



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela politécnica superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO HISTÓRICO
TECNOLÓGICO DE LAS
MÁQUINAS HERRAMIENTAS.
TORNO DE LEONARDO DA
VINCI**

Alumno: Cristian López Gordo

Tutor: Rafael López García

Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

Febrero, 2023



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera

Don Rafael López García , tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: Estudio histórico tecnológico de las máquinas herramientas. Torno de Leonardo Da Vinci, que presenta Cristian Lopez Gordo, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Febrero de 2023

El alumno:

Cristian Lopez Gordo

Los tutores:

Rafael López García

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	5
3. ANTECEDENTES	6
4. LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS	7
4.1 ¿Qué es una máquina herramienta?	7
4.2 Características y propiedades de las máquinas herramientas	8
4.3 Clasificación de las máquinas herramientas.....	10
4.4 Cronología de las máquinas herramientas	12
5. EVOLUCIÓN HISTÓRICO TECNOLÓGICA DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS....	17
5.1 Evolución hasta el siglo XVII	17
5.2 Siglo XVIII: Nueva fuente de energía	21
5.3 Siglo XIX: Desarrollo Industrial.....	23
5.3.1 El comienzo de las Cepilladoras y Limadoras	23
5.3.2 El inicio de las Prensas y la acuñación de monedas	24
5.3.3 Las primeras Fresadoras	25
5.3.4 El forjado en el siglo XIX	26
5.3.5 El comienzo de los Taladros	26
5.3.6 La entrada e incorporación de los estadounidenses.....	27
5.3.7 La aparición de los Tornos revólver y automáticos.....	28
5.3.8 Los inicios de las Máquinas de abrasión	29
5.4 Siglo XX: Hasta 1940	30
5.5 Siglo XX-XXI: A partir de 1941 hasta la actualidad.....	32
5.5.1 El comienzo de la electroerosión.....	32
5.5.2 El CNC y la nueva revolución industrial.....	33
5.5.3 El centro de mecanizado.....	34
5.5.4 El cambio de enfoque y de economía	36
5.5.5 La entrada de nuevos materiales y nuevas tecnologías hasta la fecha	37
6. LAS PRIMERAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS	41
6.1 El Torno	41
6.1.1 Partes del Torno.....	43
6.1.2 Primeros Tornos a partir de 1750.....	44
6.1.3 Los primeros tornos revólver y tornos automáticos	48
6.2 El Taladro.....	50
6.2.1 Partes del Taladro.....	51
6.2.2 Primeros Taladros a partir de 1850	52

6.3	La Fresadora.....	55
6.3.1	Partes de la fresadora.....	55
6.3.2	Tipos de Fresadora.....	56
6.3.3	Las primeras Fresadoras.....	58
6.4	Las Mandrinadoras.....	61
6.5	Las Cepilladoras.....	64
6.6	Las Máquinas De Abrasión.....	67
6.7	Las Prensas.....	70
7.	EL TORNO DE LEONARDO DA VINCI.....	73
7.1	Introducción.....	73
7.2	Análisis.....	74
7.2.1	Características y descripción del Torno de Leonardo Da Vinci.....	74
7.2.2	Dimensionado y Diseño.....	75
7.2.3	Partes del Torno de Leonardo Da Vinci.....	76
7.2.4	Funcionamiento.....	84
7.3	Planos.....	87
7.4	Modelado 3D.....	88
7.5	Simulación de Funcionamiento.....	89
7.6	Análisis Mecánico.....	93
7.7	Complicaciones y Principales Dificultades.....	101
8.	CONSTRUCCIÓN A ESCALA DE LA MÁQUINA HERRAMIENTA.....	102
8.1	Introducción.....	102
8.2	Dimensionado.....	102
8.3	Materiales.....	103
8.3.1	Propiedades de los materiales.....	104
8.4	Máquinas Herramientas utilizadas.....	108
8.5	Procesos de fabricación utilizados.....	113
8.6	Proceso de Construcción del Torno de Leonardo Da Vinci Paso a Paso.....	118
8.7	Complicaciones y Principales Dificultades.....	137
9.	CONCLUSIÓN.....	138
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	140
11.	ANEXOS.....	143

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un estudio histórico y tecnológico de las máquinas herramientas. El estudio se va a realizar en concreto de las máquinas herramientas principales, pero antes se va a presentar que son las máquinas herramientas, para que sirven, su clasificación, su cronología y sobretodo su evolución a lo largo de la historia.

Una vez sepamos lo que son las máquinas herramientas y conozcamos su evolución al largo del tiempo, nos centraremos en las principales y en sus características.

Una vez acabada la parte teórica, llegamos a la parte experimental donde se va a presentar un análisis de una máquina herramienta antigua concreta en la cual se va a realizar su modelado 3D y su reproducción real a escala.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son conocer la evolución histórica y tecnológica de las máquinas herramientas dando a conocer las máquinas herramientas principales y sus características.

Otro objetivo es aplicar los conocimientos de las asignaturas estudiadas en el grado para realizar un análisis de las máquinas herramientas más importantes, centrarse en una de ellas que sea antigua, para realizar su análisis más concreto y su modelado 3D para posteriormente realizar una reproducción real a escala de la misma.

Más adelante del trabajo podremos ver que máquina herramienta es la escogida para realizar más concretamente su análisis, modelado y reproducción a escala ya que antes se realizará el estudio histórico tecnológico de las máquinas herramientas en general.

3. ANTECEDENTES

Cuando se habla de máquinas herramienta hay que decir que tienen un origen diferente al de las herramientas.

Hablando de herramientas, tenemos que remontarnos al origen del hombre, porque las herramientas siempre han acompañado la evolución del hombre. Cuando las manos del hombre ya no son suficientes para una tarea, necesita un objeto o dispositivo que lo ayude, y nacen las herramientas.

Aunque estas herramientas varían en forma, tamaño, diseño y calidad, siguen siendo hoy en día las principales ayudas que utilizan los seres humanos para realizar su trabajo. Por eso en una definición simple podemos decir que “una herramienta es una extensión de la mano humana”.

La historia se encarga de unificar el desarrollo y evolución de herramientas y máquinas-herramienta hasta el punto de que actualmente existe una interdependencia directa, perteneciendo ambas a industrias diferentes.

Los conceptos de herramienta y máquina herramienta son bastante diferentes. Las herramientas se consideran en términos de material (durante la fabricación y qué materiales utilizarán) mientras que las máquinas herramienta se consideran en términos de las operaciones que van a realizar (estarán diseñadas para realizar diferentes operaciones como: taladrar, cortar, pulir, torneear, fresar, etc.).

Si bien algunos han sido dependientes de otros, es interesante ver cómo uno se eleva por encima de los demás y cómo se invierte el campo, dependiendo de los momentos históricos y las posibilidades de desarrollo, lo que los lleva a una competencia inesperada por su extraordinario crecimiento y servicios evolutivos.

(Ref. 001)

4. LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS

4.1 ¿Qué es una máquina herramienta?

Se conoce con el nombre de **máquina herramienta** a toda máquina que, por procedimientos mecánicos, hace funcionar una herramienta, sustituyendo la mano del hombre y se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. El objetivo principal de las máquinas herramienta es sustituir el trabajo manual por trabajo mecánico en la fabricación de piezas.

El término máquina herramienta generalmente se usa para herramientas que usan una fuente de energía diferente al movimiento humano, pero si se instalan correctamente, también pueden ser movidas por personas o cuando no hay otra fuente de energía disponible. Muchos historiadores de la tecnología creen que la verdadera máquina herramienta nació cuando se eliminó el papel directo de los humanos en el proceso de moldeado o estampado de diferentes tipos de herramientas. Por ejemplo, se cree que el primer torno, que puede considerarse una máquina herramienta, fue inventado por **Jacques de Vaucanson** alrededor de 1751, puesto que fue el primero que incorporó el instrumento de corte en una cabeza ajustable mecánicamente, sustituyendo las manos del operario.

Las máquinas herramienta pueden usar una gran variedad de fuentes de energía. Tanto la fuerza humana como animal eran opciones posibles, al igual que la energía obtenida mediante el uso de ruedas hidráulicas. Sin embargo, el verdadero desarrollo de las máquinas herramienta no comenzó hasta después de la invención de la máquina de vapor, que condujo a la Revolución Industrial. Hoy en día, la mayoría de ellos funcionan con electricidad. (Ref. 019)

La máquina herramienta puede operarse manualmente o controlarse automáticamente. Las primeras máquinas herramienta usaban volantes para estabilizar su movimiento y tenían sistemas complejos de engranajes y palancas para controlar la máquina y las partes en las que trabajaba. Poco después de la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron los sistemas de control numérico. Las máquinas CNC utilizaban una serie de números perforados en cinta de papel o tarjetas perforadas para controlar su movimiento. En los años 1960 se añadieron computadoras para aumentar la flexibilidad del proceso. (Ref. 019)

Tales máquinas comenzaron a llamarse máquinas CNC, o máquinas controladas numéricamente por computadora. Las máquinas CNC pueden repetir secuencias con precisión una y otra vez y pueden producir piezas que son más complejas que el operador más experimentado.

Las máquinas herramienta también son conocidas como la "madre de las máquinas". Se le dio este apodo porque las piezas formadas por la máquina herramienta se utilizaron posteriormente para fabricar otras máquinas, incluidas nuevas máquinas herramienta.

Podemos estar seguros de que son el punto de partida de casi todas las actividades de fabricación de metales. Por lo tanto, sin este equipo, no podríamos encontrar en el mercado automóviles, aviones, ordenadores o cualquier cosa que requiera piezas moldeadas.

4.2 Características y propiedades de las máquinas herramientas

Su principal característica es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias.

Otra característica clave es que se pueden usar con una gran variedad de materiales, especialmente metales, para producir formas específicas. Esto se aplica tanto a las pequeñas bolas de precisión de los bolígrafos como a piezas más complejas de aviones o satélites.

El proceso de fabricación de piezas procede de cuatro formas generales:

1. Corte del exceso de material de la pieza de trabajo en forma de virutas.
2. Cizallando el material.
3. Apretando las piezas hasta conseguir la forma deseada.
4. Aplicar electricidad, ultrasonido o productos químicos corrosivos al material.

Además de las características principales, la máquina herramienta debe tener varias propiedades:

- **Resistencia a la temperatura:** el control de la temperatura es necesario ya que las herramientas sobrecalentadas pierden su capacidad de corte. El calor generado depende de la fuerza de corte y la velocidad de corte.
- **Resistencia al desgaste:** Durante el mecanizado, la herramienta se ve sometida a la acción abrasiva de la pieza. Si la herramienta no es lo suficientemente resistente al desgaste, el borde de corte puede fallar, dando como resultado un acabado deficiente de la pieza de trabajo.
- **Estabilidad:** Todas las máquinas-herramienta deben tener sujeción de piezas y herramientas, y un control preciso de la profundidad de corte.
- **Baja fricción:** para reducir el desgaste de la herramienta y lograr un mejor acabado superficial, el coeficiente de fricción entre la viruta y la herramienta debe ser lo más bajo posible dentro del rango operativo de velocidad y avance.
- **Precisión:** El proceso de elaboración de una pieza requiere precisión mecánica. Las máquinas herramienta de última generación cortan o mecanizan piezas con una tolerancia de aproximadamente diez milésimas de pulgada (0,0025 mm).
- **Velocidad de corte:** dado que las fuerzas de corte varían según el material que se corta y los materiales de la herramienta tienen diferentes tolerancias a las altas temperaturas, la velocidad de corte óptima depende del material que se corta y del material que corta la herramienta de corte.

Estas propiedades son las más habituales, pero hay muchas más propiedades que tenemos que tener en cuenta, como la rigidez de la máquina herramienta, la profundidad de corte, etc.

(Ref. 020)

4.3 Clasificación de las máquinas herramientas

La clasificación y denominación de los diferentes grupos de máquinas herramientas se realiza partiendo de sus distintas características:

Según el grado de automatización

El grado de automatización de las máquinas, así como la técnica utilizada determinan su denominación:

- Máquinas automáticas
- Máquinas semiautomáticas
- Máquinas hidráulicas
- Máquinas electrónicas (Ref. 034)

Según el grado de exactitud a obtener

Según el grado de exactitud de las superficies elaboradas las máquinas herramientas pueden ser:

- Máquinas de desbaste
- Máquinas de acabado
- Máquinas rectificadoras
- Máquinas pulidoras (Ref. 034)

Según la posición del eje

Teniendo en cuenta la posición del eje del cabezal principal, entre unas de las características constructivas, las máquinas pueden dividirse en:

- Horizontales
- Verticales (Ref. 034)

Según el número de órganos

Si tenemos en cuenta el número de órganos de trabajo, por ejemplo, número de ejes del cabezal, de herramientas y soportes da lugar a la división de las mismas en:

- Máquinas de un husillo
- Máquinas multihusillos (Ref. 034)

Según como trabajan

A continuación, tenemos un ejemplo de algunas de las máquinas herramientas más importantes según el tipo de trabajo que realizan que puede ser:

- Sin arranque de material:

¿CÓMO TRABAJAN?		FAMILIA DE MÁQUINAS
Sin arranque de material	Genéricos	Martinetes
		Plegadoras
		Curvadoras
	Mediante una matriz y punzón específicos	Prensas excéntricas
		Prensas hidráulicas

Ilustración 4.1: Clasificación de las máquinas herramientas sin arranque de material. Fuente: Procesos por arranque de viruta, <https://ikastaroak.ulhi.net/>.

(Ref. 003)

- Con aporte de material:

Con aporte de material	Uniones fijas	Por electrodo revestido
		MIG / MAG
		TIG

Ilustración 4.2: Clasificación de las máquinas herramientas con aporte de material. Fuente: Procesos por arranque de viruta, <https://ikastaroak.ulhi.net/>.

(Ref. 003)

- Con arranque de material:

Con arranque de material	Con separación de masa	Cizallas
		Punzonadoras
		Plasma, chorro de agua, oxiacetilénica
	Con arranque de viruta grande	Taladros
		Fresadoras
		Tornos
	Con arranque de viruta pequeña	Amoladora / esmeril
		Rectificadora cilíndrica
		Rectificadora plana
		Electroerosión por penetración
Corte por hilo		

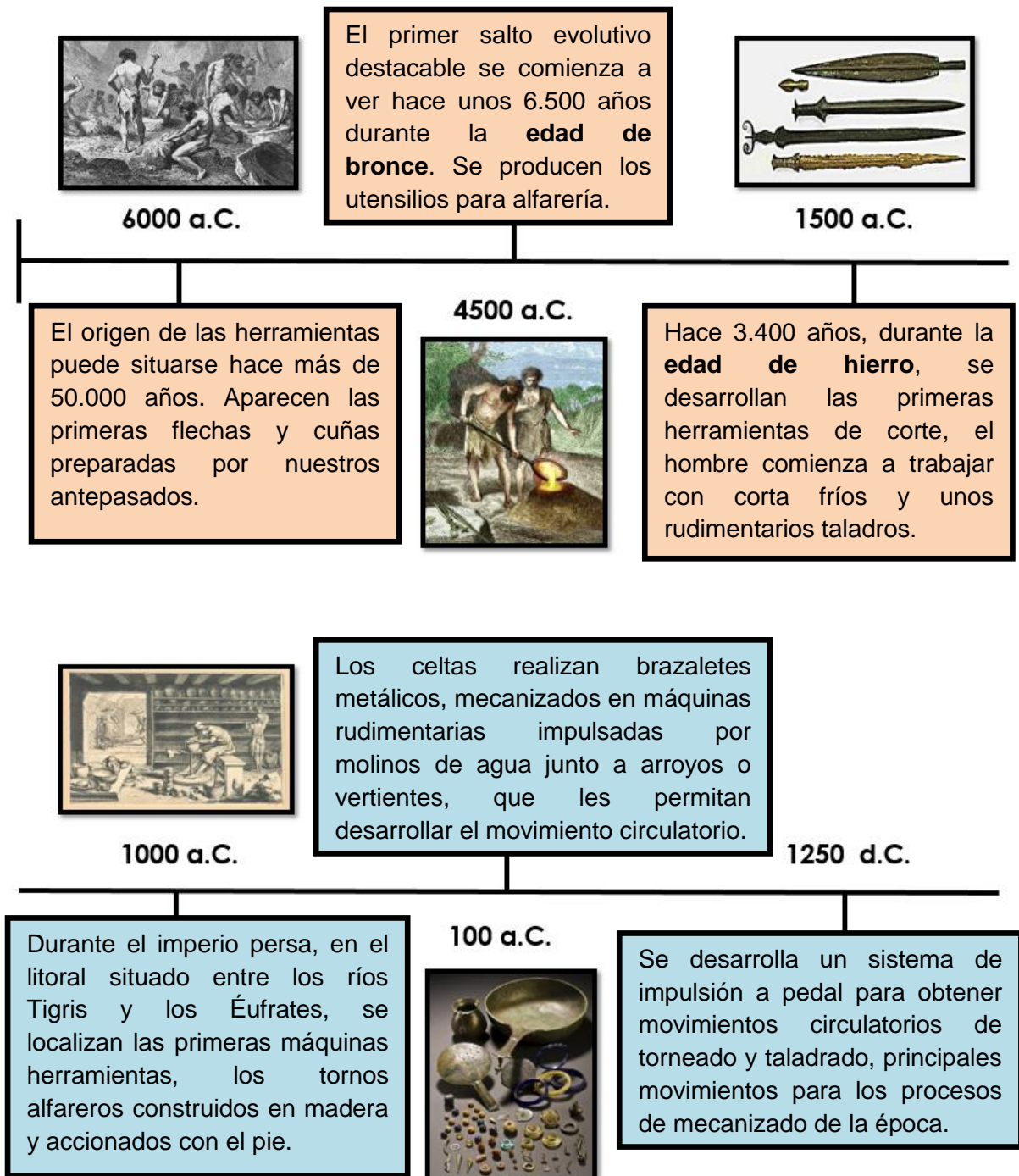
Ilustración 4.3: Clasificación de las máquinas herramientas con arranque de material. Fuente: Procesos por arranque de viruta, <https://ikastaroak.ulhi.net/>.

(Ref. 003)

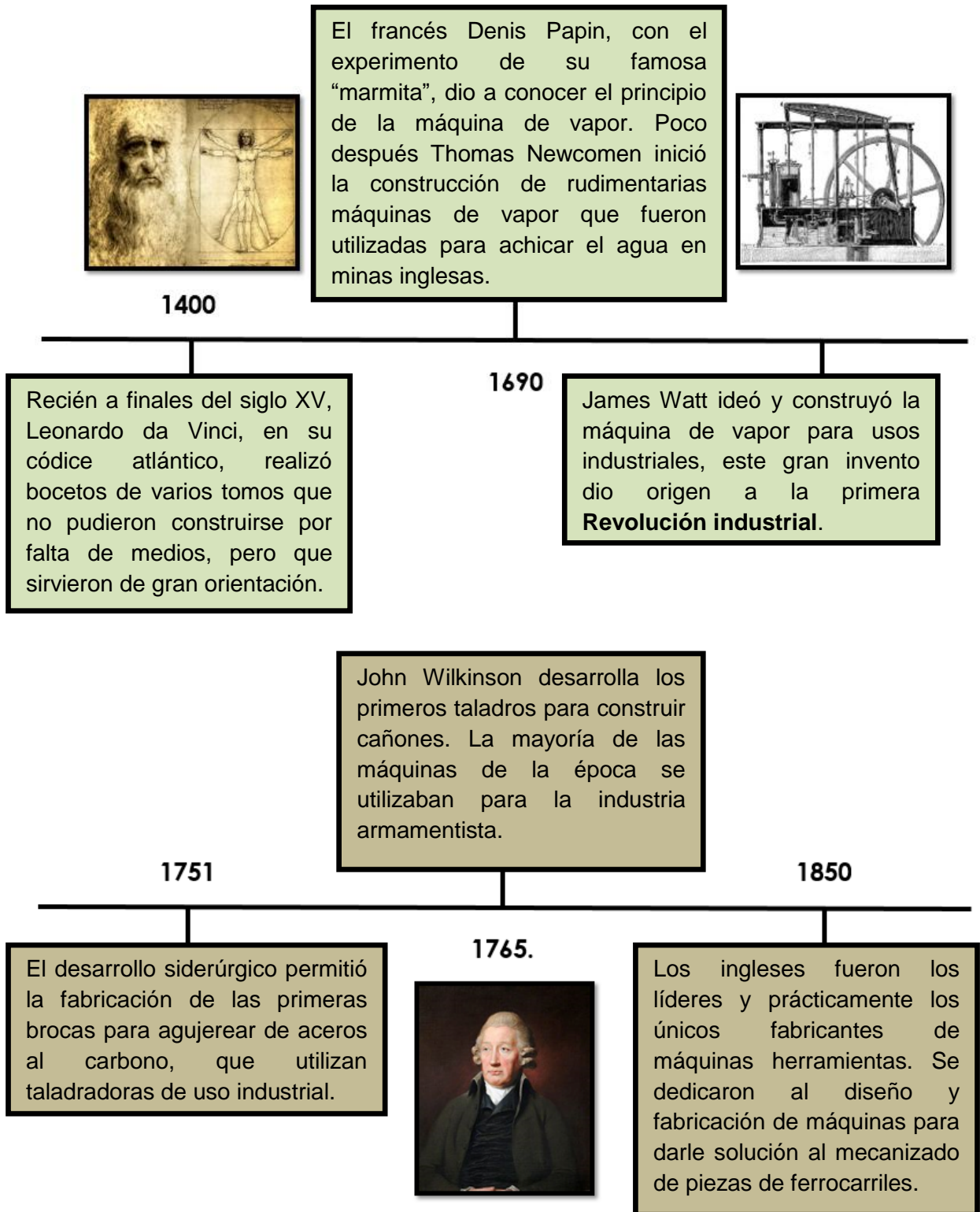
4.4 Cronología de las máquinas herramientas

Desde las herramientas más primitivas hasta la actualidad han transcurrido millones de años. Todo esto ha marcado el paso de materiales e inventos, los cuales ha permitido transformar la historia de la humanidad.

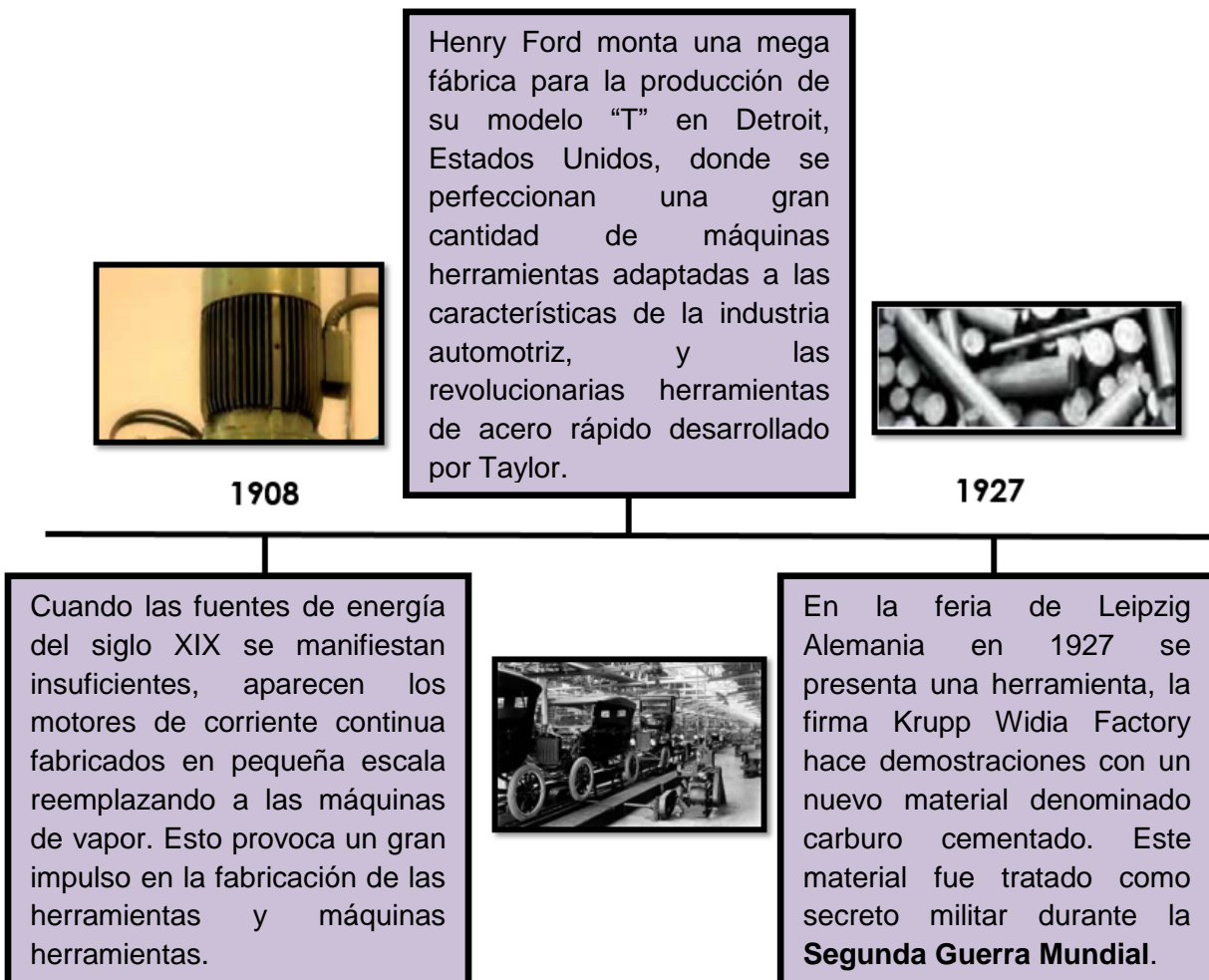
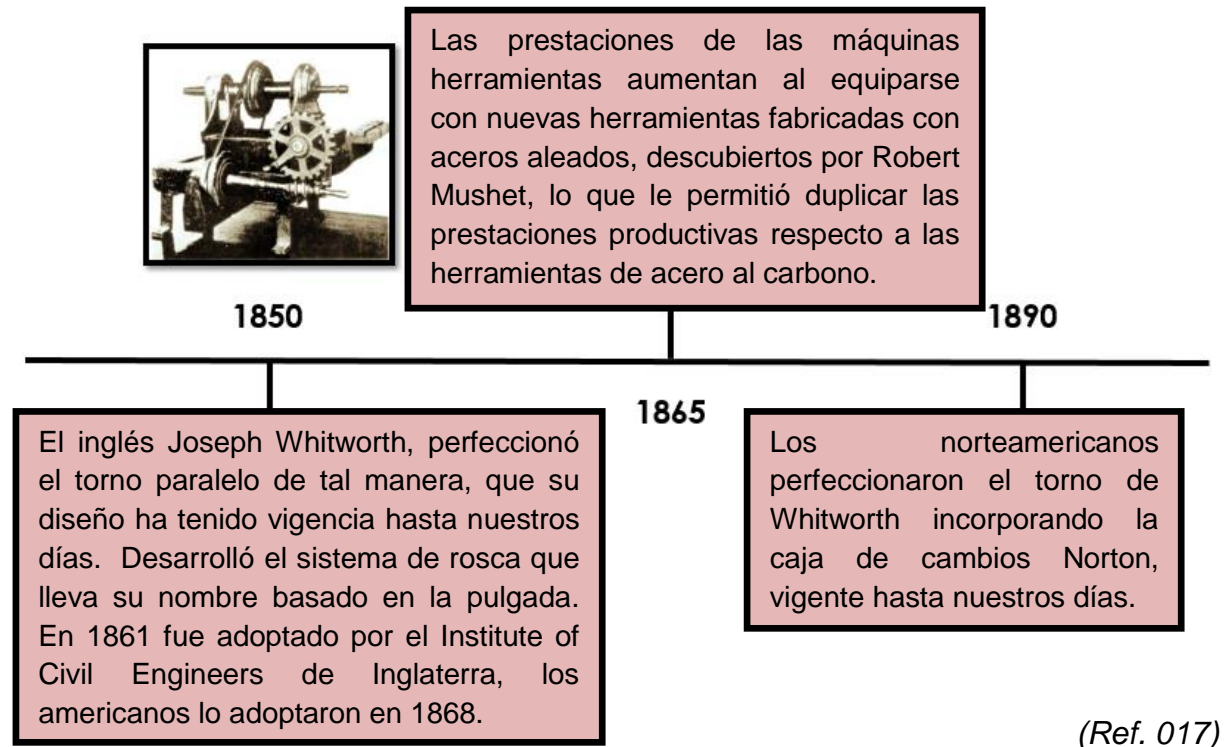
A continuación, se muestra la línea del tiempo a lo largo de la historia de las máquinas herramientas mediante ilustraciones y una pequeña descripción, más adelante se profundizará en cada parte de la evolución de las máquinas herramientas.



(Ref. 017)



(Ref. 017)





1945

Se desarrollan tecnologías como el control numérico “**CN**” mejorando notoriamente las mediciones de las tolerancias a obtener de esas máquinas, el control numérico computarizado “**CNC**” que se acopla a las máquinas y las herramientas; **Autocad** (para el dibujo y diseño de las piezas); **CAD**; **CAD/CAM** y nuevos programas que permiten manejar las máquinas desde una computadora.

Se produjo el mayor desarrollo de las máquinas herramientas en el siglo XX, porque a su evolución hay que agregar la llegada de la electrónica.



Fines de siglo XX

El siglo XXI Se reserva los derechos de aportarnos el futuro, que está en las máquinas construidas a medida según la necesidad de quien las compre, utilizando las herramientas del futuro que ya existen el láser, el ultrasonido...

La última parte del siglo XX, disparó los desarrollos de herramientas a niveles casi increíbles, la globalización ha hecho que la tecnología llegue a cualquier parte del mundo casi sin limitaciones. Así llegaron las herramientas de **Cermet**, las cerámicas de primera y segunda generación, el nitruro de silicio, herramientas de **CBN** (nitruro de boro cúbico y de **PDC** (diamante poli cristalino).

Siglo XXI



(Ref. 017)

Ilustración 4.4: Línea del tiempo de las máquinas herramientas. Fuente: Elaboración propia.

5. EVOLUCIÓN HISTÓRICO TECNOLÓGICA DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS

Ya conocemos lo que son las máquinas herramientas y se ha mostrado sus características más importantes, sus propiedades, su clasificación y sobretodo que utilidad tienen y para qué sirven. Conocemos su cronología y su línea del tiempo, ahora toca profundizar más en cada etapa y en la evolución de las máquinas herramientas a lo largo de la historia. También se va a profundizar en los cambios tecnológicos a lo largo del tiempo y los avances tecnológicos que han sufrido las máquinas herramientas y que han surgido en cada etapa a raíz de sucesos o cambios en la sociedad.

5.1 Evolución hasta el siglo XVII

Desde tiempos prehistóricos, el desarrollo tecnológico de las máquinas herramienta se ha basado en el binomio herramienta máquina. Durante siglos, la herramienta fue una extensión de la mano humana hasta que aparecieron las primeras máquinas básicas que facilitaban su uso. Aunque en la antigüedad no existían máquinas herramienta propiamente dichas, sin embargo, aparecieron dos bocetos de máquinas que realizaban operaciones de torneado y taladrado.



Ilustración 5.1: Grabado de torno accionado por arco (1435). Fuente: Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica. <https://www.interempresas.net/>.

En ambos casos, se requiere una mano para crear el movimiento de rotación de la pieza en el torneado y el movimiento de rotación de la herramienta en el taladrado. Esta necesidad dio origen al llamado "arco de violín", un instrumento alternativo accionado por rotación que consiste en un arco y una cuerda (*ilustración*

5.1), que se usó durante miles de años y todavía se usa hoy en día en algunos países.

En torno al año 1250 nació el torno de pedal y pértiga flexible, que supuso un gran avance respecto al torno accionado por arco de violín, ya que permitía manejar la herramienta de torneado teniendo las manos libres.

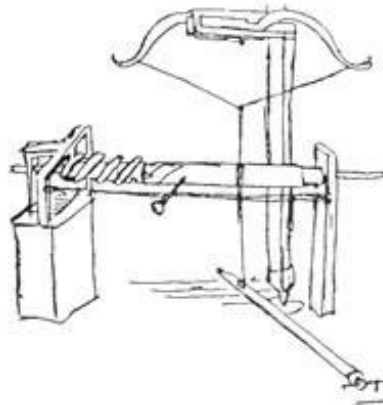


Ilustración 5.2: Boceto de un torno de pedal y doble pértiga de Leonardo da Vinci (siglo XV). Fuente: Evolución técnica de la máquina- herramienta. Reseña histórica. <https://www.interempresas.net/>.

No se realizaron nuevos desarrollos hasta finales del siglo XV. En su "*Códice a Atlántico*", **Leonardo da Vinci** esbozó varios tornos (*Ilustración 5.2*) que no pudo construir por falta de recursos, pero que le sirvieron de guía para nuevos desarrollos en el futuro. Se trataba de un torno de roscar de giro alternativo, otro de giro continuo a pedal y un tercero de roscado con husillo patrón y ruedas intercambiables.

A principios del siglo XVI, **Leonardo da Vinci** había diseñado las tres máquinas principales para acuñar monedas: la laminadora, la recortadora y la prensa de balancín. Aparentemente, **Cellini** usó estos diseños para construir una prensa de balancín en 1530, pero su implementación generalizada se debe a **Nicholas Briot** en 1626 (*Ilustración 5.3*).

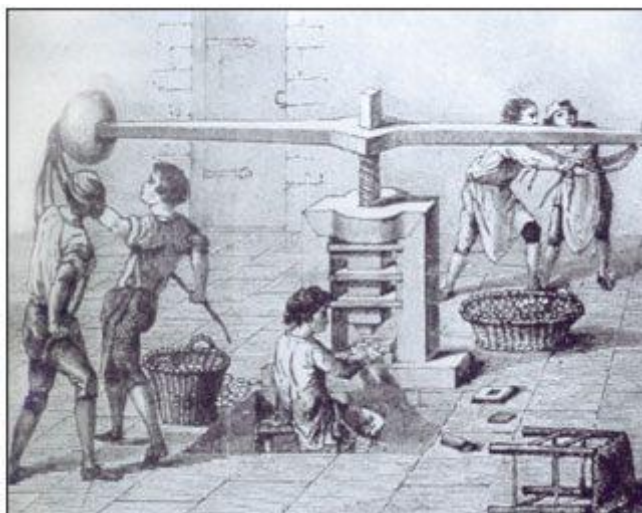


Ilustración 5.3: Prensa de balancín de Nicolás Briot (1626), diseñada por Leonardo da Vinci, y que supuso la puesta en marcha generalizada de la acuñación de moneda. Fuente: Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica. <https://www.interempresas.net/>.

El descubrimiento de la combinación del pedal con un vástago y una biela dio su primera aplicación a las ruedas de afilar y poco después en tornos. Así, después de tantos siglos, nació el torno de giro continuo conocido como torno de pedal y rueda (*Ilustración 5.4*), que suponía utilizar una biela manivela que había que combinar con un volante de inercia para superar los puntos muertos, "arriba y abajo".

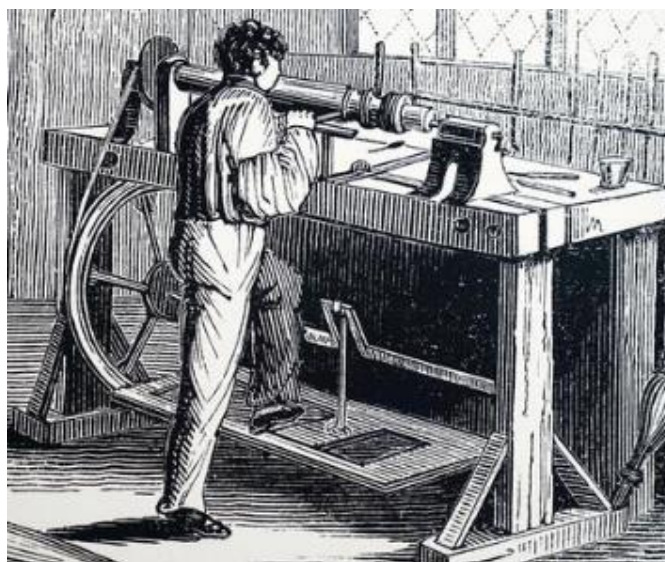


Ilustración 5.4: Ilustración que muestra un hombre utilizando un torno de pedal y rueda. Fuente: Ilustración que muestra la silla gira y patas de la mesa en un torno trabajo por un pedal. 1836. www.alamy.es

Comenzó a utilizarse a finales de la Edad Media la máquina afiladora que utilizaba la piedra giratoria abrasiva, el taladro de arco, el berbiquí y el torno de giro continuo, que trabajan con herramientas deficientes de acero al carbono. También se utilizaban martillos de forja y mandriladoras de cañones, impulsadas por ruedas

hidráulicas y transmisiones de engranajes de madera. También se comenzaron a fabricar engranajes metálicos principalmente de latón, que se utilizaban en instrumentos astronómicos y relojes mecánicos.

Leonardo da Vinci dedicó mucho tiempo a calcular relaciones de engranajes y perfiles ideales de dientes. Se pensaba que se daban todas las condiciones para un fuerte desarrollo, pero no fue así, pues hasta mediados del siglo XVII el desarrollo tecnológico era casi nulo.

Los tornos de giro continuo se siguieron utilizando durante mucho tiempo con algunas mejoras. Se introdujeron elementos de hierro fundido, como ruedas, soportes de husillo, contrapunto, portaherramientas y, sobre el 1568, el mandril.

Se empezaron a mecanizar pequeñas piezas de acero, pero se tardaron muchos años hasta generalizarse. El reverendo **Plumier** señaló en su obra "*L'Art de tourner*" escrita en 1693 que muy pocas personas eran capaces de torneear hierro.

En 1650, el prodigio matemático francés **Blaise Pascal** formuló el principio que lleva su nombre en el "*Tratado del equilibrio de los líquidos*". Descubrió el principio de la prensa hidráulica, pero nadie pensó en una aplicación industrial hasta que **Bramach** patentó su invención de la prensa hidráulica en Londres en 1770. Pero parece que fueron los hermanos franceses **Périer** entre 1796 y 1812 quienes desarrollaron la prensa hidráulica para el acuñado de monedas. A partir de 1840 se comenzaron a fabricar prensas hidráulicas de alta presión.

En los siglos XVII y XVIII, los fabricantes de relojes e instrumentos científicos utilizaron tornos y máquinas de roscar de alta precisión, destacando el torno de roscar construido por el inglés **Jesé Ramsden** en 1777. El portaherramientas se colocaba sobre un soporte de hierro de perfil triangular y podía deslizarse longitudinalmente. Al operar manualmente la manivela, a través de un conjunto de engranajes, hacia girar la pieza a roscar colocada entre puntos y a través de un husillo de rosca patrón se lograba el avance o paso de rosca deseado.

(Ref. 002)

5.2 Siglo XVIII: Nueva fuente de energía

El siglo XVIII fue una época en la que el ser humano hizo todo lo posible por utilizar nuevas fuentes de energía. El francés **Denis Papin** realizó su famoso experimento de la "*marmita*" en 1690, que reveló los principios fundamentales de la máquina de vapor. Poco después, en 1712, **Thomas Newcomen** comenzó a construir máquinas de vapor para achicar el agua en las minas inglesas. Pero definitivamente fue **James Watt** quien diseñó y construyó la máquina de vapor para uso industrial.

Watt concibió la idea de una máquina de vapor en 1765, pero no fue hasta 15 años después, en 1780, que abordó el problema de construir una máquina eficiente para uso industrial. Tras muchos intentos fallidos, ya que las mandrinadoras de la época estaban diseñadas para mecanizar cañones, era imposible obtener las tolerancias suficientes a la hora de mecanizar cilindros, por lo que Watt encargó a **John Wilkinson** que los construyera en 1775 (*Ilustración 5.5*), un mandrinado tecnológicamente más avanzado y preciso. Una máquina accionada de la misma manera que sus predecesoras, todas ellas por ruedas hidráulicas. Esta máquina, dotada de un ingenioso cabezal giratorio y desplazable, consiguió la máxima tolerancia, tenía el espesor de una moneda de seis peniques de 72 pulgadas de diámetro, una tolerancia muy basta, pero suficiente para asegurar el ajuste y la estanqueidad entre pistón y cilindro.

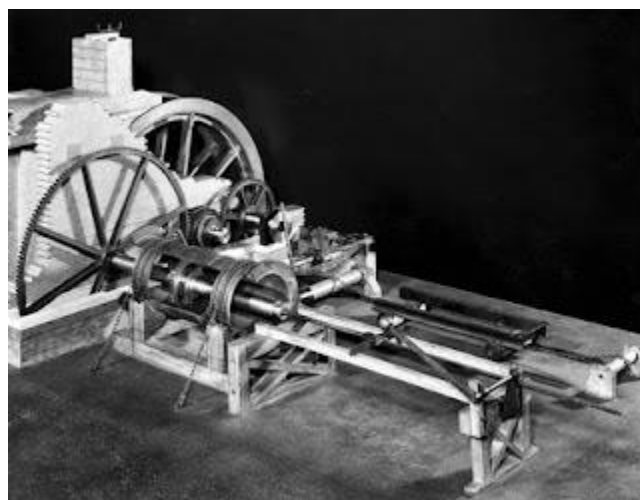


Ilustración 5.5: Mandrinadora de John Wilkinson (1775). Fuente: Alma de herrero. Máquinas herramientas. <http://2.bp.blogspot.com/>

La máquina de Watt fue el origen de la primera revolución industrial, produciendo trascendentes cambios tecnológicos, económicos y sociales, pero como hemos visto, su construcción no hubiera sido posible sin la evolución tecnológica de la máquina herramienta. La máquina de vapor proporcionó potencia y leyes de funcionamiento inimaginables en ese momento, pero tampoco estaba limitada por una ubicación específica. Los problemas planteados por la falta de intercambiabilidad de las piezas de armas se hicieron evidentes durante las Guerras Napoleónicas. Este era un problema para el que había que encontrar una solución, haciendo piezas intercambiables. Debían diseñarse máquinas herramienta adecuadas, ya que las medidas no eran uniformes y las máquinas herramienta existentes no podían considerarse como tales.

El inglés **Henry Maudslay**, uno de los principales constructores de máquinas herramienta, fue el primero en reconocer la necesidad de una mayor precisión en todas las máquinas diseñadas para fabricar otras máquinas. En 1797 construyó un torno que marcó una nueva era en la fabricación de máquinas herramienta (*Ilustración 5.6*). Introdujo tres mejoras que permitieron un aumento significativo en la precisión: la construcción de una estructura totalmente metálica, guías planas de alta precisión para portaherramientas deslizantes y la incorporación de husillos de tuerca roscada de precisión para el accionamiento de los avances. Unos elementos mecánicos que siguen siendo imprescindible hoy en día.

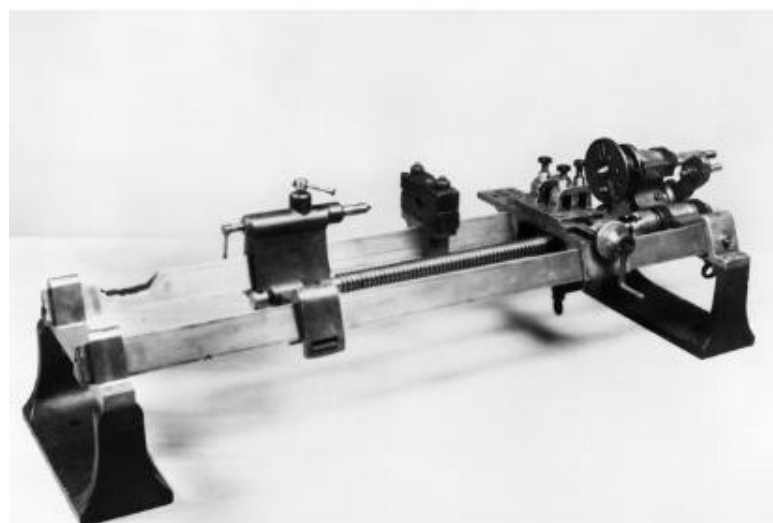


Ilustración 5.6: Torno para cilindrar de Maudslay, que marcó una nueva era (1797). Fuente: Tornillo de corte de torno diseñada por Henry Maudslay (1771-1831). www.alamy.es

(Ref. 002)

5.3 Siglo XIX: Desarrollo Industrial

A lo largo del siglo XIX se fabricaron una gran variedad de máquinas-herramienta para dar respuesta en cantidad y calidad al mecanizado de todas las piezas metálicas de los nuevos productos que se estaban desarrollando.

Si la máquina de vapor fue el motor que hizo posible el desarrollo del maquinismo y proporcionó la energía necesaria, el desarrollo industrial en el siglo XIX fue posible gracias al diseño y construcción de diversos tipos de máquinas y procesos de trabajo aplicados a la fabricación de piezas de diversos metales. La fabricación de máquinas de vapor, barcos, material ferroviario, automóviles, trenes de laminación para la industria siderúrgica, maquinaria textil, etc. sólo pueden realizarse con máquinas herramienta.

La influencia de **Maudslay** en la construcción de máquinas herramienta británica continuó a través de sus discípulos durante gran parte del siglo XIX.

Tres de los fabricantes más importantes de la próxima generación: **Richard Roberts** y **Joseph Whitworth** trabajaron a sus órdenes, y **James Nasmyth** fue su asistente personal.

En 1800, **Maudslay** construyó el primer torno totalmente metálico para tornillos roscados, siendo el elemento principal el husillo principal. En 1803 construyó la primera amortajadora vertical para sacar chaveteros a engranajes y poleas y otras máquinas diversas.

En esa época era necesario poder medir con precisión las piezas fabricadas para cumplir con las especificaciones intercambiables, **Maudslay** fabricó un micrómetro de tornillo para su propio uso en 1805, que llevó el nombre de "*El Señor Canciller*". **James Nasmyth**, ilustre discípulo de **Maudslay**, señaló que éste micrómetro era capaz de medir la milésima parte de la pulgada.

5.3.1 El comienzo de las Cepilladoras y Limadoras

Se hizo necesario planear planchas de hierro para sustituir el cincelado, por lo que se creó el primer cepillo puente para uso industrial, construido en Inglaterra en 1817 por **Richard Roberts**, que combinaba una guía en forma de V con otra guía

plana que servía para mover la mesa porta-piezas. En 1836, **Whitworth** construyó un pequeño cepillo puente para mecanizar piezas de 1280 mm de largo x 380 mm de ancho. **James Nasmyth** diseñó y fabricó la primera limadora, denominada "*brazo de acero de Nasmyth*" debido a la necesidad de sustituir el trabajo de cincel y lima en piezas pequeñas. En 1840, **Whitworth** perfeccionó esa limadora, que incluía un dispositivo automático para bajar el portaherramientas.

5.3.2 El inicio de las Prensas y la acuñación de monedas

Los principales avances en la acuñación de monedas se realizaron alrededor de 1817, cuando el mecánico alemán **Dietrich Uhlhorn** desarrolló una prensa llamada prensa monedera, que fue más tarde perfeccionada por la empresa LUDWIG LÖWE. El francés **Thonnelier** construyó una prensa similar e introdujo el procedimiento de virola partida.

A partir de 1863, LA MAQUINISTA TERRESTRE Y MARÍTIMA DE BARCELONA empezó a fabricar prensas tipo Thonnelier 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 Casa de la Moneda de París. Poco después, en 1870, la empresa americana BLIS & WILLIAMS fabricó y vendió la primera prensa excéntrica (*Ilustración 5.7*).

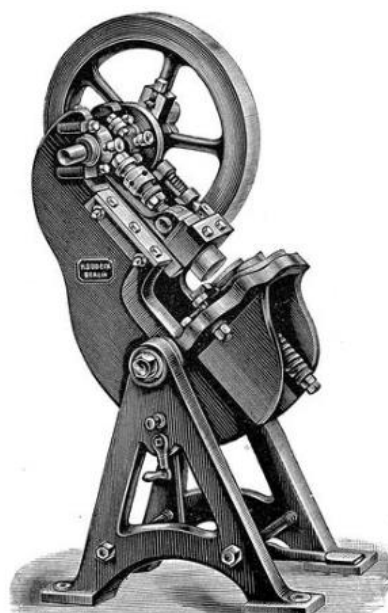


Ilustración 5.7: Prensa excéntrica de la empresa americana BLIS & WILLIAMS. Fuente: Ilustración del volante prensa excéntrica. www.alamy.es

5.3.3 Las primeras Fresadoras

Las primeras operaciones de fresado antes de que se construyeran máquinas específicas para el trabajo se realizaban en tornos de pedal, pero su nacimiento y evolución están ligados a la Guerra de la independencia, cuando la colonia británica en América tuvo que emprender su propio desarrollo industrial.

La necesidad de producir armas en masa fue un factor decisivo en el desarrollo del fresado. El estadounidense **Ely Whitney** recibió el encargo de fabricar una gran cantidad de fusiles para su gobierno. Investigó la posibilidad de la fabricación en serie, para lo cual diseñó y construyó la primera fresadora en 1818 (*Ilustración 5.8*).

Se componía de un armazón de madera sostenido por cuatro patas de hierro forjado. El soporte de la pieza de trabajo se movía longitudinalmente sobre unas guías y, entre otros mecanismos se encontraba un eje sinfín que embragaba y desembragaba sobre una corona dentada montada en el husillo del carro.

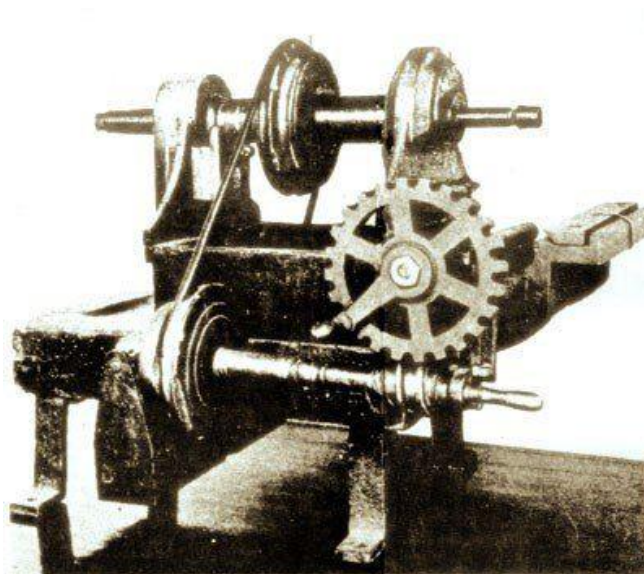


Ilustración 5.8: Primera fresadora (1818) diseñada y construida por Ely Whitney. Fuente: Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica. www.interempresas.net

En 1830, se construyó una fresadora totalmente metálica donde se incorporó un carro para la regulación vertical.

En 1848, el famoso ingeniero estadounidense **Elías Howe** introdujo nuevas prestaciones, incorporando poleas de tres escalones y desplazamientos en sentido, longitudinal, vertical y transversal. Dos años más tarde, diseñó la primera fresadora

copiadora de perfiles e influyó decisivamente en la introducción de otras importantes mejoras. Un avance muy importante se produjo en 1862 cuando **J. R. Brown** construyó la primera fresadora universal (*Ilustración 5.9*) equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, desplazamiento lateral y avance automático de la mesa longitudinal, y transmisión Cardan aplicada.



Ilustración 5.9: Primera fresadora universal fabricada por Joseph R. Brown (1862). Fuente: Maquinas. Maquinas eléctricas: reseña histórica. www.enerxia.net

La fresadora universal construida en Cincinnati en 1884 fue la primera en incorporar un pistón cilíndrico desplazable axialmente, el mayor desarrollo de este tipo de máquinas.

5.3.4 El forjado en el siglo XIX

Alrededor de 1840, se desarrolló una máquina esencial para forjar piezas de ferrocarril. Mientras tanto, **Bourdon** en Francia y **Nasmyth** en Inglaterra desarrollaron y construyeron el martillo pilón accionado a vapor. Antes de la llegada de los martillos de caída libre a finales del siglo XIX, esta era la forma ideal de martillar grandes bloques de acero.

5.3.5 El comienzo de los Taladros

Ante la necesidad de perforar acero cada vez más grueso, **Nasmyth** alrededor de 1838 fue pionero en la fabricación de un taladro de sobremesa (*Ilustración 5.10*) totalmente metálico con giro de eje porta brocas accionado a mano o mediante transmisión.

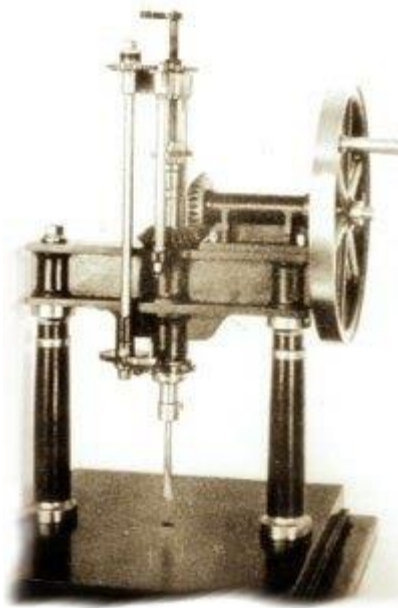


Ilustración 5.10: Taladro de sobremesa totalmente metálico fabricado por Nasmyth (1838). Fuente: Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica. www.interempresas.net

Unos años más tarde, en 1850, **Whitworth** construyó el primer taladro de columna accionado por transmisión por correa y giro del eje porta brocas, a través de un conjunto de engranajes cónicos. Disponía de una mesa porta piezas regulable verticalmente mediante un sistema de piñón y cremallera. En 1860, el suizo **Martignon** inventó la broca helicoidal, que fue un acontecimiento muy importante para el taladrado.

El uso de estas brocas se volvió común rápidamente, ya que mejoró enormemente la producción y la vida útil de las herramientas en comparación con las brocas punta de lanza que se usaban en ese momento.

El inglés **Joseph Whitworth**, influenciado por los logros de precisión de su maestro **Maudsley**, construyó una máquina de medición que mejoró la precisión de fabricación de **Maudsley** y estaba particularmente interesado en encontrar soluciones a problemas que tenían con las guías de las máquinas herramientas y otras superficies que debían ser auténticamente planas.

5.3.6 La entrada e incorporación de los estadounidenses

Whitworth perfeccionó el torno paralelo y solo fue mejorado a partir de 1890 con la incorporación de los americanos con la Caja Norton. **Whitworth**, se destacó en la fabricación de herramientas y fue quien arregló la anarquía de roscas.

Desarrolló el sistema de roscas **Whitworth** basándose en la pulgada. Pronto introducido en la industria, fue adoptado por la Institución Británica de Ingenieros Civiles en 1841. Los estadounidenses no aceptaron esta estandarización y en 1868 adoptaron el sistema SELLER, que difería solo ligeramente del sistema británico.

Hasta 1850, los británicos fueron líderes en máquinas herramientas, de hecho, de los únicos constructores de máquinas herramientas, pero desde entonces se centraron principalmente en el diseño y fabricación de grandes máquinas para dar soluciones al mecanizado de las piezas ferroviarias ya que su desarrollo estaba comprometido. Fue a partir de este momento que los estadounidenses entraron en el escenario mundial en el campo de la construcción de maquinaria ligera, desarrollando hasta finales del siglo XIX nuevas e importantes máquinas herramientas universales y de producción, para mecanizar tornillería, piezas de máquinas coser y escribir, armas, maquinaria agrícola, etc.

5.3.7 La aparición de los Tornos revólver y automáticos

Ante la necesidad de realizar distintas operaciones en un mismo montaje, hacia 1854 se incorporaron torretas revólver a los tornos tradicionales para fabricar tornillos y pequeñas piezas de revolución. Unos años más tarde, en 1858, **H.D. Stone** diseñó el primer torno revólver fabricado por JONES & LAMSON, pero a partir de 1860, las empresas BROWN & SHARPE y PRATT & WHITNEY comenzaron a fabricar regularmente este tipo de máquinas.

Alrededor de 1870, como complemento de los tornos revólver, se desarrollaron los tornos automáticos, proporcionando una solución para producir grandes series de pequeñas piezas de revolución. El primer torno automático fue diseñado por **Spencer** y construido por HARTFORD MACHINE SCREW.

En 1898 PRATT & WHITNEY construyeron el primer torno automático con cargador de piezas, y en el mismo año THE NATIONAL ACME construyó el primer torno multihusillo.

A partir de 1865, las prestaciones de las máquinas aumentaron cuando se equiparon con nuevas herramientas de aleación de acero descubiertas por **Robert**

Mushet. Esto permitía duplicar la capacidad de mecanizado en comparación con las herramientas de acero al carbono al crisol conocidas anteriormente.

5.3.8 Los inicios de las Máquinas de abrasión

En París en 1843, los franceses fabricaron la primera muela artificial, iniciando el proceso de sustitución de las piedras de arenisca. Para el rectificado de piezas cilíndricas se utilizó en primer lugar un torno, con un cabezal porta-muelas acoplado a su carro longitudinal.

En 1870, BROWN & SHARPE construyó y suministró la primera rectificadora universal del mercado, tuvo una buena calidad que no se logró hasta 1880 con la adición de una unidad de rectificado interno. La misma empresa desarrolló el rectificado de superficies planas, construyendo una rectificadora pequeña para piezas pequeñas en 1880 y una rectificadora de puente para piezas grandes en 1887.

El verdadero desarrollo del rectificado de producción con herramientas abrasivas no comenzó hasta finales del siglo XIX. Dos circunstancias favorecieron este desarrollo, por un lado, la industria automotriz requería piezas fabricadas en acero templado y que fueran de alta calidad y, por otro lado, **Edward Goodrich Acheson** descubrió el carburo de silicio en 1891.

El descubrimiento de **Acheson** hizo posible el desarrollo de potentes herramientas a altas velocidades de corte, lo que llevó a la construcción de máquinas más potentes y precisas para cumplir con los nuevos requisitos de calidad. A finales del siglo XIX, la empresa británica CHURCHIL y las empresas estadounidenses NORTON, LANDIS, BLANCHAR, CINCINNATI, etc. habían desarrollado casi todos los tipos de rectificadoras, cuya construcción y partes mecánicas todavía se utilizan en la actualidad.

A partir de 1898, con el descubrimiento del acero rápido por parte de **Taylor y White**, se construyeron nuevas herramientas utilizando máquinas adaptadas a las nuevas circunstancias, con aumentos de tres veces en la velocidad periférica de corte y aumentos de aproximadamente siete veces en la capacidad de desprendimiento de virutas. (Ref. 002)

5.4 Siglo XX: Hasta 1940

El nuevo siglo fue recibido como el comienzo de una nueva era, que ofrecía enormes posibilidades de progreso. Había aproximadamente 8.000 automóviles en circulación en Estados Unidos, no había una industria organizada, pero había esperanza y confianza para el desarrollo futuro.

El sistema de generación de energía polifásico de **Tesla** en 1887 hizo que la electricidad estuviera disponible para uso industrial, consolidando su posición como la nueva fuente de energía capaz de sustentar un poderoso desarrollo industrial en el siglo XX. Llegó en un momento oportuno, cuando la energía en el siglo XIX había demostrado ser inadecuada. Los motores pequeños de corriente continua CC y corriente alterna CA recibieron un gran impulso a principios de siglo, reemplazando las máquinas de vapor y las turbinas que impulsaban las transmisiones en los talleres industriales en ese momento. En poco tiempo, se unieron individualmente directamente a la máquina herramienta de una manera muy lenta pero gradual.

A principios de este siglo no se requerían tolerancias de fabricación superiores a 0,001 pulgadas, tanto porque los productos que se fabricaban aún no requerían mayor precisión, como por otro lado porque las máquinas herramienta aún no habían alcanzado una mayor precisión. Pero en vista de los nuevos requisitos de calidad, a partir de 1910 se utilizó una tolerancia de una milésima de metro.

Estados Unidos era el fabricante mundial de micrómetros a principios de siglo, y las mediciones de mayor precisión en el taller dependían de este instrumento.

La necesidad de calidad y el sólido desarrollo de la producción automotriz impulsaron el desarrollo de máquinas herramienta, la metrología y la aplicación de procedimientos de fabricación en masa. La fabricación de piezas intercambiables estaba aumentando, por lo que existía la necesidad de mejorar las prestaciones de matricería y utillaje. En respuesta a este problema, el ingeniero suizo **Prrenond Jacot** diseñó y construyó una punteadora vertical con mesa de coordenadas polares, que operaba con un nivel de precisión sin precedentes en ese momento.

Henry Ford construyó el primer automóvil producido en masa, el Modelo T, en 1908 y comenzó la producción en masa en 1911 con la instalación del primer

transportador en cadena en Highland Park (*Ilustración 5.11*). Se perfeccionaron un gran número de máquinas herramientas que cumplían con los requisitos de la industria del automóvil. La forma arquitectónica que alcanzó su plenitud a finales del siglo XIX se había conservado en casi todas las máquinas desde principios del siglo XX hasta el nacimiento del control numérico CN e incluso después.

Sin embargo, se desarrollaron y fabricaron otras máquinas herramienta más potentes, rígidas, automatizadas y sofisticadas, capaces de alcanzar mayores velocidades de giro, con la incorporación de bolas en los cabezales de cojinetes o rodamientos, contribuyendo de manera rentable a las importantes ganancias de productividad logradas en toda la industria, especialmente la automovilística y la aeronáutica.



Ilustración 5.11: Primer transportador en cadena en Highland Park. Fuente: Así nació la producción en cadena. Highland Park. www.iconroad.es

Esta evolución se debe fundamentalmente, por un lado, al descubrimiento de nuevas herramientas de corte que ya hemos visto, como son el carburo de silicio y el acero rápido. A partir de 1926, la empresa alemana KRUPP descubre otro importante avance, el carburo cementado (metal duro), expuesto en la feria de Leipzig en 1927 bajo el nombre de **Widia**. Por otro lado, se registra la automatización de diversos movimientos mediante la aplicación de motores eléctricos, sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos. (*Ref. 002*)

La aplicación de los accionamientos hidráulicos, primero en rectificadoras y luego en tornos copiadores, se debió por un lado a mejoras en la construcción de cilindros herméticos y de precisión, y por otro lado a bombas capaces de bombear aceite a presión para accionar dichos cilindros. Esto se debe a las habilidades de dos grandes ingenieros: el estadounidense **Janney**, que diseñó y construyó una bomba de pistones de caudal variable en 1906, y el inglés **Hele Shaw**, que construyó una bomba giratoria a pistones radiales y caudal variable en 1912.

En Estados Unidos a partir de 1925, las revistas especializadas trataban de las unidades autónomas de mecanizado y nació el concepto de transferencia de piezas a mecanizar. Salvo contadas excepciones, todos los mecanizados que combinaban la rotación de una herramienta con el movimiento de avance podían realizarse con estos equipos. Se había encontrado la máquina ideal para que, dispuesta en línea, podía realizar distintas operaciones mediante transferencia de la pieza a mecanizar. A partir de 1945, las máquinas herramienta modulares compuestas por células autónomas se utilizaron comúnmente en las fábricas de automóviles para el mecanizado de bloques y culatas. (Ref. 004)

5.5 Siglo XX-XXI: A partir de 1941 hasta la actualidad

5.5.1 El comienzo de la electroerosión

En 1943, se estaba desarrollando un nuevo y revolucionario procedimiento de trabajo. Un matrimonio de científicos rusos, **Lazarenko**, anunciaron su descubrimiento y pusieron en marcha los primeros dispositivos, que luego permitieron el mecanizado por electroerosión. Las primeras máquinas aparecieron alrededor de 1950, en las que básicamente se utilizaban elementos de otras máquinas convencionales a las que se incorporaban generadores, un tanque para el dieléctrico, electrodos con la forma del molde a mecanizar, etc.

En 1955, aparecen en los Estados Unidos las primeras máquinas de electroerosión para realizar el mecanizado por penetración, revolucionando los difíciles y costosos sistemas de fabricación de moldes y estampados. Muchos años más tarde, apoyándose en el control numérico, se desarrolló la electroerosión por hilo, que podía cortar perfiles complejos y precisos por medio de un electrodo que

constaba de un alambre muy delgado y una trayectoria de pieza controlada por control numérico.

5.5.2 El CNC y la nueva revolución industrial

La electrónica y la informática desencadenaron una nueva revolución industrial. El punto de partida estaba en 1945, cuando dos científicos de la Universidad de Pensilvania, **John W. Manclhy** y **J. Presper Ecker**, crearon la primera computadora electrónica digital, llamada ENIAC, era voluminosa, necesitaba mucha energía y era difícil de programar, pero funcionaba.

En 1948, **John Parson** comenzó a aplicar CNC a las máquinas herramienta con el objetivo de resolver el problema del fresado de superficies tridimensionales complejas en el campo aeronáutico.

En 1949, **Parson** contrató con el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) el diseño de los servomecanismos de control para una fresadora. En 1952 se inició un control experimental aplicado a una fresadora Cincinnati (*Ilustración 5.12*). Programada mediante código binario en cinta perforada (*Ilustración 5.13*), la máquina realizaba movimientos simultáneos coordinados sobre tres ejes. (*Ref. 004*)

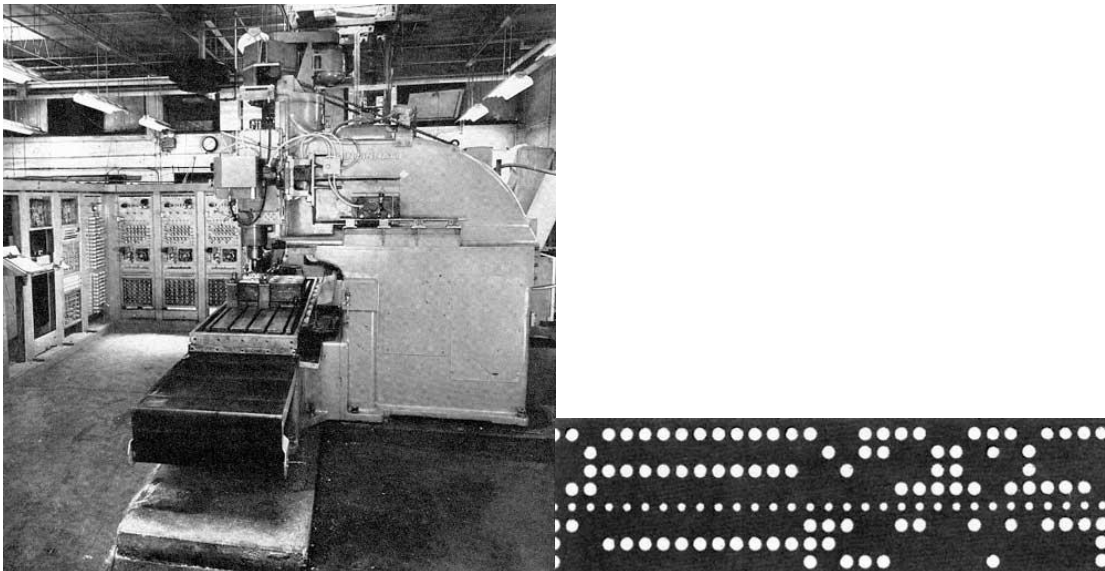


Ilustración 5.12 y 5.13: Control experimental de las primeras máquinas herramientas controladas numéricamente aplicado a una fresadora Cincinnati (1952). Ejemplo de Cinta perforada utilizada en el control numérico. Fuente: La historia del CNC. www.forestmaderero.com

En 1955, se mostraron algunas máquinas en la Exposición de Chicago, controladas por tarjetas y cintas perforadas (*Ilustración 5.14*). La U.S AIR FORCE se interesó en el sistema y realizó un pedido de 170 máquinas herramienta por valor de 50 millones de dólares, lo que benefició a varios fabricantes estadounidenses destacados. Pero los modelos desarrollados en las décadas de 1950 y 1960 no funcionaban bien y eran muy caros.

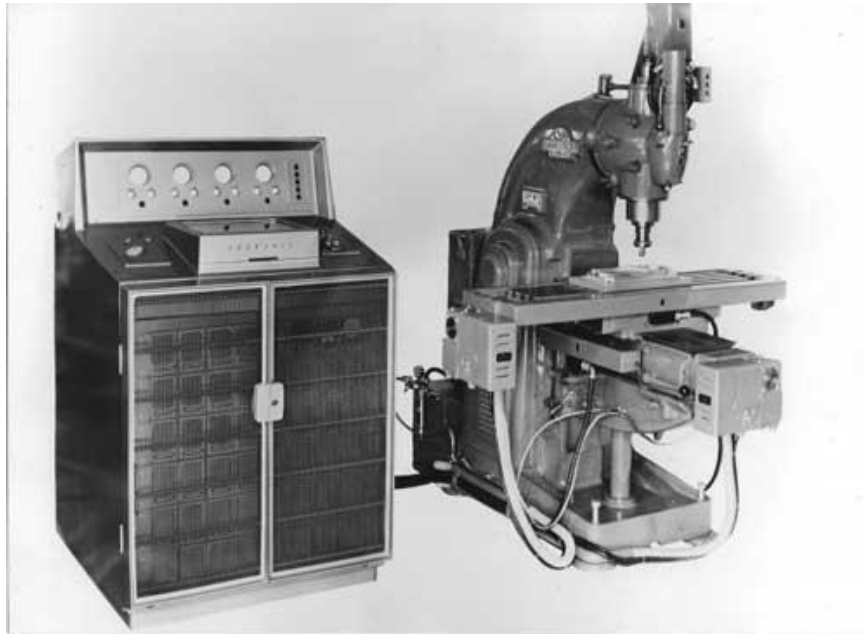


Ilustración 5.14: La primera máquina herramienta CN fabricada en Europa en 1956. Fuente: La historia del CNC. www.forestmaderero.com

A partir de los años setenta, con el desarrollo de la microelectrónica, el CN se convirtió en control numérico por computadora (CNC) debido a la integración de las computadoras en el sistema. La aplicación general del CNC fue en los años ochenta, debido al desarrollo de la electrónica y la informática, que provocaron una revolución en la que aún hoy estamos inmersos. (Ref. 004)

5.5.3 El centro de mecanizado

Además de incorporarse a las fresadoras, la aplicación del CNC también se extendió a mandrinadoras, tornos (*Ilustración 5.15*) y taladros. Pero pronto se descubrió que tenía un mayor potencial de automatización que las máquinas convencionales, y surgió un nuevo concepto de máquina: el llamado centro de mecanizado.



Ilustración 5.15: Centro de mecanizado Torno CNC. Fuente: Centro de mecanizado. www.wikiwand.com

Como resultado nació una máquina herramienta capaz de realizar operaciones de fresado, taladrado, roscado, mandrinado y otras funciones, que incluía un almacén de herramientas y un sistema de cambio automático de herramientas, que permitía al CNC comandar la posición y trayectoria de las piezas y herramientas, la selección de las herramientas, velocidad de avance, giro de herramientas, etc.

El avance del control numérico se convirtió en un aspecto dominante, que afectaba a todas las máquinas herramienta, incluso a las máquinas herramienta universales. De alguna manera, las máquinas se volvieron más simples a medida que ciertas funciones se trasladaban de los sistemas mecánicos a los electrónicos. Se consiguió el control simultáneo de varios ejes, como centros de mecanizado, tornos, etc., lo que antes de la aplicación del CNC no era posible.

El término máquina herramienta fue sustituido por el término máquina herramienta avanzada, que hacía referencia a máquinas con funciones controladas numéricamente, un gran número de las cuales estaban concebidas según estándares modulares que permitían la intercambiabilidad y la complementariedad, y podían integrarse en células o sistemas de fabricación.

A lo largo de los años, ha sido necesario hacer hincapié en la creciente necesidad de dotar a las máquinas avanzadas de sistemas automáticos de carga y descarga, manipuladores, robots articulados, etc., convirtiendo así una sola máquina en una pequeña unidad flexible. Esto se debe a las exigencias del sector manufacturero, principalmente la industria de la automoción. *(Ref. 002)*

5.5.4 El cambio de enfoque y de economía

Estamos ante una revolución que está pasando de una economía basada en los principios de la mecánica, es decir, una economía basada en la producción en masa, uniformidad de productos, a una economía caracterizada por la flexibilidad, la rapidez de respuesta a la evolución del mercado, la adaptabilidad del producto, etc. Para ello, es necesario integrar tecnologías basadas en la mecánica y la electrónica lo que se conoce con el nombre de mecatrónica, lo que supone entrar en una nueva cultura industrial condicionada por un enfoque global y multidisciplinar de los problemas de producción.

Quizás se ha avanzado demasiado en una dirección y parece que se ha ralentizado la implantación de líneas de producción flexibles en favor de las células, más rentables, más fiables y con menos problemas de mantenimiento, pero no descartemos que estas células sean diseñadas en consecuencia para que en el futuro puedan integrarse en sistemas más complejos, orientados a la fabricación automatizada.

Actualmente se está avanzando en la fabricación de células o líneas de producción integrando diferentes tipos de máquinas e instalaciones para poder realizar el proceso completo de la pieza en un solo amarre, lo mismo ocurre con las piezas prismáticas y rotativas.

Un alto grado de automatización no corrige adecuadamente la utilización, revelando las deficiencias existentes en la disponibilidad de máquinas y sistemas, y por lo tanto las deficiencias de productividad asociadas a sus altos costos.

En la mayoría de los casos, cuando se inicia el proceso de mecanizado de la pieza en la máquina, solo el 40% del tiempo total disponible se dedica al mecanizado, el 60% restante se dedica al cambio de herramientas, carga y descarga de piezas, posicionamiento, averías, roturas y afilado de herramientas, etc.

Sin embargo, el estado actual de la microelectrónica, con la posibilidad de obtener un control abierto basado en computadoras personales, permite la integración y procesamiento de dispositivos automáticos de medición, sensores para detectar fallos, vibraciones, desgaste o rotura de herramientas, etc., en máquinas

avanzadas dotadas de un alto grado de autonomía, que permiten largos periodos de trabajo sin supervisión, tanto cuando estas máquinas trabajan solas como cuando están incorporadas a sistemas.

Hemos sido testigos de un período de gran avance en el diseño y la tecnología de fabricación de máquinas herramienta, pero los usuarios generalmente exigen una mayor disponibilidad de máquinas y sistemas, lo que significa una mayor utilización. Demandan máquinas más adecuadas a sus necesidades, más fiables, de mayor calidad y precisión. (Ref. 002)

5.5.5 La entrada de nuevos materiales y nuevas tecnologías hasta la fecha

Entre las máquinas que funcionan por deformación, las prensas son el exponente típico, la influencia de la electrónica suele ser menor que la de las máquinas que funcionan por arranque de viruta. Sin embargo, su aplicación en máquinas de estampado, plegado, corte por láser y algunos tipos de máquinas combinadas de estampado y corte por láser representa una revolución.

Se ha intentado introducir y promover la aplicación de nuevos materiales, principalmente en la construcción de maquinaria, utilizando hormigón armado con resinas termoestables y granito sintético, mezclas de granito y resinas epoxi, pero es difícil sustituir al palastro o a la fundición gris tradicional, siendo un material rentable cuyas propiedades y comportamiento son bien conocidos a lo largo del tiempo.

En el aspecto mecánico se ha desarrollado el mecanizado de alta velocidad y los mecanizados de altos avances. Se destaca el desarrollo de mandrinos de giro de alta velocidad para el fresado de alta velocidad. En cuanto a los accionamientos de desplazamiento, cabe destacar la introducción de los denominados motores lineales en algunas aplicaciones. La gran ventaja de este sistema es que permite alcanzar altas velocidades de desplazamiento, al no existir ningún apoyo físico entre el rotor y el estator, el rozamiento se reduce considerablemente.

La fabricación de herramientas se ha desarrollado muy activamente en las últimas dos décadas. El diseño de plaquitas con nuevo diseño de geometría, adaptado a las características del material y su proceso de mecanizado, mejora significativamente el rendimiento de la herramienta de corte (*Ilustración 5.16*).

Surgen las herramientas de CERMET, la tecnología de recubrimiento complementaria en la fabricación de herramientas de metal duro, donde se aplica una capa delgada de nitruro o carbonitruro de titanio a través de un procedimiento de deposición química de vapor (CVD), ha contribuido en gran medida al aumento de la producción de las modernas máquinas CNC. El proceso de recubrimiento por deposición física de vapor (PVD), que complementa el proceso de recubrimiento anterior, se utiliza principalmente para recubrir acero rápido, con resultados igualmente positivos.



Ilustración 5.16: Ejemplos de variedad de herramientas de Cermet, CBN y PCBN. Fuente: Plaquetas. www.incametal.es

El CBN, Nitruro de Boro Cúbico tiene múltiples usos en el mecanizado, destacando inicialmente su uso en la industria automotriz, el rectificado de alta producción, el rectificado de corte pleno y rectificado sin centros.

Cabe señalar que con la aparición del PCBN (nitruro de boro cúbico policristalino), se fabricaron nuevos tipos de herramientas para diversas aplicaciones: fresado, torneado, etc. Este material permite que la herramienta soporte mayores tensiones (por ejemplo, cortes interrumpidos y materiales muy duros), permite altas velocidades de mecanizado y/o mayor capacidad de arranque de material. Gracias a CBN y PCBN, actualmente se investigan nuevos procesos de mecanizado para garantizar una especial atención al medio ambiente. Hoy podemos hablar del mecanizado ecológico. (Ref. 002)

El avance de la tecnología es imparable. El desarrollo de una nueva fresadora láser es un ejemplo (*Ilustración 5.17*). El fresado tradicional se combina con un dispositivo que rompe la superficie mecanizada con un rayo láser, lo que da como resultado un acabado increíble. Las fresadoras tienen dispositivos que someten las herramientas giratorias a frecuencias ultrasónicas.

El término "ultrasónico" se debe a que las vibraciones emitidas se producen a una frecuencia cercana a los 20kHz (vibra unas 20.000 veces por segundo), que se encuentra en el rango ultrasónico. El filo de la herramienta destruye la superficie que está mecanizando simultáneamente, lo que permite un rendimiento inalcanzable con las herramientas convencionales.



Ilustración 5.17: Ejemplo de Fresadora láser. Fuente: Cortadoras laser fibra de gran dimensión. www.holy-laser.es

Actualmente, un nuevo paradigma tecnológico y económico exige a las empresas industriales mejoras de calidad a menores costos, tiempos de desarrollo cada vez más cortos, atención a los requerimientos de la demanda, entre otros.

Entonces, son necesarias nuevas pautas de producción y de gestión para funcionar eficazmente. Las empresas se encuentran frente a la urgencia de una evolución técnica y tecnológica que les permita estar a la altura de las exigencias de un mercado cada día más globalizado.

Así, para lograr los niveles de producción flexible que el mercado exige, se requiere la incorporación y actualización de tecnologías de producción flexible como las que disponemos actualmente y seguirán evolucionando con el paso de los años:

tecnologías de la información, inteligencia artificial, máquinas con CNC (control numérico por computadora), autómatas programables (*Ilustración 5.18*), robots (*ilustración 5.19*), CAD, CAD/CAM, centros de mecanizado, corte láser y ultrasonido para trabajar con nuevos materiales.



Ilustración 5.18: Ejemplo de que la cuarta revolución industrial supone un nuevo escenario que plantea importantes retos para el sector de la máquina-herramienta. Fuente: Tecnología 4.0 para las máquinas herramientas del futuro. www.interempresas.net

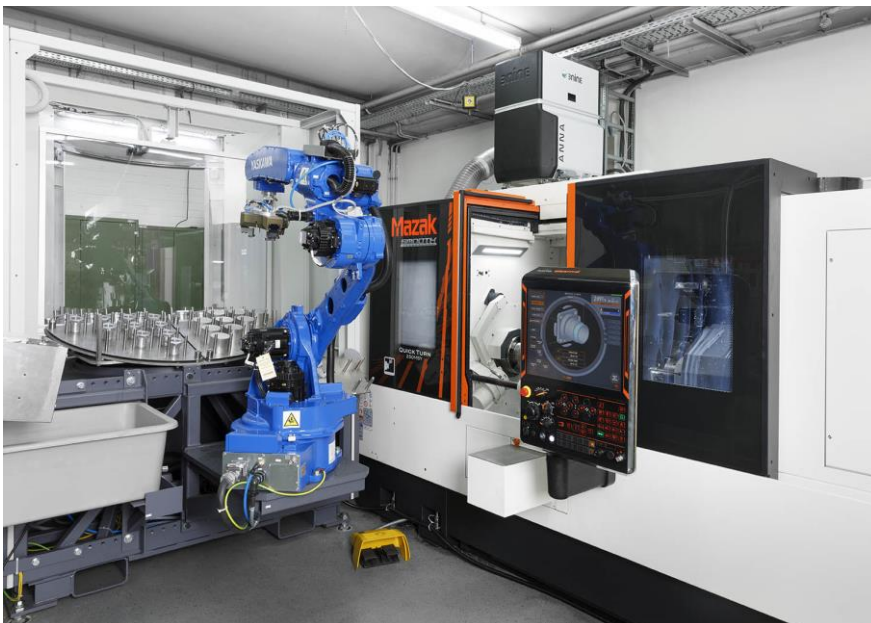


Ilustración 5.19: Ejemplo de robots en la actualidad trabajando automáticamente. Fuente: Automatización de Máquinas-Herramienta en Mahlo con una celda móvil RILE combinada con un robot de manipulación Motoman de Yaskawa. www.yaskawa.es

6. LAS PRIMERAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS

Una vez conocida la evolución histórico tecnológica de las máquinas herramientas en general, vamos a integrarnos en las primeras máquinas herramientas principalmente para mostrar sus características, evolución y ejemplos con el paso del tiempo. También, mostrar los cambios tecnológicos sufridos a lo largo de su evolución, pudiendo ver así de que estaban compuestas y de que tecnología disponían.

6.1 El Torno

Un torno es una máquina herramienta para el torneado rápido de piezas de metal, madera y plástico. El torneado es la eliminación de una parte de una pieza con una cuchilla u otra herramienta de corte para darle forma. También se ha utilizado muchas veces para pulir piezas.



Ilustración 6.1: Ejemplo de torno paralelo de la marca Heller. Fuente: Torno paralelo Heller CE460VX1500. www.hellermquinaria.com

El torneado es probablemente la primera operación de mecanizado que produce una máquina herramienta. Además del torneado, los tornos también se pueden utilizar para ranurar, cortar, lijar y pulir.

El proceso de torneado comienza con una pieza llamada "base" y usamos la cuchilla para ir quitando partes a la pieza base hasta que nos quede la forma deseada.

El principal movimiento en el torneado es la rotación, que realiza la pieza que estamos dando forma. Los movimientos de avance y penetración de la cuchilla

(colocar la cuchilla sobre la pieza de trabajo para cortar) suelen ser movimientos rectilíneos, que son los movimientos de la herramienta de corte (*Ilustración 6.2*).

En resumen, tenemos 3 acciones básicas:

- **Movimiento de rotación:** una pieza se coloca sobre un eje para que gire sobre sí misma.
- **Movimiento de avance:** la cuchilla avanza paralela a la pieza de trabajo en un movimiento lineal.
- **Movimiento de penetración:** la cuchilla penetra en la pieza, cortando una porción de la pieza y formando virutas.

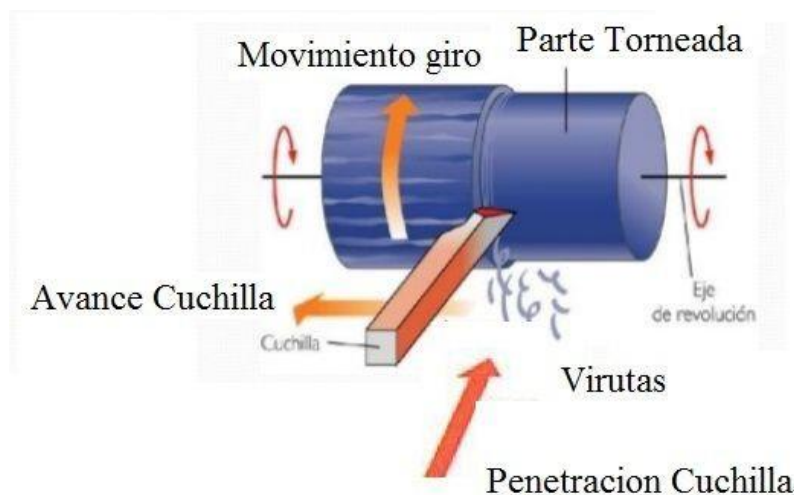


Ilustración 6.2: Esquema de operaciones y movimientos que se realizan en una operación de torneado. Fuente: Torno. www.areatecnologia.com

El control de estos 3 movimientos es crucial para dar forma a las piezas sin errores. Se pueden toronar muchas formas de piezas, como roscas, engranajes, superficies cóncavas, superficies convexas, etc. (*Ilustración 6.3*).



Ilustración 6.3: Ejemplo de formas de piezas a toronar. Fuente: Torno. www.areatecnologia.com

(Ref. 006)

6.1.1 Partes del Torno



Ilustración 6.4: Representación gráfica de las partes del Torno. Fuente: Torno. www.areatecnologia.com

Las principales partes de un torno son:

- **Bancada:** es la estructura del trono y suele ser un gran cuerpo de fundición. Sirve de soporte y guía para las otras partes del torno.
- **Eje principal y plato:** la pieza se coloca sobre este eje para que gire. En un extremo lleva un eje terminado en punta que es móvil, llamado **contrapunto**, para sujetar la pieza por un punto y en el otro extremo se agarra la pieza con un plato. El plato se puede cambiar por medio del husillo. El torno dispone de variedad de platos para sujetar la pieza a mecanizar y que lo hará girar en torno a un eje. El movimiento de corte y de la pieza rectilíneos se hacen mediante los carros.
- **Carros portaherramientas:** son los carros que permiten el desplazamiento de la herramienta de corte. Hay 3 carros diferentes:
 - **Carro principal:** este se mueve a lo largo de la bancada, produce el movimiento de avance de la pieza. Sobre este carro está montado el carro transversal.

- **Carro transversal:** se mueve hacia delante o hacia atrás perpendicularmente al carro principal. Es utilizado para dar profundidad. Sobre este carro está montado el carro auxiliar.
- **Carro auxiliar:** es una base giratoria 360° y sirve para penetrar en la herramienta con cierto ángulo.
- **Torreta portaherramientas:** está situada sobre el carro auxiliar y es la encargada de sujetar la herramienta cortante.
- Todo el conjunto de carros se apoya sobre una caja de fundición llamada **carro portaherramientas**, que tiene como objetivo contener en su interior los dispositivos que le transmiten los movimientos a los carros.
- **Caja Norton:** sirve para ajustar las revoluciones de las velocidades mediante unas palancas que accionan un conjunto de engranajes que se encuentran en el interior de la caja. (Ref. 006)

6.1.2 Primeros Tornos a partir de 1750

Con la invención de la máquina de vapor, a partir de 1750, se abre el camino para la construcción de tornos de gran tamaño y potencia. En Francia nacen el torno de **Vaucanson** de 1760 (*Ilustración 6.5*) y el de **Senot** en 1795(*Ilustración 6.6*).

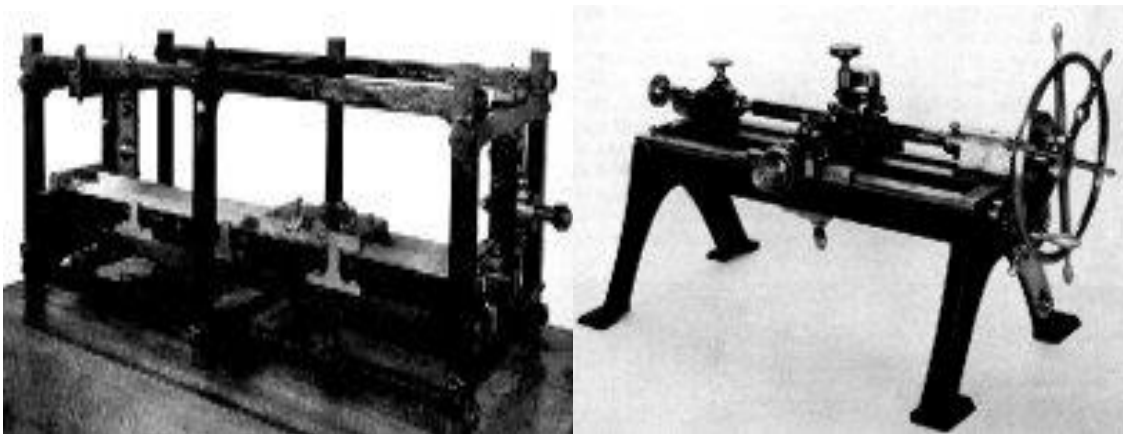


Ilustración 6.5 y 6.6: Torno de Vaucanson (1760). Torno de Senot (1795). Fuente: Museo de la máquina herramienta. <https://docplayer.es/>. (Ref. 010)

El torno de **Vaucanson**, llevaba un carro portaherramientas desplazable sobre unas guías metálicas en uve. Por otro lado, el de **Senot** estaba basado en el trono de roscar de **Leonardo Da Vinci**, llevaba un husillo patrón y ruedas intercambiables.

Poco después, se construyeron tornos parecidos al de **Senot** como son el caso del torno del americano **John Wilkinson** y del inglés **Henry Maudslay**. El torno de **Maudslay**, construido en torno a 1797 (*Ilustración 6.7*), marca el inicio de una nueva era en la construcción de las máquinas herramientas. Incorporó un husillo roscado para el accionamiento de los avances y un carro portaherramientas perfeccionado.

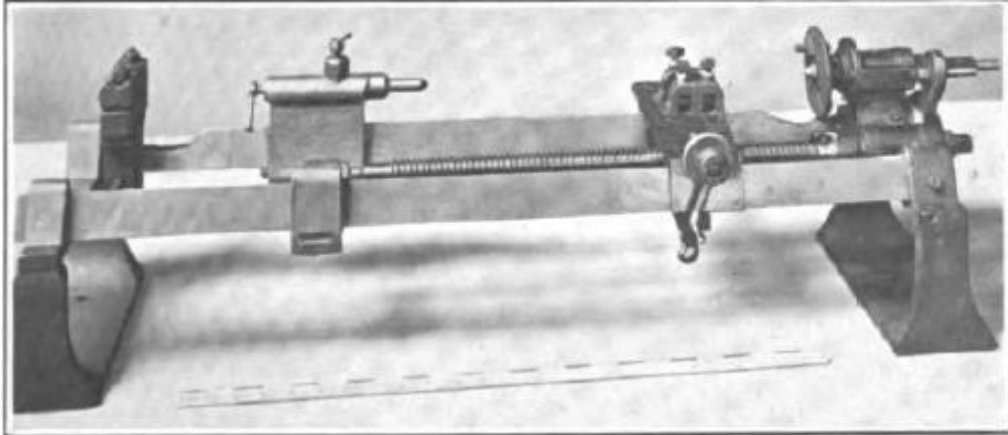


Ilustración 6.7: Torno de Henry Maudslay (1797). Fuente: Los famosos primeros tornos de rosca de Maudslay de alrededor de 1797 y 1800. <https://es.wikipedia.org/>

En 1800, **Maudslay** fabrica un nuevo modelo de torno con guías planas (*Ilustración 6.8*), y en 1810 fabrica un torno para el torneado de piezas de gran diámetro. (Ref. 010)

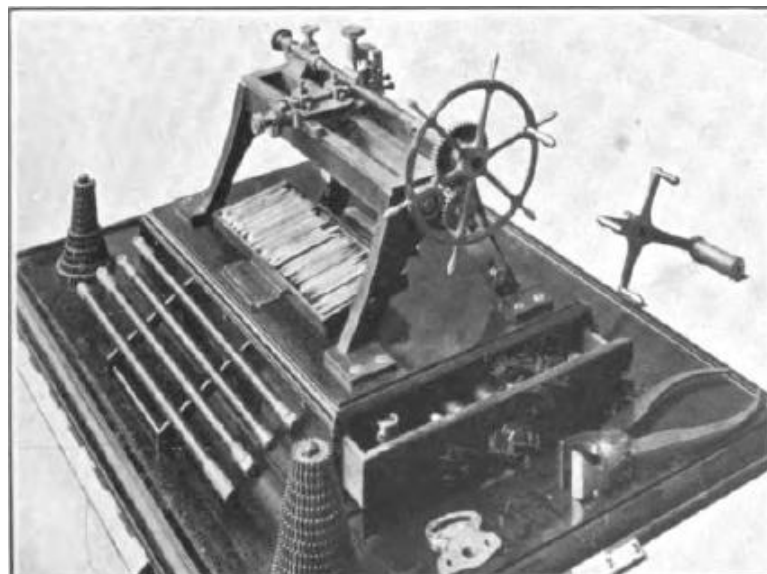


Ilustración 6.8: Torno con guías planas de Henry Maudslay (1800). Fuente: Los famosos primeros tornos de rosca de Maudslay de alrededor de 1797 y 1800. <https://es.wikipedia.org/>

En el año 1816 **James Fox** construye un torno con desplazamiento de carro mediante cremallera accionado por un mecanismo de corona sinfín. En 1817,

Richard Roberts construye un torno con dos guías, una plana y otra prismática, polea de 4 escalones y desplazamiento longitudinal automático del carro portaherramientas sobre la bancada (*Ilustración 6.9*). (Ref. 010)

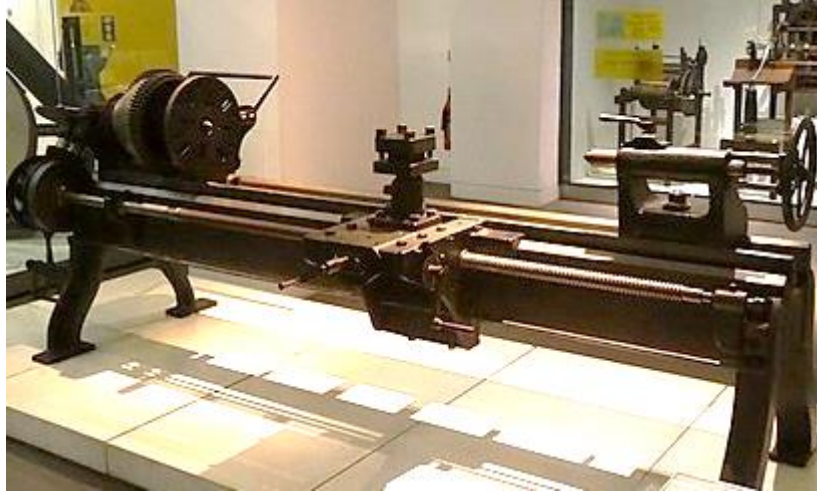


Ilustración 6.9: Torno de Richard Roberts en el Museo de Ciencias de Londres. Fuente: Richard Roberts (ingeniero). <https://hmgong.es/>

En 1839 **Joseph Whitworth**, patentó un torno paralelo para cilindrar y roscar con bancada de guías planas y carro transversal automático, que tuvo una gran aceptación (*Ilustración 6.10*). En Europa y USA se empezaron a construir tornos con mejores prestaciones, pero manteniendo la estructura y componentes del torno de **Whitworth**. (Ref. 010)

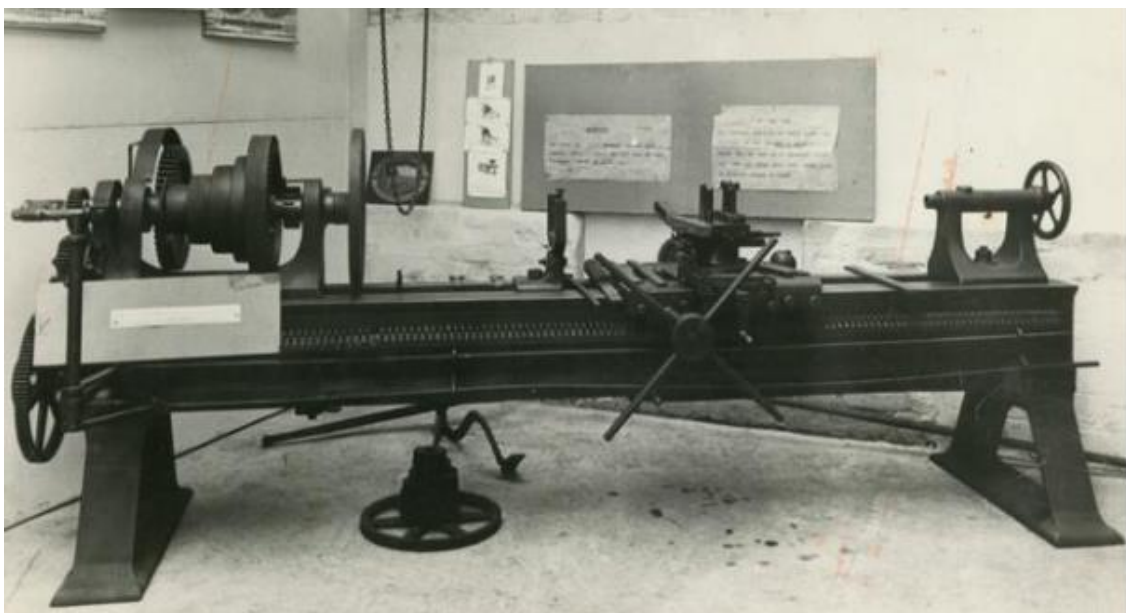


Ilustración 6.10: Torno de Joseph Whitworth (1839). Fuente: Torno de Whitworth. www.alamy.es

Unos años más tarde, con el desarrollo del ferrocarril era necesaria la fabricación masiva de ruedas para locomotora y vagones. Se empiezan a desarrollar tornos pesados y tornos frontales y en 1858 la empresa americana **George S. Lincoln** construye un torno para piezas de 2.200 mm de diámetro.

El torno vertical empezó a construirse en 1838 por **J.G Bodmer** y a finales del siglo XIX, este tipo de tornos eran fabricado de distintos tamaños y pesos. En 1890 se diseña y se patenta la caja Norton la cual es incorporada a los tornos paralelos y dio solución al cambio manual de engranajes para fijar los pasos de las piezas a roscar. Ya en 1893 fue cuando la empresa **HENDEY MACHINE CO** empezó con la fabricación de tornos con este tipo de caja (*Ilustración 6.11*). (Ref. 010)

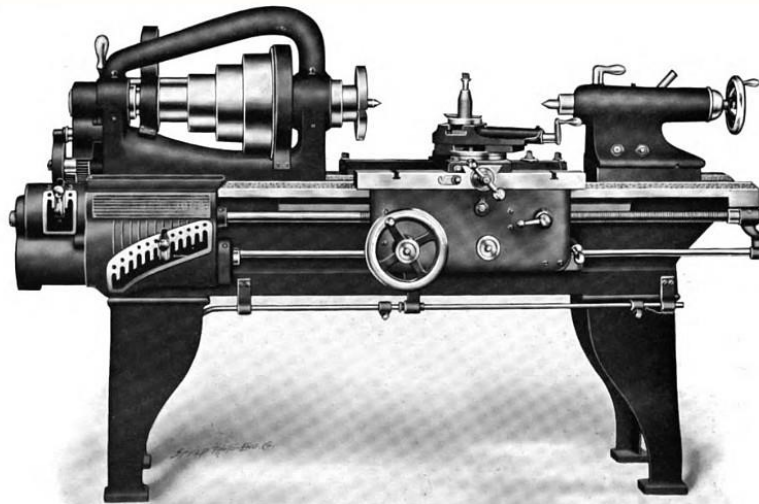


Ilustración 6.11: Torno de la empresa HENDEY MACHINE CO (1911) con la caja Norton incorporada. Fuente: Hendey Machine Co. <http://vintagemachinery.org/>

A partir de 1910, se construyen los primeros tornos en España, fabricados por **Ramón Illarramendi**, y más tarde por **Cruz Ochoa** de Éibar y **Cándido Echeandia**.

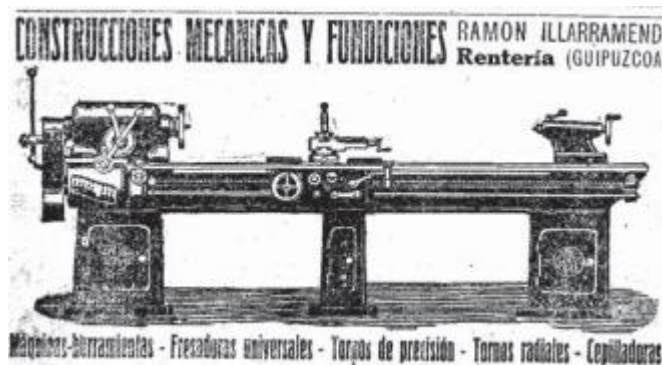


Ilustración 6.12: Fragmento de periódico El Sol Ingeniería y Arquitectura publicitando el torno de Ramón Illarramendi (1920). Fuente: <http://aerobib.aero.upm.es/ehl/bibliografia/042.pdf>

6.1.3 Los primeros tornos revólver y tornos automáticos

Ante la necesidad de realizar diferentes operaciones en un mismo amarre de pieza, se desarrolló la torreta revólver, que en principio fue aplicada a tornos convencionales.

En 1858, el americano **H.D. Stone** de la empresa JONES LAMSON COMPANY diseñó el primero torno de torreta revólver (*Ilustración 6.13*), aunque se atribuye a la compañía ROBBINS & LAWRENCE la incorporación al torno convencional de una torreta hacia 1854. (Ref. 002)

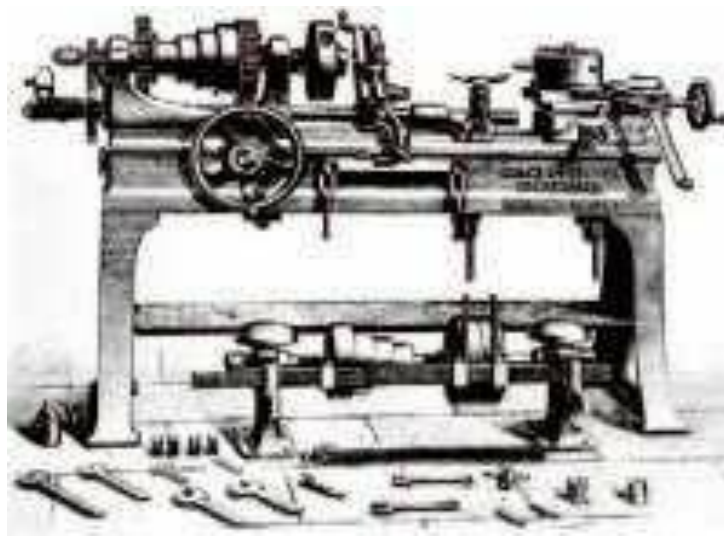


Ilustración 6.13: Primer Torno de Torreta Revólver diseñado por H.D. Stone. Fuente: Museo de la máquina herramienta. <https://docplayer.es/>.

Los ingleses comenzaron a rezagarse en relación con los americanos, puesto que en esa época todavía no habían construido ningún torno revolver, los primeros ingleses fueron SMMITH&COVENTRY los cuales realizaron una adaptación de torreta, a los tornos convencionales.

Es a partir de 1860, cuando se empieza a desarrollar el diseño y construcción de tornos revolver. Las empresas BROWN&SHARPE y PRATT&WHITNEY comenzaron a fabricar con normalidad este tipo de máquinas.

La necesidad de fabricar piezas de tornillería y pequeñas piezas en grandes series, fue la razón por la que nació el torno automático, hacia el año 1870.

(Ref. 002)

La empresa HARTFORD MACHINE SCREW CO, comenzó la construcción de este tipo de tornos, bajo el diseño de **Cristopher Miner Spencer**.

En 1872 el alemán **Jacob Schwizer** construye en suiza su primer torno automático. Los tornos automáticos para grandes series y los revolver para cortas se complementaban y seguían desarrollándose paralelamente. Hasta finales del siglo XIX, se construyen distintos modelos de tornos revolver con torretas dispuestas en horizontal y vertical. En 1892 se construyó el torno semiautomático de la firma alemana PITTER, equipado con dispositivo para roscar exteriores e interiores que se hizo muy popular y fue ampliamente utilizado. *(Ref. 002)*

A finales del Siglo XIX se produce un fuerte desarrollo de los tornos automáticos. En 1893 se presenta un torno automático con torreta de eje vertical fabricado por PRATT&WHITNEY. En 1898 en USA, BROWN&SHARPE fabrica un nuevo torno automático mono husillo, con torreta revolver de eje horizontal, que fue el origen de toda una familia de máquinas cuya influencia ha llegado a nuestros días. El mismo año PRATT&WHITNEY construyen un torno parecido al del año 1893 pero equipado con cargador automático de piezas, siendo el primer alimentador acoplado a este tipo de máquinas.

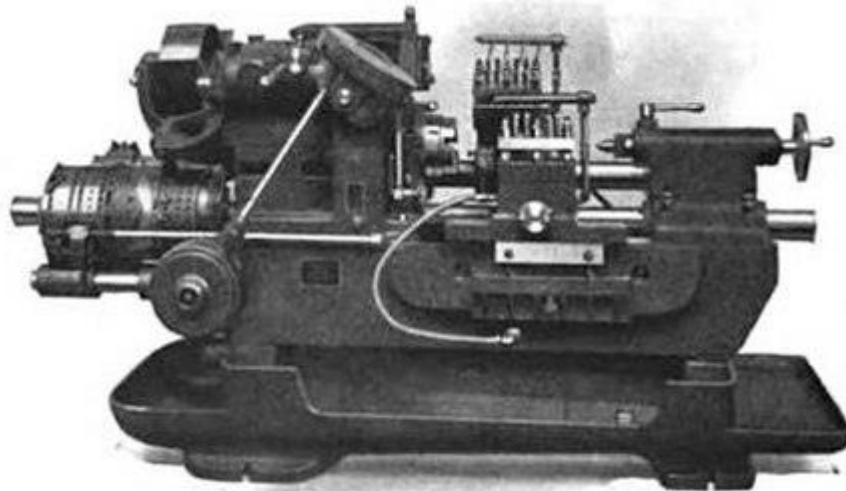


Ilustración 6.14: Ejemplo de Torno automático. Fuente: Torno automático. <https://hmgong.es/>

La empresa americana THE NATIONAL ACME CO fabrica en 1898, el primer torno multihusillo de cuatro ejes. Más tarde aparecieron tornos multihusillos de torreta central, los tornos de levas independientes, etc. *(Ref. 002)*

6.2 El Taladro

Un taladro es una herramienta giratoria con un elemento adjunto que gira y realiza un trabajo. La máquina que mueve el elemento que realmente hace el trabajo se llama taladro. Por ejemplo, moverá una broca para hacer agujeros, y si le montamos un disco o un cepillo de alambre, lijará o desbastará la parte donde se utilice. No solo sirve para agujeros, aunque ese es su uso principal, también sirve para otros trabajos dependiendo de la herramienta que le acoplemos.



Ilustración 6.15: Taladro de columna. Fuente: Silverline Tools 262216- Taladro de columna 250mm, 350 W, Negro, Azul. www.amazon.es

Se considera una máquina herramienta precisamente porque la herramienta que realiza el trabajo debe estar unida a ella mientras gira.

El taladrado es una técnica de mecanizado que elimina virutas para crear agujeros, perforaciones o avellanados de diferentes tamaños. La herramienta que se utiliza para esta operación es como ya hemos dicho el taladro, que utiliza un movimiento de rotación y que, con la ayuda de una broca, realiza el corte o arranque de virutas realizando agujeros u orificios en una pieza. (Ref. 027)

El funcionamiento del taladro es sencillo ya que consta de sólo dos movimientos principales:

- **Movimiento giratorio de la herramienta de corte (broca):** proporcionado por el motor eléctrico de la máquina a través de una polea y transmisión por engranajes.

- **El movimiento de avance o penetración de la broca en la pieza:** puede realizarse de forma manual o automática.

El sistema de funcionamiento consiste en colocar la pieza a perforar sobre la mesa y ajustar la altura de la mesa de acuerdo con el tamaño de la pieza. Las piezas deben asegurarse con la ayuda de mordazas para evitar movimientos y vibraciones. Una vez seleccionada la velocidad de giro y puesto en marcha el motor, se baja el husillo girando la palanca o volante, avanzando así el taladro a la profundidad deseada.

6.2.1 Partes del Taladro



Ilustración 6.16: Componentes principales de un taladro. Fuente: ¿Qué es un taladro de banco?.www.demaquinasyherramientas.com

- **Bancada o Base:** Es la parte que sirve de apoyo y sobre la cual están fijadas las demás piezas.
- **Columna:** Es el eje vertical sobre el que se desplaza la mesa.
- **Mesa:** Es la bandeja para la fijación de las piezas a perforar, y generalmente está equipado con mordazas.
- **Motor:** Transmite la fuerza y velocidad de giro.
- **Caja de cambios:** Suele ser un sistema formado por poleas, y mediante una correa de transmisión permiten el giro a mayor o menor velocidad.

- **Husillo:** Es la parte que contiene el portabrocas. Suele tener una palanca o volante que, al accionarlo, realiza el movimiento de aproximación de la broca a la pieza.

(Ref. 027)

6.2.2 Primeros Taladros a partir de 1850

Siguiendo la línea del taladro de columna, que fue fabricado por primera vez por **Joseph Whitworth** en 1850 (*Ilustración 6.17*), otros fabricantes ingleses, construyeron nuevos modelos en los cuales introdujeron algunas mejoras.

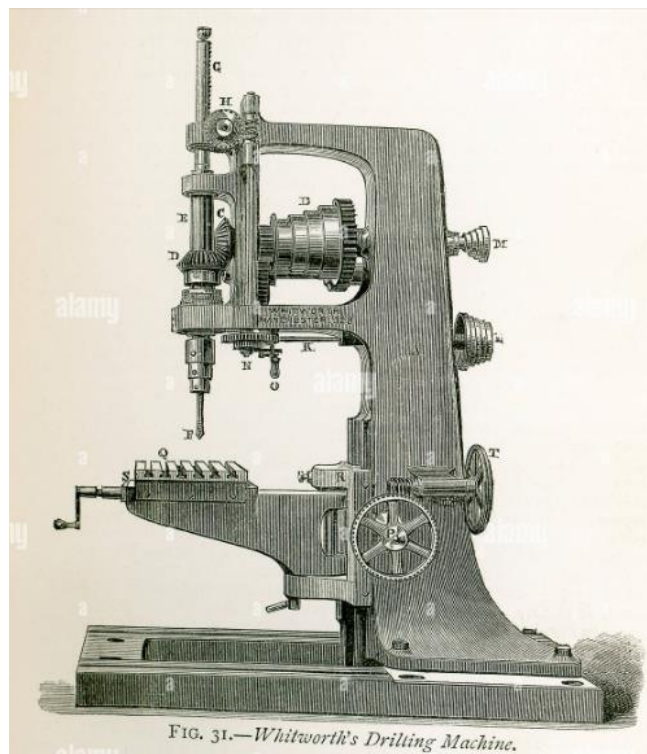


Ilustración 6.17: Primer taladro de columna fabricado por Joseph Whitworth (1850). Fuente: Taladro Joseph Whitworth. www.alamy.es

SHARP, STEWART & CO y SMITH & COVENTRY en el año 1860 fabricaron nuevos modelos de taladros ambos con elevación de mesa por husillo. También el fabricante inglés P. FAIRBAIRN & CO construyó un taladro con elevación de mesa, pero mediante un sistema de corona sinfín y cremallera. Para dar solución al taladrado de piezas voluminosas y pesadas, nació el taladro radial. **Decoster** diseñó un taladro adosado a la pared en 1848, el cual estaba accionado por transmisión, con patea escalonada para cuatro velocidades, con un desplazamiento vertical y horizontal accionados a mano, a través de unas manivela y husillo.

En 1857 se fabricó un taladro radial en Francia instalado por SHARP, ROBERTS & CO, en los ferrocarriles de Orleans, el cual disponía de parecidas características al diseñado de **Decoster**. SMITH & COVENTRY en 1860 construyeron un taladro radial el cual tenía un brazo horizontal giratorio, acoplado a un carro con desplazamiento vertical sobre una columna, atornillada a una base ranurada porta piezas.

Ante la necesidad de la fabricación masiva de armas **J. Mason** diseñó una taladradora horizontal multihusillo.

La empresa DAYTON MACHINE CO patenta en el año 1876 un taladro de accionamiento manual el cual fue el origen de la construcción de varios modelos utilizados en las herrerías (*Ilustración 6.18 y 6.19*), por esa razón se les llama *Taladro de Herrero*.

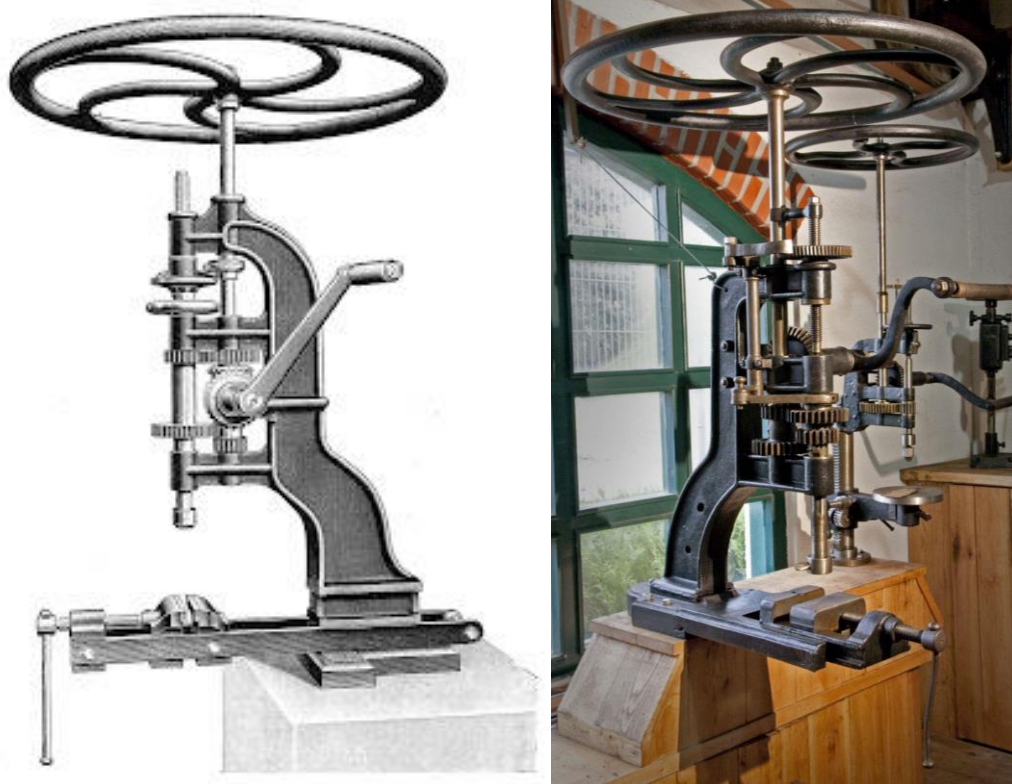


Ilustración 6.18 y 6.19: Taladro de sobremesa de herrero, representación ilustrativa e imagen del museo de la máquina herramienta en Elgoibar, Guipúzcoa. Fuente: Taladro de sobremesa de herrero. <https://apps.euskadi.eus/>

Empresas americanas e inglesas estilizaron la estructura de los taladros de columna y desarrollaron importantes mejoras como el avance automático del husillo portaherramientas y la elevación de la mesa porta piezas con mecanismo piñón

cremallera. Se fabricaron taladros de diferentes tipos y capacidades hasta alcanzar su pleno desarrollo a finales del siglo XIX.

En 1921 nace la sociedad ESTARTA Y ECENARRO los cuales fabrican una completa gama de taladros (*Ilustración 6.20 y 6.21*) en la que incluyen un modelo para taladros con broca de 50 mm de diámetros con ocho velocidades de giro y avance indistintamente manual o automático.



Ilustración 6.20 y 6.21: Ejemplo de Taladro de columna Estarta y Ecenarro del museo de la máquina herramienta en Elgoibar, Guipúzcoa. Fuente: Museo de la máquina herramienta. www.ezquerro.eu

(Ref. 014)

A principios del siglo XX los taladros radiales alcanzan un importante desarrollo, aunque la incorporación de la columna cilíndrica se desarrolló más tarde. En España, en Éibar, las empresas de armas, entre otras VÍCTOR SARASQUETA utilizan modernas taladradoras de husillos múltiples de la empresa americana PRATT & WHITNEY.

(Ref. 002)

6.3 La Fresadora

Una fresadora es una máquina herramienta con un eje horizontal o vertical, la cual mediante el giro de una herramienta de corte llamada “fresa”, se le da forma a una pieza mediante el arranque de viruta.

Mediante el proceso de fresado es posible realizar el mecanizado de piezas de distintos materiales como de madera, acero y otros materiales sólidos. Las fresadoras también se las conoce como máquinas multitarea porque son máquinas multiusos capaces de fresar y también de torneer los materiales.

Los movimientos que se pueden hacer con una fresadora son:

- Movimiento longitudinal: Es el movimiento según el eje x.
- Movimiento transversal: Es el movimiento según el eje y.
- Movimiento vertical: Es el movimiento según el eje z. (Ref. 021)

6.3.1 Partes de la fresadora

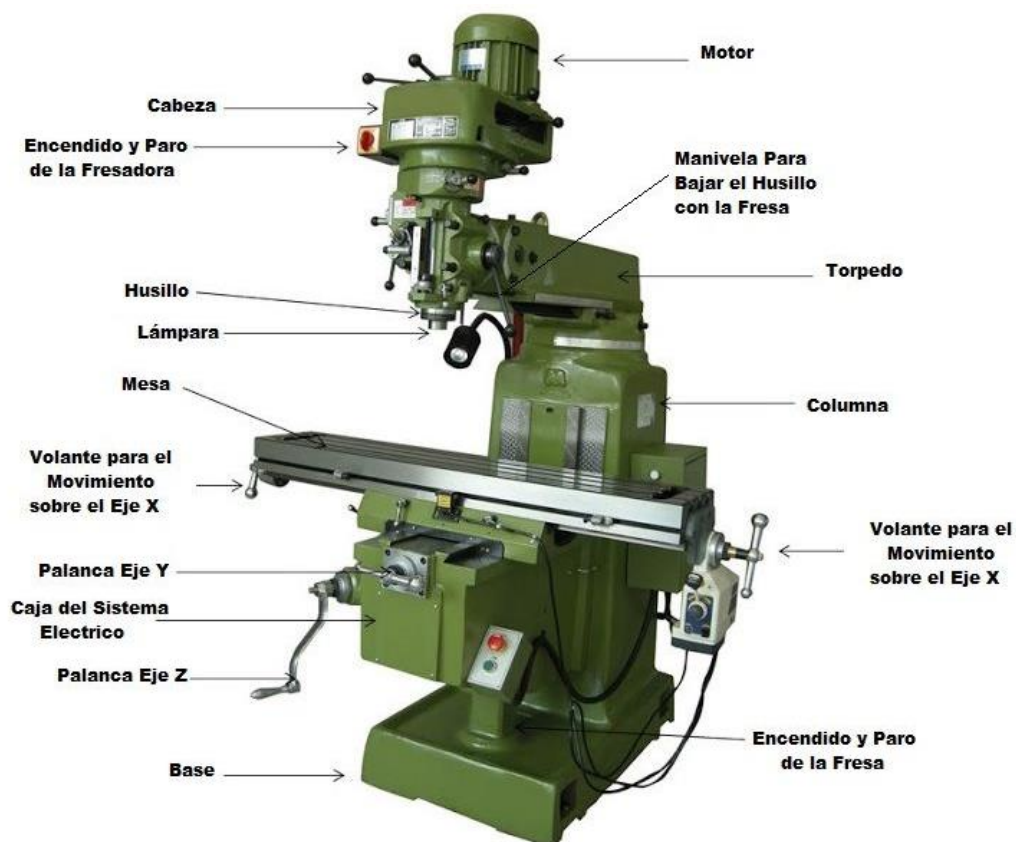


Ilustración 6.22: Partes con la que está compuesta una fresadora. Fuente: Fresadora. Partes de una fresadora. www.areatecnologia.com

- **Base:** Es la parte que sirve de apoyo y sobre la cual están fijadas las demás piezas.
- **Volantes para movimiento sobre cada eje XYZ:** Permiten mover la pieza en la dirección XYZ.
- **Mesa:** Parte donde se apoya la pieza a mecanizar.
- **Columna:** Es el bloque central de la máquina.
- **Torpedo:** Es la parte de la fresadora que une el cabezal a la columna.
- **Manivela:** Permite bajar la fresa a través de un husillo.
- **Husillo:** Permite el movimiento vertical de la fresa para ubicarla en la posición correcta.
- **Motor:** Es la parte de la fresadora que hace girar la fresa con el fin de obtener el arranque de viruta. (Ref. 021)

6.3.2 Tipos de Fresadora

- **Fresadora Vertical:** En estos tipos de fresadoras, el eje del husillo es perpendicular a la mesa. Permite el movimiento vertical de la mesa.
- **Fresadora Horizontal:** El eje de rotación del husillo está horizontal a la mesa.

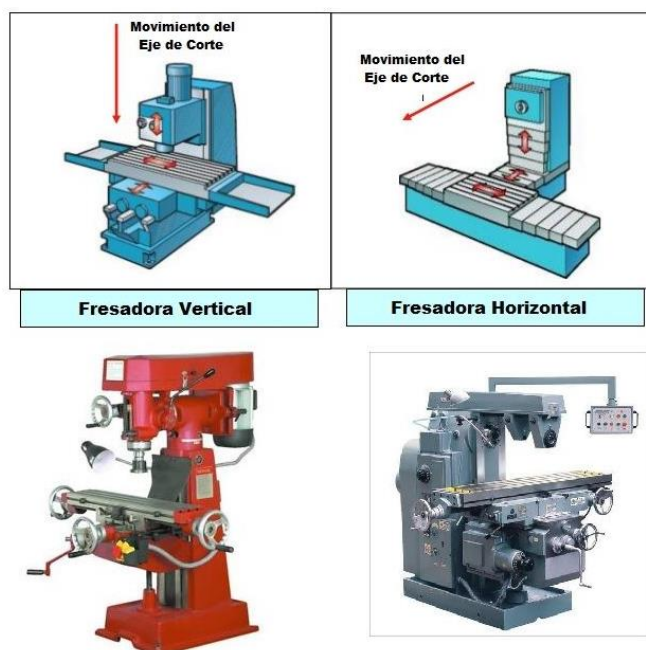


Ilustración 6.23: Ejemplos de una fresadora vertical y otra fresadora horizontal en las cuales podemos ver hacia donde es el movimiento de corte. Fuente: Fresadora. Tipos de fresadora. www.areatecnologia.com

- **Fresadora Horizontal universal:** Estos tipos de fresadoras difieren de las horizontales comunes ya que cuentan con una mesa capaz de moverse hasta 45 grados y darle una inclinación a la pieza.



Ilustración 6.24: Ejemplo de fresadora horizontal universal marca Heller. Fuente: ¿Que es una fresadora universal?.www.hellermquinaria.com

- **Fresadora CNC:** Son fresadora con la última tecnología. Cuentan con un control numérico computarizado que permite automatizar los movimientos de la fresadora para que estos no dependan de una persona, haciéndolos más rápidos y precisos. Se programa la secuencia de movimientos a realizar y la fresadora CNC interpreta el código de programación y lo ejecutan en su debido momento.



Ilustración 6.25: Ejemplo de fresadora CNC de la marca Haas. Fuente: Haas Automation, Inc. Equipo de control numérico de Fresado de la Máquina. www.freepng.es (Ref. 021)

6.3.3 Las primeras Fresadoras

Buscando el perfeccionamiento en el tallado de engranajes, el francés **Jacques Vaucanson** en el siglo XVIII, fabricó a mano las primeras fresas, utilizando el buril. Estas primeras herramientas de fresado fueron usadas en tornos accionados a pedal, hasta que llegó **Eli Whitney**, un fabricante de armas que en 1818 recibió el encargo de fabricar miles de fusiles para el gobierno estadounidense. Estudió la posible fabricación en serie y fabricó por esta causa la máquina de fresar (*Ilustración 6.26*).

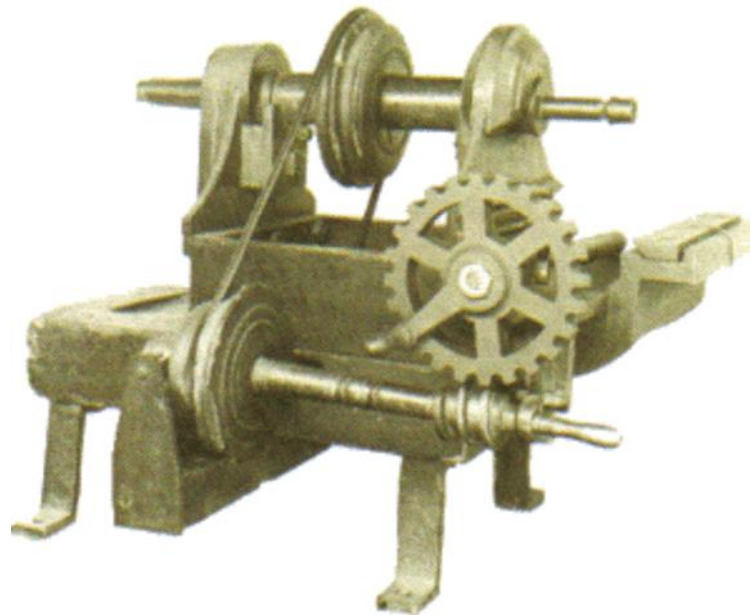


Ilustración 6.26: La primera máquina de fresar fabricada por Eli Whitney. Fuente: Historia y evolución del CNC. www.timetoast.com

Dos años después en 1820, **Robert Johnson** construye una fresadora en la que se apreciaban grandes y fuertes avances en la técnica del fresado. Basándose en la experiencia de sus antecesores, **James Nasmyth**, en 1830 construye una fresadora con un divisor para el mecanizado de tornillos hexagonales. Poco después inspirándose en el modelo de **Whitney**, la empresa GAY & SILVER fabrica una fresadora enteramente metálica dotada de un mecanismo de regulación vertical, con soporte para el husillo portaherramientas.

En 1848 **Howe**, el diseñador de ROBBINS & LAWRENCE realiza una fresadora más robusta y precisa, con polea de tres escalones y con desplazamientos en sentido vertical, horizontal y transversal. (Ref. 002)

Hacia 1849 se construye la fresadora Lincoln la cual fue muy popular y en la cual **Howe** influyó notablemente en la evolución de ese tipo de fresadoras. **Elisha Root** le incorporó a la misma un carnero cilíndrico, regable en sentido vertical que se elevaba junto con el husillo porta fresas. En 1850 se construyó la primera fresadora copiadora de perfiles diseñada por **Howe** y construida por **ROBBINS & LAWRENCE**.

En 1857 la empresa inglesa **SHARP, STEWART & CO** construye la primera fresadora vertical. Poco años después en 1862 fabrica un nuevo modelo de fresadora vertical de doble montante. Ante la necesidad de resolver el fresado de engranajes helicoidales y rectos, **Joseph R. Brown** diseña y construye en el año 1862 la primera fresadora universal (*Ilustración 6.27*), equipada con divisor universal, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal. (Ref.002)

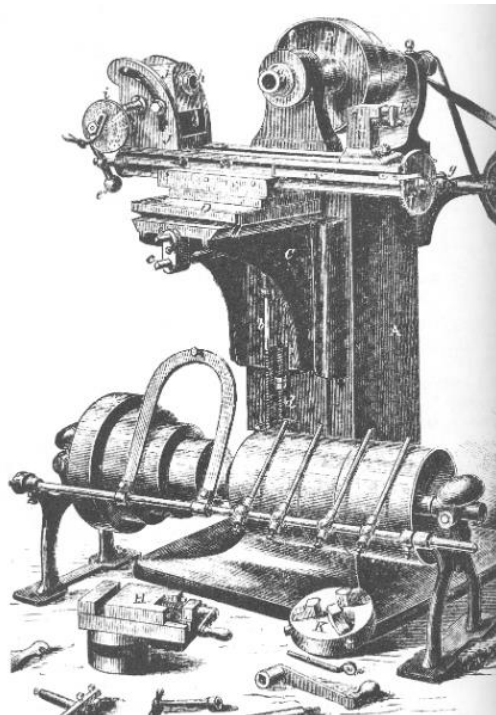


Ilustración 6.27: Primera fresadora universal diseñada y construida por Joseph R. Brown (1862). Fuente: Máquinas herramientas. <http://almadeherrero.blogspot.com/>

En 1884 la empresa **CINCINNATI** construye su primera fresadora universal en la que se incorpora por primera vez un carnero cilíndrico, desplazable axialmente. En 1894 se fabrica una fresadora caracterizada por llevar incorporado un ingenioso cabezal universal, con el cual mediante previo movimiento giratorio podía trabajar en diversas posiciones.

A finales del siglo XIX las máquinas fresadoras universales y copiadoras habían llegado a su pleno desarrollo. BROWN & SHARPE fabricaron una amplia gama que abarcaba cinco modelos de distintos tamaños y potencias (*Ilustración 6.28 y 6.29*). (Ref. 002)

A principios del siglo XX, destacaron en España la construcción en Éibar por **Cruz Ochoa**, de la primera fresadora universal del estado.

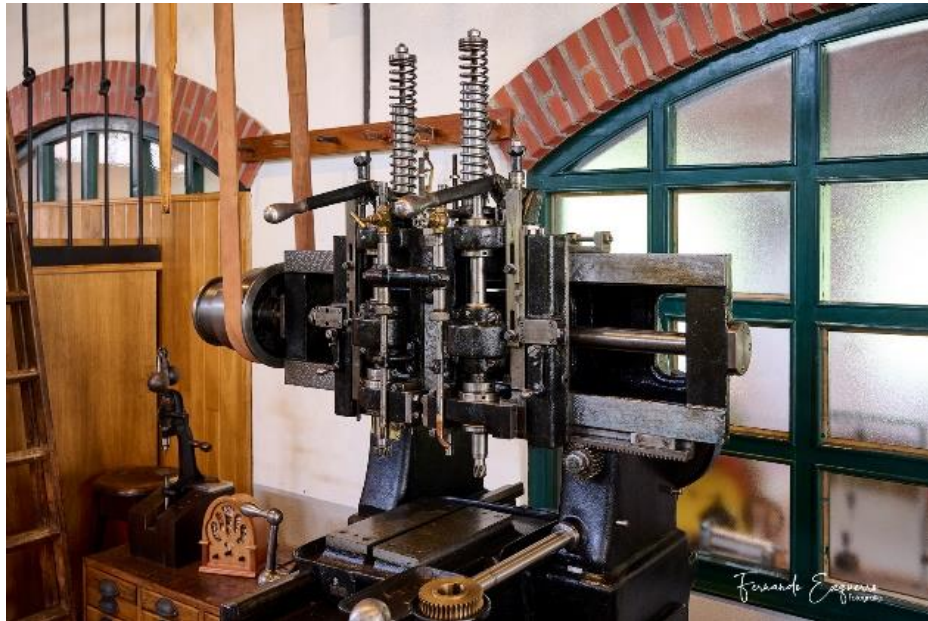


Ilustración 6.28: Ejemplo de Fresadora copiadora Brown & Sharpe en el museo de la máquina herramienta de Elgoibar. Fuente: Museo de la máquina herramienta. Fernando Ezquerro. www.flickr.com



Ilustración 6.29: Ejemplo de Fresadora horizontal Brown & Sharpe en el museo de la máquina herramienta de Elgoibar. Fuente: Museo de la máquina herramienta. Fernando Ezquerro. www.flickr.com

6.4 Las Mandrinadoras

El mandrilado o mandrinado, tiene su origen en el barrenado de cañones de bronce fundidos ahuecados (*Ilustración 6.30*). Esta práctica se remonta hacia el 1372, fecha en la que se conocen datos concretos de los primeros cañones de bronce fundidos en Augsburgo.



Ilustración 6.30: Ejemplo de cañones de bronce fundidos ahuecados. Fuente: Culebrinas y cañones de bronce, Siglos XVI-XVII. www.santelmomuseoa.es

A partir del siglo XVI, se fundían los cañones también de hierro colado. Al principio, el mecanizado se hacía con barrenas accionadas directamente a mano. Poco después se empezó a mecanizar mediante una rueda, que llevaba insertado un eje que giraba de manera continua apoyada sobre dos soportes. Estaba accionado a mano, con la fuerza animal o con la fuerza hidráulica. En uno de los extremos del eje, se colocaba la herramienta, la cual se podía intercambiar, para barrenar en desbaste o alisar en acabado, piezas de cañón. (Ref. 002)

A partir 1744 se empezaron a fundir los cañones macizos debido a la construcción de una barrenadora mandrinadora vertical realizada por el suizo **Jean Maritz**. Poco después **Gaspard Monge** construye una máquina vertical similar a la de **Maritz** compuesta de un árbol central porta herramientas, accionado mediante un juego de engranajes con fuerza humana o tracción animal.

Durante el siglo XVII las barrenadoras horizontales fueron más utilizadas que las verticales. En 1770 **John Smeaton** consiguió perfeccionar la máquina de vapor de **Newcomen** mediante la construcción de una máquina para mandrinar cilindros de 450 mm de diámetro. Era una máquina de tipo horizontal con giro de árbol porta herramientas, accionada por rueda hidráulica. (Ref.002)

El gran avance se realizó en 1775, cuando **John Wilkinson** construyó una mandrinadora horizontal de mayor precisión accionada a rueda hidráulica (*Ilustración 6.31*), para mandrinar cilindros de 72 pulgadas. Esta fue la base para la construcción de la máquina de vapor de **James Watt**.

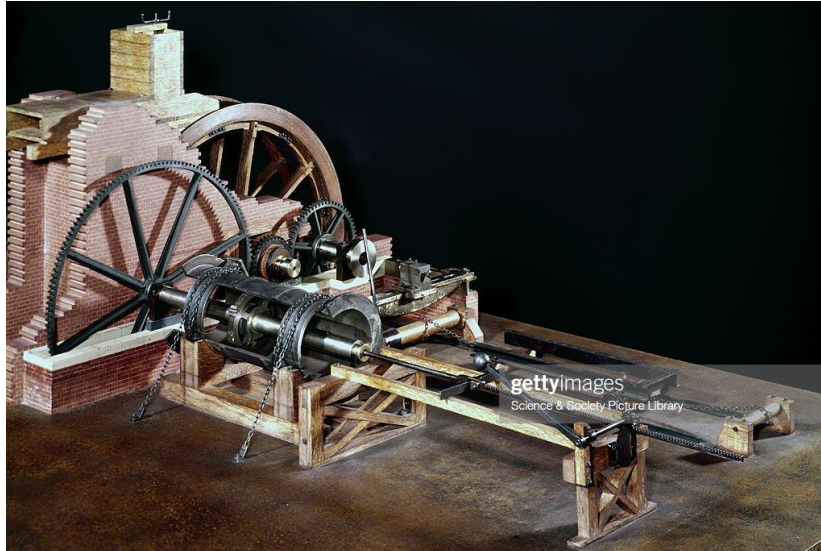


Ilustración 6.31: Mandrinadora horizontal de John Wilkinson (1775) accionada a rueda hidráulica. Fuente: Boring mill, Wilkinsons iron works, Bersham, nr Wrexham, Wales, 1775. www.gettyimages.ch

Con el paso de los años, varios constructores entre ellos **William Murdock** en 1799 mejoraron poco a poco la máquina de **Wilkinson**. En 1817, **Matthew Murray** construye una mandrinadora en la que la mesa portapiezas se desplaza sobre unas guías metálicas (*Ilustración 6.32*). En 1830 se logran precisiones con tolerancias de un dieciseisavo de pulgada, pero las mandrinadoras evolucionan lentamente.

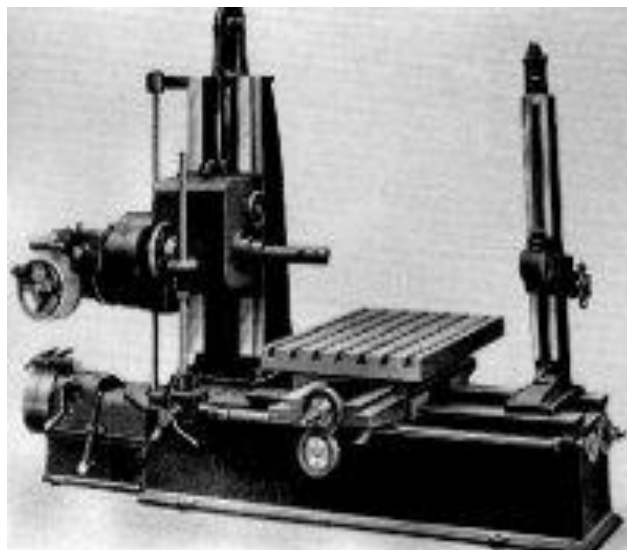


Ilustración 6.32: Mandrinadora de Matthew Murray (1817) en la que la mesa portapiezas se desplaza sobre guías metálicas. Fuente: Museo de la máquina herramienta. <https://docplayer.es/>

En Estados Unidos se construyen en 1865, mandrinadora verticales para mecanizar ruedas de locomotoras, teniendo las ventajas de una menor flexión de la barra de mandrinado y la mejor evacuación de virutas.

Sobre 1870 se registra un fuerte avance con la construcción de una mandrinadora horizontal con desplazamiento vertical y longitudinal de la mesa porta piezas, la cual tuvo un gran éxito. Hacia 1870 la firma americana WILLIAM SELLERS & CO desarrolla una máquina para mecanizar piezas pesadas con columna regable transversalmente y cabezal deslizante en vertical sobre dicha columna. Pocos años más tarde, varios fabricantes perfeccionan la mandrinadora incorporando movimientos transversal y longitudinal en la mesa porta piezas.

A finales del siglo XIX las mandrinadora alcanzan su pleno desarrollo, estructural y mecánico.

A principios del siglo XX ante la exigencia de precisión e intercambiabilidad de la industria relojera suiza, se construye una punteadora vertical con mesa de coordenadas polares que constituye un gran avance mecánico.

Poco después de la guerra civil en España de 1936, SACEM de Billabona (*Ilustración 6.33*) y JUARISTI de Azkoitia fabrican las primeras mandrinadoras del estado español.

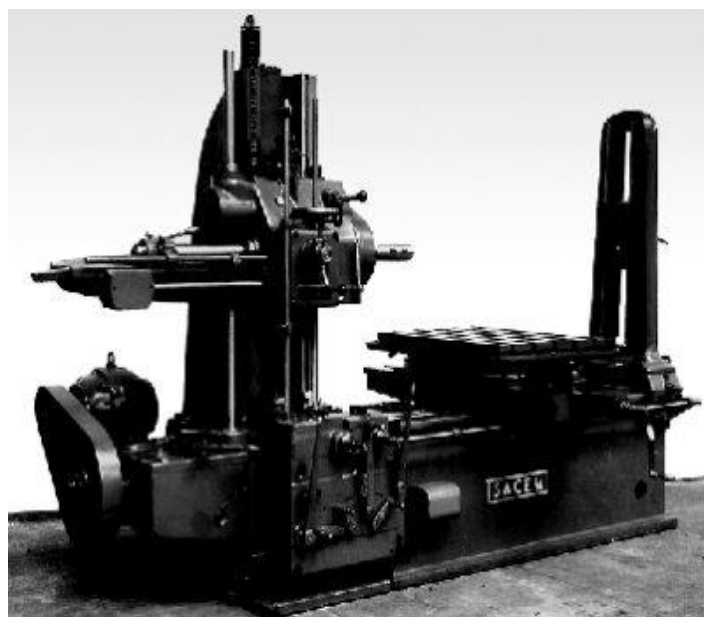


Ilustración 6.33: Primera mandrinadora del estado español, fabricada por SACEM de Billabona. Fuente: Museo de la máquina herramienta. <https://docplayer.es/>

6.5 Las Cepilladoras

Las cepilladoras tienen la función de producir superficies planas y lisas en piezas de gran longitud. El mecanizado realizado por estas máquinas recibe el nombre de cepillado, haciéndolo extensible por afinidad a limadoras, mortajadoras y brochadoras. (Ref. 002)

En 1751 se creó la primera máquina de cepillar metales (*Ilustración 6.34*), pero fue a principios del siglo XX a causa del fuerte desarrollo industrial cuando se hizo necesario mejorar la forma de planear planchas de hierro que tradicionalmente se realizaba manualmente mediante el uso de cincel y lima. Por el mismo motivo se buscó una solución para realizar chaveteros en poleas y engranajes que se abrían manualmente con buril y lima. (Ref.002)



Ilustración 6.34: Primera máquina de cepillar metales (1751). Fuente: Grabado de una máquina de alisado manual. www.alamy.es

La solución la tuvo el inglés **Maudslay**, el cual construyó en 1803 una mortajadora para mecanizar chaveteros.

En 1817 se construyó el primer cepillo puente de uso industrial para mecanizar piezas de 1320 mm x 280 mm de accionamiento manual a volante y piñón cremallera (*Ilustración 6.35*). Tres años más tarde en 1820 el inglés **James Fox** construyó un cepillo puente con desplazamiento de mesa con capacidades para

mecanizar piezas de 3120 mm x 560 mm. En 1833 construye otro modelo, pero de medidas más reducidas.

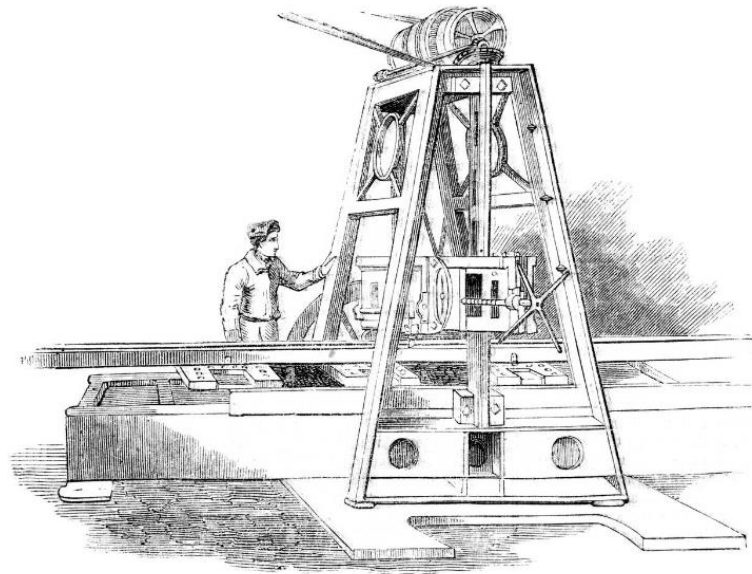


Ilustración 6.35: Primer cepillo puente de uso industrial para mecanizar (1817). Fuente: Cepilladora metalurgia pieza lineal herramienta útil de corte. www.alamy.es

En 1830 se construye una mortajadora fabricada por SHARP, ROBERTS & CO la cual representó un avance importante al incorporarle un plato divisor. En 1834 se construyó un cepillo con mesa fija y movimiento del puente porta herramientas para mecanizar piezas pesadas de 4000 x 3000 mm. Poco después **Joseph Whitworth** construye un cepillo puente con movimiento de mesa accionada a mano con manivela y en 1836 un modelo perfeccionado, movido por transmisión y poleas que fue la base para posteriores desarrollos (*Ilustración 6.36*). (Ref. 002)

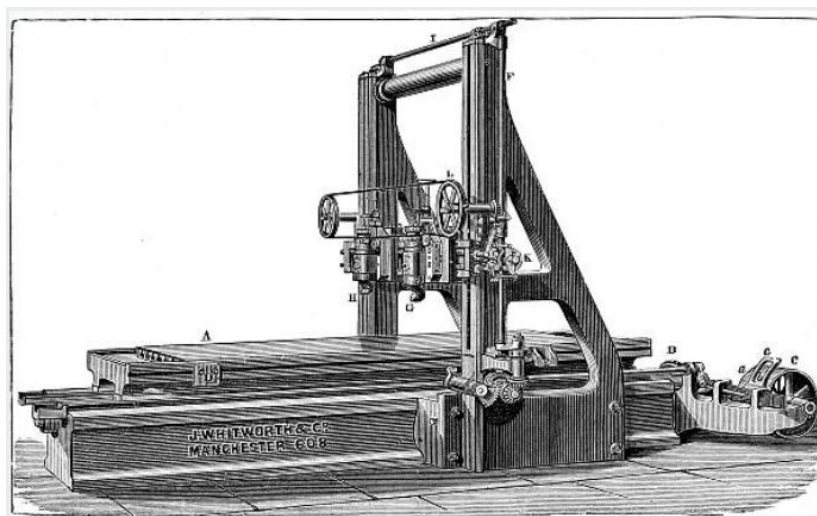


Ilustración 6.36: Cepillo puente de Joseph Whitworth (1836). Fuente: Whitworth planificación de la máquina. www.istockphoto.com

Hacía falta una máquina más manejable que la cepilladora para el mecanizado de superficies planas de longitud inferior a 800 mm. Entonces llegó en 1839 la limadora de **Nasmyth**, bautizada con el nombre de "*Brazo de acero de Nasmyth*" (*Ilustración 6.37*), la cual poco después perfeccionó **Joseph Whitworth** incorporando un dispositivo automático descendente del carro porta herramientas. El uso de la limadora se extendió por Europa y llegó hasta Alemania donde se construyó una limadora con desplazamiento de mesa y carro portaherramientas automáticos. (Ref. 002)

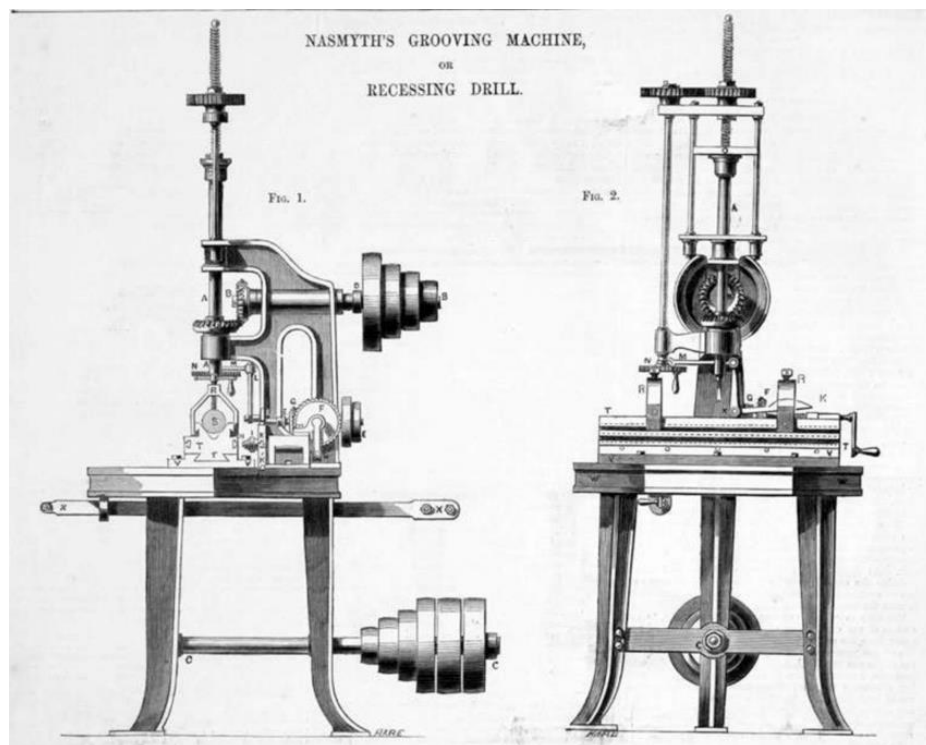


Ilustración 6.37: Limadora de Nasmyth (1839) bautizada con el nombre de "Brazo de acero de Nasmyth". Fuente: Nasmyth's Grooving Machine, or Recessing Drill. www.researchgate.net

Desarrollados varios modelos de cepilladoras, el francés **J.G. Bodmer** se dio cuenta de que hacía falta una solución para mecanizar planchas de gran anchura, es por eso que desarrolló una patente para construir cepilladoras de una sola columna. En base a esa patente se desarrollaron ese tipo de máquinas y para finales del siglo XIX las cepilladoras accionadas a transmisión y poleas habían alcanzado su pleno desarrollo.

En España hacia 1927 ESTARTA Y ECENARRO construye la primera limadora del estado español.

6.6 Las Máquinas De Abrasión

Las operaciones de rectificado actuales tienen su origen en procesos antiguos, utilizados para afilar herramientas de corte, pulir y abrillantar metales. Las piedras manuales y estáticas fueron los primeros procedimientos abrasivos utilizados para el afilado.

En el caso de las piedras estáticas, normalmente de arenisca, la mano del hombre aplicaba la herramienta sobre dichas piedras, moviéndola de forma conveniente en cada caso.

Las piedras para afilar a mano era otro procedimiento que utilizaban para el afilado de guadañas y herramientas agrícolas de la época. En torno al año 600 a. C se pusieron en funcionamiento las primeras piedras giratorias, montadas sobre un eje horizontal apoyado en pies o estructuras de madera, y movidas a mano o con el pie mediante la ayuda de una manivela o manubrio (*Ilustración 6.38 y 6.39*).

En el siglo XV el pedal fue combinado con un vástago y una biela siendo aplicado primeramente en las ruedas de afilar, montadas sobre un depósito de agua. También fueron movidas por fuerza hidráulica y a partir del siglo XVIII por máquinas de vapor.



Ilustración 6.38 y 6.39: Ejemplo de piedras giratorias utilizadas para afilar a mano accionadas con el pie o con manivela. Fuente: Rueda manual de piedra de afilar antigua. www.alamy.es

En el siglo XVIII para el pulido de metales se utilizaban abrasivos naturales reducidos a granos finos para adherirlos a papel o tela. Procedimiento que acabó llamándose papel de lija en memoria de un pez marino llamado lija cuya piel era áspera y se utilizaba para lijar los barcos de madera.

Las primeras muelas se fabricaron utilizando esmeril natural, destacando el procedente de la isla de Naxos en Grecia. En 1834 se empezaron a registrar en Estados Unidos patentes de máquinas de abrasión y pocos años más tarde en 1838 NASMYTH & GASKELL CO y **James Whitelay** construyen máquinas para rebarbado de piezas de fundición. La construcción de cabezales para rebarbado y pulido de piezas evolucionó rápidamente.

Para el rectificado de piezas cilíndricas se utilizó primeramente el torno, acoplado en su carro longitudinal un cabezal portamuelas. En 1870 es construida por el francés **F.G. Kreuzberger** la primera máquina para afilar fresas y **J. Norton Poole** diseña una rectificadora sin centros para rectificar cilindros.

La empresa LANDIS TOOL CO construye una rectificadora cilíndrica caracterizada porque el movimiento longitudinal se conseguía mediante el desplazamiento del cabezal portamuelas, y la mesa fija podía girarse angularmente.

En 1875 BROWN & SHARPE diseña y fabrica una supuesta rectificadora universal la cual no adquirió tal cualidad hasta que en 1880 se le añadió un dispositivo para el rectificado interior, naciendo de esta forma la primera rectificadora universal (*Ilustración 6.40*).

Las primeras soluciones para rectificar superficies planas consistieron en aplicar cabezales portamuelas a los cepillos puente, hasta que en 1880 BROWN & SHARPE construyen una pequeña rectificadora de superficies plana y en 1887 una rectificadora de puente.

(Ref. 002)



Ilustración 6.40: Ejemplo de rectificadora universal Brown & Sharpe. Fuente: Rectificadora Brown & Sharpe. www.comisavee.com

En 1893 **Edward Goodrich Acheson** descubrió el carburo de silicio y la elaboración de nuevos aglomerantes con lo cual empezó una nueva era industrial, se fabricaban muelas que alcanzaban velocidades periféricas de 48 m/s.

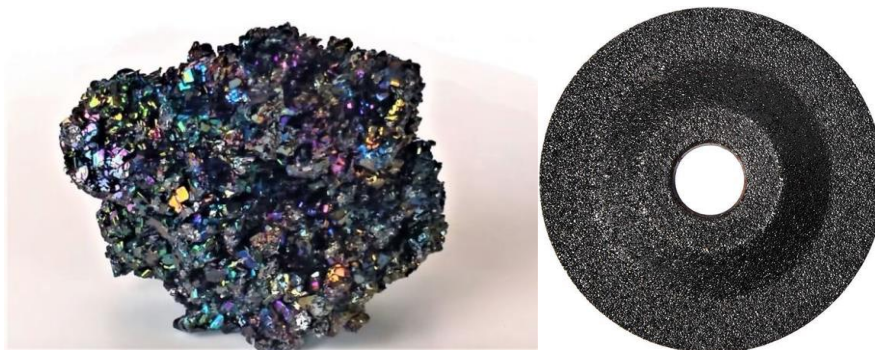


Ilustración 6.41 y 6.42: Mineral del carburo de silicio y ejemplo de una muela abrasiva de carburo de silicio. Fuentes: Carburo de silicio. www.rocasym minerales.net. Muelas abrasivas de carburo de silicio. <https://comercialpazos.com/>

La industria del automóvil demandaba continuamente nuevas máquinas de rectificado y de esta manera nacieron nuevos modelos de rectificadoras cilíndricas, planas y de interiores, construidas por empresa conocidas americanas y europeas como NORTON, LANDIS, HEALD, CHURCHILL, SCHMALTZ, CINCINNATI, etc.

6.7 Las Prensas

Hasta el siglo XVII el acuñado de monedas se realizaba colocando el cospel sobre una matriz, enclavado en un yunque. Poniendo encima otra matriz, se aplicaba un golpe violento de maza o martillo, lográndose grabar las monedas simultáneamente por las dos caras.

Leonardo Da Vinci sobre el 1500 diseñó un laminador y una prensa de balancín la cual sirvió para la realización de algunos experimentos, del italiano **Cellini** en 1530 y la puesta en práctica de forma generalizada del francés **Nicolás Briot** en 1626 (*Ilustración 6.43*).

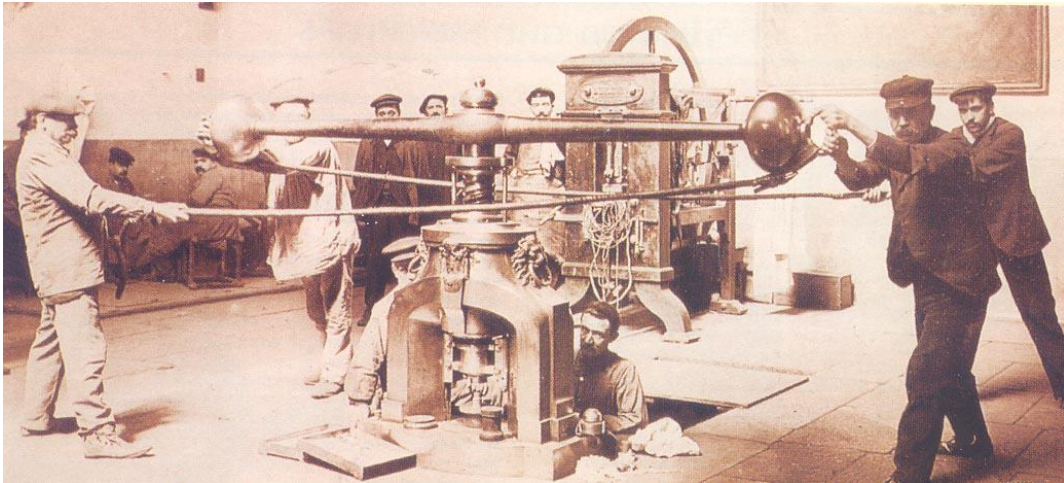


Ilustración 6.43: Prensa de balancín de Nicolás Briot (1626), diseñada por Leonardo da Vinci, y que supuso la puesta en marcha generalizada de la acuñación de monedas. Fuente: Máquinas herramientas. <http://almadeherrero.blogspot.com/>

Hacia 1770 **Joseph Bramah** patenta la invención de una prensa hidráulica basándose en el “*Tratado del equilibrio de los líquidos*” de **Pascal**.

Unos años más tarde en 1812 los hermanos **Perier** construyen una prensa con una presión de 70 kg/cm². A partir de 1840 ante la insuficiencia de capacidad de las prensas de balancín, se inicia la fabricación de prensas hidráulicas de elevadas potencias haciéndose hincapié su aplicación en las fábricas de material ferroviario para el calado de ejes.

Hacia 1817, se inicia un avance muy importante en el acuñado de monedas ya que el mecánico alemán **Dietrich Uhlhorn** desarrolla una prensa mecánica que ejercía una fuerte presión a través de un juego de biela- palanca- articulada.

La empresa LUDWIG LÖEWE perfecciona la presa de **Uhlhorn** y el francés **Thonnelier** introduce la virola partida con el objeto de grabar los cantos de las monedas.

A partir de 1863 LA MAQUINISTA MARÍTIMA Y TERRESTRE de Barcelona comienza la fabricación de prensas tipo **Thonnelier** para la CASA DE LA MONEDA de Madrid. El francés **Chéret** presentó un prototipo de una prensa mecánica de fricción en la exposición de París del año 1867, la cual supuso un gran avance para la realización de operaciones de estampado en piezas previamente punzonadas. A partir de ese momento en algunas fábricas de moneda combinaban a la vez, prensas de balancín, prensas articuladas e incluso de fricción (*Ilustración 6.44*).

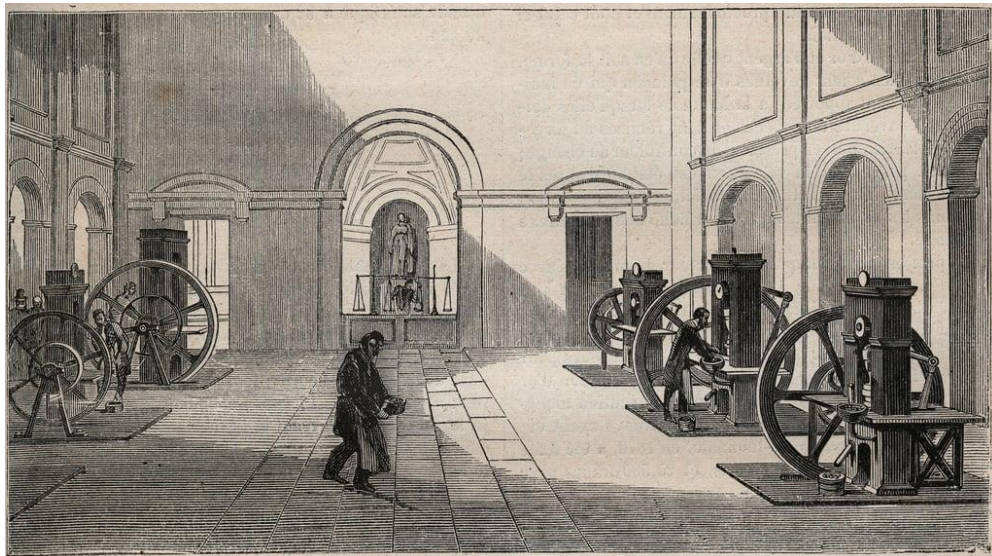


Ilustración 6.44: Ilustración de Prensas monetarias Thonnelier en La Monnaie de París. Fuente: www.meisterdrucke.es

Desde 1798 se utilizó una prensa de balancín para punzonar y fabricar clavos a partir de fleje, pero este procedimiento era insuficiente a mediados del siglo XIX para fabricar grandes series, diversos productos a partir de chapa.

Hacia 1870 la empresa americana BLISS & WILLIAMS la cual tenía experiencia en prensas excéntricas, desarrolló un modelo que podía punzonar agujeros de tres cuartos de pulgada con un espesor de media pulgada. Pesaba 600 libras y trabajaba a 100 revoluciones por minuto (*Ilustración 6.45*).

(Ref. 002)

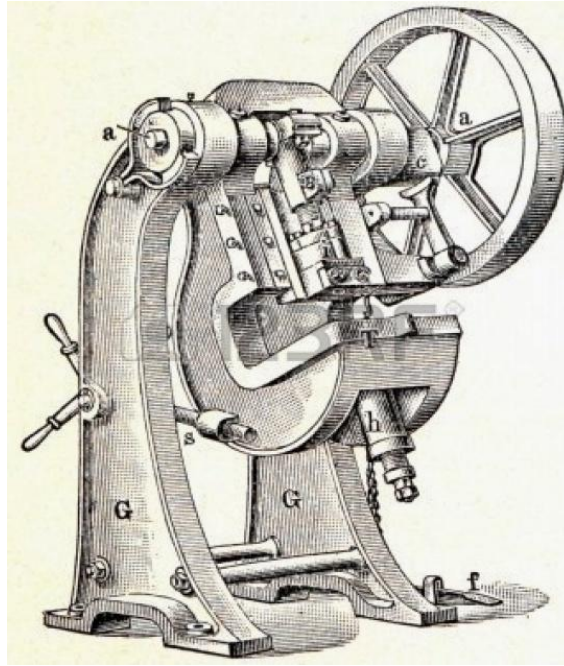


Ilustración 6.45: Prensa excéntrica de la empresa americana Bliss & Williams (1870). Fuente: *Uso de tablas de esfuerzos aplicada en los diferentes materiales*. <https://issuu.com/>

A partir de ese momento se generalizó la fabricación de diversos tipos de prensas mecánicas aumentando progresivamente su capacidad y versatilidad. A principios del siglo XX las prensas alcanzaron un fuerte desarrollo. Se usaban prensas hidráulicas de gran potencia para embutir las carrocerías de automóvil (*Ilustración 6.46*), prensas de fricción para estampar cubertería, medallas, etc. Prensas de palanca articulada para acuñación de monedas y prensas mecánicas excéntricas muy evolucionadas para punzonar.



Ilustración 6.46: Trabajadores de fábrica en la planta de Bosch: Las cajas de caucho duro para baterías de arranque se presionan en prensas hidráulicas pesadas. Fuente: *Prensas hidráulicas*. www.alamy.es

7. EL TORNO DE LEONARDO DA VINCI

7.1 Introducción

Una vez realizada la parte teórica ahora vamos a introducirnos en la parte experimental. En esta parte vamos a realizar un modelado y análisis de una máquina herramienta antigua específica.

En nuestro caso se va a realizar sobre el primer torno de pedal, en concreto el torno de pedal creado por nada más y nada menos que por Leonardo Da Vinci.

Más adelante se va a crear una maqueta a escala en la cual se va a representar el torno que Leonardo Da Vinci inventó. En esta parte experimental del trabajo se va a realizar un estudio a partir de un dibujo de Leonardo Da Vinci realizado en su época.

Se eligió el torno porque representa una máquina herramienta importante dentro de la ingeniería, ya que aún hoy en día muchos objetos y piezas requieren de una máquina herramienta de este tipo.

Teniendo en cuenta la calidad del dibujo disponible del torno en cuestión, el proceso de ingeniería adoptado para el diseño y la construcción del torno es un gran desafío, particularmente debido a la poca información presentada en el dibujo y en las bibliografías sobre las obras de Leonardo Da Vinci.

La metodología utilizada durante el diseño y la construcción se ha basado en la ingeniería inversa, que consiste en observar proyectos o dibujos ya hechos y descubrir cómo funcionan e intentar reproducirlos y mejorarlos e ir aprendiendo a la vez que se va haciendo.

7.2 Análisis

7.2.1 Características y descripción del Torno de Leonardo Da Vinci

Se cuenta con un torno basado en un diseño histórico que permite el mecanizado de objetos blandos con la fuerza motriz humana, a través de la activación de un pedal, el cual está unido a un cigüeñal y este a la vez unido al eje y a la rueda motriz.

El proyecto del torno de pedal de Leonardo Da Vinci se ha concebido a partir de un boceto del propio inventor (*Ilustración 7.1*).

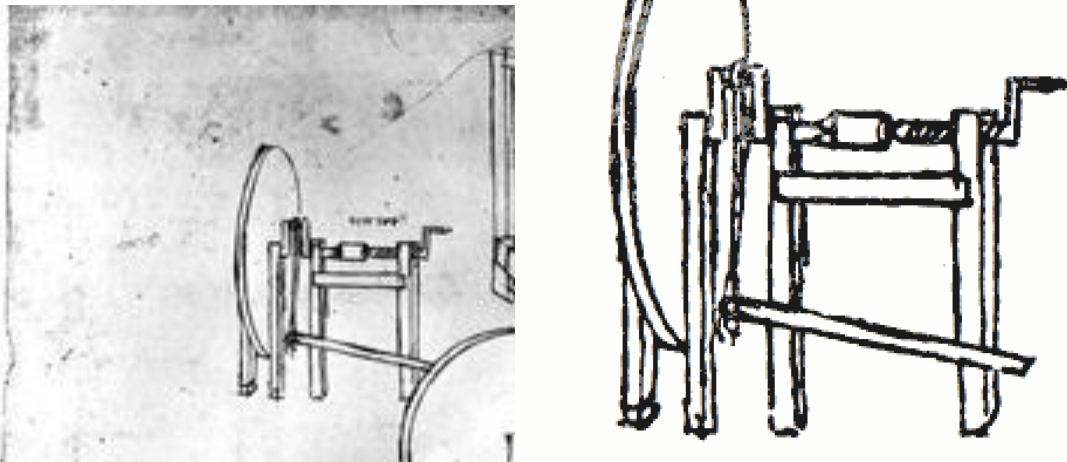


Ilustración 7.1: Boceto del primer torno de pedal. Leonardo Da Vinci siglo XV. Fuente: Leonardo da Vinci lathe build - HomemadeTools.net

Es un boceto de Leonardo Da Vinci alrededor del siglo XV el cual nos permite ver por primera vez como era uno de los primeros tornos de rueda de pedal.

Se muestran claramente los principales elementos necesarios para la rotación continua autopropulsada, la rueda o volante de inercia, el cigüeñal y el pedal. Fue el cigüeñal junto con la rueda lo que supuso un gran avance en el avance tecnológico. El cigüeñal unido al pedal proporcionaba una rotación constante, mientras que el gran impulso de la rueda o volante de inercia aseguraba que el cigüeñal pasara por su punto muerto. El dibujo también muestra un contrapunto ajustable con una manivela roscada.

Una desventaja del torno de Leonardo Da Vinci es que solo proporcionaba transmisión directa, por lo que la velocidad de la máquina herramienta dependía de la velocidad del pie del tornero sobre el pedal, pero era maravillosamente simple y compacto.

7.2.2 Dimensionado y Diseño

Debido a la falta de datos a la hora del diseño y dimensionado, ya que solo se dispone de un boceto del siglo XV, para diseñar y dimensionar el torno, se ha tomado como referencia a una persona de estatura media, en torno a 1,6-1,8 metros de altura. Lo que permite que personas de diferentes estaturas utilicen el torno cómodamente.

En el caso por ejemplo de una de las partes de nuestro torno como es la manivela que aprieta nuestro contrapunto se ha tomado como referencia la medida de una mano humana estándar.

La altura de nuestra estructura del torno se ha dimensionado en función de cómo se trabaja a la hora de torneear. Si la persona mide por ejemplo entre nuestro rango de 1,6-1,8 metros de altura, el eje de nuestro torno estará aproximadamente a 1,10 metros y la estructura a 1,2 metros de altura debido a que la acción de torneado manual mediante una gubia o un formón, por ejemplo, se realiza bajando los brazos hasta dicha altura.

Las dimensiones de nuestra rueda se han tomado en función de nuestro boceto por semejanza. Como necesitamos una inercia suficiente para que nuestro cigüeñal sobrepase el punto muerto y se pueda accionar el pedal, se ha dimensionado la rueda con 1,6 metros. Esta medida se le ha dado debido a que tiene que ser grande por la inercia y a que nuestra rueda está en el aire y concéntrica al eje.

El diseño del torno y sus partes se realizaron en el Software SolidWorks y se ha cogido como referencia el boceto antes descrito y el dimensionado correspondiente a la estatura media de una persona adulta. Se han aplicado una serie de cambios los cuales se van a ver reflejados en siguiente apartado.

7.2.3 Partes del Torno de Leonardo Da Vinci

A continuación, podemos observar las partes de nuestro torno de Leonardo Da Vinci extraídas de los planos y modelado en SolidWorks (*Ilustración 7.2*):

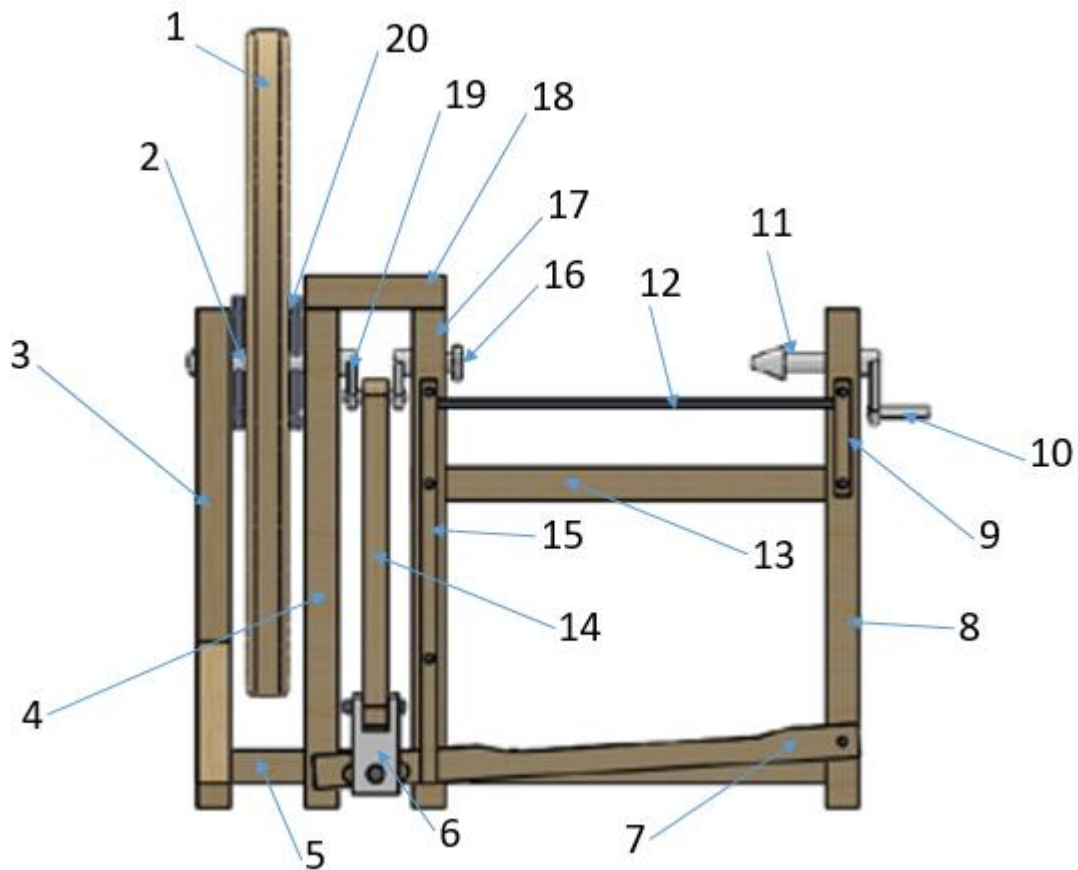


Ilustración 7.2: Partes de nuestro Torno de Leonardo Da Vinci. Fuente: Elaboración Propia.

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1. Rueda | 11. Contrapunto |
| 2. Eje de Rueda | 12. Listón 4A |
| 3. Listón 1A | 13. Listón 2B |
| 4. Listón 1B | 14. Brazo |
| 5. Listón 2A | 15. Listón 3A |
| 6. Acople | 16. Cabezal |
| 7. Pedal | 17. Listón 1C |
| 8. Listón 1D | 18. Tapa del Cigüeñal |
| 9. Listón 3B | 19. Cigüeñal |
| 10. Manivela | 20. Pasador |

A continuación, se va realizar una explicación más profundizada de cada parte de nuestro torno en la cual vamos a poder observar cada pieza por separado:

- **Estructura:** La estructura de nuestro torno va ser la encargada de soportar todo el peso de los demás elementos para crear un torno compacto y estable. Nuestra estructura está compuesta por los listones que mostramos a continuación:

- Listones verticales: 1A, 1B, 1C y 1D (*Ilustración 7.3*) van a ser nuestros pilares del torno:

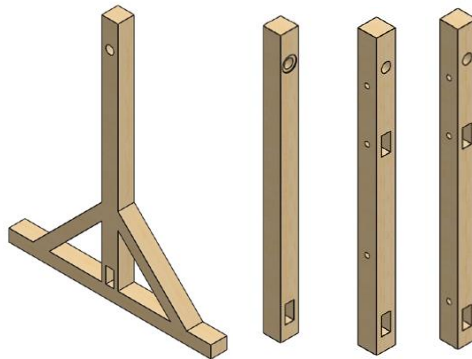


Ilustración 7.3: Listones 1A, 1B, 1C, 1D. Fuente: Elaboración propia

- Listones horizontales: 2A y 2B (*Ilustración 7.4*) son los encargados de unir nuestros listones verticales para dar una anchura a nuestro torno:

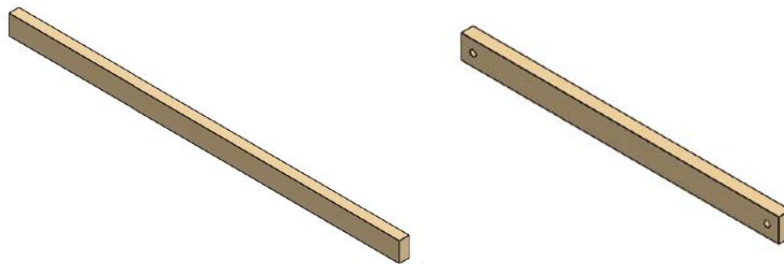


Ilustración 7.4: Listones 2A y 2B. Fuente: Elaboración propia

- Listones 3A y 3B (*Ilustración 7.5*) son los encargados de ajustar al gusto del tornero la barrila de aluminio en la cual el tornero apoya su formón a la hora de tornear, disponemos de 4 posiciones:

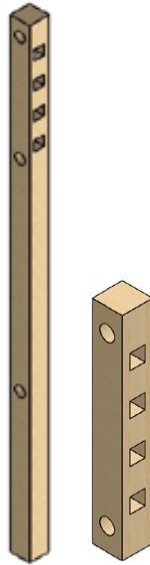


Ilustración 7.5: Listones 3A y 3B. Fuente: Elaboración propia

- Listón 4A (*Ilustración 7.6*) es la barra de aluminio en la cual el tornero apoya su formón para mecanizar la pieza a torneear:



Ilustración 7.6: Listón 4A. Fuente: Elaboración propia

- **Rueda:** La rueda de nuestro torno es un elemento esencial para el funcionamiento de nuestra máquina herramienta debido a que es el motor de nuestro proyecto. La rueda tiene un movimiento rotatorio sobre nuestro eje el cual está unido a nuestro cigüeñal, y este está unido a nuestro pedal. La rueda tiene que tener una inercia suficiente para sobrepasar el punto muerto del cigüeñal, es por eso que es de gran tamaño y muy pesada. La rueda va a estar concéntrica al eje y unida mediante unos pasadores que van a ser los encargados de conectar el movimiento de la rueda con el eje para transmitir el movimiento al cigüeñal (*Ilustración 7.7*):

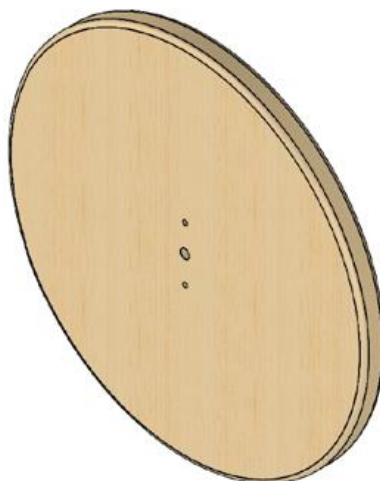


Ilustración 7.7: Rueda del Torno. Fuente: Elaboración propia.

- **Eje Rueda:** El eje de la rueda va a ser el encargado de transmitir el movimiento de la rueda hacia el cigüeñal con un movimiento rotatorio. El eje va a estar unido al cigüeñal mediante un pasador y va estar concéntrico con nuestra rueda pasando por los listones 1A y 1B (*Ilustración 7.8*):

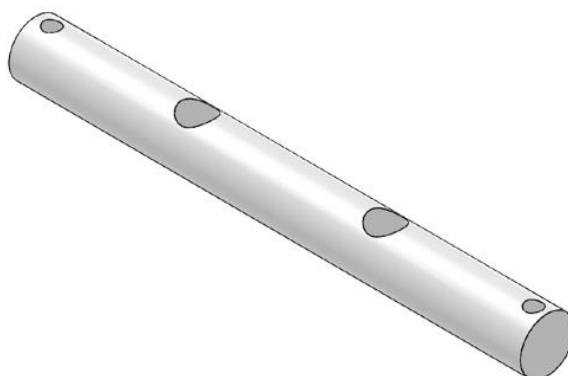


Ilustración 7.8: Eje de la rueda. Fuente: Elaboración Propia

- **Pedal:** El pedal es el elemento motriz junto con la rueda, es un elemento muy importante debido a que es el encargado de dar la velocidad a nuestro torno, esa velocidad dependerá de la velocidad del tornero a la hora de darle al pedal. El pedal está unido al listón 1D mediante un pasador lo que hace que el pedal pueda ascender y descender en su otro extremo. Nuestro pedal a la vez está unido a nuestro cigüeñal por medio de una pieza la cual la hemos llamado acople que es la encargada de poder unir el pedal al cigüeñal (*Ilustración 7.9*):

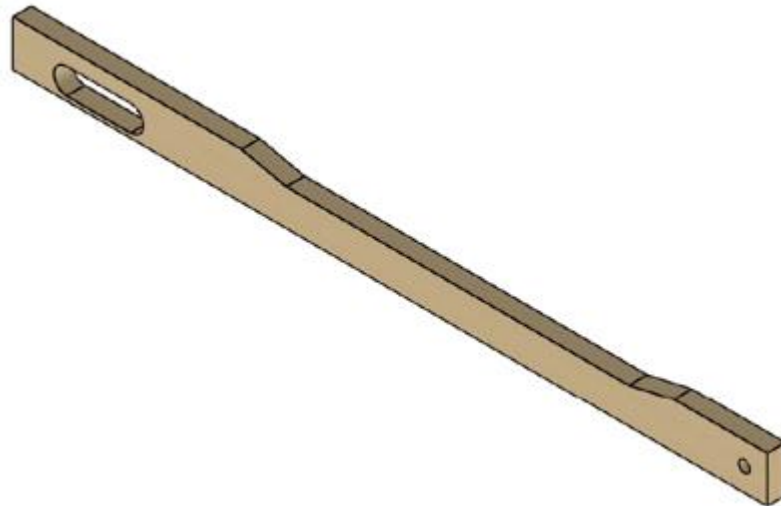


Ilustración 7.9: Pedal del torno. Fuente: Elaboración propia

- **Cigüeñal:** El cigüeñal es la parte más importante de nuestro torno junto con la rueda y el pedal debido a que es el encargado de recibir el movimiento de nuestro eje y transmitirlo a nuestro pedal y viceversa. Tiene un movimiento rotatorio el cual necesita una inercia suficientemente grande de la rueda para superar sus puntos muertos los cuales son arriba y abajo. Este cigüeñal lleva conectado un brazo el cual está unido por un pasador y conecta con el pedal gracias al acople el cual deja mover nuestro pedal y nuestro brazo a la vez sin que nuestro torno quede bloqueado. El cigüeñal está conectado al eje de la rueda y al cabezal del torno mediante pasadores (*Ilustración 7.10*):



Ilustración 7.10: Cigüeñal del torno. Fuente: Elaboración propia

- **Tapa Cigüeñal:** La tapa del cigüeñal tiene la función de reforzar el cigüeñal para que este no se abra y así esté más estable. Esta tapa estará encima del cigüeñal unida al listón 1B y 1C reforzando la estructura de nuestro torno (*Ilustración 7.11*):

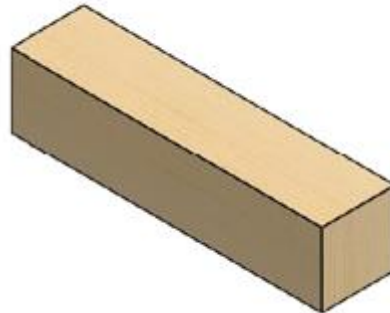


Ilustración 7.11: Tapa del cigüeñal. Fuente: Elaboración propia

- **Acople:** El acople es la pieza con la cual tenemos movimiento en el pedal y a la vez en el brazo que está conectado al cigüeñal. Este tiene la función de poder acoplar como bien dice su nombre el pedal con el brazo y tiene una función muy importante debido a que, si conectamos directamente el brazo con el pedal, nuestro torno quedaría bloqueado y no podría moverse debido a los movimientos que se realizan. Mediante pasadores podemos unir el acople al pedal y al brazo (*Ilustración 7.12*):

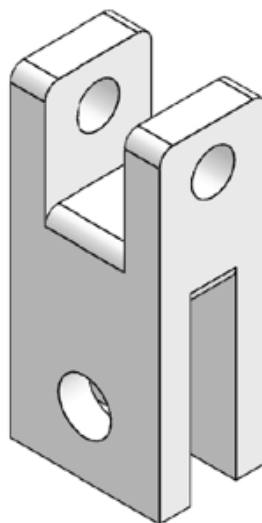


Ilustración 7.12: Acople pedal- brazo. Fuente: Elaboración propia

- **Brazo:** El brazo es el encargado de unir el movimiento del cigüeñal hacia el pedal. Éste está unido al pedal por medio del acople y un pasador y tiene movimiento rotatorio respecto dos ejes. También está unido al cigüeñal mediante un pasador el cual es el mismo pasador que tiene el cigüeñal (*Ilustración 7.13*):

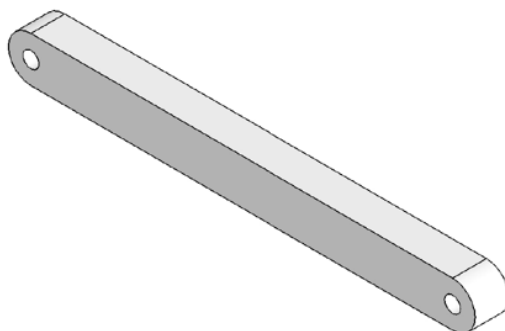


Ilustración 7.13: Brazo encargado de unir cigüeñal con el pedal. Fuente: Elaboración propia

- **Cabezal:** Tiene la función de transmitir el movimiento de rotación del eje hacia la pieza que se desea tornearse de esta manera la pieza girará junto con los demás componentes de nuestro torno. Este cabezal está unido a la pieza a tornearse mediante unos tornillos que hacen que la pieza se una al cabezal. El cabezal está unido al cigüeñal mediante un pasador y concéntrico al listón 1C (*Ilustración 7.14*):

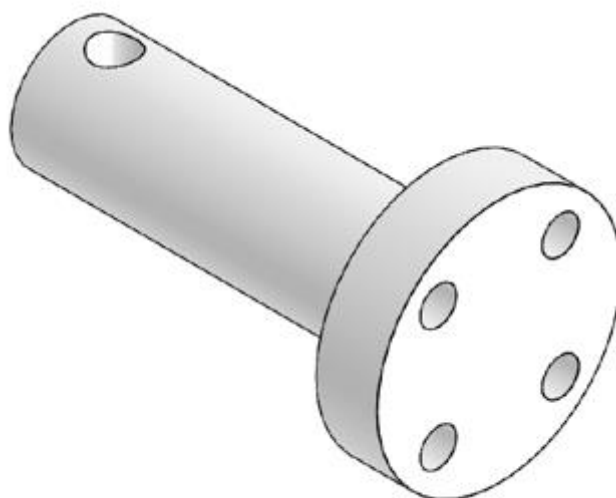


Ilustración 7.14: Cabezal del torno. Fuente: Elaboración propia

- **Contrapunto:** El contrapunto tiene la función de apretar nuestra pieza para que ésta no se suelte, el contrapunto es un elemento fijo en el cual la pieza gira sobre él y mediante una manivela se puede apretar hasta la distancia deseada. El contrapunto es concéntrico al listón 1D y está unido a la manivela mediante un pasador (*Ilustración 7.15*):

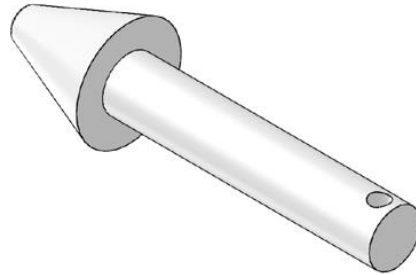


Ilustración 7.15: Contrapunto. Fuente: Elaboración propia

- **Manivela:** Es la encargada de girar el contrapunto para apretarlo contra la pieza a tornear. Está unida al contrapunto mediante un pasador (*Ilustración 7.16*):

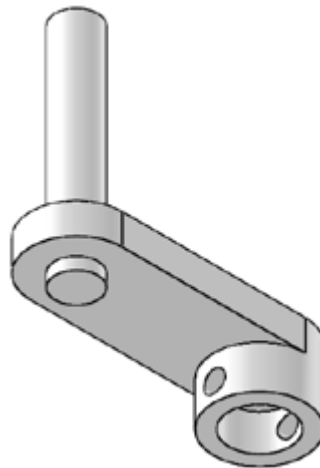


Ilustración 7.16: Manivela. Fuente: Elaboración propia

- **Pasadores:** Son los encargados de unir dos piezas para que estos queden unidos y así poder transmitir el movimiento. En nuestro torno vamos a encontrar pasadores de distintos diámetros y longitudes los cuales nos van a servir para transmitir el movimiento y para poder acoplar una pieza con otra.

7.2.4 Funcionamiento

El funcionamiento de nuestra máquina herramienta es muy simple, pero a la vez hay que tener en cuenta que se necesita la suficiente inercia para que nuestro cigüeñal sobrepase su punto muerto y de esa forma poder accionar el pedal.

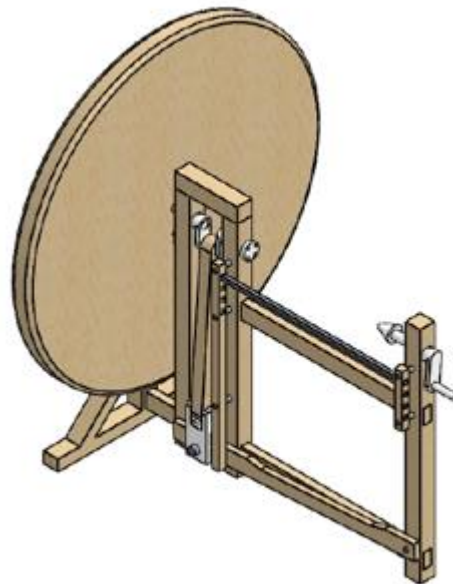


Ilustración 7.17: Ensamblaje del Torno sin pieza a tornear. Fuente: Elaboración propia

El primer paso para que nuestro torno funcione es colocar la pieza que se desee tornear. Se coloca pieza en el cabezal (*Ilustración 7.18*).

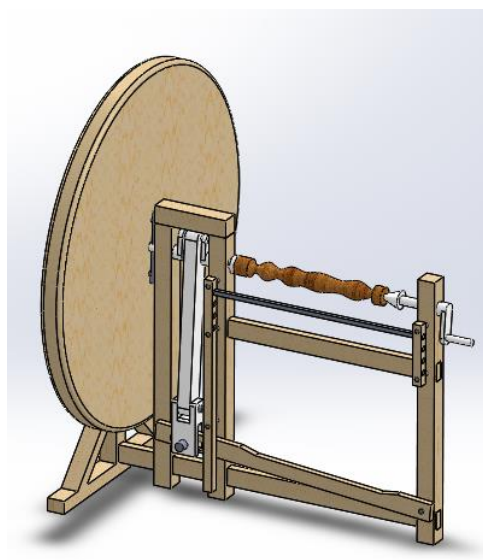


Ilustración 7.18: Ensamblaje del torno con pieza ajustada para tornear. Fuente: Elaboración propia

Una vez tenemos la pieza acoplada al cabezal es momento de apretar nuestro contrapunto para que nuestra pieza este ajustada contra el cabezal y de esa forma giren como si se tratara de una sola pieza conjunta.

Una vez ajustada nuestra pieza a torneear llega el momento más importante el cual es accionar la rueda. Nos posicionamos delante de nuestra pieza a torneear dejando la rueda a nuestra izquierda. Se agarra la rueda con la mano izquierda ya que la tendríamos en esa posición y se acciona la rueda dándole un movimiento de rotación antihorario (*Ilustración 7.19*).

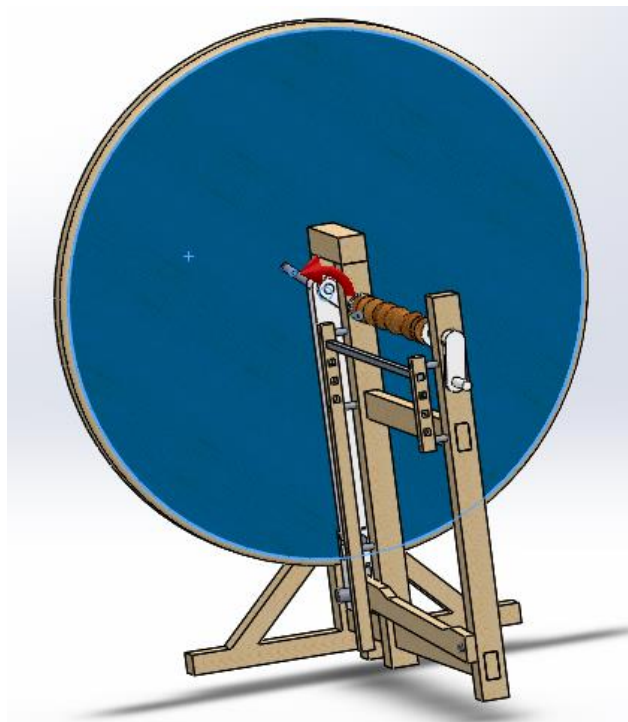


Ilustración 7.19: Representación visual de cómo hay que accionar nuestra rueda del nuestro torno.
Fuente: Elaboración propia

Una vez vemos que la rueda empieza a girar nos damos cuenta de que, por su tamaño e inercia, nuestro cigüeñal y nuestro pedal empiezan a estar en movimiento.

Ese el momento de empezar a accionar el pedal. Con el pie que mejor le convenga a cada persona se levanta la pierna y se coloca el pie sobre el pedal acompañando su movimiento y realizando un movimiento descendente con nuestra pierna cada vez que nuestro pedal se encuentre en su punto máximo de altura (*Ilustración 7.20*). Realizando nuestra pierna un movimiento de ascenso y descenso continuo.

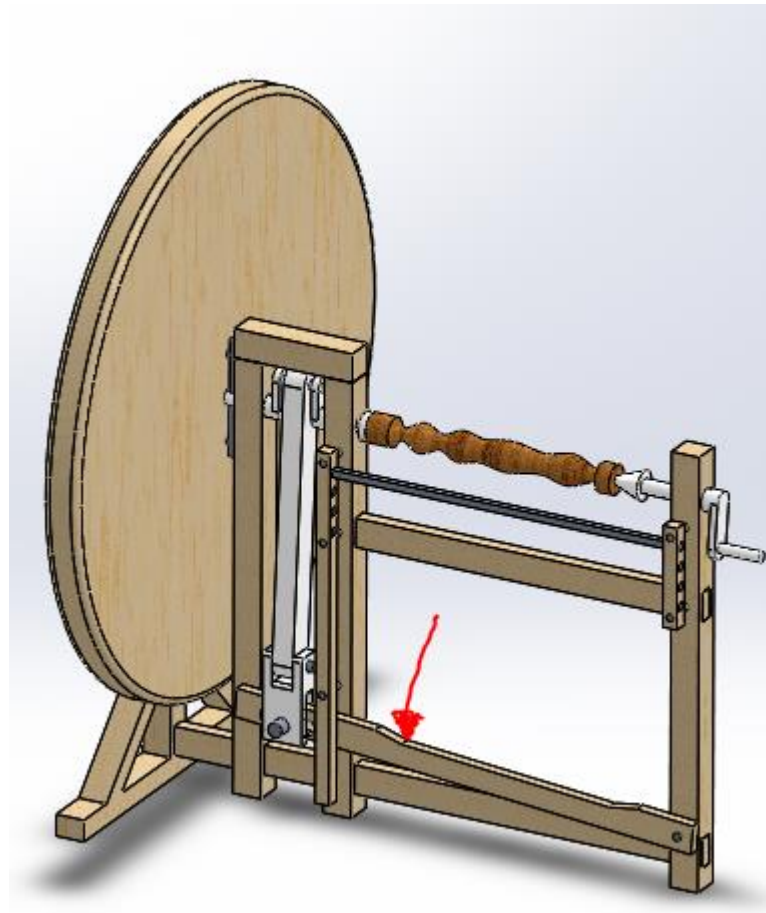


Ilustración 7.20: Ilustración visual de cómo hay que accionar el pedal. Fuente: Elaboración propia

En ese mismo instante se empieza a dar velocidad a nuestro torno, el cual se le dará más velocidad o menos en función de la velocidad del pie del tornero.

Nos daremos cuenta de que nuestra pieza lleva en movimiento desde que accionamos la rueda y ahora es el momento de empezar a tornear mediante la herramienta de torneado deseada por el tornero, se apoya la herramienta sobre nuestra varilla de apoyo y se empieza a dar la forma deseada.

Una vez acabada nuestra pieza solo tenemos que soltar el pedal y nuestra rueda irá perdiendo inercia y se irá deteniendo nuestro torno.

En el apartado ANEXOS se puede visualizar una simulación del funcionamiento de nuestro torno mediante un video realizado con el software SolidWorks.

7.3 Planos

Los planos han sido realizados mediante el software SolidWorks cumpliendo la normativa requerida para planos.

Los planos de nuestro torno se han realizado en DIN A4 en el cual le hemos diseñado un formato de hoja personalizado en el cual podemos observar un cajetín con el nombre de la pieza en cuestión, su escala, nombre, el nombre del trabajo y el nombre de la universidad (*Ilustración 7.21*). En los planos realizados se pueden visualizar las tres vistas estándar y en algunos casos cortes de sección para poder visualizar mejor la pieza en cuestión. También se les ha añadido una vista explosionada con la textura del material para poder visualizar como sería la pieza en la realidad.

Los planos realizados de nuestro trabajo se pueden visualizar en el apartado de ANEXOS.

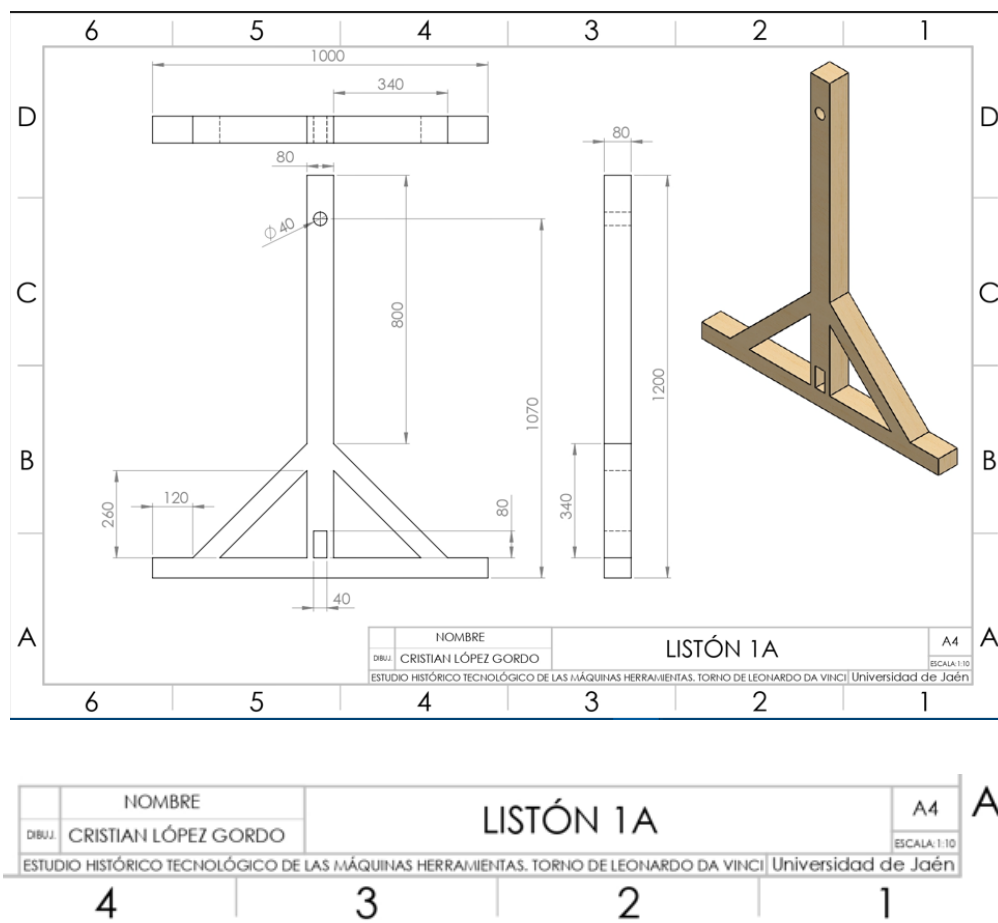


Ilustración 7.21: Ejemplo de planos utilizados en el trabajo en el cual se le ha aplicado un zoom para poder observar el cajetín y su contenido. Fuente: Elaboración Propia

7.4 Modelado 3D

Para el modelado del torno se ha utilizado el software SolidWorks con el cual se ha podido realizar el modelado de cada pieza a partir de los planos para previamente realizar un ensamblaje del torno de Leonardo Da Vinci a escala real.

El modelado se encuentra en el apartado ANEXOS donde se puede ver representado cada pieza en 3D por separado y el modelo ensamblado de nuestro torno (*Ilustración 7.22 y 7.23*).

A partir de nuestros planos hemos podido realizar el croquis de cada pieza en el software SolidWorks para previamente aplicarle las operaciones pertinentes y que requieran en cada momento y así poder desarrollar cada pieza y el modelado del torno en 3D.

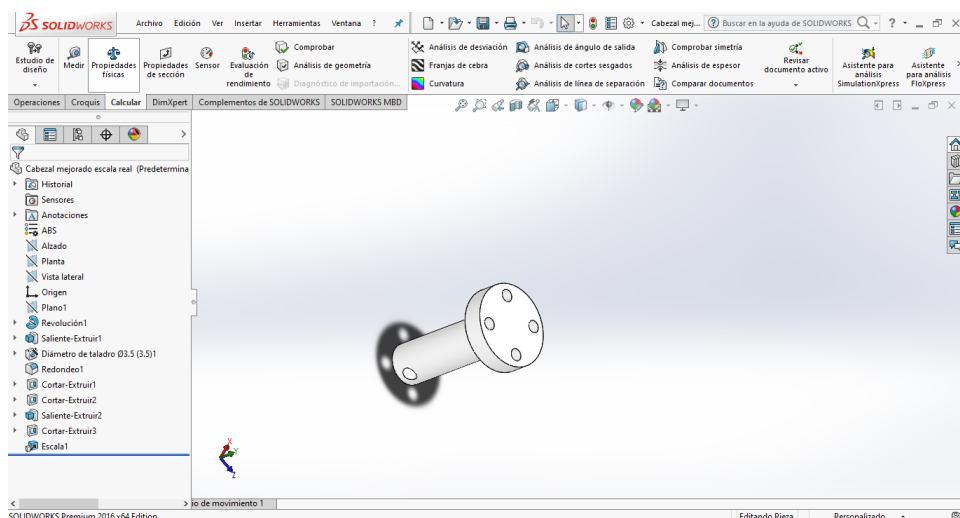


Ilustración 7.22: Cabezal del torno modelado en 3D en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

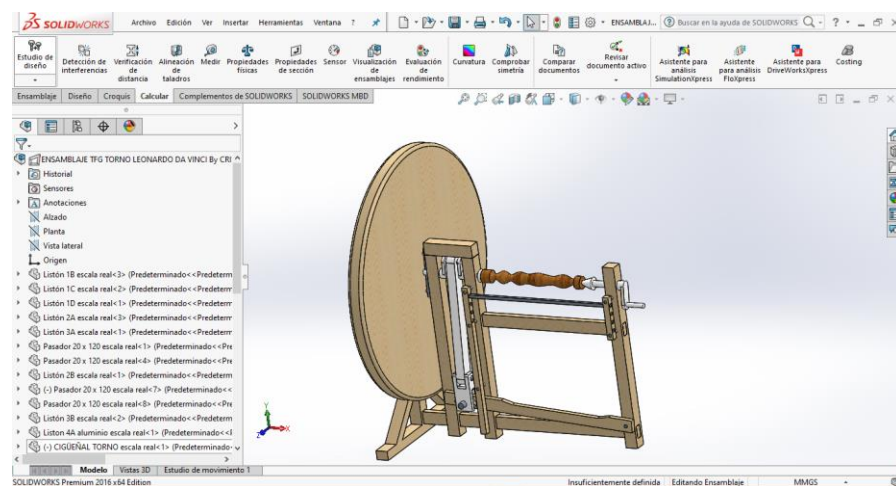


Ilustración 7.23: Ensamblaje del torno modelado en 3D en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

7.5 Simulación de Funcionamiento

La simulación de funcionamiento del ensamblaje de nuestro torno se encuentra disponible en el apartado ANEXOS, en el cual se puede ver una simulación de nuestro torno de Leonardo Da Vinci, funcionando a escala real y con una simulación del giro de una pieza real torneada. La simulación de funcionamiento se ha realizado en el software SolidWorks y se ha realizado de la siguiente manera:

1. Abrimos el ensamblaje en el SolidWorks (*Ilustración 7.24*):

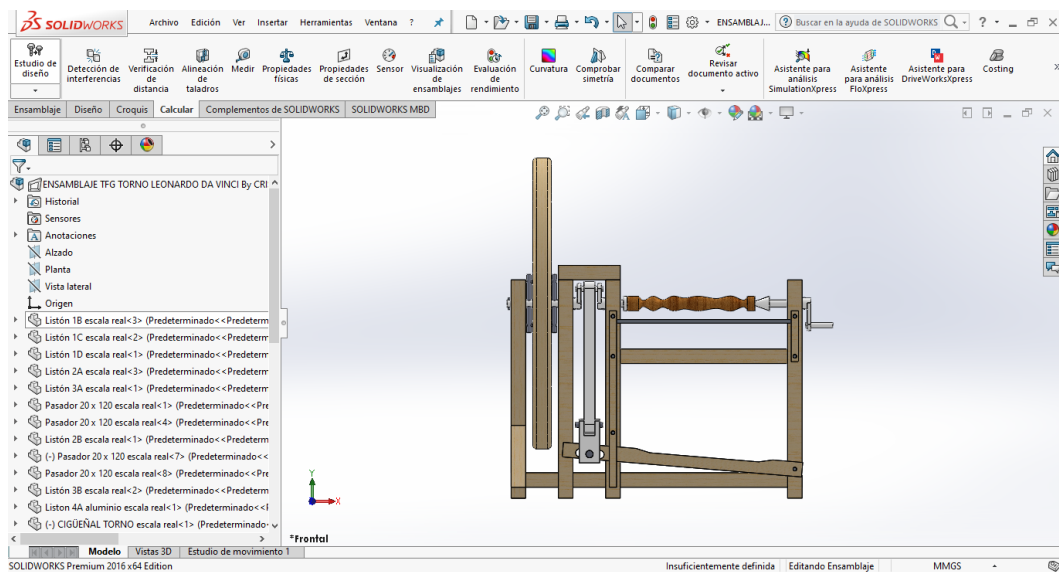


Ilustración 7.24: Ensamblaje en el software SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

2. Pulsamos en el apartado de Estudio de movimiento (*Ilustración 7.25*):

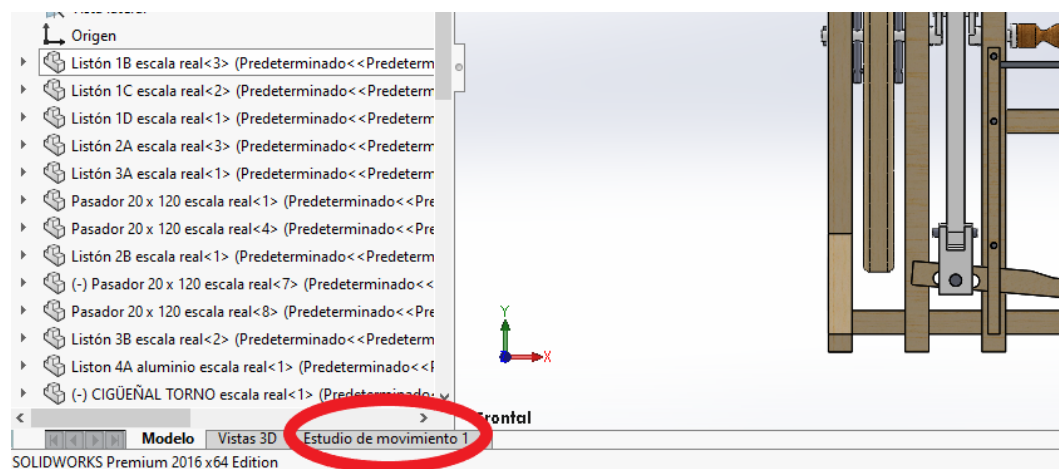


Ilustración 7.25: Imagen detallada de donde se encuentra el estudio de movimiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

3. Seleccionamos el eje motor rotatorio (*Ilustración 7.26*):

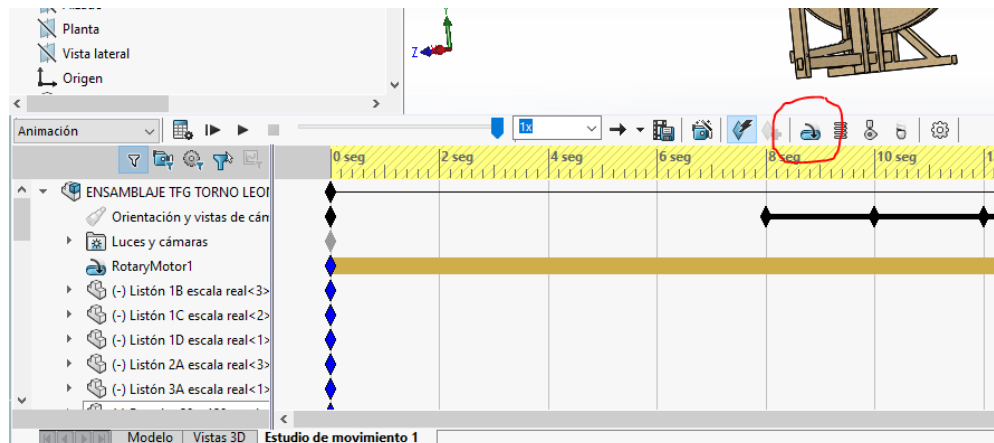


Ilustración 7.26: Imagen detallada de donde se encuentra la opción motora en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

4. Seleccionamos la rueda la cual es la que hace de motor (*Ilustración 7.27*):

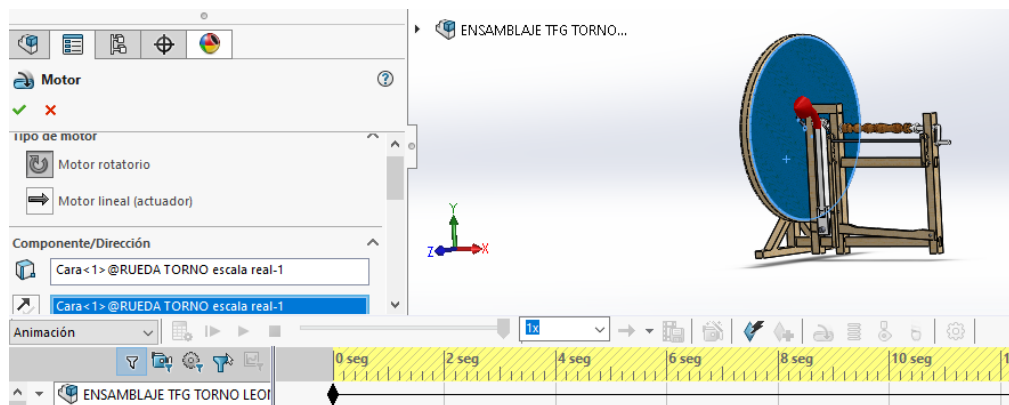


Ilustración 7.27: Imagen detallada de selección de rueda en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

5. Pulsamos a Velocidad constante y seleccionamos por ejemplo 70 RPM (*Ilustración 7.28*):

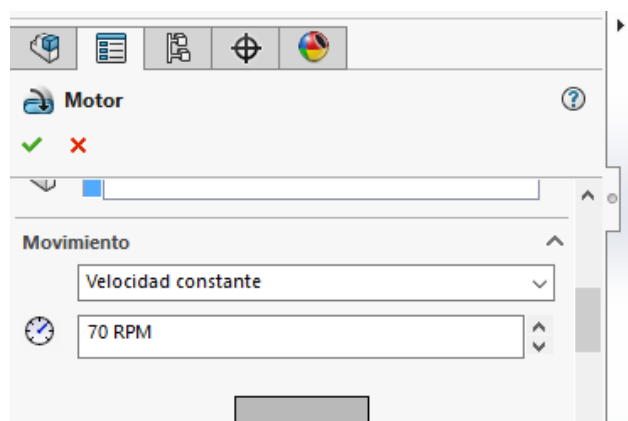


Ilustración 7.28: Imagen detallada de donde se cambia el tipo y velocidad en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

6. Pulsamos en cálculo de estudio de movimiento (*Ilustración 7.29*):

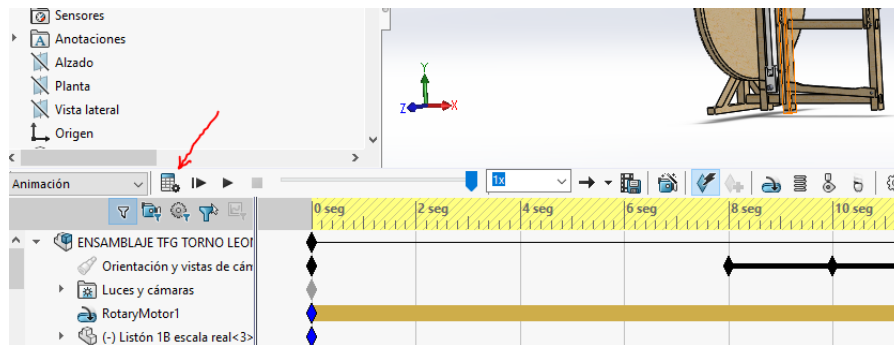


Ilustración 7.29: Imagen detallada de donde se encuentra la opción cálculo de movimiento en el estudio de movimiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

7. Pulsamos en el botón de grabar animación, tiempo estimado deseado y podemos poner para que la animación se gire se vean todas las partes de nuestro ensamblaje (*Ilustración 7.30*):

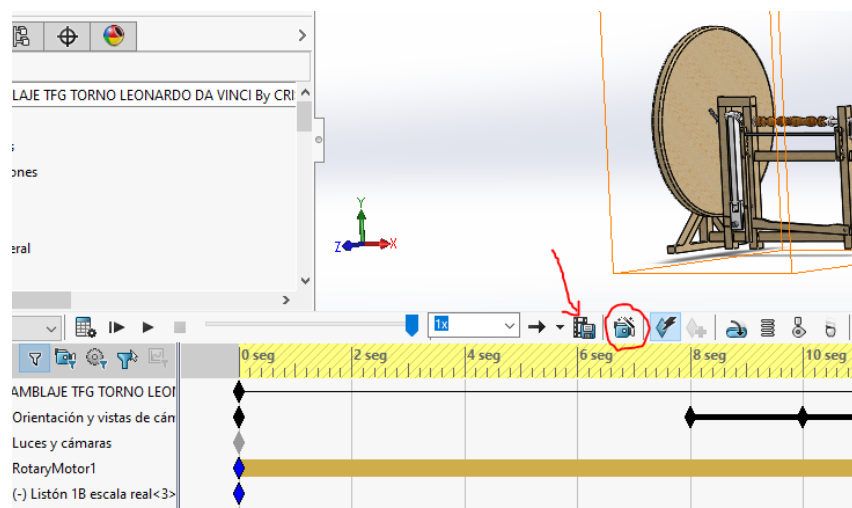


Ilustración 7.30: Imagen detallada de donde se encuentra el botón de grabación de animación en el estudio de movimiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

8. Se guarda con el nombre deseado (*Ilustración 7.31*):

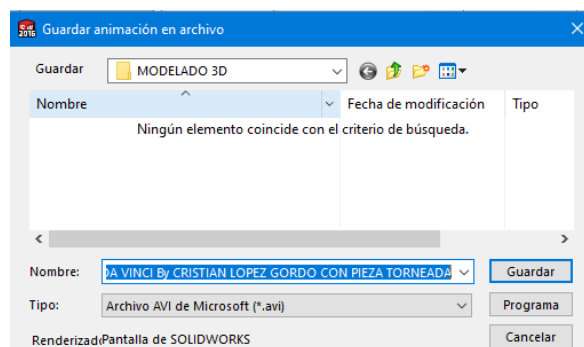


Ilustración 5: Imagen detallada de donde se guarda la animación del estudio de movimiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

9. El propio SolidWorks comprime el video en formato .AVI, pulsamos en aceptar y se nos genera la simulación (*Ilustración 7.32*):

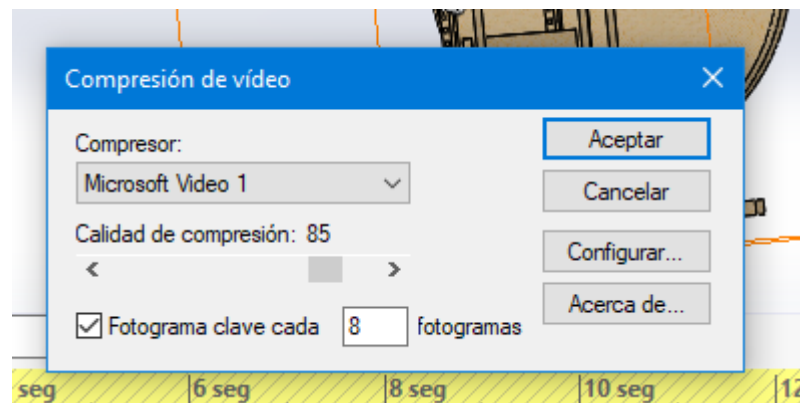


Ilustración 7.32: Imagen detallada de compresión de vídeo a la hora de guardar una animación en el estudio de movimiento en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

10. Una vez generada la simulación buscamos el archivo en nuestro ordenador y podemos observar la simulación mediante un reproductor de video (*Ilustración 7.33*):

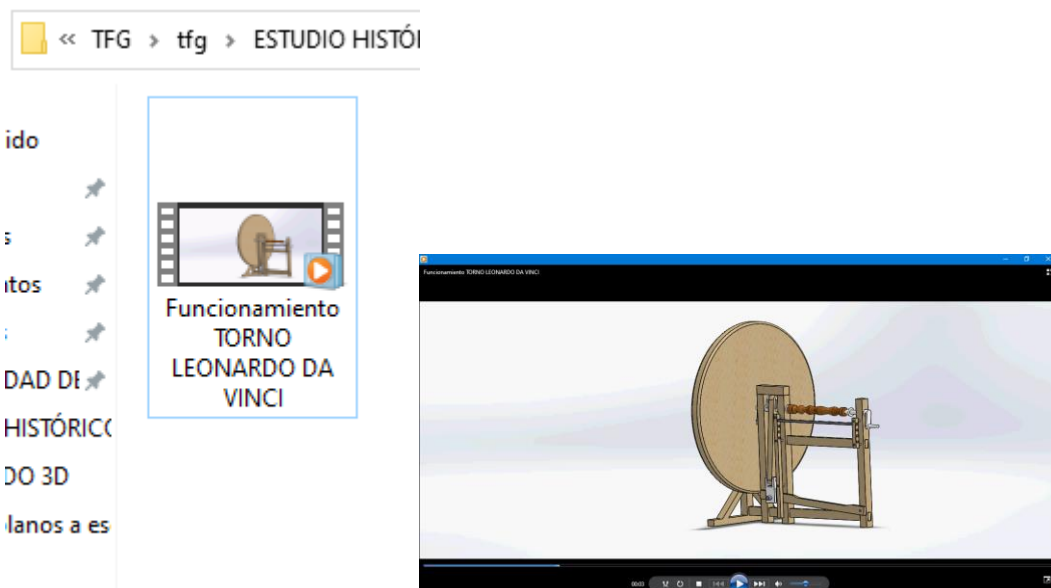


Ilustración 7.33: Imagen detallada de observación de la simulación. Fuente: Elaboración propia

7.6 Análisis Mecánico

A partir del software SolidWorks se pueden calcular una serie de parámetros los cuales nos facilitan realizar el análisis mecánico de nuestro torno.

A partir de nuestro ensamblaje podemos calcular cuáles son sus propiedades físicas tales como masa, volumen, momentos de inercia, centro de masa...

A continuación, podemos observar como con el software SolidWorks nos calcula esta serie de parámetros:

1. Abrimos nuestro ensamblaje y en las opciones de SolidWorks aparece la opción → Calcular (*Ilustración 7.34*):

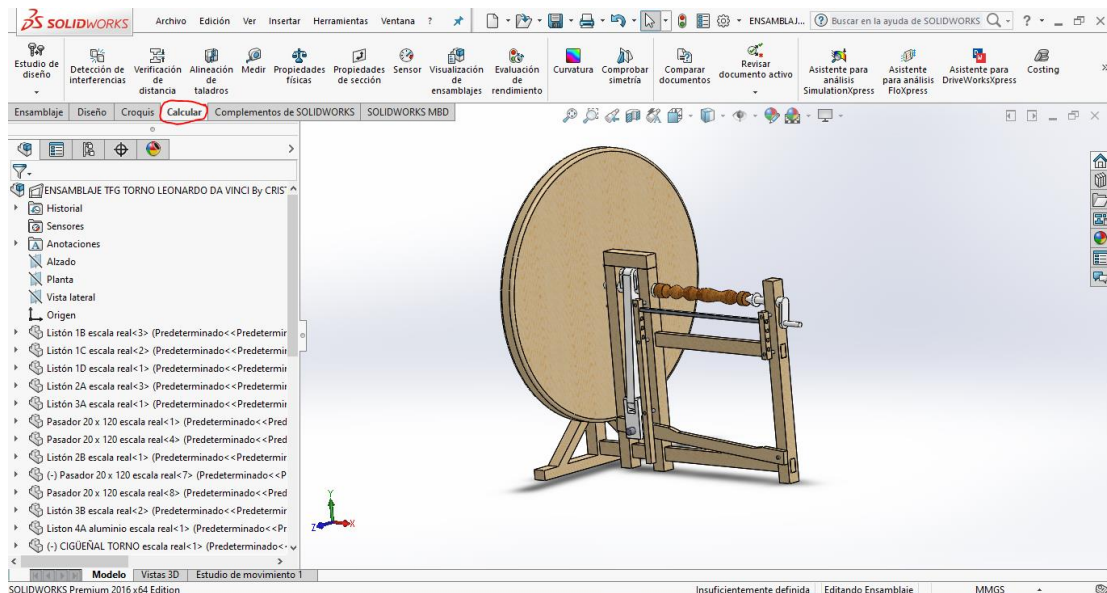


Ilustración 7.34: Imagen detallada de como abrir la opción calcular en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

2. Una vez abierta la opción de calcular seleccionamos en la opción de propiedades físicas las cuales nos van a calcular las propiedades físicas del nuestro modelo en nuestro caso del ensamblaje de nuestro torno (*Ilustración 7.35*):



Ilustración 7.35: Imagen detallada de como abrir la opción Propiedades físicas en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

3. Se nos va abrir una ventana en la cual SolidWorks nos ha calculado unos parámetros de nuestro modelo los cuales podemos ver a continuación (*Ilustración 7.36*):

Masa = 96717.98 gramos

Volumen = 262889120.22 milímetros cúbicos

Área de superficie = 8967057.71 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = -408.28

Y = 460.97

Z = 1276.92

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$I_x = (-0.32, 0.95, -0.02)$ $P_x = 21449487491.26$

$I_y = (0.17, 0.08, 0.98)$ $P_y = 30534123905.19$

$I_z = (0.93, 0.31, -0.19)$ $P_z = 31288789545.34$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 30248833246.46$ $L_{xy} = -2984338110.12$ $L_{xz} = 198320054.73$

$L_{yx} = -2984338110.12$ $L_{yy} = 22466630765.98$ $L_{yz} = -145898350.23$

$L_{zx} = 198320054.73$ $L_{zy} = -145898350.23$ $L_{zz} = 30556936929.36$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 208501682236.20 \quad I_{xy} = -21187094923.60 \quad I_{xz} = -50224286254.48$$

$$I_{yx} = -21187094923.60 \quad I_{yy} = 196289253037.55 \quad I_{yz} = 56784665116.26$$

$$I_{zx} = -50224286254.48 \quad I_{zy} = 56784665116.26 \quad I_{zz} = 67231019483.91$$

A partir de estos parámetros podemos observar en nuestro ensamblaje los ejes principales de inercia medidos a partir del centro de masa (*Ilustración 7.36*):

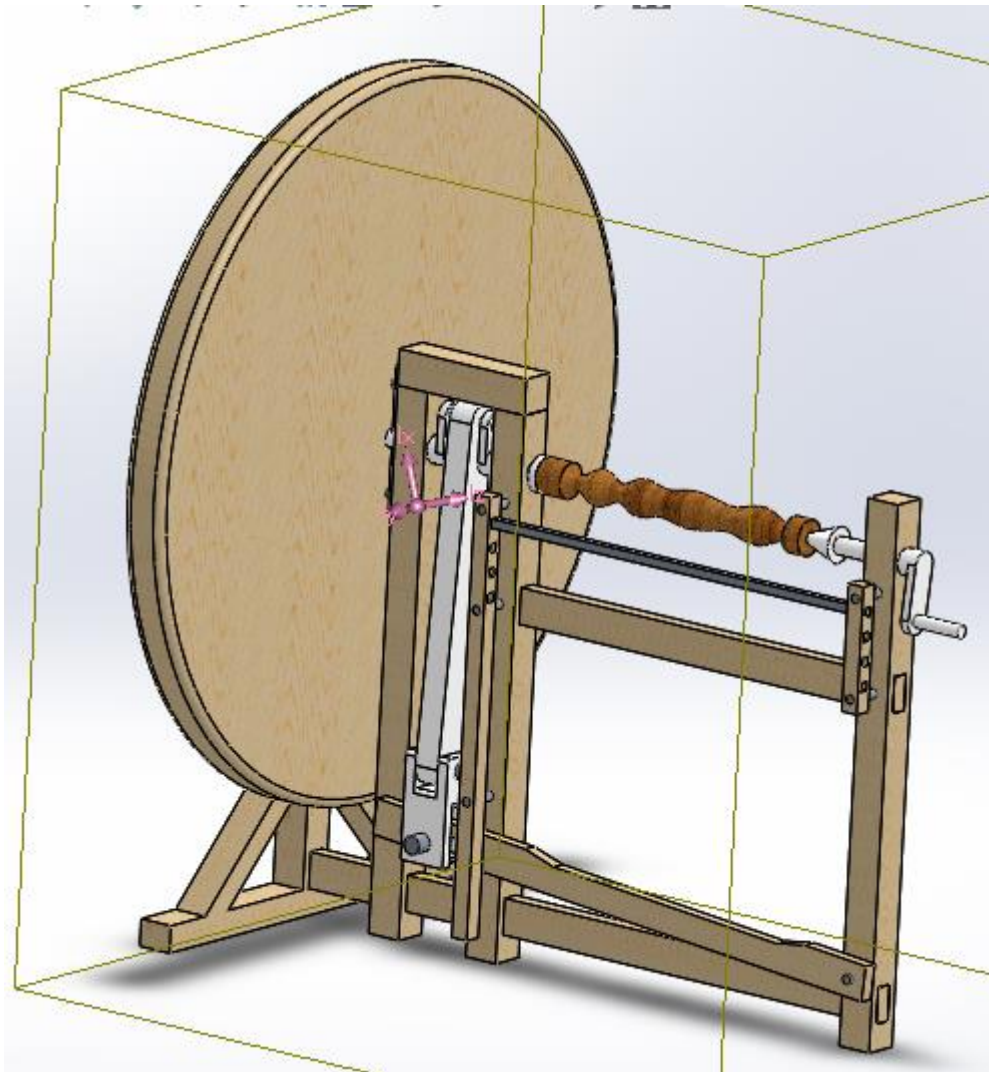


Ilustración 7.36: Representación gráfica en el ensamblaje de los ejes principales de inercia del torno calculados a partir del centro de masa. Fuente: Elaboración propia

SolidWorks nos permite también calcular parámetros mecánicos a partir del estudio de movimiento de nuestro torno. El software dispone de unos complementos los cuales a partir de ellos podemos analizar más detalladamente algunas propiedades de elementos o piezas de nuestro torno ya estén en movimiento o fijos.

A partir de uno de los complementos vamos a calcular el momento angular que realiza nuestro brazo a lo largo del tiempo.

1. Abrimos nuestro ensamblaje y en las opciones de SolidWorks escogemos la opción de complementos de SOLIDWORKS (Ilustración 7.37):

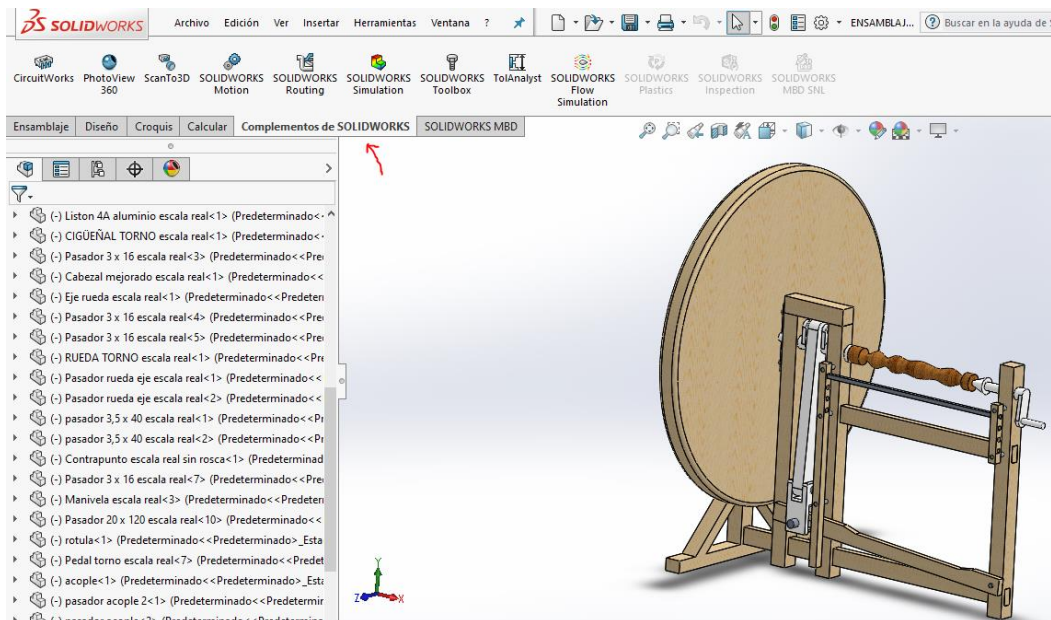


Ilustración 7.37: Imagen detallada de como abrir los complementos de SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

2. Dentro de los complementos seleccionamos la opción SOLIDWORKS Motion la cual tardará unos segundos en activarse una vez seleccionada (Ilustración 7.38):

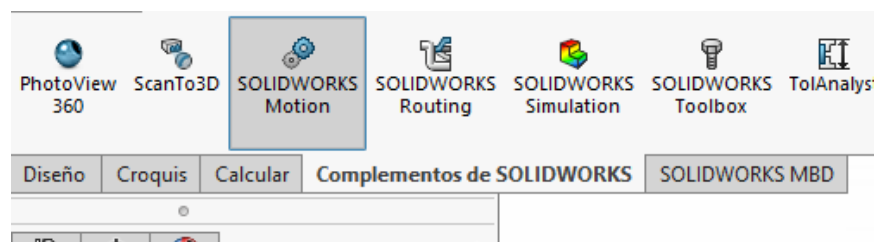


Ilustración 7.38: Imagen detallada de como abrir SOLIDWORKS Motion. Fuente: Elaboración propia

3. Una vez seleccionada dicha opción abrimos el estudio de movimiento (Ilustración 7.39):

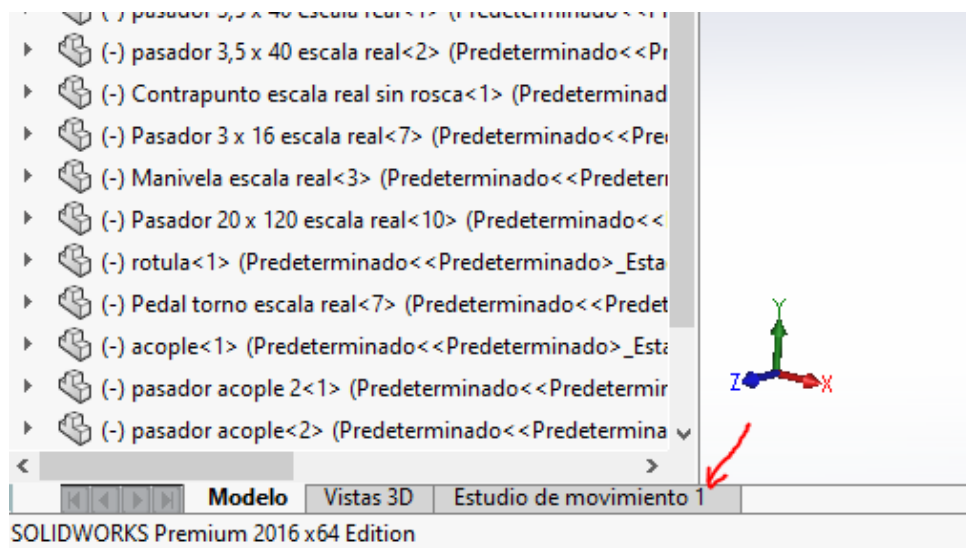


Ilustración 7.39: Imagen detallada de como abrir la opción estudio de movimiento. Fuente: Elaboración propia

4. Seleccionamos que pieza queremos que sea el motor de rotación, en nuestro caso hemos escogido el eje de la rueda y una velocidad constante de 100 RPM (Ilustración 7.40):

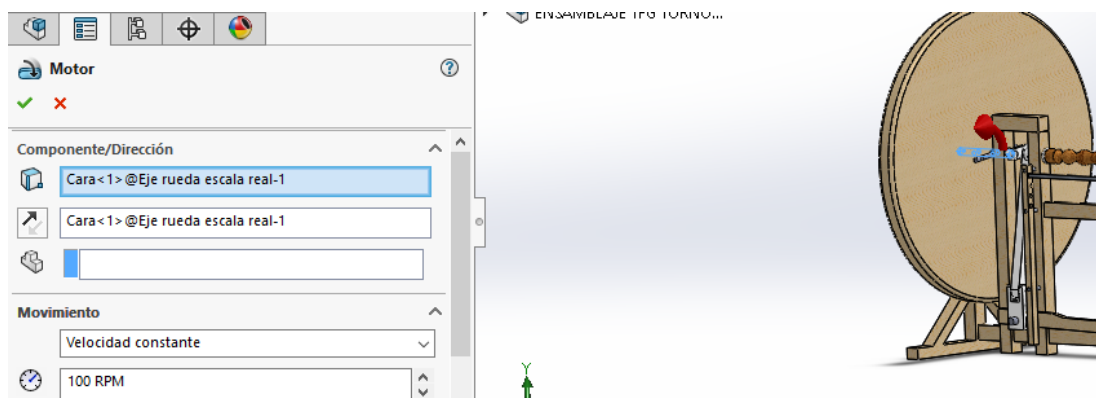
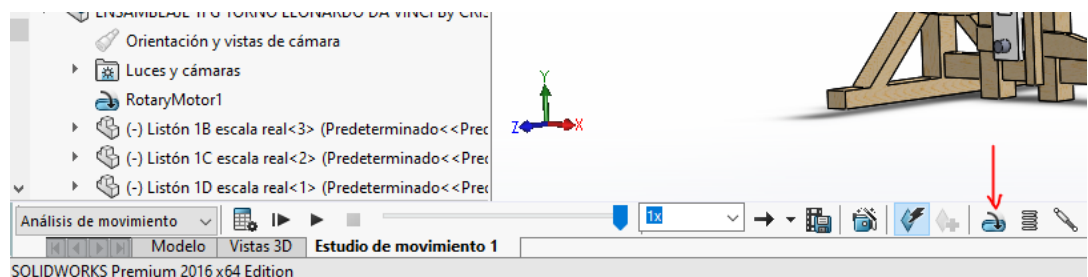


Ilustración 7.40: Imágenes detalladas de como seleccionar pieza motor y velocidad. Fuente: Elaboración propia

5. Escogemos el tiempo deseado que queremos que dure el cálculo del estudio de movimiento, en nuestro caso 8 segundos (Ilustración 7.41):

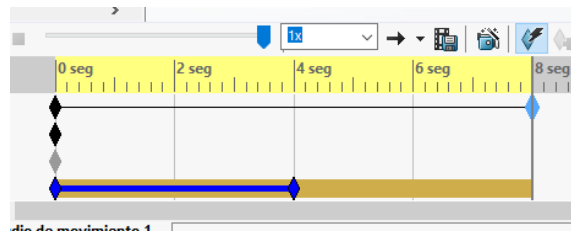


Ilustración 7.41: Imagen detallada de duración del cálculo del estudio de movimiento. Fuente: Elaboración propia

6. Una vez escogido el tiempo, seleccionamos en la opción calcular el estudio de movimiento (Ilustración 7.42):

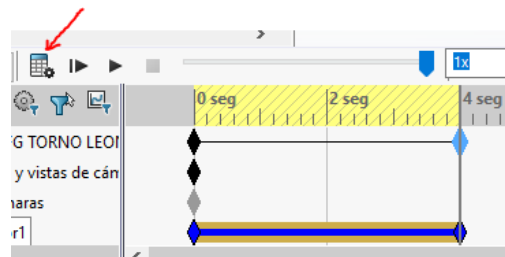


Ilustración 7.42: Imagen detallada de donde seleccionar la opción calcular. Fuente: Elaboración propia

7. Nos vamos al apartado de resultados y trazados donde seleccionamos la pieza o elemento el cual se quiere analizar y realizar el cálculo. En nuestro caso escogemos el brazo de nuestro torno (Ilustración 7.43):

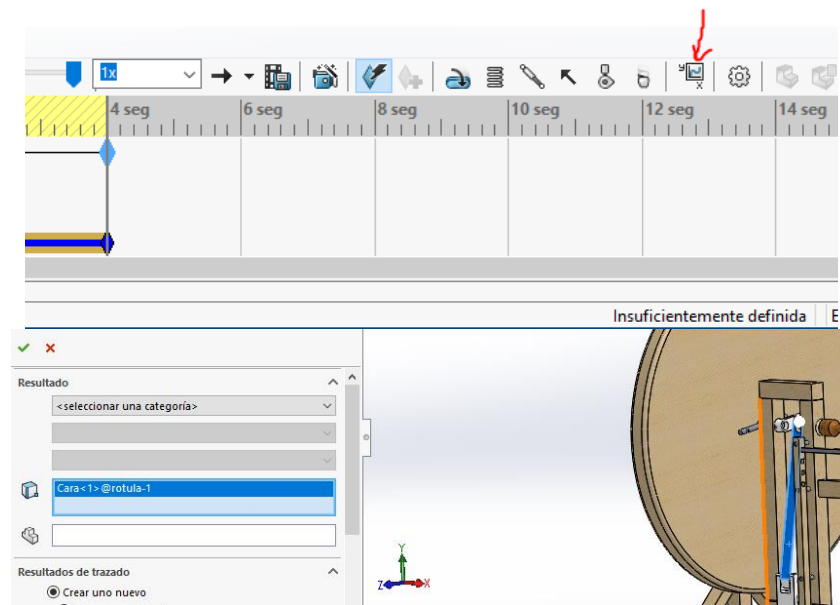


Ilustración 7.43: Imagen detallada de selección de pieza. Fuente: Elaboración propia

8. Abrimos el desplegable que hay a continuación y seleccionamos Momento/Energía/electricidad y en el siguiente desplegable seleccionamos Momento angular y seleccionamos respecto a la magnitud (Ilustración 7.44):

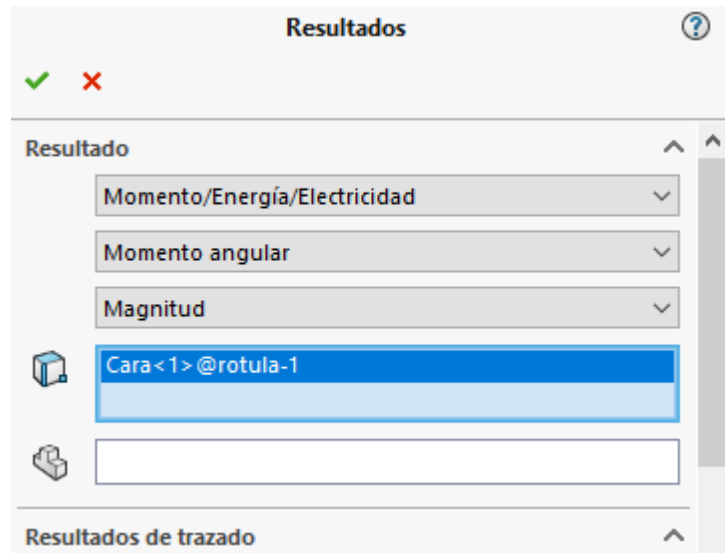


Ilustración 7.44: Imagen detallada de que opciones seleccionar para el cálculo. Fuente: Elaboración propia

9. Una vez escogidas esas opciones elegimos que nos calcule el momento angular respecto al tiempo y le damos a aceptar (Ilustración 7.45):

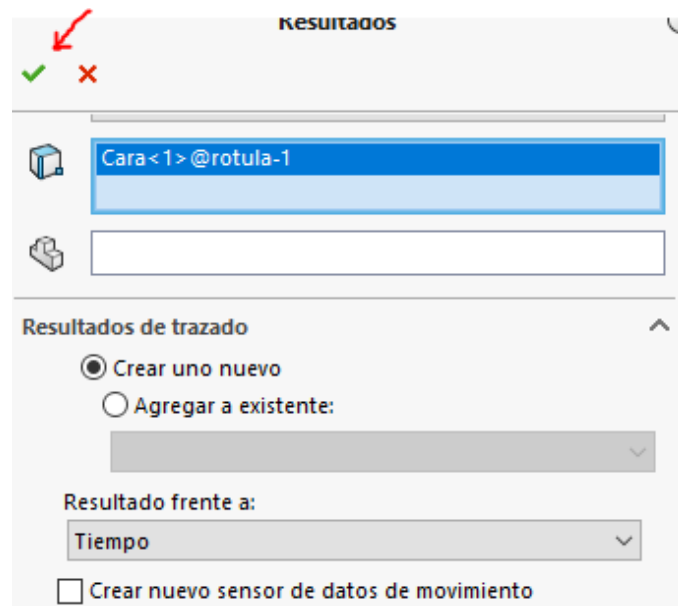
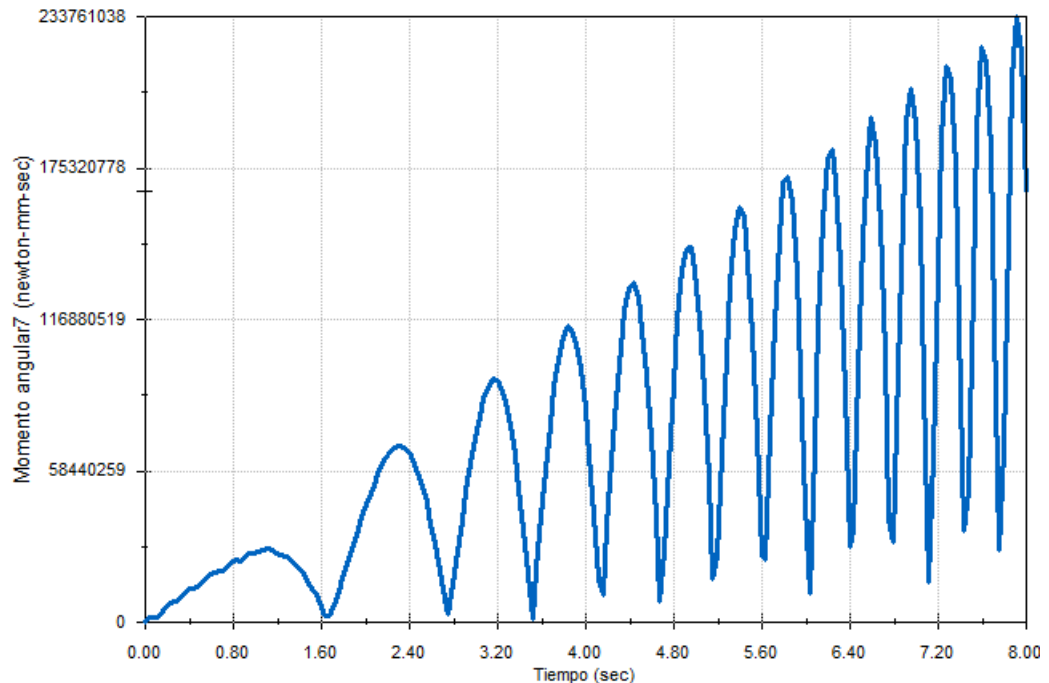


Ilustración 7.45: Imagen detallada de selección de resultado frente al tiempo y aceptar. Fuente: Elaboración propia

10. En ese mismo instante se nos abrirá una gráfica la cual muestra el momento angular respecto al tiempo, dicha gráfica es la que se muestra a continuación (Ilustración 7.45):



Gráfica 7.1: Momento angular del brazo del torno frente al tiempo. Fuente: Elaboración propia

La gráfica muestra el momento angular que el brazo del torno realiza respecto al tiempo, en concreto en 8 segundos. Podemos observar como el momento angular va aumentando con el tiempo. El tiempo lo medimos en segundos y el momento angular en newton por milímetro por segundo.

El momento angular va aumentando ya que nuestro torno necesita inercia para aumentar su velocidad. Podemos observar que nuestra gráfica muestra un movimiento oscilante y es debido a que nuestro eje esta acoplado al cigüeñal y este tiene un movimiento rotatorio y las oscilaciones representan el punto máximo y mínimo que alcanza nuestro brazo.

Como podemos observar el momento angular de nuestro brazo aumenta ya que la rueda hace que aumente la inercia y de ese modo cada giro de nuestro cigüeñal será de mayor velocidad y el momento angular irá aumentando hasta alcanzar un equilibrio y un momento angular constante debido a que el torno ya habrá alcanzado una velocidad constante.

7.7 Complicaciones y Principales Dificultades

La primera dificultad que ha surgido a la hora de desarrollar nuestro torno de Leonardo Da Vinci ha sido en el dimensionado, ya que todo se ha sacado a partir de un simple boceto el cual realizó Leonardo Da Vinci en el siglo XV.

Ha sido un desafío dimensionar el torno ya que no había ni planos antiguos ni referencias en internet, ni bibliografías para poder hallar las dimensiones. Se puede decir que el trabajo de dimensionar nuestro torno se ha realizado a ciegas, ya que a partir de un boceto y de la referencia de la estatura media de una persona adulta se ha llegado a nuestras dimensiones.

Otra de las principales complicaciones ha sido a la hora de modelar cada pieza por separado ya que sus dimensiones tenían que cuadrar y tenían luego que ensamblarse, de tal modo que se ha tenido que ir aprendiendo y evolucionando sobre la marcha.

Aunque de hecho la mayor complicación y la mayor evolución ha sido con el software SolidWorks ya que con la experiencia de alguna asignatura de la carrera no bastaba para realizar dicho modelado y más siendo de la especialidad de organización industrial. A raíz de probar y a raíz de informarse en internet ha sido posible realizar el ensamblaje y la simulación de funcionamiento.

En el ensamblaje hubo muchos problemas a la hora de realizar las relaciones de posición con cada pieza ya que no entendía lo que significaban hasta que a raíz de prueba error se empezó a evolucionar hasta la finalización de nuestro torno.

Sin duda la mayor complicación fue poner en marcha nuestro torno debido a que una vez realizado el ensamblaje se quedaba bloqueado sin movimiento. Se realizaron muchos ensamblajes de prueba y muchos funcionaban hasta que se llegaba al punto de acoplar nuestro cigüeñal con nuestro pedal entonces este se bloqueaba y se quedaba sin movimiento. Hasta que surgió la idea de la pieza llamada acople, la cual nos permitía mover todos los elementos a la vez, dando solución a nuestro gran problema del bloqueo de movimiento.

Esta parte de modelado ha sido un gran reto el cual ha servido de gran aprendizaje y de gran evolución y mejora.

8. CONSTRUCCIÓN A ESCALA DE LA MÁQUINA HERRAMIENTA

8.1 Introducción

Una vez desarrollados los planos de nuestro torno y desarrollado el modelado tanto de las piezas como del ensamblaje es el momento de realizar la construcción real a escala de nuestra máquina herramienta.

Nuestra maqueta se va a realizar del torno de Leonardo Da Vinci el cual ya tenemos sus planos y modelado 3D en escala real. En esta construcción se le va a realizar una escala a la máquina herramienta para reducir sus dimensiones y así hacer de nuestro torno un torno más representativo, el cual se puede transportar sin problema de un lugar a otro y así mostrar su funcionamiento y su diseño.

En esta construcción real a escala se van a utilizar gran variedad de materiales y gran variedad de máquinas herramientas las cuales se mostrarán más adelante.

De la misma forma, también se van a emplear distintos procesos de fabricación tanto en el montaje como en el dimensionado de cada pieza de nuestro torno.

Más adelante podremos ver cuáles son los procesos utilizados y como se han desarrollado.

8.2 Dimensionado

Para el desarrollo de nuestro torno de Leonardo Da Vinci vamos a basarnos en el boceto que Leonardo Da Vinci realizó en el siglo XV, en el cual se le han aplicado una serie de cambios como se han podido observar en los apartados anteriores.

A partir de los planos y modelado 3D de nuestro torno se le ha realizado una escala, la cual es lo suficientemente grande para observar cada componente y su funcionamiento y también poder transportar nuestro torno a cualquier lugar sin tener problema de transporte.

La escala utilizada en nuestro torno va ser escala 1:4 la cual reduce las dimensiones a una cuarta parte. A la hora de realizar nuestro dimensionado a partir de las medidas reales nos queda un torno manejable y muy práctico.

Se ha escogido esta escala ya que al reducir las dimensiones una cuarta parte las medidas de nuestro torno no son ni muy diminutas ni muy grandes.

A la hora de realizar nuestra reducción se ha realizado gracias al software SolidWorks el cual tiene una función para aplicarle la escala a cada pieza. De este modo como ya teníamos el modelado de cada pieza, solo se ha tenido que aplicar dicha operación y así poder realizar un ensamblaje y unos planos reducidos para ayudarnos a la hora del montaje y fabricación de nuestra construcción de nuestra máquina herramienta a escala.

Uno de los inconvenientes que hemos tenido a la hora de dimensionar nuestro torno son las medidas de piezas que ya eran pequeñas en la realidad, ya que al aplicarle la escala se han quedado más pequeñas aún.

De ese modo se han tenido que realizar mediante una impresora 3D ya que era una manera más precisa y cómoda de realización.

En el caso de los pasadores y taladros nos hemos tenido que ajustar a las dimensiones de cada fabricante. Y así retaladrar algunas piezas y adaptarnos a cada fabricante y realizar cada medida en función de lo que se podía comprar en las tiendas de materiales más cercanas.

De ese modo nuestro torno va a tener unas dimensiones con una escala aplicada 1:4 pero que en el caso de algunos elementos se han tenido que modificar un poco al modelado y planos del torno a escala real.

8.3 Materiales

Los materiales empleados principalmente para nuestro torno van a ser madera y PLA (ácido poliláctico).

Todos los elementos fijos van a ser de madera, algunos de madera de pino y algunos otros de madera de abeto. Nos hemos tenido que adaptar a los materiales

que teníamos a disposición en nuestro caso en Leroy Merlín según su tamaño y forma.

Los elementos móviles salvo la rueda y el pedal que serán de madera, van a ser de PLA (ácido poliláctico), que es un material utilizado para realizar piezas en impresoras 3D. Los elementos móviles se han realizado en impresión 3D ya que al ser piezas de dimensiones reducidas era más fácil y cómodo imprimirlas que realizarlas a mano en madera.

Otro material empleado será el acero el cual va ser utilizado para los pasadores ya que son más resistentes y fuertes que si se hacen en madera u otro material.

8.3.1 Propiedades de los materiales

PLA, ácido poliláctico:

El **PLA**, conocido también como ácido poliláctico (*Ilustración 8.1*). Es un material termoplástico, compostable de origen natural, alifático, obtenido por la condensación del ácido láctico y de la polimerización de la apertura del anillo.

(Ref. 029)



Ilustración 8.1: Ejemplo de filamento para impresora 3D de PLA, color blanco. Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/materiales-para-impresion-3d/8320400>

El PLA tiene buenas propiedades mecánicas, si lo comparamos con las de los materiales termoplásticos estándar. Posee baja resistencia al impacto comparada con la que tienen los materiales termoplásticos estándar. Incluso tiene:

- Dureza, resistencia al impacto, rigidez y elasticidad.
- Buena resistencia a la torsión.
- Es permanente.
- De color claro brillante.
- Es inodoro.
- Se obtiene de los recursos renovables y naturales.
- Tiene un alto módulo de flexión y transparencia.

(Ref. 029)

Propiedades físicas y mecánicas:

- Densidad 1,24 g/cm³.
- Resistencia a la tracción de 3309 MPa.
- El límite elástico es de 55 MPa.
- Resistencia a la compresión 66 MPa.
- Resistencia a la flexión de 485 MPa.
- Temperatura de deformación 55°C.
- Muy baja resistencia a la humedad.
- Elongación 3%.
- Cuenta con exactitud en el color y buena reciclabilidad.

(Ref. 029)

Propiedades térmicas:

- Punto de fusión 145°C.
- Temperatura de transición vítrea de 60°C.
- Mínima temperatura en servicio de 20°C.
- Calor específico (1,18*10³ – 1,21*10³) J/Kg*°C

Es un Buen aislante, con una máxima temperatura de servicio de 55°C y Conductividad térmica de 0,13 W/m*°C

(Ref. 029)

Abeto

La madera de abeto es una de las más utilizadas hoy en día tanto para la carpintería de interior como para la fabricación de madera o vigas laminadas. Es ligera, de color claro y de calidad aceptable (*Ilustración 8.2*).

(Ref. 030)



Ilustración 8.2: Ejemplo de madera de abeto. Fuente: <https://www.pergomadera.com/blog/madera-abetos-usos-caracteristicas/>

Características:

- Densidad: Aproximadamente 490 kg/m³. Por tanto, la madera de abeto es ligera.
- Dureza: Madera blanda, con una puntuación de 2,5 según el test de Monnin.
- Durabilidad: Clasificada como madera poco durable. Es susceptible a la acción de hongos de pudrición e insectos.
- Estabilidad Dimensional: Es una madera moderadamente estable.

(Ref. 030)

Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a la compresión: 418 kg/cm².
- Resistencia a flexión estática: 815 kg/cm².
- Módulo de elasticidad: 145.800 kg/cm².

(Ref. 030)

Pino

La madera de pino es quizás la madera más usada y conocida (*Ilustración 8.3*). Se debe a varios factores entre los destacan su abundancia, su facilidad para trabajar y versatilidad.

Presenta unos buenos índices en resistencia, contracción y flexión, e impregnabilidad. No destaca en ninguno de ellos, pero la combinación suele ser buena. (Ref. 031)

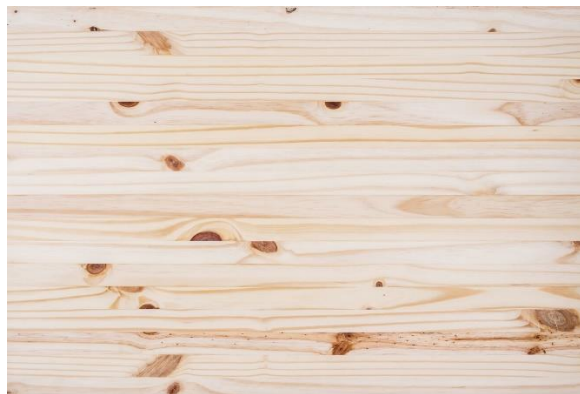


Ilustración 8.3: Ejemplo de madera de pino. Fuente: <https://www.demadera.info/madera-pino-propiedades-diferentes-usos/>

Características:

- Densidad: Aproximadamente 500 kg/m³ al 12% de humedad. Madera entre ligera y semipesada.
- Dureza (Monnin): 1,8 – 2,1 madera blanda.
- Durabilidad: Sensible al ataque de hongos e insectos.
- Estabilidad Dimensional: Coeficiente de contracción volumétrico: 0,44%
madera medianamente nerviosa (Ref. 031)

Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a la compresión: 434 kg/cm²
- Resistencia a flexión estática: 874 kg/cm²
- Módulo de elasticidad: 90.000 kg/cm²

(Ref. 031)

8.4 Máquinas Herramientas utilizadas

A la hora de realizar la construcción de nuestro torno se han utilizado las siguientes máquinas herramientas:

- **Taladro de columna:** Para realizar el taladrado de las piezas.



Ilustración 8.4: Taladro de columna. Fuente: Elaboración propia

- **Sierra ingletadora:** Para el corte de las piezas de madera.



Ilustración 8.5: Sierra ingletadora. Fuente: Elaboración propia

- **Cepillo eléctrico:** Para cepillar algunos elementos con sobrante.



Ilustración 8.6: Cepillo eléctrico. Fuente: Elaboración propia

- **Taladro manual:** Para el taladrado y atornillado de algunos elementos.



Ilustración 8.7: Taladro manual. Fuente: Elaboración propia

- **Fresadora manual:** Para realizar el corte de nuestra rueda.



Ilustración 8.8: Fresadora manual. Fuente: Elaboración propia

- **Fresadora Tupí:** Para el redondeo de nuestra rueda.



Ilustración 8.9: Fresadora Tupí. Fuente: Elaboración propia

- **Amoladora de banco:** Para eliminar el excedente de alguna pieza.



Ilustración 8.10: Amoladora de banco. Fuente: Elaboración propia

- **Sierra radial:** Para realizar el corte de elementos metálicos.



Ilustración 8.11: Sierra radial. Fuente: Elaboración propia

- **Pistola de clavos neumática:** Para realizar la unión de piezas.



Ilustración 8.12: Pistola de clavos neumática. Fuente: Elaboración propia

- **Lijadora:** Para lijar y redondear nuestras piezas de madera.



Ilustración 8.13: Lijadora. Fuente: Elaboración propia

- **Prensa de banco, Terraaja y machos de roscar:** Para realizar machos.



Ilustración 8.14: Prensa de banco, terraaja y machos de roscar. Fuente: Elaboración propia

- **Impresora 3D:** Para la impresión de piezas cuyo tamaño era demasiado pequeño para realizarlo en madera.



Ilustración 8.15: Impresora 3D. Fuente: Elaboración propia

- **Máquina de corte láser:** Para realizar el grabado de la cara de Leonardo Da Vinci en nuestra rueda y el corte y grabado de nuestra placa.



Ilustración 8.16: Máquina de corte láser. Fuente: Elaboración propia

8.5 Procesos de fabricación utilizados

Mediante las máquinas herramientas utilizadas y nombradas anteriormente se han realizado los siguientes procesos de fabricación:

- **Taladrado:** se han realizado múltiples procesos de taladrado, tanto para introducir el eje de nuestro torno como para la unión de piezas mediante tornillos prisioneros y pasadores. También se han tenido que retaladrar algunas piezas impresas en 3D debido a que una vez impresas, el PLA se contrae un poco.



Ilustración 8.17: Taladrado de piezas de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Corte mediante disco:** se ha realizado corte de madera mediante la ingletadora y corte de metal mediante la radial.



Ilustración 8.18: Corte mediante radial del eje. Fuente: Elaboración propia

- **Fresado:** mediante la fresadora manual se ha podido hacer un fresado sobre nuestra rueda y así conseguir la forma deseada mediante ranurado.



Ilustración 8.19: Fresado de rueda de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Espigado:** este proceso de fabricación se ha utilizado para realizar la unión entre nuestras piezas de madera.

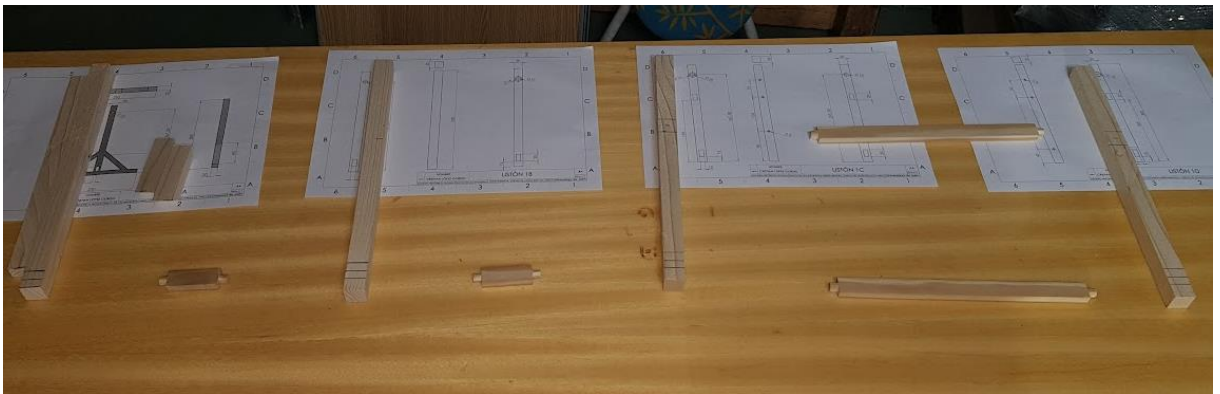


Ilustración 8.20: Imagen donde se pueden ver las piezas espigadas para la unión de los elementos de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Cepillado:** se ha realizado un cepillado a nuestro pedal mediante el cepillo eléctrico para rebajar el espesor y así poder insertarlo en nuestro torno.
- **Punteado:** para el taladrado del eje de nuestro torno previamente se ha tenido que puntear con una broca de centrar para que nuestra broca no deslizará.

- **Roscado:** mediante la ayuda de terrajas y machos de roscar se ha conseguido el roscado de algunos elementos de nuestro torno.



Ilustración 8.21: Roscado de eje de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Lijado:** se ha utilizado una lijadora para quitar la rebaba de la madera y así pulir las piezas para no tener los filos vivos.



Ilustración 8.22: Lijado de pedal de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Amolado:** mediante la amoladora de banco se han rebajado algunas piezas las cuales había que quitarle espesor. Se ha utilizado sobre todo para los elementos metálicos como pasadores y el eje.



Ilustración 8.23: Amolado de eje de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Prensado:** A la hora del taladrado ha sido necesaria la ayuda de una prensa de tornillo para poder sujetar bien las piezas. Y también se han utilizado sargentos de apriete para evitar las vibraciones en algunas operaciones.
- **Impresión 3D mediante PLA:** mediante una impresora 3D se han impreso algunas piezas las cuales se han modelado en SolidWorks.

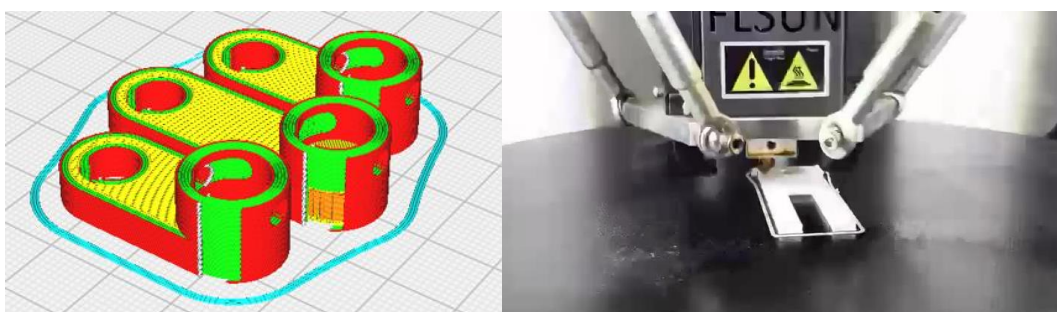


Ilustración 8.24: Imagen detallada de piezas de nuestro torno en el programa de la impresora 3D y impresora de 3D imprimiendo la pieza acople de nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

- **Corte mediante láser:** se ha utilizado para el corte de la placa de nuestro torno.



Ilustración 8.25: Placa de nuestro torno realizada mediante corte por láser. Fuente: Elaboración propia

- **Grabado mediante láser:** en nuestra rueda va a ir grabada la cara de Leonardo Da Vinci en la cual mediante la máquina de láser se va a poder grabar dicha imagen.



Ilustración 8.26: Grabado de cara de Leonardo Da Vinci en la rueda de nuestro torno mediante máquina de láser. Fuente: Elaboración propia

8.6 Proceso de Construcción del Torno de Leonardo Da Vinci Paso a Paso

El primer paso fue el diseño de las piezas las cuales iban a ser impresas en la impresora 3D utilizando PLA. Se realizó el diseño en SolidWorks para posteriormente pasar las piezas al programa de la impresora 3D.

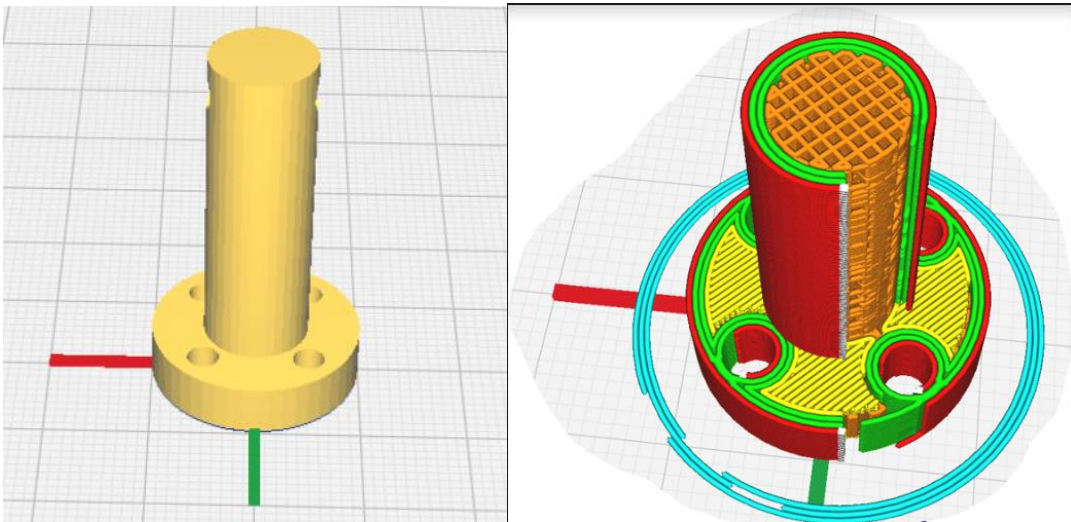


Ilustración 8.27: Diseño y modelado de piezas para impresión 3D en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el modelado de las piezas, se ajustó la impresora para empezar a imprimir las piezas en 3D con PLA. Realizando con dicha impresora, el contrapunto, el acople, el brazo, el cigüeñal, el cabezal, la manivela y el eje.

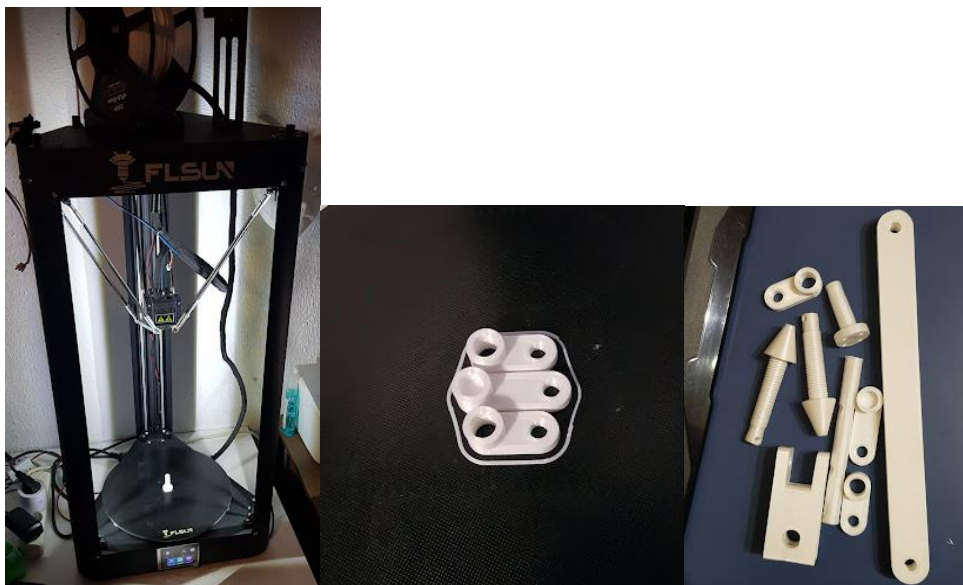


Ilustración 8.28: Impresión de las piezas en impresora 3D mediante PLA. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó la compra de nuestros materiales los cuales iban a ser de madera de pino y de abeto y elementos metálicos como los cojinetes de fricción los cuales compramos tubo de cobre o los pasadores los cuales se compraron varillas de distintos diámetros. La compra fue realizada en Leroy Merlín y nos tuvimos que adaptar a sus medias y referencias a la hora de comprar nuestro material necesario para la construcción de nuestro torno



Ilustración 8.29: Compra del material en Leroy Merlín. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la compra llegaba el momento del montaje de nuestro torno en el cual tuvimos que preparar planos y organizarnos el montaje de nuestro proyecto.

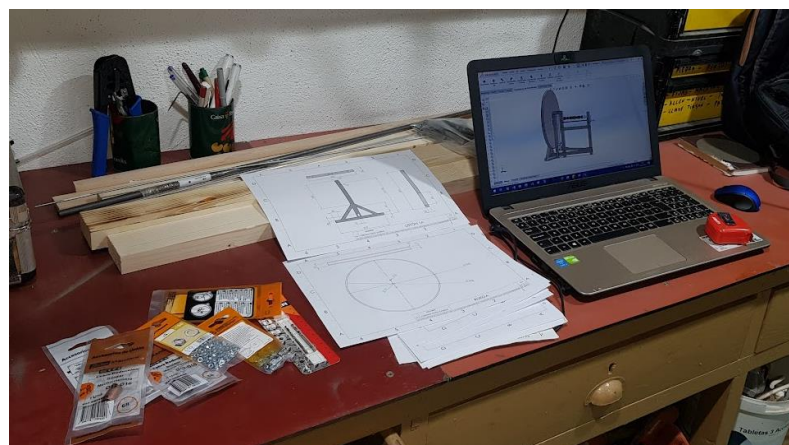


Ilustración 8.30: Planos y preparación del montaje. Fuente: Elaboración propia

El proceso de construcción empezó por la rueda ya que era el elemento más característico de nuestra máquina herramienta y la cual tenía mayores dimensiones al resto de elementos. Mediante la fresadora manual se pudo realizar un corte circular de la rueda mediante el ranurado de la madera y gracias a que esta máquina disponía de un complemento para hacer radios.

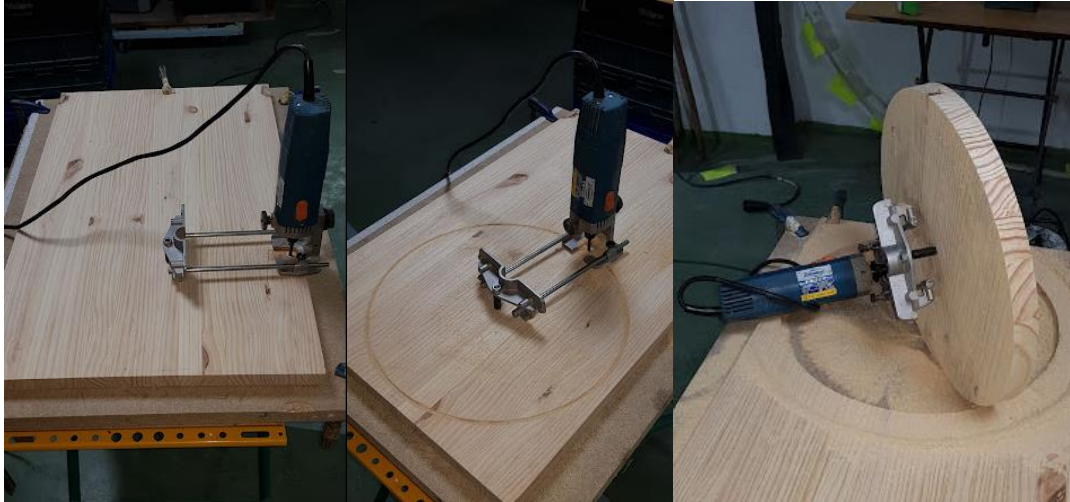


Ilustración 8.31: Proceso de fresado de la rueda. Fuente: Elaboración propia

Una vez cortada nuestra rueda, se le hizo un redondeo del canto mediante la fresadora tupí, ya que tenía el canto demasiado vivo.



Ilustración 8.32: Redondeo de nuestra rueda. Fuente: Elaboración propia

Una vez terminada nuestra rueda era el momento de cortar a medida nuestros listones de madera los cuales formarían la estructura de nuestro torno. El corte se realizó mediante la sierra ingletadora.



Ilustración 8.33: Corte de listones mediante sierra ingletadora. Fuente: Elaboración propia

Después de tener todos nuestros listones cortados a medida era el momento de aplicarles el espigado a los listones horizontales. De tal modo que se podían unir los listones verticales mediante el espigado de los listones horizontales. El espigado consiste en hacer un encaste en los extremos de la madera la cual al introducir cada uno de sus extremos en un orificio encolado de dos piezas de madera permite unir éstas de manera efectiva y resistente.

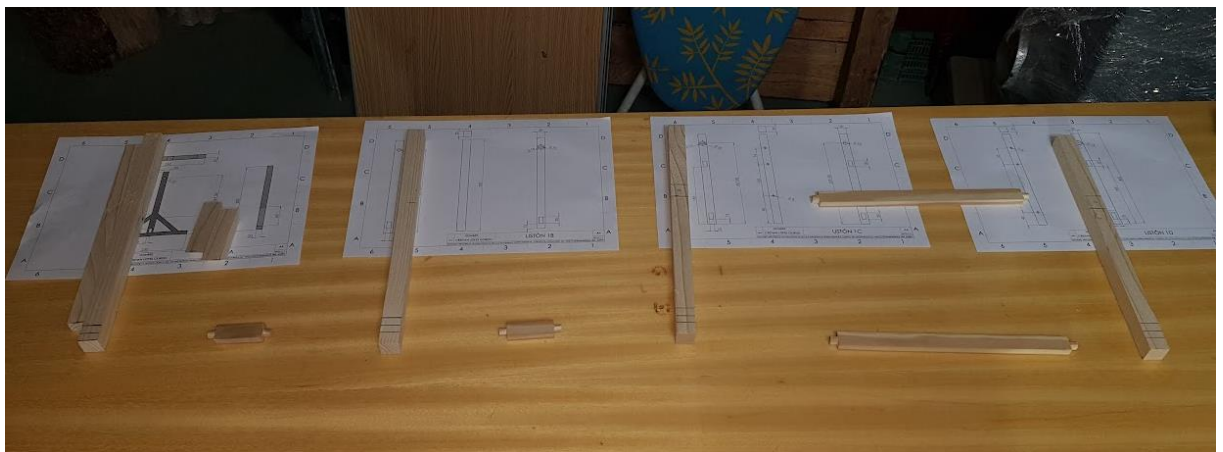


Ilustración 8.34: Preparación de la unión de los listones mediante espigado. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el espigado a nuestro listones horizontales era el momento de realizar una operación muy importante la cual era realizar el taladrado a nuestro listones verticales por los cuales pasaría nuestro eje y permitiría el giro de rotación de nuestro torno.



Ilustración 8.35: Taladrado de los listones. Fuente: Elaboración propia

Tuvimos un inconveniente y fue que a la hora de probar a introducir nuestro eje de PLA, este se partió debido a que no era lo suficientemente resistente. La rotura fue debida a que introducimos en el eje los cojinetes de fricción los cuales provocaron la rotura de nuestro eje al intentar pasar los cojinetes por nuestro eje.

De tal modo que tuvimos que realizar nuestro eje en vez de PLA de acero para así tener un eje más resistente. El eje se cortó mediante una sierra radial y se utilizó una varilla de acero de 10 mm de diámetro.



Ilustración 8.36: Rotura del eje de PLA y construcción del nuevo eje en acero. Fuente: Elaboración propia

En nuestro listón vertical en el cual va introducido el contrapunto se le realizó una rosca con un macho de métrica 12 con paso 1,5 en el cual iría roscado nuestro contrapunto de PLA.



Ilustración 8.37: Roscado del listón del contrapunto. Fuente: Elaboración propia

En el caso de los otros 3 listones verticales se introdujo un cojinete de fricción en cada listón para que así nuestro torno girase perfectamente. Los cojinetes de fricción se realizaron utilizando un tubo de cobre de 12 mm de diámetro en el cual iría en su interior el eje de acero de 10 mm de diámetro.

Los cojinetes se tuvieron que retaladrar ya que nuestro eje no entraba con holgura y por tanto no podría girar. Tuvimos problemas al retaladrarlos debido a que se calentaba la broca y el cojinete, al calentarse giraba dentro del listón.



Ilustración 8.38: Introducción y retaladrado de los cojinetes en los listones. Fuente: Elaboración propia

A raíz de varios intentos se pudieron retaladrar bien los cojinetes pudiendo introducir nuestro eje con la holgura suficiente para que este girase notablemente.



Ilustración 8.39: Introducción del eje en los listones. Fuente: Elaboración propia

Una vez probado que nuestro eje entrase en los listones correctamente, llegaba el momento de probar nuestro eje introduciéndolo en el cigüeñal. Y probando también que nuestro cabezal entrase perfectamente en nuestro listón en el cual se le había introducido un cojinete.



Ilustración 8.40: Prueba del eje con el cigüeñal y el cabezal con el listón. Fuente: Elaboración propia

Una vez comprobadas nuestras piezas, fuimos a realizar el grabado de la cara de Leonardo Da Vinci en nuestra rueda. Dicho grabado se realizó gracias a una máquina de láser la cual mediante el software incorporado en dicha máquina permitía el grabado de la imagen del retrato de Leonardo Da Vinci.

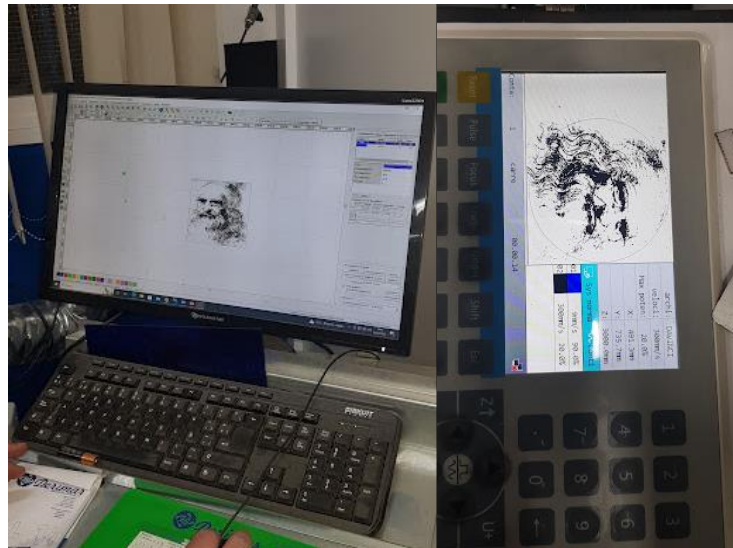


Ilustración 8.41: Software máquina de láser para introducir retrato. Fuente: Elaboración propia

Primero se realizó una prueba en un trozo de madera para así poder ajustar la máquina en buenas condiciones y realizar un grabado perfecto de dicho retrato. Una vez realizada la comprobación se realizó el grabado en nuestra rueda.



Ilustración 8.42: Grabado del retrato de Leonardo Da Vinci en nuestra rueda. Fuente: Elaboración propia

Mientras se realizaba el grabado en nuestra rueda, llegaba el momento de realizar la placa de acero inoxidable en la cual se incorporaría el título del trabajo, el autor, fecha y nombre de la universidad.



Ilustración 8.43: Placa de acero inoxidable del trabajo de fin de grado. Fuente: Elaboración propia

Volvemos a la construcción de nuestro torno, en el cual se va a realizar un roscado en un extremo del eje y un taladrado con su macho en el otro extremo para realizar un tornillo prisionero y así poder unir nuestro eje con nuestro cigüeñal.



Ilustración 8.44: Taladrado y realización de roscado en eje. Fuente: Elaboración propia

Ahora, llegaba el momento de empezar a probar y ajustar nuestras piezas para empezar con el montaje de la estructura de nuestro torno con todos los elementos.

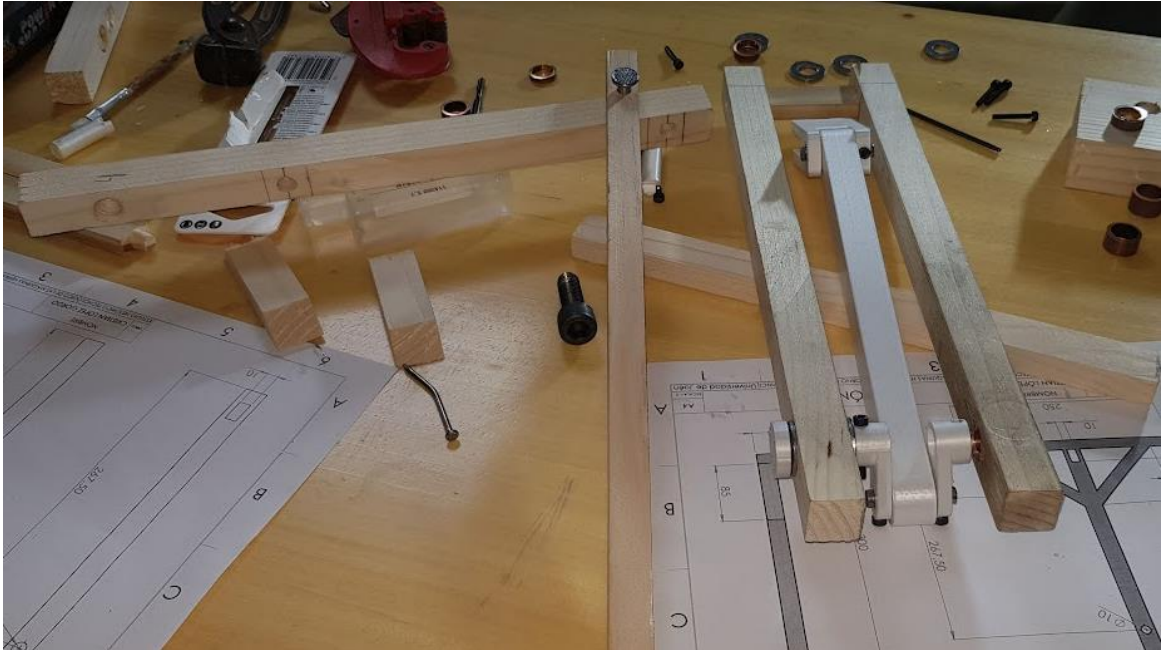


Ilustración 8.45: Prueba de comprobación de piezas. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la comprobación de todos los elementos, se empezaron a lijar todas las piezas de madera con la lijadora para pulirlas y así mejorar su calidad.

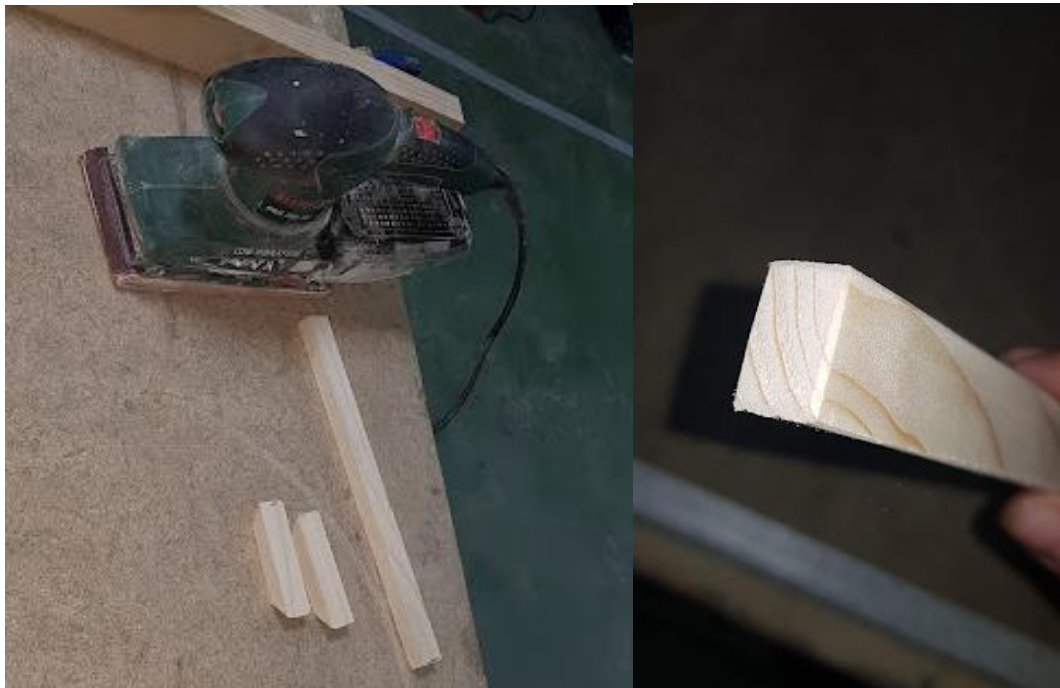


Ilustración 8.46: Lijado de listones de madera. Fuente: Elaboración propia

Una vez lijadas las piezas de madera, se empezó con el montaje. La unión se realizó utilizando cola y puntas con el uso de pistola neumática.



Ilustración 8.47: Montaje de listón 1A del torno. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.48: Montaje de estructura del torno. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.49: Encolado y apuntalado de la estructura. Fuente: Elaboración propia

Otro paso del montaje era introducir nuestro eje en nuestra rueda el cual debía de entrar a presión ya que debía de transmitir el movimiento de la rueda al eje y al conjunto de piezas. Mediante una maza se pudo introducir el eje el cual tuvimos que centrarlo para que quedase simétrico de ambos lados.



Ilustración 8.50: Introducción del eje en la rueda mediante maza. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.51: Eje ajustado en rueda. Fuente: Elaboración propia

Una vez introducimos el eje en nuestra rueda llegaba el momento de incorporarla al torno.

El eje va introducido en nuestros listones verticales, en un extremo, está unido a nuestro cigüeñal mediante un tornillo pasador y en el otro extremo se le hizo una rosca al eje para ponerle una falsa tuerca y así nuestro eje quedaba en su posición correcta en el cual solo podía moverse realizando un movimiento de rotación.

Después llegó el momento de incorporar el cigüeñal el cual ya lo montamos junto a su brazo, el cual mediante un pasador permitía unir ambos componentes de nuestro torno. Para dicha unión se utilizaron tornillos prisioneros de tal modo que el pasador queda fijo, aunque permitiendo el movimiento del brazo y la rotación del cigüeñal.



Ilustración 8.52: Montaje del cigüeñal y rueda en la estructura del torno. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, también incorporamos nuestro cabezal el cual estaba unido al cigüeñal por medio de otro tornillo pasador.



Ilustración 8.53: Montaje del cabezal. Fuente: Elaboración propia

Una vez montado el cabezal y los demás listones llegaba el momento de introducir nuestro contrapunto el cual se hizo con rosca para así poder apretar nuestra pieza a tornear.



Ilustración 8.54: Montaje del contrapunto roscado. Fuente: Elaboración propia

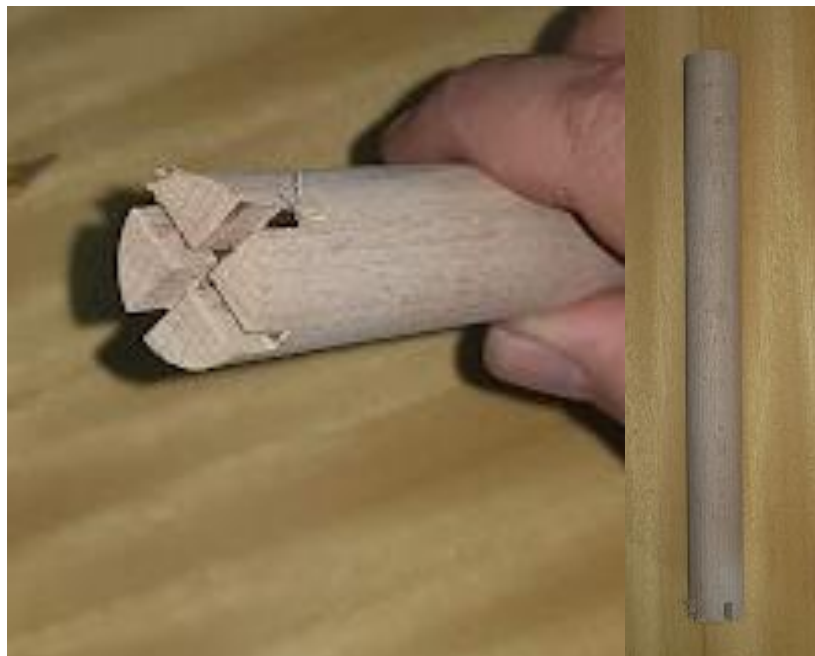


Ilustración 8.55: Pieza a tornear la cual va introducida en el cabezal y apretada por el contrapunto. Fuente: Elaboración propia

Nuestro torno ya estaba casi montado, pero faltaba el montaje de una de las piezas más importantes, el pedal. Con el cual se le puede aplicar velocidad a nuestro torno y realizar un movimiento continuo a la hora de tornear.

Dicho pedal está unido a nuestro brazo por medio de la pieza llamada, acople la cual permite el movimiento simultáneo de la rueda, el cigüeñal y el pedal. El acople es una pieza crucial en nuestro torno ya que, si no la tuviésemos, nuestro torno se bloquearía y no tendría movimiento.



Ilustración 8.56: Montaje de pedal y montaje del acople. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.57: Pedal cepillado y terminado. Fuente: Elaboración propia

Nuestro pedal está unido al acople por medio de un pasador, y el acople está unido a nuestro brazo mediante otro pasador el cual esta apretado por un tornillo prisionero, aunque dejando holgura para que nuestro brazo se mueva.



Ilustración 8.58: Pedal unido al acople mediante pasador. Fuente: Elaboración propia

Una vez montado todo el torno, llegaba el momento de probarlo. Nuestro torno funcionaba bien, pero nos dimos cuenta de que la pieza llamada acople rozaba con el listón inferior horizontal.



Ilustración 8.598: Imagen del roce del acople con el listón inferior. Fuente: Elaboración propia

Ese roce podría provocar la rotura de alguna pieza con lo cual se le pusieron unos topes de madera para que así nuestro pedal rozase sobre dichos topes y evitasen que nuestro acople se engancharse.



Ilustración 8.60: Imagen de los topes que evitan el roce. Fuente: Elaboración propia

Por último, llegaba el momento de incorporar los listones por los cuales atraviesa una barra de aluminio cuya función es para apoyar la herramienta de torneado a la hora de tornear alguna pieza.



Ilustración 8.61: Montaje Barra de aluminio soporte herramienta. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.62: Imagen de nuestro torno acabado de montar. Fuente: Elaboración propia

Una vez acabado nuestro torno llegaba el momento de realizar una base en la cual poder transportar el torno con más facilidad.

Por ese motivo se utilizó un tablón de madera el cual se le aplicó un redondeo y en el cual se fijó al torno.

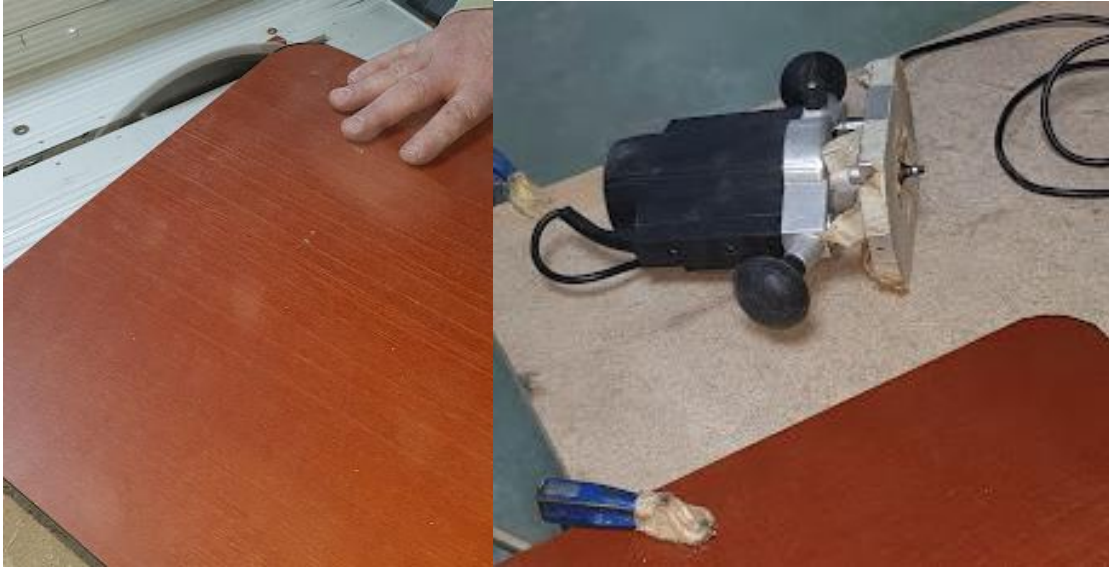


Ilustración 8.63: Redondeo de la base del torno. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.64: Taladrado de base donde irá fijado nuestro torno. Fuente: Elaboración propia

Para darle un toque más estético a nuestra rueda se le aplicó un tintado y un barnizado para posteriormente aplicar un lijado y así poder ver el retrato de Leonardo Da Vinci en nuestra rueda más claramente y con mayor calidad.



Ilustración 8.65: Tintado de nuestra rueda. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 8.66: Barnizado y lijado final de nuestra rueda con el retrato de Leonardo Da Vinci. Fuente: Elaboración propia

El último paso era pegar nuestra placa de acero inoxidable con la cual nuestro torno de Leonardo Da Vinci quedaba finalizado.



Ilustración 8.67: Torno de Leonardo Da Vinci finalizado. Fuente: Elaboración propia

8.7 Complicaciones y Principales Dificultades

Durante el proceso de construcción de nuestro torno han surgido una serie de complicaciones y dificultades las cuales se ha tenido que buscar soluciones y realizar cambios en el modelo.

El primero problema que tuvimos fue a la hora de realizar la compra debido a que nos tuvimos que ajustar a las medidas del fabricante y adaptar nuestras piezas a dichas dimensiones.

Una complicación que tuvimos fue la rotura de nuestro eje de PLA el cual mientras probamos de introducirlo en el cojinete de fricción, este se nos quedó en las manos. De tal modo que tuvimos que buscar una solución y realizamos otro eje

más resistente, en nuestro caso se realizó de acero mediante una varilla de 10 mm de diámetro.

Otro momento complicado fue el momento del retaladrado de los cojinetes debido a que nuestro eje no entraba holguero. A la hora de retaladrar, nuestra broca se calentaba y de ese modo calentaba el cojinete y este nos patinaba. A raíz de probar y esperar a que el cojinete se enfriara se pudieron retaladrar, aunque con dificultades.

La mayor dificultad fue ajustar nuestro cigüeñal debido a que este, tenía que estar perfectamente colocado para que así el movimiento fuese limpio y fluido. Los pasadores tenían que estar perfectamente alineados y paralelos ya que, si estaban descuadrados, el cigüeñal no giraba por igual o una parte giraba más que otra y nuestro cigüeñal no giraba simultáneamente.

También se le tuvo que aplicar un cambio a nuestro torno y le tuvimos que poner unos topes de madera debido a que nuestra pieza acople tocaba con el listón inferior, de tal modo que en algún movimiento el acople se podía enganchar al listón y partir alguna pieza. Gracias a los topes, nuestro pedal rozaba contra los topes impidiendo que el acople se enganchara con el listón inferior.

9. CONCLUSIONES

Como conclusiones, este trabajo de fin de grado ha sido un gran reto y un gran desafío. Me ha servido para poder aprender la historia y evolución de las máquinas herramientas desde tiempos prehistóricos hasta la actualidad. Se ha podido investigar sobre las diferentes máquinas herramientas de cada época las cuales, según los hechos históricos, el ser humano se iba adaptando y evolucionando mediante la tecnología y el desarrollo intelectual.

En el caso histórico se ha podido aprender de la evolución de las máquinas herramientas más importantes como son el torno, las fresadoras, el taladro etc., desde las primeras que surgieron hasta la actualidad. Han aparecido muchos inventores y muchos ingenieros de la época los cuales desarrollaban su intelecto y su desarrollo intelectual y hacían evolucionar dichas máquinas herramientas.

En el caso de la parte tecnológica este trabajo me ha servido de gran aprendizaje y ha sido todo un reto. A partir del estudio de una máquina herramienta antigua concreta se ha podido realizar su análisis, su modelado y su construcción real a escala.

Mediante este trabajo de fin de grado he aprendido a modelar piezas en 3D las cuales no sabría hacer hace unos años. También he aprendido a ensamblar dichas piezas sin gran experiencia en el dibujo en ordenador en 3D y he tenido que aprender sobre la marcha del software SolidWorks el cual a partir de prueba y error y tiempo dedicado al trabajo he podido sacar los planos, el modelado y el ensamblaje de nuestro torno de Leonardo Da Vinci. He aprendido también sobre los complementos de SolidWorks los cuales me han permitido realizar la simulación de funcionamiento y el análisis mecánico de nuestro torno.

La parte experimental ha sido un desafío ya que todas las piezas y todo nuestro torno se ha hecho a partir de un boceto de Leonardo Da Vinci del siglo XV. A partir de la estatura media de una persona se han podido sacar las dimensiones de algunas piezas y se han tenido que cuadrar para que todas se pudiesen ensamblar correctamente. La metodología utilizada durante el diseño y la construcción se ha basado en la ingeniería inversa, que consiste en observar proyectos o dibujos ya hechos y descubrir cómo funcionan e intentar reproducirlos y mejorarlos e ir aprendiendo a la vez que se va haciendo.

El montaje del torno real a escala me ha servido de gran aprendizaje a la hora de organizar las tareas y a la hora de organizar el montaje mediante los planos. También me ha servido para aprender procesos de fabricación y aplicarlos en nuestro modelo y saber el funcionamiento de muchas máquinas herramientas las cuales se han utilizado en la construcción real a escala.

Por último, estos años de carrera me han servido para poder afrontar este desafío y gracias a los conocimientos aprendidos en el grado he podido enfrentarme a los problemas y dificultades a lo largo del transcurso del trabajo y he podido aprender de esos problemas y dificultades para sacar soluciones y buenos resultados.

10. BIBLIOGRAFÍA

- *Ref. 001:* Luis Schvab. **Máquinas y herramientas capítulos 1,2,3 y 4. Guía didáctica.** Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires (2011). Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007249.pdf>
- *Ref. 002:* Patxi Aldabaldetrecu, **Museo de la Máquina-Herramienta.** MAQUINARIA MADRID, S.A. (2018) Disponible en: <https://docplayer.es/50919851-Museo-de-la-maquina-herramienta.html>
- *Ref. 003:* **Procesos de mecanizado por arranque de viruta. Las máquinas-herramienta.** Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DPMC M01_Contenidos/website_12_las_mquinas__herramienta.html
- *Ref. 004:* **Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica.** Interempresas.net (2002). Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>
- *Ref. 005:* **Máquinas herramientas.** almadeherrero.blogspot.com (2011). Disponible en: <http://almadeherrero.blogspot.com/2011/04/maquinas-herramientas.html>
- *Ref. 006:* **TORNO.** AREATECNOLOGIA.COM. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/herramientas/torno.html>
- *Ref. 007:* **EL TALADRO.** AREATECNOLOGIA.COM. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/herramientas/el-taladro.html>
- *Ref. 008:* **FRESADORA.** AREATECNOLOGIA.COM. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/herramientas/fresadora.html>
- *Ref. 009:* **¿Qué es un taladro de banco? Una guía para conocerlo bien.** Demaquinasyherramientas.com (2018). Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/taladro-de-banco-introduccion>
- *Ref. 010:* **Tornos a partir de 1950.** Monografías.com (2018). Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos68/tornos/tornos>

- *Ref. 011: Rectificar siempre ha sido de sabios.* Interempresas.net (2003). Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8545-Rectificar-siempre-ha-sido-de-sabios.html>
- *Ref. 012: Taladro de accionamiento manual.* Almadeherrero.blogspot.com (2010). Disponible en: <http://almadeherrero.blogspot.com/2010/10/taladro-de-accionamiento-manual.html>
- *Ref. 013: Evolución del taladro.* Recuperaciontecnologiacruzian.blogspot.com (2011). Disponible en: <http://recuperaciontecnologiacruzian.blogspot.com/2011/11/la-evolucion-del-taladro-herramienta.html>
- *Ref. 014: Elgoibar-Museo de la máquina-herramienta.* Fernando Ezquerro (2022). Disponible en: <https://www.ezquerro.eu/museo-maquina-herramienta/>
- *Ref. 015: Historia y evolución del CNC.* Timetoast.com. Disponible en: <https://www.timetoast.com/timelines/historia-y-evolucion-del-cnc>
- *Ref. 016: Dos siglos de fresadoras.* Albert Esteves (2003) Interempresas.net. Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12066-Dos-siglos-de-fresadoras.html>
- *Ref. 017: Máquinas y herramientas. El origen de las herramientas.* Clubensayos.com (2017). Disponible en: <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Maquinas-y-herramientas-El-origen-de-las-herramientas/4193126.html>
- *Ref. 018: Clasificación de las máquinas-herramientas.* Sites.google.com. Disponible en: <https://sites.google.com/site/fjif9m/clasificacion-de-las-maquinas-herramientas-1>
- *Ref. 019: Que es maquinas herramientas?* Sites.google.com. Disponible en: <https://sites.google.com/site/slraf9m/que-es-maquinas-herramientas>
- *Ref. 020: Máquinas herramienta: la madre de las máquinas.* Daneel-mechatronics.com (2022). Disponible en : <https://daneel-mechatronics.com/blog/sector-maquina-herramienta/>
- *Ref. 021: Como funciona una fresadora.* Como-funciona.co (2020). Disponible en: <https://como-funciona.co/una-fresadora/#:~:text=Movimiento%20longitudinal%3A%20Es%20el%20movimiento,movimiento%20seg%C3%BAn%20el%20eje%20z.>

- *Ref. 022: Máquinas y herramientas línea del tiempo.* Carlos Bueno (2014). Prezi.com. Disponible en: <https://prezi.com/fj5lpn1455uh/maquinas-y-herramientas-linea-de-tiempo/>
- *Ref. 023: LINEA DEL TIEMPO MAQUINAS Y HERRAMIENTAS.* Johanna Suarez Veloza (2019). Prezi.com. Disponible en: <https://prezi.com/p/w8niurj4ulk8/linea-de-tiempo-maquinas-y-herramientas/>
- *Ref. 024: Cronología de la máquina herramienta en el siglo XIX.* Curiosfera-historia.com. Disponible en: <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-maquina-herramienta/#:~:text=A%C3%B1o%201817%3A%20Invenci%C3%B3n%20de%20la,por%20el%20ingl%C3%A9s%20James%20Nasmyth.>
- *Ref. 025: Historia de las máquinas y herramientas.* Naty-me (2013). Slideshare.net. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Naty-me/historia-de-las-maquinas-y-herramientas-26703218>
- *Ref. 026: Las herramientas y maquinas herramientas.* Ticesumherramientasyaquinas.blogspot.com (2018). Disponible en: <http://ticesumherramientasyaquinas.blogspot.com/2018/01/evolucion-historica-de-las-herramientas.html>
- *Ref. 027: La taladradora.* agrega.juntadeandalucia.es (2015). Disponible en: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/25062015/5e/es-an_2015062513_9132307/113la_taladradora.html
- *Ref. 028: How I built Leonardo Da Vinci's lathe.* Sturatking.co.uk. Disponible en: <http://stuartking.co.uk/how-i-built-leonardo-da-vincis-lathe/>
- *Ref. 029: PLA ácido poliláctico.* Plasticos-brello.com (2018). Disponible en: <https://plasticos-brello.com/material/pla-acido-polilactico/>
- *Ref. 030: Madera de Abeto: Características y usos.* Maderame.com (2020). Disponible en: <https://maderame.com/enciclopedia-madera/abeto/>
- *Ref. 031: Madera de pino: Tipos, Propiedades y Usos.* Maderame.com (2020). Disponible en: <https://maderame.com/enciclopedia-madera/pino/>
- *Ref. 032: DaVinci's Pole Lathe (Torno a Pedal DaVinci) by Miguel.* youtube.com. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bhP9qCBMtOA>

- **Ref. 033: Qué es la escala de una maqueta y cómo calcularla.** Maquetalia.top (2023). Disponible en: <https://maquetalia.top/que-es-una-escala-en-modelismo>
- **Ref. 034: Clasificación de las máquinas herramientas.** Procesos de fabricaciónitablog.wordpress.com (2017). Disponible en: <https://procesosdefabricacionitablog.wordpress.com/2017/05/20/3-1-clasificacion-de-las-maquinas-herramientas/>

11. ANEXOS

Documento aparte donde vienen reflejados los planos del torno de Leonardo Da Vinci. Por otra parte, tenemos una carpeta con el nombre ANEXOS en la cual se encuentran todos los planos y modelado tanto de la pieza como del ensamblaje en formato del software SolidWorks, en formato PDF y en formato JPG y el video de funcionamiento de nuestro torno tanto en SolidWorks como en la realidad.