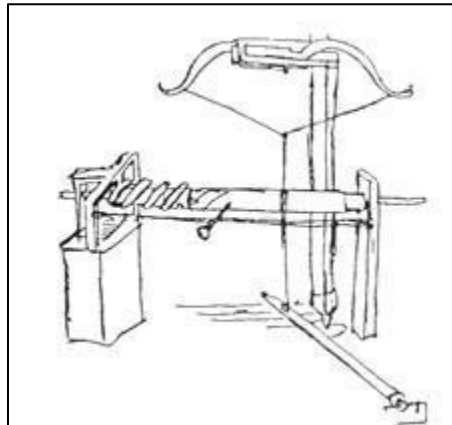
El descubrimiento de la combinación del pedal con un vástago y una biela permitió su aplicación en primera instancia a las ruedas de afilar, y poco después a los tornos. Así, después de tantos siglos, nació el torno de giro continuo llamado de pedal y rueda, lo que implicaba el uso de biela-manivela que debía de ser combinado con un volante de inercia para superar los puntos muertos, “alto y bajo”

A finales de la edad media se utilizan la máquina afiladora que emplea la piedra giratoria abrasiva, el taladro de arco, el berbiquí y el torno de giro continuo, que trabajan con

deficientes herramientas de acero al carbono. Se usan martillos de forja y rudimentarias barrenadoras de cañones, accionadas por ruedas hidráulicas y transmisiones de engranajes de madera tipo “linterna”. Se inició la fabricación de engranajes metálicos principalmente de latón, aplicados a instrumentos de astronomía y relojes mecánicos. Leonardo da Vinci dedicó mucho tiempo a calcular relaciones de engranajes y formas ideales de dientes. Se pensó que ya existían todas las condiciones para un fuerte desarrollo pero no fue así, puesto que hasta mediados del siglo XVII el desarrollo tecnológico fue prácticamente nulo.

El torno de giro continuo, con la introducción de algunas mejoras, se siguió utilizando durante mucho tiempo. Se introdujeron elementos de fundición, tales como la rueda, los soportes del eje principal, contrapunto, apoyo de la herramienta y, hacia 1568, el mandril. Se empezaron a mecanizar pequeñas piezas de acero, pero tardó muchos años en generalizarse. El reverendo Plumier, en su obra “L’Art de tourner” escrita en 1693, señala que se encuentran pocos hombres capaces de torneer hierro.

El francés Blaise Pascal, niño prodigio en matemáticas, enuncia el principio que lleva su nombre en el “Tratado del equilibrio de los líquidos” en 1650. Descubrió el principio de la prensa hidráulica, pero a nadie se le había ocurrido su aplicación para usos industriales hasta que Bramach patenta en Londres su invención de una prensa hidráulica en 1770. Pero parece que fueron los franceses hermanos Perier, entre 1796 a 1812, quienes desarrollaron prensas hidráulicas para el acuñado de moneda. Es a partir de 1840 cuando Cavé inicia la fabricación de prensas hidráulicas de elevadas presiones.



Boceto de un torno de pedal y doble pértiga de Leonardo da Vinci, que no llegó a construirse por falta de medios (siglo XV)

En los siglos XVII y XVIII, los fabricantes de relojes e instrumentos científicos usan tornos y máquinas de roscar de gran precisión, destacando el torno de roscar del inglés Jesé Ramsden construido en 1777. En un soporte de hierro de perfil triangular se colocaba el porta-herramientas, que podía deslizarse longitudinalmente. Con una manivela accionada a mano y a través de un juego de engranajes hacia girar la pieza a roscar colocada entre puntos y, al mismo tiempo, por medio de un husillo de rosca patrón se conseguía el avance o paso de rosca deseado.

Siglo XVIII: nueva fuente de energía

El siglo XVIII fue un periodo en el que el hombre dedicó todos sus esfuerzos a lograr la utilización de una nueva fuente de energía. El francés Denis Papin, con el experimentó de su

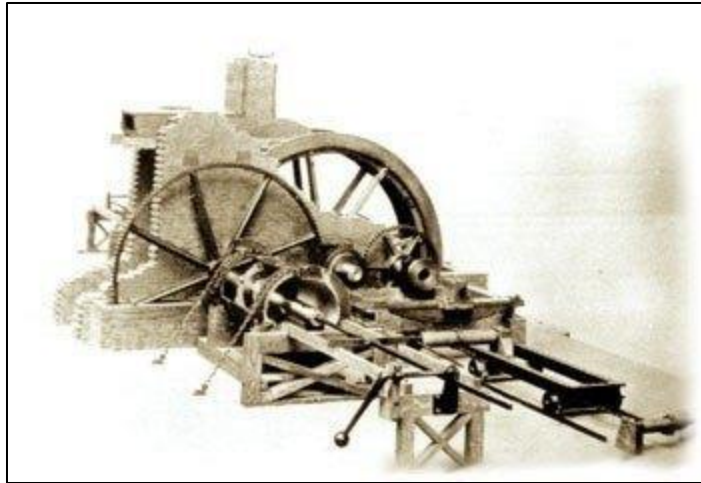
famosa marmita, realizado en 1690, dio a conocer el principio fundamental de la máquina de vapor. Poco después, en 1712, Thomas Newcomen inició la construcción de rudimentarias máquinas de vapor - máquinas de fuego - que fueron utilizadas para achicar el agua en las minas inglesas. Pero definitivamente fue James Watt quien ideó y construyó la máquina de vapor para usos industriales.

Watt concibió su idea de máquina de vapor en 1765, pero no solucionó los problemas para construir una máquina válida para usos industriales hasta quince años más tarde, en 1780. Después de muchos intentos fallidos, y debido a que no era posible obtener tolerancias adecuadas en el mecanizado de cilindros con las barrenadoras-mandrinadoras de la época por haber sido ideadas para el mecanizado de cañones, fue John Wilkinson en 1775 quien construyó, por encargo de Watt, una mandrinadora más avanzada técnicamente y de mayor precisión, accionada igual que las anteriores por medio de una rueda hidráulica. Con esta máquina, equipada con un ingenioso cabezal giratorio y desplazable, se consiguió un error máximo: “del espesor de una moneda de seis peniques en un diámetro de 72 pulgadas”, tolerancia muy grosera pero suficiente para garantizar el ajuste y hermetismo entre pistón y cilindro.

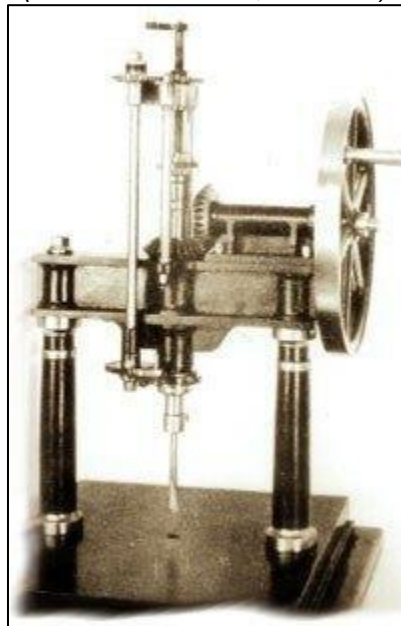
La máquina de Watt fue el origen de la primera revolución industrial; produciéndose trascendentales cambios tecnológicos, económicos y sociales; pero su construcción no hubiera sido posible sin la evolución técnica, como hemos visto, de la máquina-herramienta. La máquina de vapor proporcionó potencias y regularidad de funcionamiento inimaginables hasta ese momento; pero además no estaba supeditada a la servidumbre de un emplazamiento determinado.

Durante las guerras napoleónicas se puso de manifiesto el problema que creaba la falta de intercambiabilidad de piezas en el armamento. Era un problema al que había que encontrar una solución, fabricando piezas intercambiables. Había que diseñar máquinas-herramienta adecuadas, puesto que no había uniformidad en las medidas ni las máquinas-herramienta existentes podían considerarse como tales.

El inglés Henry Maudslay, uno de los principales fabricantes de máquinas-herramienta, fue el primero que admitió la necesidad de dotar de mayor precisión a todas las máquinas diseñadas para construir otras máquinas. En 1897 construyó un torno para cilindrar que marcó una nueva era en la fabricación de máquinas-herramienta. Introdujo tres mejoras que permitieron aumentar notablemente su precisión: la construcción de la estructura totalmente metálica, la inclusión de guías planas de gran precisión para el deslizamiento del carro porta-herramientas y la incorporación de husillos roscados-tuerca de precisión para el accionamiento de los avances. Elementos mecánicos que siguen siendo esenciales en la actualidad.



Mandrinadora de J. Wilkinson accionada por rueda hidráulica, fabricada en 1775 por encargo de James Watt. Se consiguió una precisión “del espesor de una moneda de seis peniques en un diámetro de 72 pulgadas” (Science Museum, Londres).



Taladro de sobremesa totalmente metálico, con giro de eje porta brocas accionado a mano o por transmisión fabricado por Nasmyth en 1938 (Science Museum, Londres).

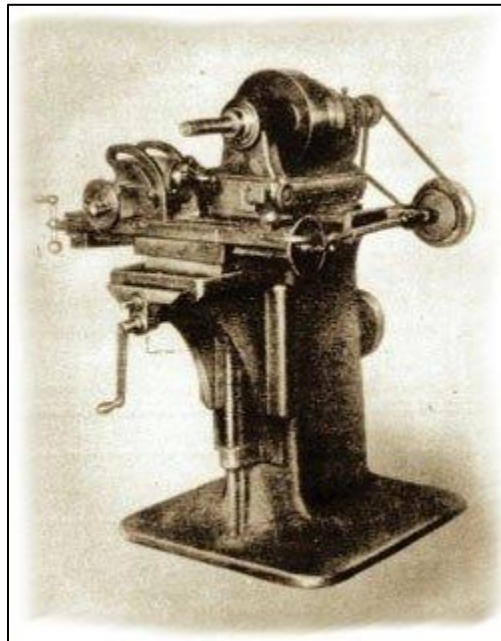
Siglo XIX: desarrollo industrial

En 1800, Maudslay construyó el primer torno realizado enteramente de metal para roscar tornillos, siendo su elemento fundamental el husillo guía patrón. Se dice que Maudslay dedicó diez años de trabajos para conseguir un husillo patrón satisfactorio.

Para completar el ciclo y tener una referencia de partida, era necesario poder medir con precisión las piezas fabricadas, con el objeto de cumplir las especificaciones para ser intercambiables, Maudslay construyó un micrómetro de tornillo en 1805 para su propia utilización, que bautizó con el nombre de El señor Canciller. James Nasmyth, discípulo aventajado de Maudslay, señaló, refiriéndose a este sistema de medición, que podía medir la milésima parte de la pulgada. Maudslay construyó en 1803 la primera amortajadora vertical para sacar chaveteros a poleas y engranajes y otras máquinas diversas.

Si la máquina de vapor fue el motor que hizo posible el desarrollo del maquinismo, proporcionando la energía necesaria, el desarrollo industrial del siglo XIX fue posible gracias al diseño y fabricación de diversos tipos de máquinas y procesos de trabajo, aplicados a la fabricación de piezas metálicas de todo tipo. La fabricación de las máquinas de vapor, barcos, material de ferrocarril, automóviles, trenes de laminación para la siderurgia, maquinaria textil etc., solamente se puede realizar utilizando máquinas-herramienta. Con la particularidad de que la máquina-herramienta es el único medio existente con el que se pueden fabricar otras máquinas-herramienta y, en general, también el único medio para fabricar cualquier otra máquina o elemento construido con materiales metálicos.

La influencia de Maudslay en la construcción de máquinas-herramienta británicas perduró durante gran parte del siglo XIX a través de sus discípulos. Los tres más importantes fabricantes de la siguiente generación: Richard Roberts y Joseph Whitworth habían trabajado a sus órdenes y James Nasmyth fue su ayudante personal. Durante todo el siglo XIX se construyeron una gran variedad de tipos de máquinas-herramienta para dar respuesta, en cantidad y calidad, al mecanizado de todas las piezas metálicas de los nuevos productos que se iban desarrollando.

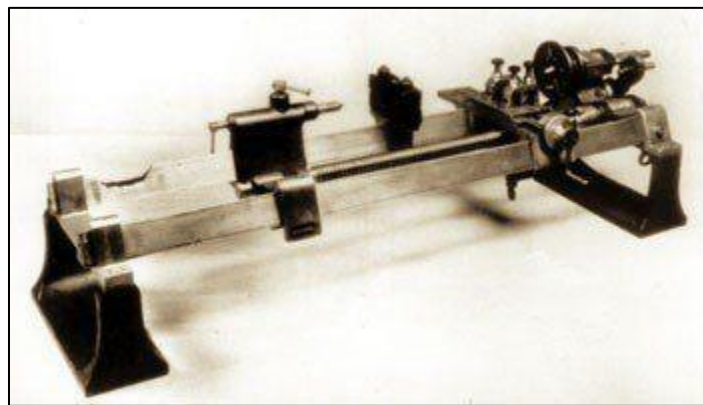


Primera fresadora universal, fabricada por Joseph R. Brown en 1862. Estaba equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan

Se hace necesario planear planchas de hierro para sustituir el cincelado, por lo que nace el primer cepillo puente práctico de uso industrial fabricado por Richard Roberts en Inglaterra en 1817, que incorpora una guía en V y la otra plana para el desplazamiento de la mesa porta piezas. En 1836 Whitworth fabricó un pequeño cepillo puente para mecanizar piezas de 1.280 mm., de longitud por 380 de ancho. La necesidad de sustituir el trabajo de cincel y lima, en piezas pequeñas fue la razón que motivó a James Nasmyth en 1836 a diseñar y construir la primera limadora, bautizada con el nombre de “brazo de acero de Nasmyth”. En 1840 Whitworth perfeccionó esta máquina, incorporando un dispositivo automático descendente del carro porta-herramientas.

Hacia 1817 se produce un avance importante en la acuñación de monedas, al desarrollar el mecánico alemán Dietrich Uhlhöm una prensa acodada conocida como prensa monedera, que es perfeccionada por la empresa Ludwig Lówe. El francés Thonelier fabrica una prensa similar e introduce el procedimiento de virola partida. A partir de 1863, La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona inicia la fabricación de prensas tipo Thonelier para la Casa de la Moneda de Madrid. En la Exposición de París de 1867, el francés Cheret presentó la novedad de una prensa mecánica de fricción. Las primeras máquinas de este tipo se pusieron en funcionamiento en la Fabrica de la Moneda de París. Poco después en 1870, la empresa americana Blis & Williams fabricó y comercializó las primeras prensas de excéntrica.

Las primeras operaciones de fresado antes de la construcción de máquinas específicas para este trabajo se realizaron en tornos accionados a pedal, pero el nacimiento y su evolución está relacionado, con la guerra de la independencia, cuando la colonia británica en América tuvo que acometer su propio desarrollo industrial. La necesidad de fabricar armamento en grandes series fue el factor determinante en el desarrollo del fresado. El americano Ely Whitney recibió el encargo de fabricar gran cantidad de fusiles para el gobierno de su país. Estudió la posibilidad de fabricación en serie, para lo que diseñó y construyó en 1818 la primera máquina de fresar. Estaba compuesta de un armazón de madera soportado por cuatro patas de hierro forjado. La mesa porta-piezas se desplazaba longitudinalmente sobre guías en forma de cola de milano y, entre otros mecanismos, destacaba un eje sinfín que se podía embragar y desembragar sobre una corona dentada alojada en el husillo del carro. En 1830 se construye una fresadora totalmente metálica a la que se incorpora un carro para la regulación vertical.



Torno para cilindrar de Maudslay, que marcó una nueva era (1797). Su influencia en las máquinas-herramienta británicas perduró durante gran parte del siglo XIX a través de sus discípulos.

En 1848 el destacado ingeniero americano Howe introduce nuevas prestaciones, incorporando poleas de tres escalones y desplazamientos en sentido vertical, longitudinal y transversal. Dos años después diseña la primera fresadora copiadora de perfiles e influye decisivamente en la introducción de otras importantes mejoras. Un avance muy importante se produce en 1862, cuando J. R. Brown construyó la primera fresadora universal equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan. Con la fresadora universal construida en 1884 por Cincinnati, a la que se incorpora por vez primera un carnero cilíndrico desplazable axialmente, se alcanza el máximo desarrollo de este tipo de máquinas. Por la influencia que ha tenido en la construcción de los actuales centros de fresado de CNC, cabe

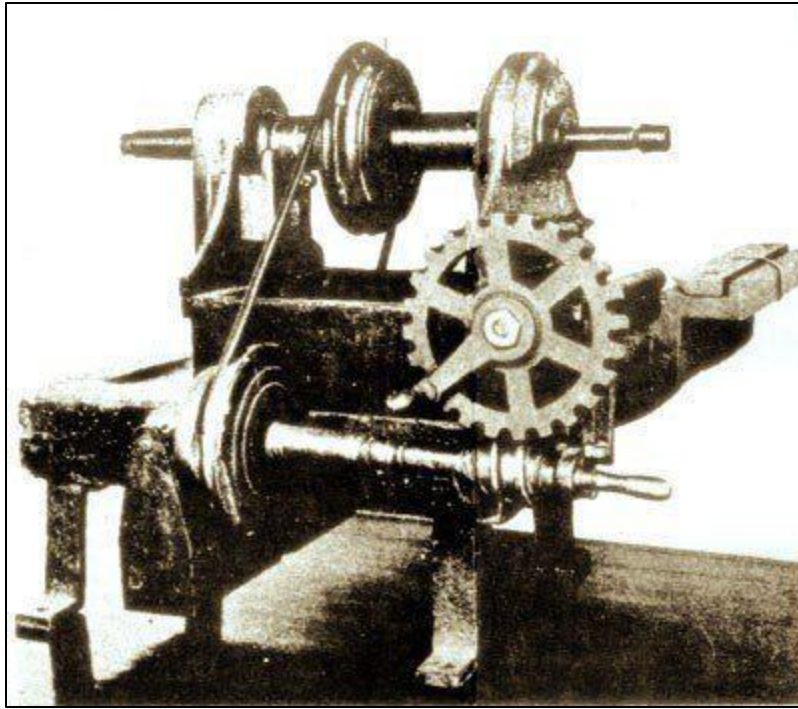
destacar la fresadora del francés P. Huré construida en 1894, que incorporaba un ingenioso cabezal con el cual, mediante previo movimiento giratorio, podía trabajar en horizontal, vertical y otras posiciones.

Hacia 1840 se desarrolla una máquina que era imprescindible para el forjado de piezas de ferrocarril. Paralelamente, Bourdon en Francia y Nasmyth en Inglaterra desarrollan y construyen el martillo pilón accionado por vapor. Fue el método idóneo para el batido de grandes masas de acero hasta que aparecieron los martillos de caída libre a finales del siglo XIX.

Ante la necesidad de taladrar piezas de acero, cada vez más gruesas, Nasmyth fue el primero que construyó hacia 1838, un taladro de sobremesa totalmente metálico, con giro de eje porta brocas accionado a mano o por transmisión. Algunos años después, en 1850, Whitworth fabricó el primer taladro de columna accionado por transmisión a correa y giro del eje porta brocas, a través de un juego de engranajes cónicos. Llevaba una mesa porta piezas regulable verticalmente mediante el sistema de piñón cremallera. En 1860 se produce un acontecimiento muy importante para el taladrado, al inventar el suizo Martignon la broca helicoidal. El uso de estas brocas se generalizó rápidamente, puesto que representaba un gran avance en producción y duración de la herramienta con relación a las brocas punta de lanza utilizadas hasta la citada fecha.

El inglés Joseph Whitworth, influenciado por su maestro Maudslay en los avances relacionados con la precisión, importancia tornillo-tuerca, construyó una máquina de medición que mejoraba la precisión de la construida por Maudslay, y estaba especialmente interesado en buscar la solución para el problema de las guías de máquina-herramienta, y otras superficies que debían ser auténticamente planas. Después de un intenso estudio, en 1840 presentó un escrito en la Asociación Británica en Glasgow, titulado: "Una autentica superficie plana, en lugar de ser de uso común se considera prácticamente desconocida", en el que describía el método para obtener una superficie plana partiendo de tres piezas metálicas planas.

Whitworth perfecciona el torno paralelo, de tal manera que el monopolea de 1850 ha tenido vigencia hasta nuestros días, y sólo fue mejorado a partir de 1890 con la incorporación de los americanos de la Caja Norton. Whitworth, además de fabricante de muchas y buenas máquinas, destacó en la fabricación de herramientas y fue quien solucionó la anarquía de roscas y los perjuicios que se derivaban de esta situación. Desarrolló el sistema de roscas Whitworth, basado en la pulgada. Introducido rápidamente en la industria, en 1841 fue adoptado por el Institute of Civil Engineers de Inglaterra. Los americanos no aceptaron esta normalización, adoptando en 1868 el sistema Seller, que difería muy poco del sistema inglés.



Co de Whitney, construida en 1818 para fabricar gran cantidad de fusiles en serie durante la guerra de la independencia americana. Destacaba un eje sinfín que se podía embragar y desembragar sobre una corona dentada alojada en el husillo del carro.

Hasta 1850 los ingleses fueron los líderes y prácticamente los únicos fabricantes de máquinas-herramienta; pero a partir de esa fecha se dedicaron principalmente al diseño y la fabricación de grandes máquinas, con el fin de dar solución al mecanizado de piezas para los ferrocarriles en cuyo desarrollo estaban comprometidos. Fue a partir de este momento cuando los americanos se impusieron en el ámbito mundial en la fabricación de maquinaria ligera desarrollando, hasta finales del siglo XIX, nuevos e importantes tipos de máquinas-herramienta universales y de producción, para mecanizar tornillería, piezas de máquinas de coser y escribir, armamento, maquinaria agrícola etc.

Ante la necesidad de realizar diferentes operaciones en un mismo amarre de pieza, hacia 1854 se incorporaron torretas revolver a tornos convencionales para fabricar tornillería y pequeñas piezas de revolución. Pocos años después, en 1858, H.D. Stone diseñó el primer torno revolver fabricado por "Jones & Lamson" a partir de barra; pero fue a partir de 1860 cuando las empresas "Brown & Sharpe" y "Pratt & Whitney" empezaron a fabricar con normalidad este tipo de máquinas.

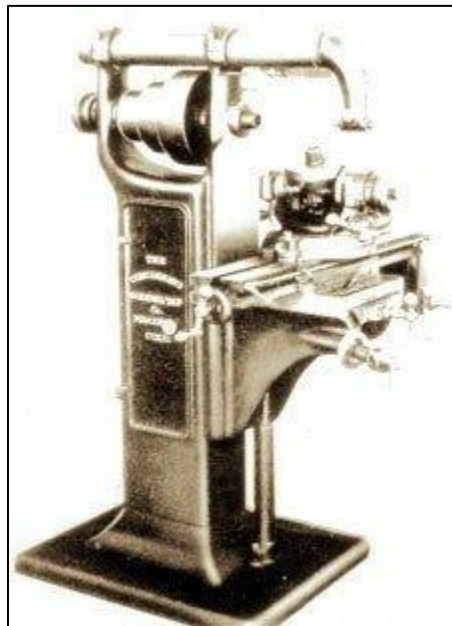
Como complemento del torno revolver, hacia 1870 se desarrollaron tornos automáticos para dar solución a la producción en grandes series de pequeñas piezas de revolución. El primer torno fue diseñado por Spencer y fabricado por "Hartford Machine Screw". "Pratt & Whitney" construye el primer tono automático con cargador de piezas en 1898 y el mismo año "The National Acme", el primer torno multihusillo.

A partir de 1865 las prestaciones de las máquinas aumentan al equiparse con nuevas herramientas fabricadas con acero aleado, descubierto por Robert Mushet. Esto permite doblar la capacidad de mecanizado en relación con las herramientas de acero al carbono al crisol conocidas hasta entonces.

En París en 1843 los franceses fabricaron la primera muela artificial, iniciándose el proceso de sustitución de las piedras de arenisca. Para el rectificado de piezas cilíndricas fue utilizado en primera instancia el torno; acoplado en su carro longitudinal un cabezal porta-muelas, weighted grinding lathe. En 1870 “Brown Sharpe”, fabrica y ofrece al mercado la primera rectificadora universal, que no alcanzó tal cualidad hasta que en 1880 se le añadió un dispositivo para el rectificado interior. La misma empresa desarrolla el rectificado de superficies planas, construyendo una pequeña rectificadora en 1880 para piezas pequeñas y una rectificadora puente en 1887 para piezas grandes.

El verdadero desarrollo del rectificado de producción con herramientas abrasivas no se inicia hasta finales del siglo XIX. Dos circunstancias favorecieron este desarrollo. Por un lado, la exigencia de la industria del automóvil que solicita piezas de acero templado y acabadas con un alto grado de calidad y, por otro, el descubrimiento, en 1891, por parte de Edward Goodrich Acheson, del carburo de silicio, carborundum: El descubrimiento de Acheson permitió disponer de una potente herramienta para desarrollar grandes velocidades de corte, propiciando la construcción de máquinas más potentes y precisas para dar respuesta a las nuevas exigencias de calidad. Para finales del siglo XIX, la empresa inglesa Churchil y las americanas Norton, Landis, Blanchar, Cincinnati, etc., habían desarrollado prácticamente todas los tipos rectificadoras que, en su arquitectura y componentes mecánicos, se utilizan en nuestros días.

A partir de 1898, con el descubrimiento del acero rápido por parte de Taylor y White, se fabrican nuevas herramientas con las que se triplica la velocidad periférica de corte, aumentando la capacidad de desprendimiento de viruta, del orden de siete veces, utilizando máquinas adaptadas a las nuevas circunstancias.



Con la fresadora universal construida en 1884 por Cincinnati, a la que se incorpora por vez primera un carnero cilíndrico desplazable axialmente, se alcanza el máximo desarrollo de este tipo de máquinas

Siglo XX: hasta 1940

El nuevo siglo se recibió como el inicio de una nueva era, que ofrecía grandes posibilidades de progreso. En los Estados Unidos circulaban alrededor de 8.000 automóviles, pero no

existía una industria organizada ni los miles de productos que se han desarrollado durante el siglo XX, pero había ilusión y una fuerte confianza en el futuro.

El sistema de generación polifásico de Tesla en 1887 hizo posible la disponibilidad de la electricidad para usos industriales, consolidándose como una nueva fuente de energía capaz de garantizar el formidable desarrollo industrial del siglo XX. Aparece justo en el momento preciso, cuando las fuentes de energía del siglo XIX se manifiestan insuficientes. Los motores de corriente continua fabricados a pequeña escala, y los de corriente alterna, reciben un gran impulso a principios de siglo, reemplazando a las máquinas de vapor y a las turbinas que accionaban hasta ese momento las transmisiones de los talleres industriales. Poco después, muy lenta pero progresivamente, se acoplan directamente de forma individualizada a la máquina-herramienta.

A principios de siglo no se exigían tolerancias de fabricación superiores a 0,001 de pulgada debido, por un lado, a que todavía no hacía falta mayor precisión para los productos que se fabricaban y, por otro, a que las máquinas-herramienta no habían alcanzado un mayor grado de precisión. Pero ante las nuevas exigencias de calidad empezaron a utilizarse tolerancias en milésimas de metro a partir de 1910. Estados Unidos era el fabricante mundial de micrómetros a principios de siglo, y la medición de la precisión máxima en un taller dependía de este instrumento.

La exigencia de calidad y la fuerte evolución productiva del automóvil contribuyeron al desarrollo de la máquina-herramienta, la metrología y la aplicación de los procedimientos de fabricación en masa. La fabricación de piezas intercambiables aumenta constantemente, y se hace necesario mejorar las prestaciones de matricería y utillaje. Para dar respuesta al problema, el ingeniero suizo Pprenond Jacot diseña y fabrica una punteadora vertical con mesa de coordenadas polares, en la que se ejecutan operaciones con una precisión jamás lograda hasta entonces.

En 1908 Henry Ford fabrica el primer automóvil producido en serie, modelo T, y en 1911 instala el primer transportador en cadena en Highland Park, iniciando la producción en masa. Se perfeccionan una gran cantidad de máquinas-herramienta adaptadas a las características exigidas por la industria del automóvil.

Desde principios del siglo XX hasta el nacimiento del control numérico (CN) e incluso después, se mantienen prácticamente en todas las máquinas las formas arquitectónicas que, en este sentido, alcanzaron su plenitud a finales del siglo XIX. Sin embargo evolucionaron y se construyeron otras más potentes, rígidas, automáticas y precisas, pudiendo alcanzar mayores velocidades de giro, con la incorporación a los cabezales de cojinetes o rodamientos de bolas; contribuyendo rentablemente al extraordinario incremento de productividad logrado por la industria en general y en especial por la automovilística y aeronáutica.

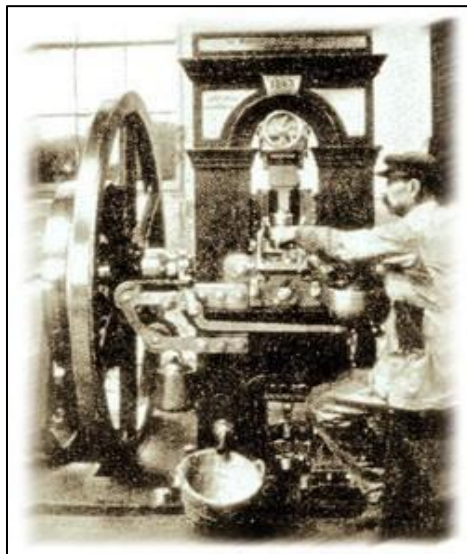
Esta evolución fue debida fundamentalmente, por un lado, al descubrimiento de nuevas herramientas de corte como hemos visto: carburo de silicio, acero rápido y, a partir de 1926, se produce otro avance importante con el descubrimiento por parte de la empresa alemana Krupp del carburo cementado metal duro, presentado en la feria de Leipzig en 1927 con la denominación de Widia. Por otro lado se registra la automatización de diversos movimientos mediante la aplicación de motores eléctricos, sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos.

La aplicación de accionamientos hidráulicos, primero en rectificadoras y después en tornos copiadores, etc., 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.

A partir de 1925 en Estados Unidos las revistas especializadas tratan de las unidades autónomas de mecanizado y nace la noción de transferencia de las piezas a mecanizar. Teniendo en cuenta que, salvo algunas excepciones, todas las operaciones de mecanizado que combinan la rotación de una herramienta con un movimiento de avance se pueden realizar con estas unidades; se ha descubierto la máquina ideal para que, dispuesta en línea, pueda realizar distintas operaciones mediante transferencia de la pieza a mecanizar. A partir del año 1945 las fábricas de automóviles utilizan de manera generalizada máquinas transfer, compuestas de unidades autónomas, en el mecanizado de bloques y culatas.

Siglo XX: a partir de 1941

En 1943 se estaba desarrollando un nuevo procedimiento de trabajo revolucionario. El matrimonio de científicos rusos Lazarenko, anuncia su descubrimiento y pone en marcha los primeros dispositivos que permitieron posteriormente el mecanizado por electroerosión. Hacia 1950 aparecieron las primeras máquinas, en las que básicamente se utilizaban elementos de otras convencionales a las que se incorporaba un generador, un tanque para el dieléctrico, electrodo con la forma del molde a mecanizar, etc. En 1955 aparecen en Estados Unidos las primeras máquinas de electroerosión concebidas como tales para realizar mecanizados por penetración; revolucionando el difícil y costoso sistema de fabricación de moldes y estampas. Muchos años más tarde, apoyándose en el control numérico, se desarrolla la electroerosión por hilo, que permite el corte de perfiles complicados y precisos mediante un electrodo constituido por un alambre muy delgado y una trayectoria de pieza controlada por control numérico.



La primera máquina-herramienta fabricada en España: la prensa tipo Thonelier, construida por "La Maquinista Terrestre y Marítima" en 1863 para la Casa de la Moneda de Madrid. Fabricó las primeras pesetas, ahora desaparecidas.

La electrónica - y la informática que está soportada por la primera - han provocado una nueva revolución industrial. El punto de partida hay que situarlo en 1945, cuando dos científicos de la Universidad de Pennsylvania, John W. Manly y J. Presper Ecker crearon la primera computadora electrónica digital que ha funcionado realmente en el mundo. Se denominó ENAC, era voluminosa, consumía mucha energía y era difícil de programar, pero funcionaba.

En 1948, John Parson inicia la aplicación del control numérico a la máquina-herramienta, con el objeto de resolver el problema del fresado de superficies complejas tridimensionales para la aeronáutica. En 1949 Parson contrató con el Instituto Tecnológico de Massachusetts el diseño de los servomecanismos de control para una fresadora. En 1952 funcionaba un control experimental, aplicado a una fresadora Cincinnati. La programación utilizaba un código binario sobre cinta perforada, y la máquina ejecutaba movimientos simultáneos coordinados sobre tres ejes. En 1955 se presentan unas pocas máquinas en la Feria de Chicago, gobernadas por tarjetas y cintas perforadas. La U.S. Air Force se interesa por el sistema y formula un pedido de 170 máquinas-herramienta por valor de cincuenta millones de dólares, beneficiándose del mismo varios prestigiosos fabricantes americanos. Pero los modelos desarrollados durante los años cincuenta y sesenta fueron poco eficaces y resultaron muy caros.

Fue a partir de los años setenta, con el desarrollo de la microelectrónica, cuando el CN pasa a ser control numérico por computadora (CNC) por la integración de una computadora en el sistema. Pero definitivamente fue durante los años ochenta cuando se produce la aplicación generalizada del CNC, debido al desarrollo de la electrónica y la informática, provocando una revolución dentro de la cual todavía estamos inmersos.

Además de su incorporación a las fresadoras, la aplicación del control numérico se extendió a mandrinadoras, tornos y taladros. Pero rápidamente se comprobó que existía un potencial de automatización superior al que podía obtenerse sobre máquinas clásicas y surgió un nuevo concepto de máquina: el llamado centro de mecanizado. Nace así una máquina-herramienta capaz de fresar, taladrar, roscar, mandrinar, etc., que incluye un almacén de herramientas y un sistema de cambio automático de las mismas, de forma que el control numérico ordena las posiciones y trayectorias de las piezas y herramientas, velocidades de avance, giro de herramientas y selección de las mismas.

El avance tecnológico del CN ha constituido el aspecto dominante, afectando a todas las máquinas-herramienta, incluso a las universales. En cierto aspecto, las máquinas se han convertido en más simples, porque ciertas funciones han sido transferidas del sistema mecánico al electrónico. Se ha logrado el control simultáneo de varios ejes, como es el caso de los centros de mecanizado, de los tornos, etc., lo cual no era posible hasta la aplicación del CNC.

De la denominación de máquina-herramienta se ha pasado al término de máquina-herramienta avanzada, que se refiere a la máquina con mando numérico, concibiéndose buen número de ellas según criterios modulares que permiten la intercambiabilidad y la complementariedad, pudiéndose integrar en células o sistemas de fabricación flexible posibilitando una automatización a la vez integrada y flexible.

Desde hace varios años hay que destacar la creciente demanda para equipar las máquinas avanzadas con sistemas de carga y descarga automática con manipuladores, robots articulados, pórticos, etc., convirtiendo la máquina individual en una pequeña célula flexible.

Esto se debe a la exigencia de la industria transformadora, principalmente de la automoción, que ha puesto en práctica procesos de fabricación discontinua, noción que cubre la fabricación en series pequeñas y grandes.

Nos hallamos ante una revolución que está pasando de una economía sustentada en los principios de la mecánica, esto es, en la producción en masa, en el carácter uniforme de los productos, etc. a una economía que se caracteriza por la flexibilidad, la rápida reacción a la evolución de los mercados, la adaptabilidad de los productos, etc. Para ello ha sido necesario integrar tecnologías basadas en la mecánica y la electrónica - mecatrónica - lo que ha supuesto entrar en una nueva cultura industrial condicionada por un enfoque global y pluridisciplinario de los problemas de producción.



Seyanka, muestra de la tecnología más avanzada en la actualidad. Se trata de una arquitectura de cinemática paralela de tipo hexápodo, desarrollada por la Fundación Tekniker. Todavía falta algún tiempo para que se generalice. En el futuro, tal vez, este tipo de máquinas sean consideradas historia.

Se avanzó tal vez demasiado en una dirección y parece que se ha frenado la implantación de líneas de fabricación flexibles, a favor de las células, más rentables, más fiables y con menos problemas de mantenimiento, sin que esto excluya que estas células estén concebidas de forma que en el futuro puedan integrarse en sistemas más complejos, orientados a la fabricación automática. En la actualidad se avanza en la fabricación de células o líneas que integran distintos tipos de máquinas e instalaciones, con el objeto de realizar el proceso completo de piezas en una sola sujeción, lo mismo para piezas prismáticas que de rotación.

El alto grado de automatización no ha corregido suficientemente el grado de utilización; poniéndose de manifiesto deficiencias existentes en cuanto a disponibilidad de máquinas y sistemas, y por lo tanto una insuficiente productividad con relación a su elevado coste. En la mayoría de los casos, cuando se inicia el proceso de mecanizado de piezas en una máquina solamente el 40% del tiempo total disponible están siendo mecanizadas, y el 60% restante se consume en cambio de utillaje, carga y descarga de pieza, posicionado, averías, rotura y afilado de herramientas, etc.

Sin embargo, la situación actual de la microelectrónica, con la posibilidad de adquirir controles abiertos basados en ordenadores personales; permite incorporar y procesar, en las máquinas avanzadas, aparatos de medición automática, sensores para detectar averías, vibraciones, desgaste o rotura de herramientas, etc., dotándolas de un alto grado de autonomía, lo que permitirá realizar un trabajo prolongado sin vigilancia, tanto cuando estas máquinas trabajan individualmente que cuando son incorporadas a un sistema.

Hemos asistido a un período de grandes avances tecnológicos en el diseño y la construcción de máquinas-herramienta, pero parece necesario continuar revisando conceptos y proceder a optimizar la aplicación de la tecnología existente. Los usuarios en general exigen mayor

disponibilidad de máquinas y sistemas, esto es mayor grado de utilización, o sea más tiempo desprendiendo viruta. Piden máquinas más adaptadas a sus necesidades, más fiables y de mayor calidad y precisión. Por otro lado, a un gran número de máquinas se les está exigiendo mayor precisión y fiabilidad, más potencia y disponibilidad para trabajar a alta velocidad, lo cual supone dotarlas de mayor rigidez.

En las máquinas que trabajan por deformación, en la que la prensa es el exponente típico, el impacto de la electrónica ha sido menor en general que entre las que trabajan por desprendimiento de viruta. Sin embargo, ha representado una revolución su aplicación a las punzonadoras, plegadoras, máquinas de corte por láser y algunos tipos de máquinas que combinan el corte por punzonado y por láser.

Se ha intentado introducir y generalizar la aplicación de nuevos materiales, principalmente en estructuras de máquinas, utilizando hormigón reforzado con resinas termoestables y granito sintético, mezcla de granito y resina epoxy, pero resulta difícil desplazar al palastro o a la tradicional fundición gris, que sigue siendo un material económico y eficaz, del que además se conocen muy bien sus características y comportamiento en el tiempo. Hay que destacar positivamente el desarrollo de máquinas-herramienta de estructuras paralelas tipo hexápodos, especialidad en la que el Centro Tecnológico Tekniker ha adquirido buena experiencia durante los últimos años. Tienen la ventaja de ser muy simples en su arquitectura, pero todavía no sirven para grandes potencias, siendo su programación compleja.

En el aspecto mecánico se ha evolucionado menos, aunque cabe destacar el desarrollo de mandrinos de giro de alta velocidad utilizados en el "fresado de alta velocidad". En cuanto al accionamiento de desplazamientos, cabe destacar en determinadas aplicaciones la introducción paulatina de los llamados "motores lineales". La gran ventaja de este sistema es que permite alcanzar elevadas velocidades de desplazamiento, disminuyendo el rozamiento considerablemente al no existir ningún apoyo físico entre rotor y estator.

Durante los últimos veinte años se ha producido un desarrollo muy positivo en la fabricación de herramientas. El diseño de plaquitas diseñadas con nuevas formas geométricas, adaptadas a las características del material y su proceso de mecanizado, ha mejorado notablemente el rendimiento de las herramientas de corte. Complementariamente, la técnica de recubrimiento en fabricación de herramientas de metal duro, recubiertas de una fina capa de nitruro o carbonitruro de titanio mediante el procedimiento de deposiciones químicas de vapor (CVD) ha contribuido de forma muy importante al incremento de la producción de las modernas máquinas de CNC. Con los mismos resultados positivos, un proceso de recubrimiento complementario al anterior, que se realiza mediante deposición física por vapor (PVD), se utiliza principalmente para el recubrimiento del acero rápido.

El CBN, nitruro de boro cúbico, (Cubic Boron Nitride) tiene múltiples usos en el mecanizado, destacando inicialmente su utilización en la industria del automóvil, el rectificado de alta producción, el rectificado de corte pleno y el rectificado sin centros. El descubrimiento básico de este material por parte R.H. Wentorf de General Electric se remonta a 1957.

Hay que destacar que, con la aparición del PCBN (Polycrystalline Cubic Boron Nitride), se fabrican nuevos tipos de herramientas para diversas aplicaciones: fresado, torneado, etc. Este material permite someter a la herramienta a mayores esfuerzos (por ejemplo corte interrumpido y materiales muy duros), pudiendo alcanzar altas velocidades en el mecanizado y/o mayores capacidades de arranque de material. Gracias al CBN y al PCBN, actualmente

se investigan nuevos procesos de mecanizado que además aseguren una especial atención al medio ambiente. Hoy se puede hablar del mecanizado ecológico.

Por último cabe destacar que la industria española, que inició a principios del siglo XX de manera tímida y con cien años de retraso la fabricación de máquinas-herramienta, arrastraba un desfase tecnológico imposible de recuperar hasta que, en el año 1982, alcanzó el tren de las nuevas tecnologías justo en el momento en el que se estaban desarrollando. Realizando un gran esfuerzo, este sector se ha colocado actualmente en el ámbito competitivo internacional. Todo ello ha sido posible gracias a la fuerte inversión realizada en I+D, a la creación de los centros tecnológicos promovidos por el Gobierno Vasco, a la labor realizada por AFM a través de Invema y a los centros tecnológicos de empresa tipo Ideko del Grupo Danobat, Fatronik, Ona Electroerosion, etc.