



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
INGENIERÍA CIVIL, DE MATERIALES Y FABRICACIÓN
INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO

**MODELADO DE LA FRESADORA UNIVERSAL DE
FREDERICK W. HOWE COMO ELEMENTO DEL PATRIMONIO
INDUSTRIAL**

Grado en Ingeniería Mecánica

Autora: Marina Porras García

Tutor: Sergio Martín Béjar

MÁLAGA, septiembre de 2.023

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	OBJETIVOS	9
3.	PATRIMONIO INDUSTRIAL	10
4.	LA FRESADORA.....	12
4.1.	Historia de la fresadora.....	12
4.1.1.	Origen de las primeras máquinas herramientas.....	12
4.1.2.	Aparición de la primera fresadora	13
4.1.3.	Avances y mejoras en las fresadoras.....	13
4.1.4.	Ventajas e inconvenientes de las primeras fresadoras convencionales	16
4.2.	Movimientos y ejes principales	16
4.2.1.	Movimiento de la herramienta	18
4.2.2.	Movimientos de la mesa.....	18
4.2.3.	Movimiento relativo entre pieza y herramienta	19
4.3.	Tipos de fresadoras	20
4.3.1.	Fresadoras según la posición del eje de giro	20
4.3.2.	Fresadoras según el número de ejes	21
4.3.3.	Fresadoras según su estructura.....	23
4.3.4.	Fresadoras según el método de control	24
4.3.5.	Fresadoras especiales	24
4.4.	Herramientas de corte	26
4.5.	Frederick Webster Howe	27
4.6.	Brown & Sharpe.....	28
4.7.	La fresadora universal de Frederick W. Howe	29
4.7.1.	Historia de la primera fresadora universal.....	29
4.7.2.	Datos técnicos.....	31
4.7.3.	Estructura y partes	32
4.7.4.	Funcionamiento.....	33
4.7.5.	Mecanismos de sujeción	34
4.8.	El centro divisor	38
4.8.1.	División directa	41
4.8.2.	División indirecta	41
4.8.3.	División angular	42
4.8.4.	División lineal (cremallera)	42
4.8.5.	División diferencial	43



5.	TALLERES DE FABRICACIÓN DEL SIGLO XIX	45
6.	REALIDAD AUMENTADA	47
6.1.	Historia de la realidad aumentada	47
6.1.1.	Origen.....	47
6.1.2.	Evolución.....	48
6.2.	Elementos en la realidad aumentada	49
7.	MODELADO DE LA FRESADORA DE FREDERICK W. HOWE	50
7.1.	Búsqueda y análisis de patentes	50
7.2.	Toma de decisiones informadas	51
7.3.	Modelado en solidworks	51
7.3.1.	Introducción a SolidWorks.....	51
7.3.2.	Unidades Sistema Internacional.....	52
7.3.3.	Proceso de modelado	52
7.3.4.	Piezas normalizadas	71
7.3.5.	Ensamblaje.....	71
7.3.6.	Análisis cinemático en SolidWorks.....	73
7.3.7.	Texturizado del ensamblaje.....	75
7.4.	Modelado en realidad aumentada con edrawings	75
7.4.1.	Introducción a eDrawings.....	75
7.4.2.	Proceso de modelado	76
7.4.3.	Modelo en realidad aumentada	78
7.	CONCLUSIONES.....	79
8.	LÍNEAS FUTURAS.....	80
9.	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	83
	ANEXO A: PATENTE	84
	ANEXO B: PLANOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fresadora de Ely Whitney [3].	13
Figura 2. Fresadora universal Cincinnati [4].	14
Figura 3. Fresadora con cabezal giratorio [5].	14
Figura 4. Primera máquina herramienta CNC fabricada en Europa [6].	15
Figura 5. (a) Fresadora CNC actual [7]. (b) Consola de datos CNC [8].	15
Figura 5. Ejes principales en una fresadora [8].	17
Figura 6. (a) y (b) Movimientos de corte y avance en una fresadora [9].	18
Figura 6. (a) Fresadora horizontal. (b) Movimientos en el fresado cilíndrico o periférico [10].	20
Figura 7. (a) Fresadora vertical. (b) Movimientos en el fresado frontal [10].	21
Figura 8. Fresadora universal con sus accesorios [8].	21
Figura 9. Fresadora de tres ejes [11].	22
Figura 10. Fresadora de cuatro ejes [11].	22
Figura 11. Centro de mecanizado horizontal con cinco ejes [9].	23
Figura 12. Centro de mecanizado horizontal con seis ejes [9].	23
Figura 13. Fresadora copiadora [12].	25
Figura 14. Fresadora de pórtico [12].	25
Figura 15. Fresadora de puente móvil [12].	26
Figura 16. Fresadora de madera [12].	26
Figura 17. Armería de Robbins and Lawrence, 1849 [13].	27
Figura 18. Frederick Webster Howe [13].	28
Figura 19. Joseph R. Brown y Lucien Sharpe [14].	28
Figura 20. Industrias Brown and Sharpe, 1896 [14].	29
Figura 21. Fresadora universal con plato divisor [15].	30
Figura 22. Partes principales de una fresadora universal.	33
Figura 23. (a) Prensa mordaza sencilla. (b) Prensa mordaza giratoria. [16]	35
Figura 24. Prensa mordaza angular ajustable. [16].	35
Figura 25. Mandril universal. [16]	36
Figura 26. Mesa giratoria. [16].	36
Figura 27. Centro divisor. [16]	36
Figura 28. Bloque en V. [16].	37
Figura 29. Brida sencilla ranurada. [16].	37
Figura 30. Partes de un centro divisor [17].	38
Figura 31. Centro divisor en la fresadora universal. [18]	38
Figura 32. Construcción y partes de un mecanismo divisor. [18]	39
Figura 33. Disco de agujeros intercambiables [19].	40

Figura 34. Partes principales del cabezal divisor [19].....	40
Figura 35. División indirecta [19].	42
Figura 36. División angular [19].	42
Figura 37. Cremallera [19].....	42
Figura 38. División diferencial [19].....	44
Figura 39. Taller de mecanizado de la fábrica “La Euscalduna” de Soraluze [20]....	46
Figura 40. Realidad Virtual y Realidad Aumentada [22].	47
Figura 42. Croquis para extrusión de la base en SolidWorks.	54
Figura 43. (a) Extrusión cuerpo en SolidWorks. (b) Recubrimiento base en SolidWorks.	54
Figura 44. Pieza base y cuerpo en SolidWorks.	54
Figura 45. (a) y (b) Croquis puente en SolidWorks.....	55
Figura 46. Recubrimiento base del puente en SolidWorks.	55
Figura 47. Extrusión base del puente en SolidWorks.	55
Figura 48. (a) y (b) Extrusión del primer soporte del puente en SolidWorks.	56
Figura 49. Recubrimiento del segundo soporte del puente en SolidWorks.	56
Figura 50. Puente en SolidWorks.	56
Figura 51. (a) y (b) Croquis de las poleas para correa estriada en SolidWorks.....	57
Figura 52. (a) y (b) Poleas para correa estriada en SolidWorks.	57
Figura 53. Croquis del mango de la manivela en SolidWorks.	58
Figura 54. Extrusión del brazo de la manivela en SolidWorks.....	58
Figura 55. Extrusión del pivote de la manivela en SolidWorks.	59
Figura 56. Manivela en SolidWorks.	59
Figura 57. Extrusión eje de la herramienta en SolidWorks.	59
Figura 58. Chavetero en el eje de la herramienta en SolidWorks.....	60
Figura 59. Segundo chavetero en el eje de la herramienta en SolidWorks.	60
Figura 60. Eje de la herramienta en SolidWorks.	60
Figura 61. Croquis mesa de trabajo en SolidWorks.	61
Figura 62. Extruir corte en la mesa de trabajo en SolidWorks.....	61
Figura 63. (a) y (b) Orificios en la mesa de trabajo en SolidWorks.....	61
Figura 64. Mesa de trabajo en SolidWorks.....	62
Figura 65. Croquis carro transversal en SolidWorks.	62
Figura 66. Orificio en el carro transversal para el husillo en SolidWorks.	62
Figura 67. (a) Rebaje del carro longitudinal en SolidWorks. (b) Guía lineal para el bloque del husillo longitudinal en SolidWorks.	63
Figura 68. Carro transversal en SolidWorks.	63
Figura 69. Croquis y extrusión del carro longitudinal en SolidWorks.....	63
Figura 70. Extruir corte en el carro longitudinal en SolidWorks.	64

Figura 71. Taladro en el carro longitudinal en SolidWorks.	64
Figura 72. Carro longitudinal en SolidWorks.	64
Figura 73. Croquis horquillas de la junta cardán en SolidWorks.	65
Figura 74. Extrusión horquillas de la junta cardán en SolidWorks.....	65
Figura 75. Redondeo horquillas de la junta cardán en SolidWorks.	66
Figura 76. Corte horquillas de la junta cardán en SolidWorks.	66
Figura 77. Horquilla de la junta cardán en SolidWorks.	66
Figura 78. Croquis de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.....	67
Figura 79. Redondeo de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.	67
Figura 80. Corte de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.	67
Figura 81. Extrusión de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.	68
Figura 82. Cruceta de la junta cardán en SolidWorks.	68
Figura 83. Croquis árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.	68
Figura 84. Extrusión árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.	69
Figura 85. Árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.	69
Figura 86. Croquis árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.	69
Figura 87. Corte árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.	70
Figura 88. Ranuras árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.	70
Figura 89. Árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.	70
Figura 90. Junta cardán en SolidWorks.....	71
Figura 91. Biblioteca de diseño o “Toolbox”.	71
Figura 92. Fresadora Universal de Frederick W. Howe en SolidWorks.	72
Figura 93. Análisis cinemático movimiento transversal.	73
Figura 94. Análisis cinemático movimiento longitudinal.....	74
Figura 95. Análisis cinemático movimiento vertical.	74
Figura 96. Fresadora Universal de Frederick W. Howe con texturas en SolidWorks.	75
Figura 97. Fresadora universal en la aplicación eDrawings.	77
Figura 98. Marcador global de realidad aumentada.	77
Figura 99. (a) y (b) Fresadora en Realidad Aumentada.	78



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos técnicos de la fresadora de Frederick W. Howe.....	31
Tabla 2. Datos de la patente [23].	50

1. INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria, el ser humano se ha servido de herramientas para realizar diferentes tipos de trabajos. Durante siglos, éstas eran la prolongación de sus manos hasta que aparecieron las primeras herramientas rudimentarias, aunque pronto aparecerán los primeros esbozos de máquinas para realizar torneado y taladrado.

La primera máquina herramienta considerada es el arco de violín, del cual se desconoce el origen. Esta máquina herramienta, compuesta de un arco y una cuerda, permite, utilizando una de las manos, un movimiento de rotación, muy útil para las operaciones de torneado y taladrado.

Cerca del año 1250 aparece el primer torno de pedal, el cual permite dejar las dos manos libres para el trabajo de torneado. Esto sugirió un gran avance para el accionado con arco de violín. Sin embargo, hasta principios del siglo XVI no se produjeron más avances. Por entonces, Leonardo Da Vinci había diseñado tres máquinas fundamentales para el acuñado de monedas: la limadora, la recortadora y la prensa en balancín. El torno seguirá perfeccionándose, hasta que en el año 1658 se le añade el mandril y se comienzan a mecanizar piezas de acero.

A partir del siglo XVII se empezó a utilizar una nueva fuente de movimiento para los tornos y las taladradoras que residían en la mayoría de los talleres entre los siglos XVII y XVIII.

En el siglo XVIII, con la aparición de la máquina de vapor y en consecuencia la Revolución Industrial, se indagó aún más en la creación y desarrollo de máquinas herramientas. Este sería el inicio de la necesidad de diseñar máquinas cada vez más precisas para crear, a su vez, más máquinas. El fabricante que se dio cuenta de esta necesidad fue Henry Maudslay, quien introdujo mejoras que aseguraron la robustez y precisión.

Durante el siglo XIX, el crecimiento de las máquinas herramientas está en su auge. Se empezaron a comerciar máquinas que darían solución a todas las necesidades industriales con el mecanizado de piezas.

En 1818, con la Guerra de la Independencia de las colonias inglesas de América del Norte, la necesidad de grandes armamentos y, por tanto, la fabricación en serie de éstos originó la creación de la fresadora, cuyo fabricante fue Ely Whitney.

Posteriormente se seguirá mejorando esta máquina herramienta, hasta que en 1848 aparece la primera fresadora universal fabricada por el ingeniero americano Frederick W. Howe, que, en el año 1853, se equiparía, por iniciativa de Joseph R. Brown, de un plato divisor, lo cual permite la fabricación de engranajes rectos y helicoidales. [1]

En este trabajo se va a profundizar en la primera fresadora universal creada por Frederick W. Howe, explorando sus características y su importancia en la evolución industrial. Esta fresadora revolucionaria introdujo la idea de "universalidad", lo que significa que podía realizar una amplia gama de tareas de mecanizado, marcando un cambio importante en cómo se fabricaban las piezas.

Esta innovación tiene un valor histórico y técnico significativo, ya que no solo mejoró la eficiencia en la producción, sino que también simboliza la creatividad y el



ingenio de la época. Preservar el patrimonio industrial, como esta fresadora, es esencial para comprender la historia tecnológica y su impacto en la sociedad.

En este contexto, el modelado digital se presenta como una importante herramienta. Permite recrear digitalmente la fresadora con gran detalle, lo que no solo ayuda a conservarla en el mundo virtual, sino que también brinda una forma interactiva de estudiarla y compartirla.

Por tanto, este proyecto tiene como objetivo modelar la fresadora de Howe, a la que se le añadirá la mejora del plato divisor patentada por Brown and Sharpe, contribuyendo así a la conservación y divulgación del patrimonio industrial.

2. OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal el estudio y modelado de la primera fresadora universal, un valioso elemento del patrimonio industrial creado por Frederick W. Howe y patentado por la empresa Brown and Sharpe a mediados del siglo XIX. En este proyecto, se empleará el software de diseño asistido por ordenador, SolidWorks, para obtener un modelo CAD 3D preciso y detallado de la fresadora, además de estudiar su funcionamiento e implementar los movimientos principales de la máquina.

Este proyecto no solo se centrará en el aspecto técnico, sino que también destacará la importancia histórica y cultural de la fresadora universal como un elemento representativo del patrimonio industrial. A través del modelado tridimensional y los análisis realizados, se buscará acercar la realidad de esta máquina herramienta mediante programas de representación y simulación.

Para lograr una experiencia aún más inmersiva y cercana al usuario, se implementará al modelo conseguido en SolidWorks la tecnología de realidad aumentada mediante un dispositivo móvil. Además, se obtendrá información acerca de la realidad aumentada, sus orígenes y su evolución.

Otro objetivo destacable es resaltar la importancia de preservar y proteger el patrimonio industrial y técnico, promoviendo la conciencia sobre su valor histórico y cultural para las generaciones presentes y futuras.

Por lo tanto, este TFG busca unir la tradición industrial del pasado con las tecnologías avanzadas del presente, permitiendo un estudio detallado de la fresadora universal y su significado en el contexto histórico e industrial. El conocimiento obtenido contribuirá al enriquecimiento del patrimonio técnico y cultural, resaltando la importancia de preservar y comprender elementos valiosos de la historia industrial.

3. PATRIMONIO INDUSTRIAL

El patrimonio industrial, como parte esencial de nuestro legado histórico, se refiere al conjunto de elementos que representan la cultura industrial y que tienen un valor significativo desde diversas perspectivas, como la histórica, tecnológica, social, arquitectónica o científica. Estos elementos abarcan una amplia gama de componentes relacionados con la actividad industrial y sus contextos. Representa un testimonio tangible de la evolución de la sociedad a lo largo del tiempo. Esta categoría patrimonial engloba una amplia variedad de elementos, desde los grandes complejos industriales hasta las pequeñas herramientas y maquinaria especializada utilizada en la producción de bienes. Cada uno de estos elementos refleja la creatividad humana, la innovación tecnológica y el esfuerzo colectivo que ha dado forma a nuestra civilización moderna.

El patrimonio industrial incluye:

- **Edificios y maquinaria:** Estructuras arquitectónicas que sirvieron como fábricas, talleres, almacenes y otras instalaciones industriales, junto con la maquinaria y equipos utilizados en la producción.
- **Infraestructura:** Toda la infraestructura asociada con la actividad industrial, como carreteras, vías férreas, puentes y otras instalaciones de transporte y comunicación.
- **Sitios de procesamiento y refinamiento:** Lugares donde se llevaban a cabo procesos de transformación y refinamiento de materias primas, como molinos, fundiciones, plantas químicas y más.
- **Energía:** Instalaciones donde se generaba, transmitía y utilizaba energía, como centrales eléctricas, estaciones de energía hidroeléctrica y térmica, y otros lugares relacionados con la producción y distribución de energía.
- **Actividades sociales relacionadas con la industria:** Comprende espacios donde se desarrollaban actividades vinculadas con la vida de los trabajadores industriales, como viviendas, áreas de culto religioso, escuelas y otros lugares de interacción social.
- **Medios de transporte:** Elementos de transporte utilizados en la industria, como ferrocarriles, barcas, barcos y vehículos relacionados con la distribución de productos industriales.
- **Aspectos culturales y sociales:** El patrimonio industrial también abarca aspectos culturales, sociales y laborales, como la historia de los trabajadores, los sindicatos y los movimientos laborales, así como la relación entre la industria y la comunidad circundante.

La conservación del patrimonio industrial es importante para preservar la memoria de la evolución industrial, comprender su impacto en la sociedad y en el desarrollo tecnológico, y promover la educación y la sensibilización sobre estos temas. Las iniciativas de conservación pueden incluir la restauración de edificios y equipos, la creación de museos industriales, la promoción del turismo cultural y la documentación de la historia industrial local y global.

En relación con las máquinas-herramientas juega un papel crucial en la historia de la industria y la manufactura. Estas máquinas han sido elementos fundamentales en el proceso de producción y han impulsado la evolución tecnológica en diversos sectores, desde la metalurgia hasta la fabricación de textiles y más allá.

En el contexto del patrimonio industrial, las máquinas-herramientas son consideradas tesoros culturales y técnicos que merecen ser preservados y estudiados. Estas máquinas, desarrolladas a lo largo de los siglos, representan una constante búsqueda de la eficiencia y la precisión en la producción. Desde los primeros tornos hasta las modernas fresadoras y centros de mecanizado, estas herramientas han sido clave en la revolución industrial y en la automatización de procesos, permitiendo la fabricación en masa y el avance de la industria.

La preservación del patrimonio industrial es esencial para comprender y apreciar la evolución de la ingeniería mecánica, su impacto en la sociedad y promover la educación y la sensibilización sobre estos temas. Las iniciativas de conservación pueden incluir la restauración de edificios y equipos, la creación de museos industriales, la promoción del turismo cultural y la documentación de la historia industrial local y global. Además, cada máquina-herramienta cuenta una historia única, desde las antiguas prensas de impresión hasta las máquinas de vapor que transformaron la producción textil. Estos artefactos nos brindan una visión vívida del ingenio humano y su capacidad para diseñar soluciones innovadoras que han dejado una huella perdurable en la fabricación moderna.

Además, el patrimonio industrial en relación con las máquinas-herramientas también revela el contexto socioeconómico en el que surgieron estas invenciones. Las fábricas y talleres que albergaban estas máquinas se convirtieron en centros de actividad económica y en símbolos de la revolución industrial. La preservación de estos lugares y sus máquinas nos permite apreciar la vida laboral y las condiciones de trabajo de épocas pasadas, proporcionando una perspectiva completa de la historia industrial.

La sensibilización y divulgación del patrimonio industrial de las máquinas-herramientas son aspectos fundamentales para asegurar su continuidad y valoración por parte de la sociedad. Exposiciones, museos y programas educativos que resalten la importancia de estas máquinas y su relevancia histórica pueden inspirar el interés y el apoyo a la preservación de estos artefactos, así como fomentar la investigación y el estudio en el campo de la ingeniería mecánica y la historia industrial.

En conclusión, el patrimonio industrial relacionado con las máquinas-herramientas es una ventana al pasado tecnológico y productivo de la humanidad. Estas máquinas representan la creatividad, el ingenio y el esfuerzo de generaciones pasadas que han dado forma a nuestra sociedad actual. Preservar y estudiar este patrimonio permite entender y valorar cómo estas máquinas han sido los cimientos de la revolución industrial y cómo siguen siendo elementos esenciales para el progreso y la innovación en el presente. [2]

4. LA FRESADORA

La fresadora es una máquina-herramienta esencial en la industria de la fabricación y el mecanizado. Su invención y desarrollo han sido fundamentales en la evolución tecnológica y han tenido un impacto significativo en la sociedad moderna. La fresadora es una máquina-herramienta esencial utilizada en el mecanizado de materiales, tanto metálicos como no metálicos, para producir superficies planas, curvas, dentadas o de cualquier forma compleja. Esta máquina trabaja mediante el uso de herramientas de corte llamadas fresas, que giran a alta velocidad y eliminan material de la pieza de trabajo para obtener la forma deseada.

4.1. HISTORIA DE LA FRESADORA

4.1.1. Origen de las primeras máquinas herramientas

Durante el Paleolítico Inferior, en la Edad de Piedra, nuestros ancestros australopitecos, como el Homo Habilis, demostraron habilidades avanzadas para utilizar materias primas y darles forma con el fin de modificar sus funciones, propiedades o aspecto estético. En este periodo, las primeras herramientas de piedra se obtenían mediante una técnica conocida como "tallado".

La técnica de tallado consistía en golpear una piedra contra otra con precisión para desprender trozos o lascas y lograr bordes más afilados en las herramientas. Estas herramientas de piedra eran esenciales para la vida cotidiana de nuestros antepasados, permitiéndoles cazar, recolectar y fabricar otros objetos útiles para su supervivencia.

Este ingenioso método de tallado demostró la habilidad y adaptabilidad del Homo Habilis, y sentó las bases para el desarrollo y la evolución de las herramientas a lo largo de la historia humana. Desde aquellos tiempos remotos, las herramientas y su tecnología han avanzado de manera asombrosa, pero su origen se remonta a la creatividad y destreza de nuestros antepasados en el Paleolítico Inferior.

A finales de la Edad de Piedra, en el Neolítico, se sabe que se utilizaban las técnicas del pulido y perforado de materiales con los que se podían conseguir agujas, puntas de lanzas, flechas e incluso adornos.

El primer gran avance de la humanidad ocurrió cuando las tribus nómadas se asentaron y descubrieron la agricultura. Este cambio llevó al desarrollo de refugios, comercio y alfarería. Con la alfarería, se introdujo el uso de nuevos materiales, como la arcilla, para crear vasijas y utensilios. También se descubrieron métodos para tratar materiales, como la cocción de arcilla para mejorar su dureza, resistencia e impermeabilidad.

En la Edad del Cobre y la Edad de Oro, la materia prima utilizada para la fabricación de herramientas era el material extraído de la tierra en su estado puro. Sin embargo, el avance a la Edad de Bronce requería el dominio de la fundición de metales, ya que el hierro se trabajaba calentándolo y golpeándolo en la forja para la construcción de herramientas.

Estas nuevas herramientas permitieron la producción de elementos más resistentes y ligeros en comparación con las herramientas de la Edad de Piedra.

En el antiguo Egipto, se desarrollaron mecanismos rotatorios utilizando palos y cuerdas para cortar, agujerear y dar forma a piedras y madera. Estos mecanismos también se utilizaron para dar forma a materiales metálicos.

Con estos avances tecnológicos, la humanidad dio pasos importantes en el desarrollo de la metalurgia y el mecanizado, sentando las bases para futuros avances en la fabricación de herramientas y maquinaria.

4.1.2. Aparición de la primera fresadora

Fue durante la Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, cuando se desarrollaron las primeras fresadoras modernas. Estas primeras fresadoras se utilizaron principalmente para el mecanizado de metales y madera.

A mediados del siglo XVIII, se introdujo una herramienta conocida como "fresadora" en la industria del grabado y la impresión. Esta fresadora permitía realizar cortes precisos en placas de metal para la fabricación de moldes y matrices utilizadas en la producción de impresiones y grabados.

Sin embargo, fue en el siglo XIX cuando las fresadoras evolucionaron y se aplicaron a una variedad más amplia de materiales y trabajos de mecanizado. En esta época, surgieron diversas máquinas-herramientas, que impulsaron la industrialización y la fabricación en masa.

El fresado nace con la Guerra de la Independencia de las colonias inglesas de América del Norte. La necesidad de la producción de grandes cantidades de armamento obligó a su fabricación en serie, lo que llevó a Ely Whitney a fabricar la primera fresadora en 1818. La novedosa máquina-herramienta permitía mecanizar piezas metálicas de forma más rápida y precisa que los métodos anteriores, lo que la convirtió en un avance significativo en el mecanizado industrial.

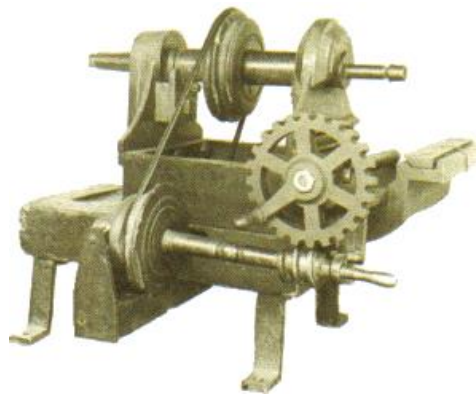


Figura 1. Fresadora de Ely Whitney [3].

4.1.3. Avances y mejoras en las fresadoras

Desde la segunda mitad hasta finales del siglo XIX, se podría considerar una segunda revolución industrial, debido a la expansión de los ferrocarriles, barcos de vapor y otras máquinas, haciendo necesario el crecimiento del hierro y el acero.

Después de 30 años de la primera fresadora, ésta sería perfeccionada por el ingeniero Frederick W. Howe quien le permitiría el acoplamiento en ambos ejes, tanto vertical como horizontal, naciendo así la primera fresadora universal. Esta

fresadora universal fue un gran avance en la versatilidad y eficiencia del mecanizado.

J. R. Brown introduce el plato divisor en 1862 constituyendo un importante avance, ya que esto permite a la fresadora la fabricación de engranajes rectos y helicoidales. La fresadora alcanza el máximo desarrollo en 1884 cuando la casa Cincinnati de Estados Unidos construye la fresadora universal, que incorpora por vez primera un carnero cilíndrico desplegable axialmente.

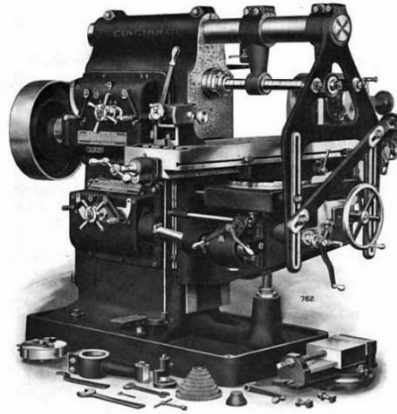


Figura 2. Fresadora universal Cincinnati [4].

Otro paso importante, antes de la automatización por control numérico, fue la introducción del cabezal giratorio que permite trabajar en cualquier plano entre el horizontal y el vertical producida en 1894 por el francés Pierre Philippe Huré.

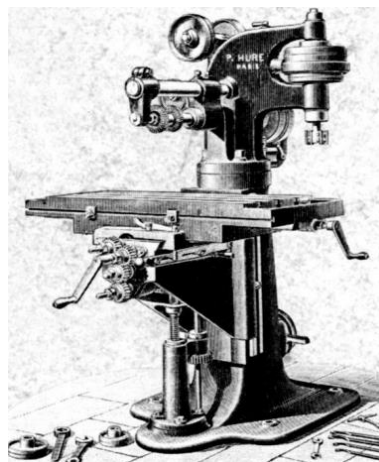


Figura 3. Fresadora con cabezal giratorio [5].

A lo largo del siglo XX, la tecnología de las fresadoras continuó evolucionando, y se introdujeron fresadoras más sofisticadas y automatizadas. Con la aparición de los sistemas de control numérico por computadora (CNC) en la década de 1950, las fresadoras se volvieron aún más precisas y eficientes, lo que permitió la realización de operaciones de mecanizado altamente complejas y repetibles.

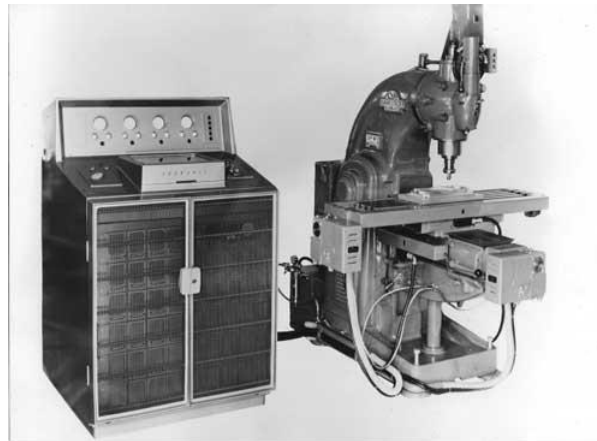


Figura 4. Primera máquina herramienta CNC fabricada en Europa [6].

A medida que avanzaba el tiempo, la tecnología siguió evolucionando. En las décadas de 1970 y 1980, las fresadoras CNC empezaron a incorporar microprocesadores y computadoras, lo que abrió la puerta a programaciones más flexibles y complejas. La interfaz entre operador y máquina se volvió más intuitiva con el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI), lo que facilitó la programación y la supervisión de las operaciones de mecanizado.

Durante las décadas de 1990 y 2000, la integración de sistemas CAD/CAM se convirtió en una práctica estándar, permitiendo que las piezas fueran diseñadas en software y luego programadas directamente en la máquina. Esto optimizó el flujo de trabajo y mejoró la comunicación entre diseño y fabricación. Además, las mejoras en las herramientas de corte y la refrigeración contribuyeron a un mecanizado más eficiente y de mayor calidad.

A medida que ingresamos en las décadas más recientes, la conectividad y la Industria 4.0 emergieron como elementos clave. Las fresadoras CNC ahora pueden estar interconectadas con otros sistemas en una fábrica, compartiendo datos en tiempo real para una producción más coordinada y eficiente. La inteligencia artificial y el aprendizaje automático se aplican para optimizar el proceso de mecanizado, detectando problemas y ajustando parámetros en tiempo real.



(a)



(b)

Figura 5. (a) Fresadora CNC actual [7]. (b) Consola de datos CNC [8].

4.1.4. Ventajas e inconvenientes de las primeras fresadoras convencionales

La aparición de las primeras fresadoras convencionales en la historia fue un hito significativo en la evolución de la industria del mecanizado y la fabricación. Estas máquinas-herramientas presentaban diversas ventajas que mejoraron considerablemente los procesos de producción. Sin embargo, también tenían algunas desventajas que requerían consideraciones y adaptaciones por parte de los operadores y fabricantes.

Algunas de estas ventajas son:

- **Alta precisión:** Las fresadoras convencionales permitían mecanizar piezas con mayor precisión en comparación con las técnicas manuales. Los movimientos controlados de la herramienta y la pieza resultaban en acabados más exactos y dimensiones más consistentes.
- **Eficiencia y rapidez:** Estas máquinas aceleraron los procesos de mecanizado, lo que se traducía en una mayor productividad y una reducción en los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales.
- **Versatilidad:** Las fresadoras convencionales eran versátiles y permitían realizar una amplia variedad de operaciones de mecanizado, desde cortes simples hasta formas más complejas.
- **Automatización parcial:** Aunque las primeras fresadoras no eran completamente automatizadas, su funcionamiento requería menos esfuerzo físico y mano de obra en comparación con las técnicas manuales.

En cambio, como desventajas se podrían destacar:

- **Coste y mantenimiento:** La adquisición y el mantenimiento de estas máquinas podían ser costosos. Además, requerían personal capacitado para su operación y mantenimiento.
- **Limitaciones técnicas:** Las fresadoras convencionales tenían limitaciones en términos de precisión y velocidad en comparación con las tecnologías de mecanizado más modernas.
- **Complejidad operacional:** Operar una fresadora convencional requería habilidades y conocimientos técnicos especializados, lo que dificultaba la incorporación de personal no capacitado.
- **Necesidad de ajustes manuales:** Aunque eran más eficientes que los métodos manuales, las fresadoras convencionales todavía requerían ajustes manuales y calibraciones frecuentes para obtener resultados precisos.

En general, las primeras fresadoras convencionales representaron un avance significativo en la producción industrial y sentaron las bases para el desarrollo de tecnologías de mecanizado más avanzadas.

4.2. MOVIMIENTOS Y EJES PRINCIPALES

Los ejes son componentes esenciales de la fresadora y permiten el movimiento y posicionamiento preciso de la herramienta de corte en varias direcciones. Hay tres ejes principales en una fresadora: el eje X, el eje Y y el eje Z.

- **Eje X:** Es el eje horizontal que se mueve de izquierda a derecha. Es perpendicular al husillo de la fresadora y controla el desplazamiento lateral de la mesa de trabajo. Este movimiento permite que la herramienta de corte se desplace horizontalmente a lo largo de la pieza de trabajo, lo que permite realizar cortes en la dirección horizontal.
- **Eje Y:** Es el eje vertical que se mueve hacia arriba y hacia abajo. Es paralelo al husillo de la fresadora y controla el movimiento vertical de la mesa de trabajo. Con el movimiento del eje Y, la herramienta de corte puede moverse verticalmente sobre la pieza de trabajo, permitiendo cortes en la dirección vertical.
- **Eje Z:** Es el eje perpendicular a la superficie de trabajo y se mueve hacia adelante y hacia atrás. Este eje controla el movimiento de la herramienta de corte hacia la pieza de trabajo. Con el eje Z, se puede ajustar la profundidad del corte, lo que permite realizar operaciones de fresado en distintas profundidades.

Además de estos tres ejes principales, algunas fresadoras también pueden tener ejes adicionales para realizar operaciones más complejas, como fresadoras de cinco ejes o de control numérico computarizado (CNC). Estos ejes adicionales permiten el movimiento de la herramienta de corte en diferentes ángulos, lo que amplía la versatilidad de la máquina y la gama de operaciones que se pueden realizar.

Los ejes de la fresadora se controlan mediante el volante de avance manual, en el caso de fresadoras manuales, o mediante el control numérico computarizado en las fresadoras CNC, donde los movimientos son programados y automatizados para lograr precisión y repetitividad en las operaciones de corte. El uso adecuado de los ejes permite crear piezas y productos con formas complejas y acabados precisos en una variedad de materiales.

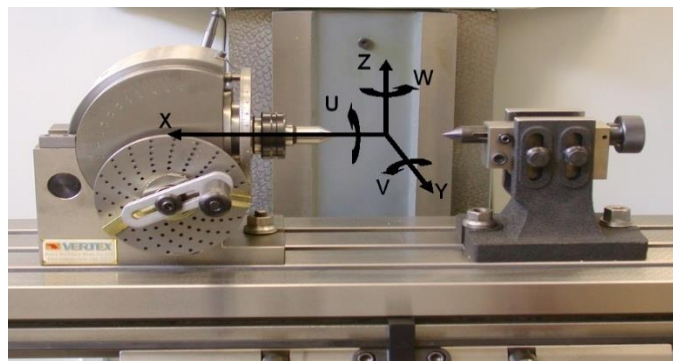


Figura 5. Ejes principales en una fresadora [8].

Respecto a los movimientos fundamentales de corte y avance involucrados en esta operación, se pueden encontrar:

- **Movimiento Fundamental de Corte:** El movimiento fundamental de corte es rotativo, proporcionado por la fresa. La fresa está equipada con múltiples dientes cortantes dispuestos en su circunferencia. Cuando la fresa gira alrededor de su eje, los dientes se mueven a través de la pieza de trabajo y cortan el material.

- **Movimiento Principal de Avance en X e Y:** En el movimiento principal de avance en X e Y, durante el mecanizado, la pieza de trabajo se mueve en las direcciones X e Y en un movimiento rectilíneo. Esto significa que la pieza se desplaza lateralmente o en sentido horizontal mientras la fresa está en movimiento rotativo. Este movimiento en X e Y permite que la fresa corte el material en diferentes posiciones en la superficie de la pieza de trabajo.
- **Movimiento Principal de Avance en Z:** El movimiento principal de avance en el eje Z también es rectilíneo. Este movimiento controla la profundidad de corte de la fresa en la pieza de trabajo. Al ajustar la posición vertical de la fresa, se puede determinar cuánto material se eliminará en cada pasada.

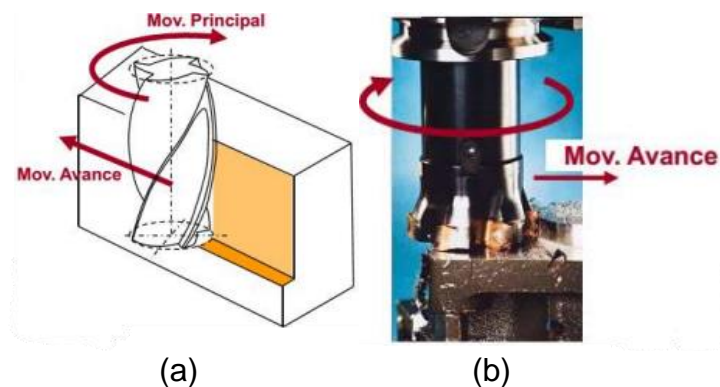


Figura 6. (a) y (b) Movimientos de corte y avance en una fresadora [9].

4.2.1. Movimiento de la herramienta

La herramienta tiene como movimiento principal para el corte. En ciertas fresadoras, es factible ajustar la inclinación de la herramienta o extender su posición a lo largo de su eje de rotación. Este ajuste permite realizar cortes con ángulos específicos y alcanzar áreas de difícil acceso en la pieza de trabajo.

Por otro lado, en las fresadoras de puente móvil, todos los movimientos son realizados por la herramienta mientras que la pieza de trabajo se mantiene estática. El puente móvil se desplaza a lo largo de los ejes X, Y y Z, permitiendo que la fresa se mueva en múltiples direcciones para realizar el mecanizado en la pieza.

4.2.2. Movimientos de la mesa

En una fresadora, la mesa de trabajo puede ser movida tanto de forma manual como automática, ofreciendo la flexibilidad para diferentes necesidades de mecanizado. Estos movimientos pueden ser controlados a velocidades de avance de mecanizado específicas o a velocidades más rápidas conocidas como avance rápido en vacío. Los movimientos que son llevados a cabo por la mesa son los siguientes:

- Movimiento longitudinal: Este movimiento ocurre a lo largo del eje X, que normalmente corresponde al desplazamiento de trabajo. La mesa de trabajo está equipada con ranuras en forma de T, lo que facilita la fijación de mordazas u otros elementos para sujetar las piezas. Además, la mesa puede inclinarse para realizar tallados con ángulos específicos. La mesa puede avanzar automáticamente de acuerdo con las condiciones de corte requeridas durante el mecanizado.

- Movimiento transversal: Este movimiento ocurre en dirección al eje Y, permitiendo el desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza principalmente para posicionar la herramienta de fresado en la posición correcta para el mecanizado.
- Movimiento vertical: Este movimiento ocurre en el eje Z, lo que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Al ajustar este eje, se determina la profundidad de corte del fresado, permitiendo cortar a diferentes niveles en la pieza de trabajo.
- Giro respecto a un eje longitudinal: Este movimiento se logra con el grado de libertad U. Se puede obtener utilizando un cabezal divisor o una mesa oscilante, lo que permite girar la pieza alrededor de su eje longitudinal para realizar operaciones de fresado en ángulos específicos.
- Giro respecto a un eje vertical: Este movimiento se obtiene con el grado de libertad W. En algunas fresadoras, la mesa se puede girar hasta 45 grados a cada lado, mientras en otras, la mesa puede dar vueltas completas alrededor de su eje vertical. Esto proporciona una mayor flexibilidad en la orientación de la pieza para realizar cortes en diferentes direcciones y ángulos.

Estos movimientos combinados permiten realizar cortes precisos y controlados en la pieza de trabajo, dando forma a la superficie y obteniendo el perfil deseado. La combinación de movimientos rotativos y rectilíneos en los ejes X, Y y Z brinda flexibilidad en la creación de formas complejas y acabados precisos en diferentes materiales. La operación de corte intermitente se utiliza en una amplia variedad de industrias para fabricar piezas con alta precisión y calidad.

4.2.3. Movimiento relativo entre pieza y herramienta

El movimiento relativo entre la pieza y la herramienta puede clasificarse en tres tipos fundamentales:

- Movimiento de corte: Este movimiento se refiere al desplazamiento de la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas. Durante el fresado, por ejemplo, la fresa gira y sus dientes cortantes realizan el movimiento de corte sobre la superficie de la pieza, eliminando material y dando forma a la misma.
- Movimiento de avance: El movimiento de avance implica la aproximación de la herramienta desde la zona previamente cortada hacia la zona sin cortar de la pieza de trabajo. Es el desplazamiento de la herramienta en dirección al eje de rotación o al eje de trabajo y permite que la herramienta siga cortando material mientras avanza.
- Movimiento de profundización de perforación o profundidad de pasada: Este tipo de movimiento es una variante del movimiento de avance. Se utiliza para aumentar la profundidad del corte durante operaciones de perforación u otras operaciones donde se requiere una mayor eliminación de material. Al aumentar la profundidad de pasada, la herramienta corta más profundamente en la pieza, permitiendo alcanzar la profundidad deseada.

4.3. TIPOS DE FRESADORAS

Las fresadoras pueden clasificarse comúnmente según su número de ejes o según la posición del eje de giro, además, también puede hacerse una clasificación respecto a su estructura, su método de control y si son especiales.

4.3.1. Fresadoras según la posición del eje de giro

En función del eje de giro se conocen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

4.3.1.1. *Fresadora horizontal*

Estas fresadoras tienen el eje de corte dispuesto horizontalmente y son ideales para mecanizar superficies planas o realizar cortes en piezas largas y pesadas. Se utilizan para trabajos de desbaste y acabado en diferentes materiales. Utiliza fresas cilíndricas montadas en un eje horizontal. Este eje es accionado por el cabezal de la máquina y se apoya en un extremo sobre dicho cabezal, mientras que en el otro extremo se apoya sobre un rodamiento situado en el puente deslizante conocido como carnero.

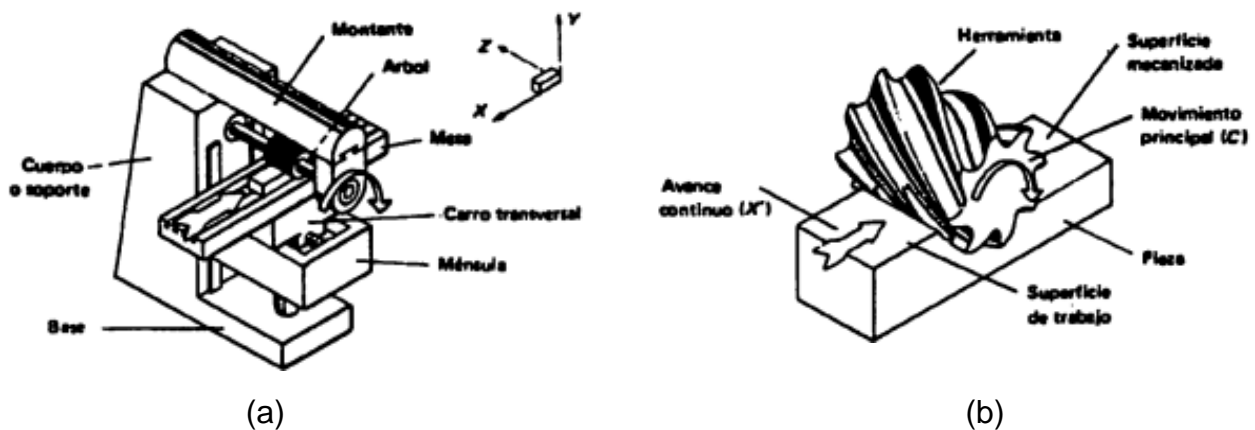


Figura 6. (a) Fresadora horizontal. (b) Movimientos en el fresado cilíndrico o periférico [10].

4.3.1.2. *Fresadora vertical*

La fresadora vertical se caracteriza por tener el eje del husillo orientado verticalmente, formando un ángulo de 90 grados con la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su propio eje. El movimiento vertical del husillo o de la mesa permite ajustar la profundidad del corte.

Existen dos tipos principales de fresadoras verticales: las de banco fijo (o de bancada) y las de torreta (o de consola). En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte, mientras que la mesa se mueve tanto horizontal como verticalmente para posicionar la pieza. Por otro lado, en las fresadoras de banco fijo, la mesa se desplaza solo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo se mueve paralelamente a su propio eje.

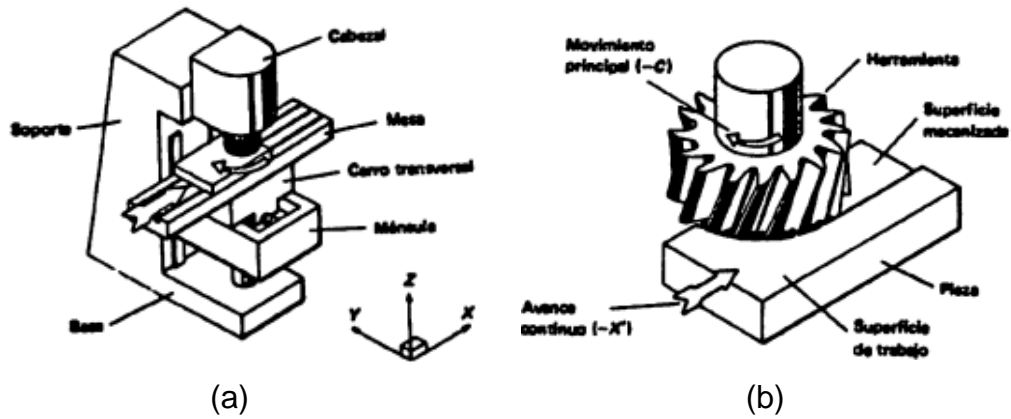


Figura 7. (a) Fresadora vertical. (b) Movimientos en el fresado frontal [10].

4.3.1.3. Fresadora universal

Las fresadoras universales permiten realizar trabajos tanto horizontales como verticales, lo que las hace más versátiles. Estas máquinas se utilizan para una amplia gama de operaciones de mecanizado y son ideales para talleres con necesidades variadas. Cuenta con un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales. Además, tiene un cabezal que se puede acoplar a este husillo, convirtiendo la máquina en una fresadora vertical. Esta característica permite realizar una amplia variedad de operaciones de mecanizado en diferentes planos.



Figura 8. Fresadora universal con sus accesorios [8].

4.3.2. Fresadoras según el número de ejes

4.3.2.1. Fresadora de tres ejes

Una fresadora de tres ejes es una máquina herramienta que cuenta con tres ejes principales (X, Y, Z) para el movimiento de la herramienta de corte y la pieza de trabajo. Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.



Figura 9. Fresadora de tres ejes [11].

4.3.2.2. *Fresadora de cuatro ejes*

Una fresadora de cuatro ejes es una máquina herramienta que, además de los tres ejes principales (X, Y, Z), cuenta con un cuarto eje adicional, conocido como el eje A. La incorporación del cuarto eje agrega una dimensión más de movimiento, lo que amplía significativamente las capacidades de mecanizado de la máquina. Este cuarto eje se refiere al movimiento de rotación alrededor del eje Z. Permite girar la pieza de trabajo o el cabezal de la máquina en un ángulo determinado en relación con el eje Z.



Figura 10. Fresadora de cuatro ejes [11].

4.3.2.3. *Fresadora de cinco ejes*

La fresadora de cinco ejes es una máquina herramienta que ofrece un control adicional sobre el movimiento de la pieza y la herramienta. Además de los movimientos en los tres ejes principales (X, Y, Z), esta fresadora permite controlar el giro de la pieza sobre dos ejes adicionales. Uno de estos ejes es perpendicular al eje de la herramienta, y el otro es paralelo a ella. Esto se logra utilizando un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical.

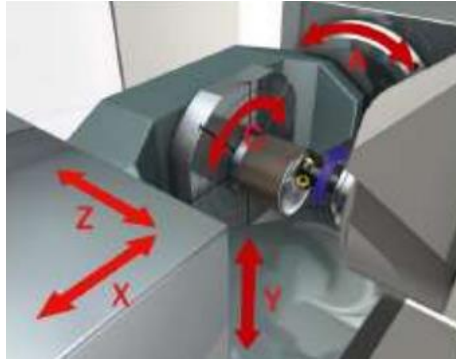


Figura 11. Centro de mecanizado horizontal con cinco ejes [9].

4.3.2.4. *Fresadora de seis ejes*

El sexto eje corresponde al movimiento de rotación alrededor del eje X. Permite girar la pieza de trabajo o el cabezal de la máquina en un ángulo específico en relación con el eje X.

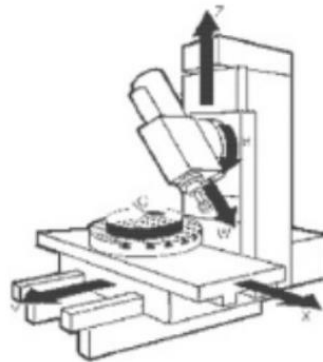


Figura 12. Centro de mecanizado horizontal con seis ejes [9].

4.3.3. Fresadoras según su estructura

4.3.3.1. *Fresadora de estructura convencional*

Las fresadoras convencionales presentan una configuración en forma de "C", donde los componentes de la máquina se distribuyen. En esta configuración, la característica esencial radica en la rigidez de la estructura, fundamental para resistir las fuerzas del fresado sin deformaciones, garantizando así la precisión de las tolerancias de la pieza.

En el caso de las fresadoras clásicas, tanto las horizontales como las verticales, suelen incorporar una mesa de coordenadas (en los ejes X e Y) que se desplaza verticalmente en el eje Z, mediante una robusta consola como soporte. Por otro lado, las fresadoras más modernas y los centros de mecanizado vertical suelen mantener los ejes X e Y estacionarios, siendo el cabezal el que se desplaza verticalmente a lo largo de guías independientes. Aunque con variaciones, ambas comparten una estructura similar en forma de "C".

4.3.3.2. *Fresadora de puente móvil o de pórtico*

En esta situación, la mesa de trabajo permanece estática, lo que significa que la pieza que se va a mecanizar no se mueve. Sin embargo, es la estructura que sostiene el cabezal la que se desplaza. Estas máquinas suelen tener dimensiones

considerables y se emplean para trabajar en objetos planos que son difíciles de manipular de otra manera.

4.3.3.3. Fresadora de columna

Estas máquinas tienen el husillo ubicado en una columna vertical, que se desplaza en movimientos ascendentes y descendentes, a través de un brazo que se extiende y retrae. Este diseño se utiliza especialmente cuando las piezas son de gran tamaño o peso, ya que es la máquina la que se desplaza alrededor de la pieza para llevar a cabo el mecanizado, lo que reduce al mínimo los movimientos necesarios. Las mandrinadoras, que son fresadoras especializadas en mecanizar agujeros con tolerancias extremadamente precisas, a menudo son máquinas de columna fija o móvil.

4.3.4. Fresadoras según el método de control

4.3.4.1. Fresadoras manuales

Las fresadoras manuales son máquinas herramientas que requieren la intervención directa del operador para guiar y controlar el proceso de mecanizado. Estas fresadoras son accionadas manualmente mediante manivelas y volantes, lo que permite al operador ajustar la posición de la herramienta de corte en relación con la pieza de trabajo. Las fresadoras manuales son utilizadas para trabajos de mecanizado más simples y pequeñas producciones, ofreciendo versatilidad y control, aunque a expensas de la automatización. Son ideales para talleres con necesidades más básicas y proyectos personalizados.

4.3.4.2. Fresadoras con visualizador de cotas

Un accesorio común en las fresadoras manuales es el visualizador de cotas. A través de una pantalla, este dispositivo muestra las posiciones de los ejes, evitando la necesidad de recurrir a nonios y manivelas, o de tomar medidas adicionales.

Aunque el control sigue siendo manual, el visualizador brinda una guía adicional al operador. Un Sistema Digital de Lectura (DRO por sus siglas en inglés) se puede adquirir ya instalado en la fresadora o añadir posteriormente mediante una modificación relativamente sencilla.

4.3.4.3. Fresadoras CNC

La fresadora CNC es una máquina de control numérico computarizado que automatiza el proceso de mecanizado. Permite precisión y repetibilidad en cortes y fresados al seguir instrucciones programadas en un software. La pieza se sujeta en la mesa de trabajo y la herramienta se mueve en múltiples ejes según el diseño previamente creado en un software CAM. Es esencial en la fabricación moderna para producir piezas complejas con alta eficiencia y calidad.

4.3.5. Fresadoras especiales

Las fresadoras especiales son máquinas herramienta diseñadas y fabricadas para satisfacer necesidades específicas de mecanizado que no pueden ser cubiertas por las fresadoras convencionales. Estas máquinas son adaptadas o modificadas para abordar problemas o desafíos particulares en la fabricación de piezas con geometrías complejas o en aplicaciones industriales especializadas.

Algunas de estas son las fresadoras copiadoras, las fresadoras de pórtico, las fresadoras de puente móvil y fresadoras de madera.

4.3.5.1. Fresadoras copiadoras

Las fresadoras copiadoras son máquinas herramientas diseñadas para reproducir o copiar con precisión una forma o perfil específico en una pieza de trabajo. Estas máquinas son ideales para la producción en serie de piezas que requieren geometrías repetitivas y precisas.



Figura 13. Fresadora copiadora [12].

4.3.5.2. Fresadoras de pórtico

Una fresadora de pórtico, también conocida como fresadora de puente o fresadora de columna móvil, es un tipo especializado de fresadora que se caracteriza por su estructura en forma de pórtico. Esta configuración consiste en dos columnas verticales conectadas por una viga horizontal en la parte superior, que forma un "pórtico" sobre el área de trabajo.



Figura 14. Fresadora de pórtico [12].

4.3.5.3. Fresadoras de puente móvil

Las fresadoras de puente móvil son máquinas especializadas de mecanizado con una estructura de puente que se desplaza horizontalmente sobre la mesa de trabajo. Esto permite mecanizar piezas de diferentes tamaños y formas, especialmente las grandes y complicadas.



Figura 15. Fresadora de puente móvil [12].

4.3.5.4. *Fresadoras de madera*

Las fresadoras de madera son máquinas herramientas diseñadas especialmente para mecanizar y dar forma a la madera, uno de los materiales más comunes y versátiles utilizados en la construcción, carpintería y ebanistería. Estas máquinas han sido diseñadas y adaptadas para trabajar de manera eficiente y precisa con la madera, teniendo en cuenta sus propiedades únicas y requerimientos de mecanizado.



Figura 16. Fresadora de madera [12].

4.4. HERRAMIENTAS DE CORTE

En lo que respecta a las herramientas, son los componentes encargados de llevar a cabo la acción de cortar el material. En el contexto de una fresadora, estas herramientas se llaman fresas. Sin embargo, también existen otras herramientas con la capacidad de realizar diversas operaciones, como las brocas utilizadas para perforar o los escariadores.

Una fresa se caracteriza por su tamaño, forma, composición material, número de dientes o labios que posea y el sistema mediante el cual se sujeta al soporte de la herramienta. En términos generales, cuando se trabajan materiales más duros, los bordes de corte permiten alcanzar velocidades de corte más altas, pero dado que estos materiales son menos tenaces, se requiere una velocidad de avance más lenta.

El número de dientes o plaquitas cortantes en una fresa varía en función de su tamaño, la cantidad de material a retirar, la dureza del material a mecanizar y el tipo específico de fresa, el cual será abordado en la sección siguiente.

4.5. FREDERICK WEBSTER HOWE

Frederick Webster Howe, nacido el 28 de agosto de 1822 en Danvers, Massachusetts, Estados Unidos y fallecido el 25 de abril de 1891, fue un innovador e inventor estadounidense de máquinas herramienta. Fue descrito como 'el Henry Maudslay de América' en reconocimiento a su innovación.

Fue un distinguido inventor y fabricante estadounidense. Proveniente del linaje de un herrero, Howe demostró su genio desde temprana edad, creando diseños icónicos para diversas máquinas herramienta cuando apenas contaba con 20 años. Entre estas innovaciones se encontraban una máquina perfiladora, una máquina perforadora y estriadora de barriles, y lo que se convertiría en la primera máquina fresadora universal comercialmente viable.

Su talento fue forjado en el taller distinguido de Gay, Silver en North Chelmsford, Massachusetts. Durante el período entre 1847 y 1856, el espíritu visionario de Howe lo llevó a supervisar la construcción de un conjunto completo de máquinas herramienta en la fábrica de Robbins & Lawrence en Windsor, Vermont, con el objetivo de mecanizar el arsenal de Enfield en Inglaterra. Su habilidad en la creación de rifles con partes intercambiables lo impulsó a fundar su propia armería en Newark, Nueva Jersey, en 1856. Además, trabajó en la empresa Simeon Norht en Middletown, Connecticut.

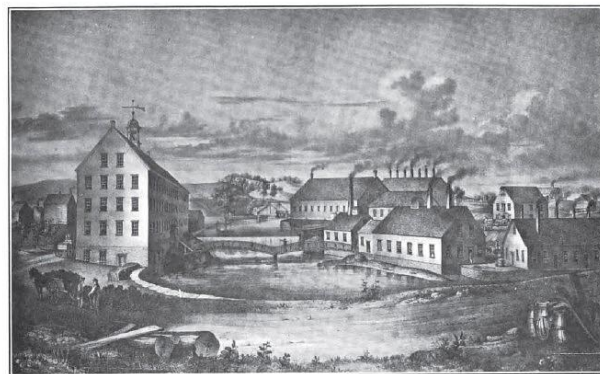


Figura 17. Armería de Robbins and Lawrence, 1849 [13].

En una etapa posterior, mientras estaba en el arsenal de la Providence Tool Company, Howe presentó las máquinas herramienta a Joseph R. Brown, un paso crucial en la historia de la fabricación. La primera máquina de Brown & Sharpe surgió como una evolución mejorada de la máquina de tornillo de torreta diseñada originalmente por Howe durante su tiempo en Robbins and Lawrence. Además, Howe inspiró a Brown a concebir la idea de la fresadora universal, un hito significativo en la tecnología de las máquinas herramienta.

Durante la Guerra Civil, Howe perfeccionó la fabricación del rifle Springfield en Providence Tool Co., demostrando su compromiso con la excelencia en la producción de armamento.

La influencia de Howe también se extendió a la producción en masa de las máquinas de coser de Elias Howe. Finalmente, su trayectoria lo llevó a regresar a Brown & Sharpe, donde ocupó el cargo de presidente, consolidando aún más su impacto duradero en la industria manufacturera y la innovación tecnológica.

La vida y obra de Frederick Webster Howe destacan como un testimonio perdurable de innovación, visión y contribuciones significativas al avance tecnológico y al progreso industrial en Estados Unidos.

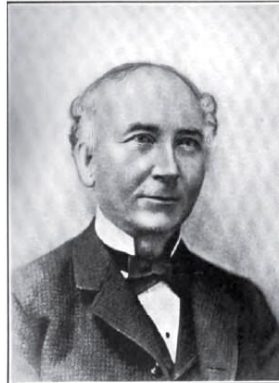


Figura 18. Frederick Webster Howe [13].

4.6. BROWN & SHARPE

Brown & Sharpe es una empresa histórica que se ha destacado en la fabricación de maquinaria de precisión y herramientas de medición desde sus inicios en el siglo XIX hasta hoy en día. En este trabajo va a ser destacada ya que fue la empresa que patentó la fresadora universal en la que se centra.

Brown & Sharpe fue fundada en 1833 en South Main Street, en Providence, Rhode Island por David Brown y su hijo Joseph R. Brown. David Brown se jubiló en 1841, y el Joseph R. Brown formó una sociedad con Lucien Sharpe en 1853, lo que dio nombre a la empresa.

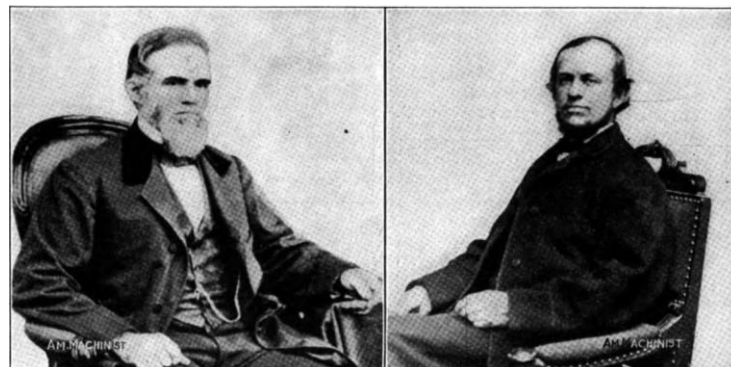


Figura 19. Joseph R. Brown y Lucien Sharpe [14].

A medida que avanzaba el siglo XIX, Brown & Sharpe comenzó a diversificar su producción y a centrarse en la fabricación de maquinaria de precisión, herramientas de medición y equipos para la industria metalúrgica. La empresa se destacó por sus innovaciones en el diseño y la producción de herramientas y máquinas que contribuyeron al desarrollo de la industria manufacturera de Estados Unidos.

Durante la Revolución Industrial, Brown & Sharpe desempeñó un papel crucial al proporcionar herramientas de alta calidad para la fabricación y la ingeniería. Su enfoque en la precisión y la innovación les permitió ganar reconocimiento y reputación en la industria.

A lo largo de su historia, Brown & Sharpe introdujo una serie de tecnologías y avances importantes en el campo de la metrología y la fabricación de maquinaria. Algunas de sus contribuciones notables incluyen:

- **Sistema de Medición Universal:** Brown & Sharpe desarrolló un sistema de medición universal que permitía la intercambiabilidad de piezas en diferentes máquinas y equipos, lo que revolucionó la fabricación industrial al estandarizar las medidas y tolerancias.
- **Máquinas de Precisión:** La empresa fue pionera en la fabricación de máquinas herramientas de alta precisión, como tornos, fresadoras y rectificadoras, que desempeñaron un papel crucial en la mejora de la calidad y la eficiencia en la producción.
- **Instrumentos de Medición:** Brown & Sharpe produjo una variedad de instrumentos de medición precisos, como micrómetros y calibradores, que se convirtieron en herramientas esenciales en la industria para garantizar la precisión en la fabricación.

En el siglo XX, Brown & Sharpe continuó expandiendo su alcance y desarrollando nuevas tecnologías. Durante la Primera y Segunda Guerra Mundial, la empresa desempeñó un papel vital al proporcionar herramientas y equipos de precisión para apoyar los esfuerzos de guerra.

A lo largo de los años, Brown & Sharpe atravesó diferentes etapas, incluyendo fusiones y adquisiciones. En 2001, la empresa se convirtió en parte de Hexagon AB, una empresa sueca especializada en tecnologías de medición y metrología. En 2004, Brown & Sharpe S.A. cambia su denominación social a Hexagon Metrology.

El legado de Brown & Sharpe en la industria de la fabricación y la metrología es innegable. Sus contribuciones en términos de estándares de medición, herramientas de precisión y maquinaria siguen siendo fundamentales en la fabricación moderna.

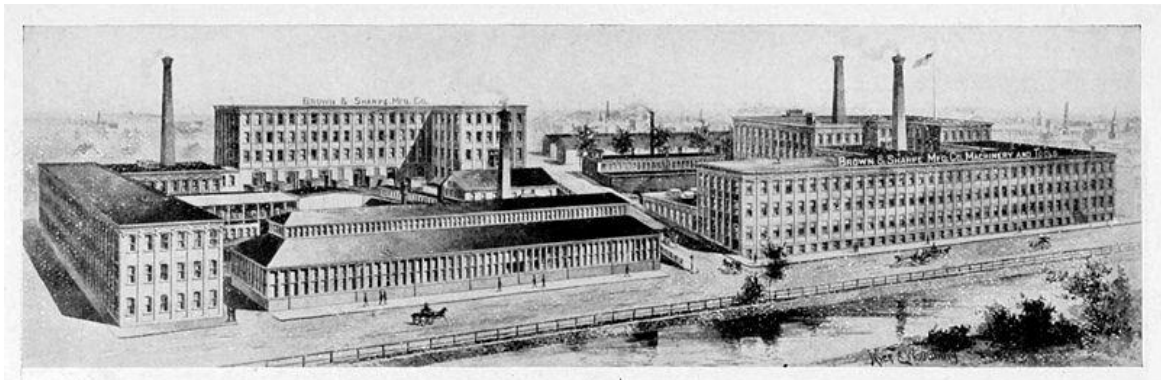


Figura 20. Industrias Brown and Sharpe, 1896 [14].

4.7. LA FRESADORA UNIVERSAL DE FREDERICK W. HOWE

4.7.1. Historia de la primera fresadora universal

El hito más destacado en el desarrollo de las fresadoras fue la invención de la primera fresadora universal. Esta máquina revolucionaria fue creada en el año 1848 por Frederick W. Howe para la empresa Robbins and Laurence, siendo la primera fresadora que incorporaba un copiado de perfiles. Posteriormente fue perfeccionada, equipándola con plato divisor, y patentada por la empresa Brown and Sharpe, acción

propuesta por Howe, dando origen a la primera fresadora universal comercialmente exitosa. La fresadora universal incorporaba características innovadoras que permitían realizar una amplia gama de operaciones de mecanizado, tanto en superficies planas como curvas, y en diferentes ángulos.

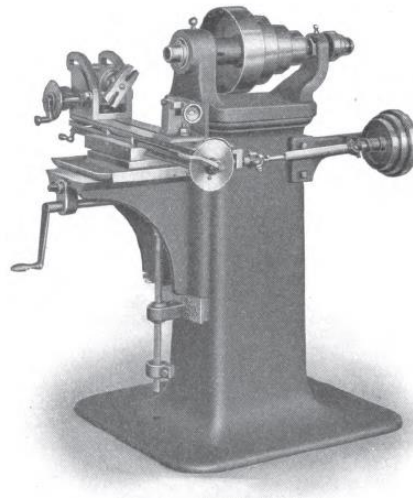


Figura 21. Fresadora universal con plato divisor [15].

Una de las principales ventajas de la fresadora universal era su versatilidad, ya que permitía cambiar rápidamente las herramientas y ajustar las posiciones de corte para llevar a cabo múltiples operaciones sin tener que mover la pieza de trabajo. Esto redujo drásticamente el tiempo de producción y aumentó la eficiencia en los talleres, lo que la convirtió en un elemento clave para la industria manufacturera.

La aparición de la fresadora universal tuvo un impacto social significativo. Esta máquina-herramienta permitió un aumento en la producción industrial, lo que impulsó la economía y generó empleo en el sector manufacturero. La producción en masa de piezas precisas y complejas se hizo posible gracias a la fresadora universal, lo que mejoró la calidad y la precisión de los productos fabricados.

La fresadora universal encontró aplicación en diversos sectores industriales, como la fabricación de maquinaria, la construcción de motores y el mecanizado de piezas para la industria automotriz. Además, se utilizó en la producción de bienes de consumo, lo que contribuyó a la creación de una sociedad de consumo más desarrollada.

El funcionamiento básico de una fresadora implica el uso de una herramienta de corte, generalmente una fresa, que gira y realiza el mecanizado sobre una pieza de trabajo fija. La fresadora universal permite ajustar la posición del cabezal, la mesa y otros componentes, lo que permite un mecanizado versátil y preciso en diferentes ángulos y direcciones.

Junto con otras máquinas-herramientas, como tornos, taladros y rectificadoras, la fresadora universal forma parte de un conjunto de equipos que conforman el núcleo de los talleres de mecanizado y fabricación. Estas máquinas trabajan en conjunto para llevar a cabo procesos de mecanizado, corte y conformado de piezas, lo que permite la creación de componentes y productos esenciales en la industria moderna.

4.7.2. Datos técnicos

Los datos técnicos de esta fresadora se expondrán en la siguiente tabla.

Tabla 1. Datos técnicos de la fresadora de Frederick W. Howe.

Campo de acción		Longitud mm	850	
		Anchura mm	200	
	Mesa	Ranuras en T según DIN-650	Número Ancho Distancias	1 16 H7 -
		Recorridos	Longitudinal automático / a mano . . mm	750/760
			Transversal automático / a mano . . mm	160/170
Vertical automático / a mano mm	325/335			
		Inclinación a ambos lados	0°	
Distancia		Eje del eje principal hasta la superficie de la mesa mm	435	
		Eje del eje principal hasta la parte inferior del puente mm	112	
		Cabeza del eje principal hasta el lado inferior del soporte del porta-fresas mm	500	
Eje principal		Cabeza del eje principal según ISO-R 297 Cono	ISO-40	
		Diámetro máximo del eje porta-fresas mm	32	
		Longitud de la espiga del eje porta-fresas mm	560	
Revoluciones del eje principal según ISO-R 299		Número de revoluciones mm	12 1,4	
		Número de revoluciones		
		Progresión geométrica		
		Gama de revoluciones { 40 – 56 – 80 – 112 – 160 – 224 – 315 – 450 630 – 900 – 1.250 – 1.800 r.p.m.		
		Número de avances	9	

según ISO-R 229	Progresión geométrica		1,6
	Gama mm/min	Longitudinal { 16 – 25 – 40 – 63 – 100 – 160 – 250 Transversal { 400 – 630 mm/min Vertical { 5,6 – 9 – 14 – 22,4 – 35,5 – 56 – 90 140 – 224 mm/min	
Avances rápidos	Longitudinal mm/min		3.000
	Transversal mm/min		3.000
	Vertical mm/min		1.000
Dimensión y peso de la máquina	Largo mm		1.300
	Ancho mm		1.160
	Alto mm		1.340
	Peso neto con accesorios normales, aproximado kg		2.100

4.7.3. Estructura y partes

En una fresadora universal se pueden distinguir principalmente seis partes:

- **Base:** Parte de la máquina donde ésta se apoya.
- **Cuerpo:** Es la estructura de la máquina. Se apoya sobre un extremo de la base y en su parte frontal lleva unas guías verticales por las que la consola se desliza. Contiene los mecanismos de accionamiento de la máquina.
- **Consola:** Sirve de soporte a la mesa y se desliza sobre las guías del cuerpo de forma automática o manual.
- **Mesa:** Donde se amarran las piezas. Dispone para ello de unas ranuras en T. Ésta va apoyada sobre dos carros, uno que se desplaza longitudinalmente y otro que se desplaza longitudinalmente sobre unas guías en forma de cola de milano. Dicho conjunto se sitúa sobre la consola.
- **Eje de la herramienta:** Se encuentra montado horizontalmente en la parte superior del cuerpo. En él se colocan las fresas o el eje porta-fresas. Recibe el movimiento de rotación que, a su vez, transmite a la fresa.
- **Puente:** Se apoya sobre la parte superior del cuerpo. Soporta la luneta del extremo del eje de la herramienta.

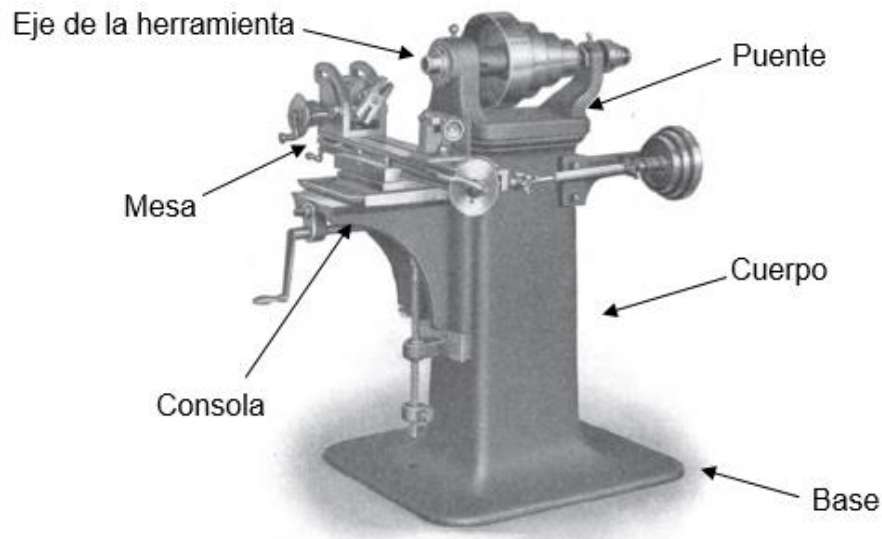


Figura 22. Partes principales de una fresadora universal.

4.7.4. Funcionamiento

La fresadora universal de Frederick W. Howe se utilizaba en talleres de mecanizado del s. XIX, donde, en la mayoría de los casos, el motor principal era la máquina de vapor. A esta máquina se le unía un largo eje que recorrían todo el taller.

Para mecanizar una pieza de trabajo se realizarían los siguientes pasos:

- 1) Se selecciona la fresa adecuada para el trabajo que se va a realizar.
- 2) Se coloca y asegura la pieza de trabajo en la mesa de trabajo.
- 3) Se ajustan los movimientos de la mesa y la posición de la fresa para que la herramienta se acerque a la pieza de trabajo en la dirección y profundidad correctas.
- 4) Se enciende el motor y se ajusta la velocidad del husillo de acuerdo con el material y la operación de corte.
- 5) Se gira la manivela para alimentar la herramienta hacia la pieza de trabajo, comenzando a cortar el material.
- 6) Se realizan los movimientos necesarios para cortar la forma y dimensiones deseadas en la pieza de trabajo.

El eje conectado a la máquina de vapor proporcionaba el giro a los platos, dependiendo de si se requería de velocidad o de fuerza se utilizaba un plato de menor o mayor tamaño. El plato transmitía el movimiento a las máquinas del taller mediante correas. En este caso, la correa se enganchaba a los platos que se sostenían sobre el carnero de la fresadora, dando así movimiento al eje portaherramientas. Mediante una correa trapezoidal se transmitía el desplazamiento a una junta cardan que permite la traslación de la mesa de trabajo. En el caso de no ser posible el uso de la máquina de vapor, este proceso se llevaba a cabo mediante manivelas.

Sobre el montaje y por unas guías de ajuste fijadas por medio de tornillos se desplaza un bastidor llamado ménsula. En la parte superior lleva otras guías perpendiculares a las anteriores que sirven de soporte al carro transversal. En el interior de la ménsula se alojan los mecanismos para los avances automáticos de los distintos carros y los de la propia ménsula, así como los mecanismos de los avances manuales del carro transversal. El acoplamiento entre ménsula y cuerpo se logra por medio de una regleta ajustable que debe permitir el fácil deslizamiento sin juego, de tal manera que al aflojar el tornillo de bloqueo la ménsula no se desnivele en ningún sentido.

La subida o bajada de la ménsula se logra por medio de un husillo de acero que se ajusta en una tuerca atornillada a la base de la máquina. El mecanismo sea de forma manual, desde el exterior con un volante o manivela, o automáticamente desde el exterior, por una serie de transmisión de movimiento y regulación de velocidad. Sobre la ménsula, en dirección perpendicular al plano de las guías, se desliza un carro transversal fabricado en fundición gris estabilizada para eliminar las posibles holguras de las guías sobre las que se desliza el carro. Se utilizan reglas de ajuste que se regularán en función de las necesidades de mecanizado.

Sobre el carro transversal se encuentra mecanizada una ranura transversal en forma de T donde quedarán alojados los tornillos para la fijación del centro divisor. Este carro se desplaza por medio de un mecanismo de tornillo y tuerca. El accionamiento puede ser manual, mediante un volante que hace girar el husillo, o automático, mediante la transmisión desde la caja de avance por medio de engranes y árboles de transmisión, para lo cual el carro tiene un orificio que corresponde con el de la placa giratoria de dimensiones suficientes para permitir el montaje de los mecanismos que transmiten el movimiento de la caja de avances hasta el husillo de la mesa.

Mediante estos movimientos descritos, de avance y de corte, se mecaniza la pieza de trabajo mediante la fresa. Para la fabricación de engranajes se utiliza el cabezal divisor y el contrapunto, que tendrán su propio apartado donde se explica su composición y funcionamiento.

4.7.5. Mecanismos de sujeción

En el proceso de mecanizado en fresadoras, los mecanismos de sujeción desempeñan un papel esencial al garantizar la estabilidad y precisión de las piezas durante el corte. Estos mecanismos son utilizados para fijar las piezas en la mesa de trabajo de la fresadora y la herramienta al eje porta-fresas, permitiendo que las herramientas de corte realicen operaciones de mecanizado con precisión y seguridad.

4.7.5.1. De las piezas

Para lograr un acabado óptimo en la pieza que se va a mecanizar, es esencial asegurar una sujeción adecuada de las piezas en la mesa de trabajo de la fresadora. El mecanismo de sujeción empleado debe facilitar la carga y descarga eficiente de las piezas en la mesa, permitiendo una ejecución veloz y precisa. Esto garantizará la repetición precisa de las posiciones de las piezas y establecerá una sujeción lo suficientemente robusta para mantener la estabilidad.

Adicionalmente, la elección del sistema de sujeción debe asegurar que la herramienta de corte pueda llevar a cabo todas las rutas de mecanizado programadas sin riesgo de colisiones con otros elementos. Esta elección de un sistema de sujeción u otro va a depender de la naturaleza de corte, de desbaste o acabado, la dirección del corte, la forma y rigidez de la pieza y la cantidad de piezas a producir.

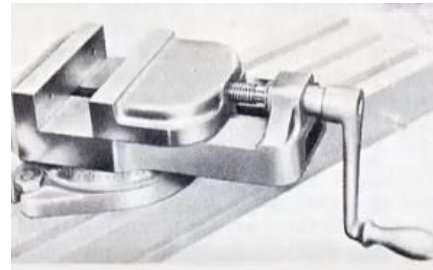
Con respecto a los dispositivos utilizados para fijar las piezas, se pueden distinguir dos categorías principales:

- **Prensa mordaza:** Este método de sujeción es ampliamente utilizado y se presenta en dos variantes: mordazas con base fija y mordazas con base giratoria.

En el caso de las mordazas con base giratoria, se instalan en un plato circular que está marcado con graduaciones angulares, lo que permite ajustar la orientación de la pieza en ángulos específicos. Se pueden colocar a cualquier ángulo en un plano horizontal, permitiendo una relación angular precisa entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo.



(a)



(b)

Figura 23. (a) Prensa mordaza sencilla. (b) Prensa mordaza giratoria. [16]

Además, se puede encontrar la prensa de mordaza angular ajustable, con una base fija y un cuerpo que se ajusta de cero a 90° sobre un plano vertical.

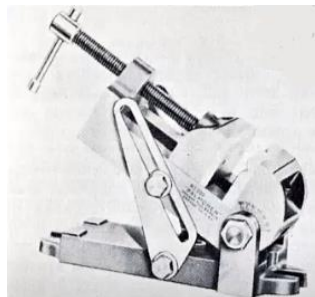


Figura 24. Prensa mordaza angular ajustable. [16]

- **Mandril universal:** Dispositivo sujetador de precisión comúnmente usado en las operaciones de fresado para sujetar piezas de trabajo cilíndricas. Puede ser utilizado de distintas maneras durante el fresado, se puede montar sobre el husillo de la máquina, sobre el husillo del cabezal divisor o sobre la propia mesa de trabajo.

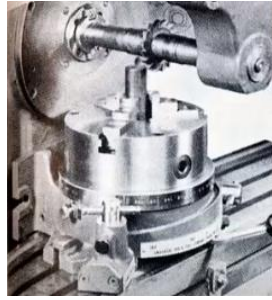


Figura 25. Mandril universal. [16]

- **Mesa giratoria:** Se utiliza para sujetar piezas de trabajo para operaciones de fresado con espaciado de precisión, divisional y radial. Su base está dividida en 360°, permitiendo que la pieza de trabajo gire en un círculo completo. Esta mesa se sitúa sobre la mesa.

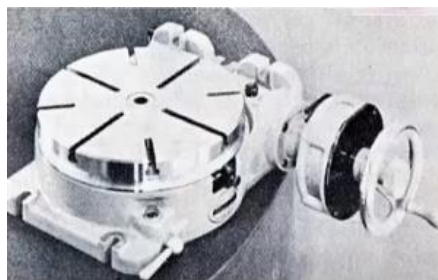


Figura 26. Mesa giratoria. [16]

- **Centro divisor:** Es un complemento adicional para sujetar o girar la pieza de trabajo de forma que sea posible hacer a su alrededor un número determinado de cortes o subdivisiones espaciados de forma equidistante. Está formado por un cabezal o cabeza divisora y un contrapunto. La pieza se puede sujetar entre centros usando el contrapunto o, como se dijo anteriormente, en un mandril montado en el husillo del cabezal divisor. Se utiliza principalmente para el fresado de los dientes en toda clase de engranajes.

Posteriormente, en el siguiente apartado, se comentará este dispositivo en mayor profundidad.

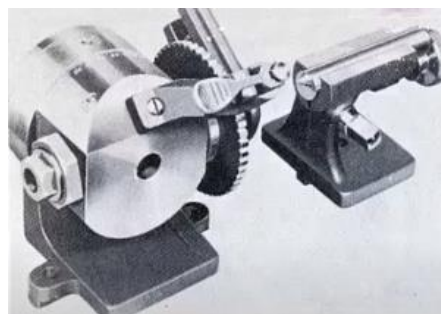


Figura 27. Centro divisor. [16]

- **Bloque en V:** Son ampliamente utilizados en situaciones donde se deben fijar piezas con formas cilíndricas, como ejes, vástagos, tubos y otros componentes redondos. La forma en V proporciona un punto de

apoyo sólido y estable para la pieza, lo que facilita el mecanizado de caras planas o laterales sin que la pieza se desplace o vibre.

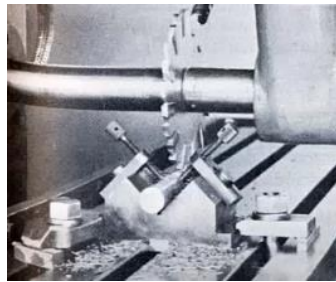


Figura 28. Bloque en V. [16]

- **Brida de apriete:** Su empleo se reserva para aquellas piezas que resultan difíciles de asegurar mediante mordazas, ya que su instalación entraña una mayor complejidad. Estos sistemas comprenden elementos como bridas, calzos y espárragos, los cuales se utilizan para aplicar tensión y asegurar la fijación de la pieza de manera efectiva de las herramientas.

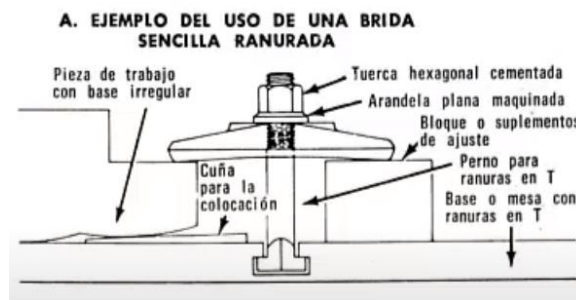


Figura 29. Brida sencilla ranurada. [16]

Además, también se usaban usualmente dispositivos más rudimentarios para la fijación de piezas, como cepillos y cuñas, abrazaderas y tornillos, tornillos de banco y tornillos prisioneros y pasadores.

4.7.5.2. De las herramientas

Algunos de los mecanismos de sujeción utilizados para asegurar las herramientas de corte en una fresadora incluyen:

- **Porta-fresas:** Son dispositivos diseñados para mantener y sostener la herramienta de corte en su lugar. Estos dispositivos aseguran que la herramienta permanezca en la posición correcta durante el mecanizado.
- **Porta-fresas calzable:** Son porta-fresas cortos. Son utilizados cuando la fresa se debe fijar cerca del husillo de fresado.
- **Mandriles de sujeción de las fresas:** Los mandriles de sujeción destinados a las fresas tienen la función específica de asegurar fresas con vástago cilíndrico. Estos mandriles se insertan en el husillo de la fresadora.
- **Sujeción directa:** La fresa se fija directamente al husillo porta-fresas.

4.8. EL CENTRO DIVISOR

Los divisores son dispositivos especialmente diseñados para lograr divisiones equidistantes en la periferia de las piezas, como los engranajes.

Dentro de la categoría de divisores, destaca el cabezal divisor, el cual posibilita la realización de divisiones circulares de diversas índoles, ya sea en cilindros o conos. Además, su versatilidad en movimientos permite la confección de piñones helicoidales, gracias a su capacidad de adaptación a múltiples configuraciones.

El centro divisor está compuesto por un cabezal o plato divisor y un contrapunto. La pieza que se desea mecanizar se puede sujetar entre centros usando el contrapunto o se puede sujetar en un mandril montado en el husillo del cabezal divisor, en este caso, la fresadora estudiada cuenta con el contrapunto.

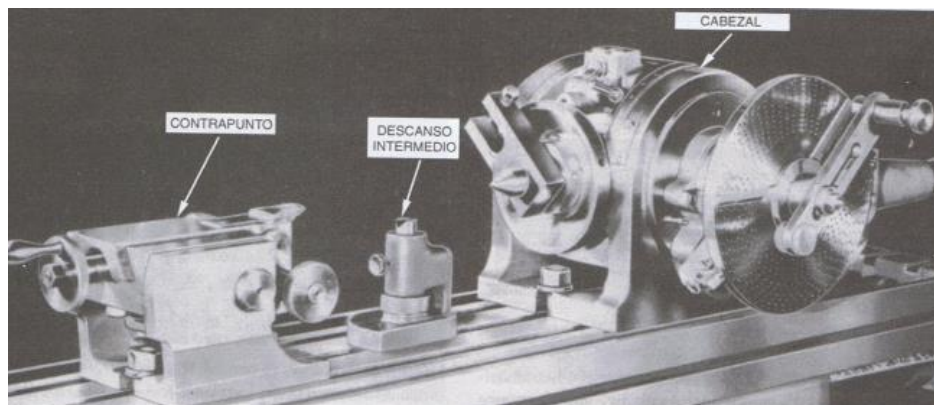


Figura 30. Partes de un centro divisor [17].

Los propósitos fundamentales del cabezal divisor son los siguientes:

- Sostener uno de los extremos de la pieza de trabajo de manera estable y precisa.
- Facilitar, en casos requeridos, la transmisión de un movimiento de rotación a la pieza, un ejemplo de ello es la fabricación de piñones helicoidales.
- Habilitar la aplicación de todos los métodos de división imaginables, ya sean simples, compuestos, diferenciales, lineales o angulares.
- Capacitar el proceso de tallado de piñones en sus variaciones rectos, helicoidales y cónicos.

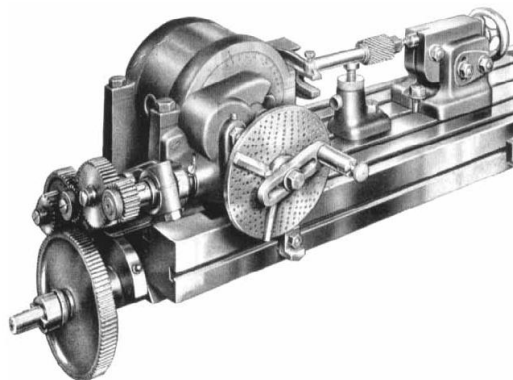


Figura 31. Centro divisor en la fresadora universal. [18]

El divisor universal opera a través de un sistema compuesto por un tornillo sin-fin y una rueda helicoidal. Este mecanismo permite llevar a cabo una variedad de operaciones de división con una gran precisión.

El cabezal divisor universal tiene una manivela engranada a un husillo. Una revolución de la manivela hará girar al husillo parte de una revolución. En la mayoría de los cabezales divisores, 40 vueltas de la manivela harán girar al husillo una vuelta completa.

En el extremo exterior del eje divisor se sujeta una placa circular con agujeros o muescas alrededor de su circunferencia. Una placa tiene 30 y 36 agujeros o muescas y otra tiene 28 y 48 agujeros. Si se utiliza la placa de 30 y 36 agujeros divisores, se puede dividir un círculo en 2, 3, 5, 6, 10 o 15 partes iguales.

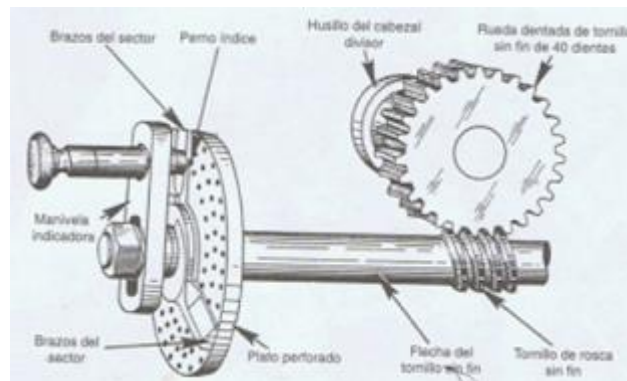


Figura 32. Construcción y partes de un mecanismo divisor. [18]

El proceso de mecanizado es el siguiente: al girar la manivela, el tornillo sin-fin se pone en movimiento, y su engranaje con la rueda helicoidal provoca un efecto de engrane suave y gradual. Esta rueda helicoidal, al recibir la acción de giro del tornillo sin-fin, comienza a rotar con un movimiento helicoidal característico. Esta secuencia de movimientos es vital para la transmisión de energía y la generación de una rotación controlada y precisa.

Es en el eje principal donde la pieza que está siendo trabajada se asegura firmemente. La interacción entre el tornillo sin-fin, la rueda helicoidal y el eje principal crean movimientos coordinados que permiten sostener y manipular la pieza de manera estable y precisa.

Este sistema de engranajes y movimientos combinados confiere al divisor su característica de "universalidad". El cabezal divisor tiene la capacidad de llevar a cabo, no solo divisiones circulares en cilindros o conos, sino también la fabricación de piñones helicoidales y otras operaciones especializadas.

Los discos perforados en el divisor son fácilmente intercambiables, caracterizándose por presentar entre 6 y 8 series concéntricas de agujeros, cada una con una variación en el número total de agujeros. En cada serie, la equidistancia entre los agujeros se mantiene constante, lo que contribuye a la precisión de las divisiones realizadas. Para agilizar y garantizar la exactitud del proceso de división, se emplea una tijera de división, eliminando la necesidad de contar nuevamente los agujeros y reduciendo la probabilidad de errores.

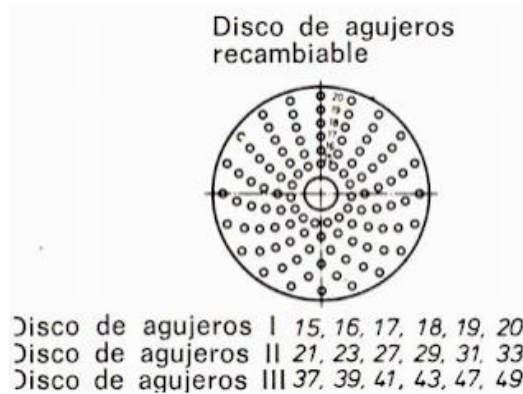


Figura 33. Disco de agujeros intercambiables [19].

Existe la posibilidad de asegurar la pieza a mecanizar mediante una variedad de platos de sujeción, similar a las opciones disponibles en un torno. Estos platos de sujeción pueden incluir el plato de garras universal, el plato de 4 garras independientes, el plato de arrastre y otros. Esta versatilidad en los platos de sujeción permite fijar piezas de diferentes tipos, teniendo en cuenta su longitud, forma y características específicas.

Al emplear estos platos de sujeción, se posibilita la fijación segura y precisa de la pieza en el divisor. Esta flexibilidad es especialmente útil cuando se trabaja con piezas de dimensiones variables o formas diversas, ya que se puede adaptar la sujeción de manera óptima para garantizar la estabilidad y la precisión durante el proceso de mecanizado.

Adicionalmente, en situaciones en las que se trata con piezas excepcionalmente largas, es posible utilizar lunetas intermedias. Estas lunetas, que se pueden montar en el divisor, proporcionan un soporte adicional a lo largo de la longitud de la pieza, minimizando cualquier desviación o flexión no deseada durante el mecanizado.

- 1.- Carcaza o cuerpo principal.
- 2.- Husillo del divisor.
- 3.- Rueda o corona con 40 dientes.
- 4.- Tornillo sin fin de un paso.
- 5.- Disco con una serie de círculos circunscritos.
- 6.- Manivela.
- 7.- Espiga indicadora o pivote.
- 8.- Tijera o escuadra falsa.
- 9.- Perno de trinquete o traba del disco de orificios.
- 10.- Perno de trinquete o traba para división directa.
- 11.- Plato divisor para división directa.
- 12.- Brida de arrastre.
- 13.- Pieza a mecanizar.
- 14.- Herramienta o fresa.

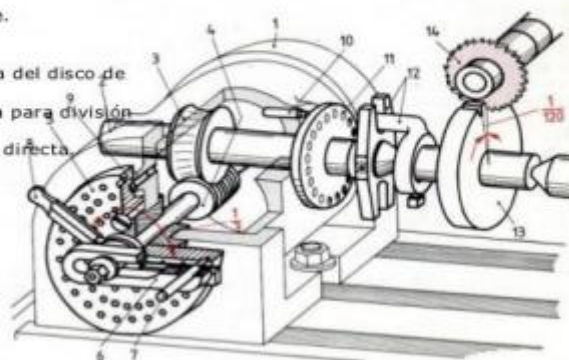


Figura 34. Partes principales del cabezal divisor [19].

Los métodos de aplicación son los siguientes: División directa, división indirecta, división angular, división diferencial y fresado de ranuras espirales.

4.8.1. División directa

En el método de división directa, no se produce un engranaje directo entre el tornillo sin fin y la rueda helicoidal. En cambio, la interacción se logra mediante la rotación de un cojinete excéntrico en el que se apoya el tornillo sin fin. Este movimiento excéntrico activa la rueda helicoidal y, por ende, el proceso de división.

La operación se lleva a cabo en un disco divisor, que típicamente presenta 24 agujeros o ranuras, aunque en algunas ocasiones puede haber 16, 36, 42 o 60. El disco divisor se conecta a un punzón divisor y se fija al husillo del cabezal. En cada etapa de división, el disco divisor y, en consecuencia, la pieza que está siendo girada avanzan en distancias predeterminadas entre agujeros. Es esencial notar que el número de divisiones que pueden lograrse se limita al número de agujeros o ranuras del disco divisor sin dejar residuos.

Esta técnica permite la creación de divisiones de manera eficiente y expedita, y se beneficia de la simplicidad de sus dispositivos, que a menudo incorporan discos intercambiables. Aunque la división directa ofrece velocidad, es importante resaltar que solo es aplicable para construir piezas cuyo número de divisiones sea un submúltiplo del número de agujeros en el disco divisor.

$$\text{giro del plato} = \frac{\text{Divisiones del plato}}{\text{Divisiones que se quieren}} \quad (1)$$

4.8.2. División indirecta

Cuando se tienen situaciones en las que la división directa no es viable, se recurre a la división indirecta.

En la división indirecta, el husillo del divisor se pone en movimiento mediante una combinación de un tornillo sin fin y una rueda helicoidal. Este engranaje posee una relación de transmisión de 40:1, lo que implica que 40 vueltas completas de la manivela divisora resultan en una única vuelta del husillo del divisor.

Por ejemplo, si se busca obtener una división decimal, será necesario girar la manivela divisora 4 veces para cada paso parcial, ya que 40 dividido entre 10 es igual a 4.

Los discos perforados que forman parte de este proceso son reemplazables y generalmente cuentan con entre seis y ocho series de agujeros concéntricos, cada una con diferentes cantidades de agujeros. En cada serie, la equidistancia entre los agujeros permanece constante, lo que agiliza el proceso de división. Aquí es donde entra en juego la tijera de dividir, que facilita enormemente la tarea. Esta herramienta evita la necesidad de contar minuciosamente los agujeros, ahorrando tiempo y reduciendo el riesgo de cometer errores.

Al emplear la tijera de dividir, se asegura que entre los brazos de la herramienta siempre haya un agujero adicional respecto al número de espacios calculados entre ellos. Esto previene inexactitudes en el proceso.

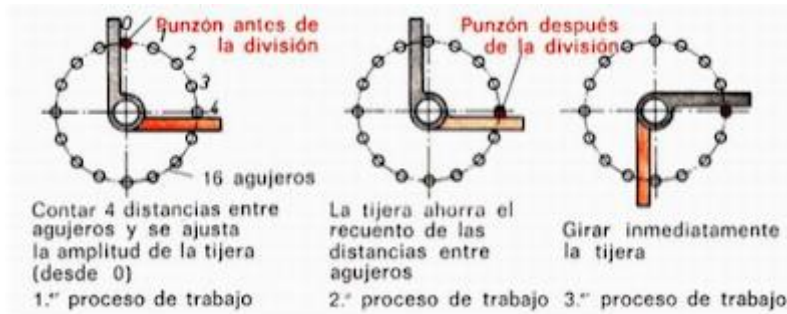


Figura 35. División indirecta [19].

4.8.3. División angular

Mediante el uso del cabezal divisor, también se pueden desarrollar divisiones en las cuales únicamente poseemos información acerca del ángulo central creado por las divisiones entre sí. En otras palabras, cuando la separación entre las divisiones en una circunferencia se da en términos de grados y minutos, el vértice de este ángulo se localiza en el centro de la pieza.

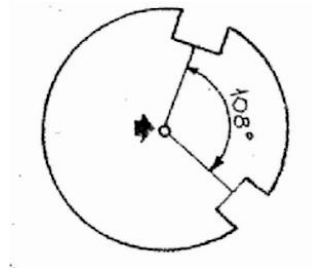


Figura 36. División angular [19].

Para calcular la división angular en este contexto, es necesario formar una fracción. El numerador de esta fracción representa la cantidad de grados abarcados por las divisiones, mientras que el denominador se obtiene al dividir 360 grados por la constante del divisor, de la siguiente manera:

$$V.M. = \frac{\text{Grado divisiones}}{\frac{360^\circ}{k}} = \frac{N^\circ \text{ agujeros}}{N^\circ \text{ circulos}} \quad (2)$$

4.8.4. División lineal (cremallera)

La cremallera se define como una barra o superficie recta provista de dientes tallados que permiten su encaje con un piñón. Su uso principal radica en la conversión entre movimientos circulares y lineales, adaptación que acontece con frecuencia en diversas aplicaciones.

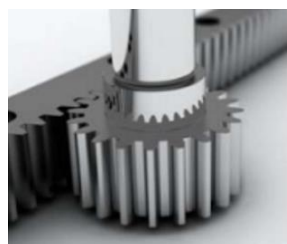


Figura 37. Cremallera [19].

De hecho, la cremallera se equipará, principalmente, a un engranaje recto con un radio infinito. Si consideramos un segmento de radio infinito, este se convierte en una línea recta. Los dientes de la cremallera comparten dimensiones y perfil con los del piñón con el cual engranan.

Para tallar la cremallera, la fresa generalmente se coloca transversalmente con su eje paralelo a la superficie de la mesa, aprovechando el cabezal universal para este propósito. La elección de la fresa es crucial, y se opta por la que puede tallar el mayor número de dientes, que puede alcanzar hasta 154 dientes por cremallera.

Para la división, se pueden emplear las siguientes estrategias:

- **Divisor lineal:** Existen divisores lineales diseñados específicamente para esta tarea.
- **Desplazamiento de la mesa:** Mediante el tambor graduado, se desplaza la mesa una distancia igual al paso circular del engranaje en cada ocasión de tallado de un diente.
- **Divisor universal:** Otra opción es utilizar el divisor universal, un recurso versátil para diversas operaciones, que también puede aplicarse aquí.

La cremallera actúa como una interfaz eficaz para convertir movimientos circulares y lineales. Su tallado y división implican la consideración de factores geométricos y la elección de métodos adecuados, entre los cuales destacan el divisor lineal, el desplazamiento de la mesa y el uso del divisor universal.

4.8.5. División diferencial

La división diferencial representa una ampliación del enfoque de división indirecta. Se recurre a este método cuando la división indirecta no es viable debido a la ausencia de las circunferencias de agujeros necesarias en los discos.

La estrategia de la división diferencial se materializa al llevar a cabo la división de manera similar a la indirecta, utilizando un valor de divisiones cercano al número requerido de dientes del piñón y aprovechando un conjunto de engranajes adicionales que manipulan el plato de agujeros. Esto nos permite ajustar los dientes faltantes o excedentes mediante los movimientos generados por los engranajes.

La manivela se acciona en la dirección de las agujas del reloj, y el plato puede rotar en esta misma dirección o en sentido contrario, según la necesidad específica. La inversión del movimiento del plato de agujeros se realiza mediante engranajes intermedios, que logran este cambio sin alterar la relación de transmisión.

Al girar el plato en sentido contrario al de la manivela, el avance de la pieza bajo trabajo disminuirá en comparación con un plato fijo. Esto se debe a que, mientras la manivela se desplaza en una dirección, el movimiento del plato contrarresta parcialmente este avance, de manera similar a devolver la pieza, lo que resulta en un mayor número de dientes.

En caso de que el plato gire en la misma dirección que la manivela, el avance de la pieza será mayor, ya que el movimiento del plato se suma al de la manivela, lo que se traduce en un número menor de dientes.

La esencia de la División Diferencial surge de la disparidad en los movimientos entre el plato y la manivela. Este enfoque proporciona una herramienta adicional y sofisticada para ajustar las divisiones de manera precisa y flexible en situaciones donde la división indirecta no es factible.

Una vez que el disco de agujeros está listo y se han determinado las vueltas de la manivela necesarias, se pasa al cálculo de las ruedas de cambio mediante:

$$\frac{R}{r} = \frac{K \cdot (Z_f - Z)}{Z_f} = \frac{N^\circ \text{ de ruedas conductoras}}{N^\circ \text{ de ruedas conducidas}} = \frac{\text{Husillo}}{\text{Eje plato}} = \frac{\text{Divisor}}{\text{Agujeros}} \quad (3)$$

Donde:

$R \equiv$ Radio del piñón o engrane conducido

$r \equiv$ Radio del engrane conductor

$K \equiv$ Constante que depende de la relación de transmisión y la configuración del mecanismo.

$Z_f \equiv$ Número ficticio de dientes del piñón

$Z \equiv$ Número real de dientes del piñón

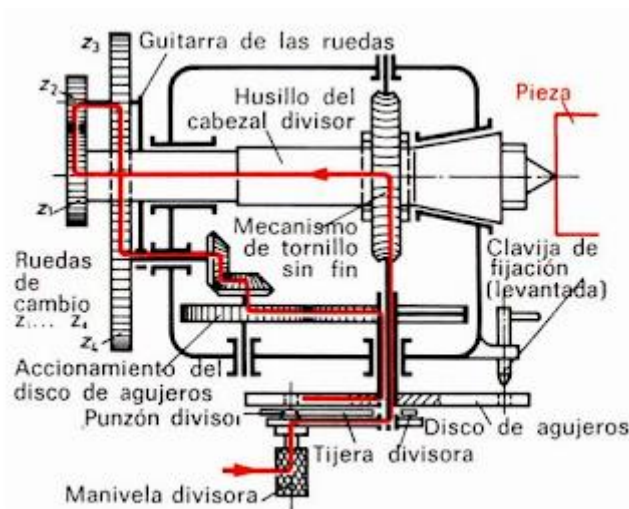


Figura 38. División diferencial [19].

5. TALLERES DE FABRICACIÓN DEL SIGLO XIX

Los talleres tras la máquina de vapor, también conocidos como talleres de ingeniería mecánica o talleres de fabricación, surgieron durante la Revolución Industrial en el siglo XIX, cuando la máquina de vapor se convirtió en una fuente de energía crucial para la producción industrial. Estos talleres eran espacios donde se llevaban a cabo diversas actividades de fabricación y mecanizado, y jugaron un papel fundamental en el desarrollo de la industria moderna.

Los talleres del siglo XIX desempeñaron un papel fundamental en la Revolución Industrial al impulsar la producción en masa y la fabricación de bienes a gran escala. Estos talleres permitieron la creación de máquinas y productos con mayor precisión y rapidez, lo que impulsó el desarrollo industrial y tecnológico. Se caracterizaban por la presencia de grandes máquinas, como tornos, fresadoras, taladros y prensas, todas impulsadas por la energía de las máquinas de vapor. La máquina de vapor proporcionaba una fuente de energía constante y potente que permitía operar todas estas máquinas simultáneamente.

En el contexto de la Revolución Industrial, la máquina de vapor se utilizaba para generar energía mecánica a través de un eje giratorio. Para transmitir el movimiento generado por la máquina de vapor a otras máquinas o dispositivos, se utilizaban distintos métodos, siendo los más comunes el uso de correas y poleas. El taller entero se alimentaba de la máquina de vapor, que solía situarse en el exterior de éste, ya que desprendía demasiado humo y ocupaba gran volumen.

El proceso era el siguiente: la máquina de vapor generaba movimiento rotatorio en un eje que se conectaba a una o varias poleas. Las poleas eran ruedas con ranuras en su perímetro que se unían al eje de la máquina de vapor. Las correas, generalmente hechas de cuero, se enrollaban alrededor de las poleas y se extendían hacia otras máquinas o dispositivos que se deseaban poner en funcionamiento.

Al accionar la máquina de vapor, el eje giratorio movía las poleas, y las correas transmitían ese movimiento a otras máquinas conectadas a ellas. Dependiendo de la configuración y disposición de las máquinas en el taller o fábrica, este sistema de transmisión de energía permitía poner en funcionamiento diferentes equipos y llevar a cabo diversas tareas de mecanizado y producción.

Este sistema de transmisión de movimiento mediante correas y poleas fue ampliamente utilizado en la Revolución Industrial y permitió la mecanización de muchos procesos de producción, lo que impulsó la industrialización y el desarrollo económico en ese período histórico. Con el avance de la tecnología, esta forma de transmisión mecánica fue evolucionando hacia otros métodos más eficientes, como el uso de engranajes y sistemas de transmisión directa. Sin embargo, el uso de correas y poleas fue una característica distintiva de la Revolución Industrial y su impacto en la transformación de la producción y la sociedad.



Figura 39. Taller de mecanizado de la fábrica “La Euscalduna” de Sorluze [20].

Para mayor interés en relación con estos talleres se puede encontrar un vídeo en el que se muestra este mecanismo en el museo de Elgoibar en funcionamiento [21].

6. REALIDAD AUMENTADA

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que combina elementos del mundo real con elementos virtuales, creando una experiencia interactiva en tiempo real. A diferencia de la realidad virtual, que sumerge completamente al usuario en un mundo virtual, la realidad aumentada superpone gráficos, imágenes, sonidos u otros contenidos generados por computadora sobre la vista del mundo real. Se logra a través de dispositivos como teléfonos inteligentes, tabletas, gafas y cascos especiales, que utilizan cámaras y sensores para identificar y rastrear el entorno circundante. Luego, estos dispositivos superponen contenido digital en el mundo real a través de sus pantallas, permitiendo que los usuarios vean y manipulen objetos virtuales como si estuvieran presentes en el espacio físico.

La diferencia entre la realidad aumentada con la realidad virtual (RV), es que esta última es una tecnología que permite a los usuarios experimentar e interactuar con entornos simulados de manera inmersiva y tridimensional. A través de dispositivos específicos, como gafas de RV o cascos, los usuarios pueden sumergirse en mundos virtuales que pueden ser totalmente ficticios o recreaciones realistas de lugares y situaciones reales. [22]

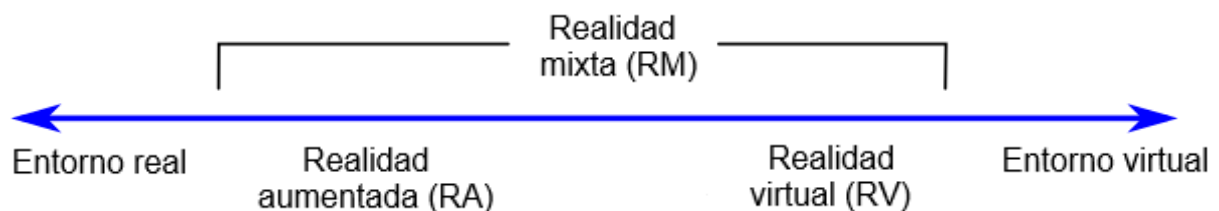


Figura 40. Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

En el caso de este proyecto, se hará uso de la realidad aumentada, permitiendo así acercar la realidad y la actualidad a una recreación de una de las máquinas más importantes del patrimonio industrial, la primera fresadora universal.

6.1. HISTORIA DE LA REALIDAD AUMENTADA

6.1.1. Origen

La noción inicial de realidad aumentada se utilizó por primera vez en 1901, cuando Frank L. Baum introdujo la idea de gafas electrónicas que superponían información sobre las personas que estaban siendo observadas, a este invento lo llamó "character maker".

El siguiente hito se dio en 1962 por Morton Heiling, un pionero en la realidad virtual. Su creación, denominada Sensorama, abarcaba elementos visuales, sonido, vibraciones y aromas, en un esfuerzo por enriquecer la experiencia con información adicional.

Un avance importante tuvo lugar en 1968, al diseñarse "The sword of Damocles". Este dispositivo se colocaba sobre la cabeza y permitía al usuario experimentar gráficos generados por computadora.

En 1973, se desarrolló el primer casco de realidad virtual, marcando un paso hacia la inmersión en mundos virtuales, aunque estos logros se aproximaban más a la realidad virtual que a la aumentada.

El avance más significativo en realidad aumentada fue "Videoplace", concebido en 1974 por Myron Krueger. Esta invención combinaba proyecciones y videocámaras para crear un entorno interactivo en el que los usuarios participaban en una realidad artificial que respondía a sus movimientos y acciones.

En la década de los 80, Steve Mann introdujo el concepto de "wearable computing" y, en 1981, Dan Rei innovó al superponer imágenes de radar meteorológico, cámaras espaciales y de estudio en mapas terrestres y símbolos abstractos para las transmisiones meteorológicas de televisión. Esta fue una precursora de la realidad aumentada al combinar imágenes reales con elementos gráficos en la televisión.

6.1.2. Evolución

En la década de los 90, surgió el término "realidad aumentada" cuando Tom Caudell lo utilizó para describir dispositivos que ayudaban a electricistas en fábricas aeronáuticas a realizar cableados complejos proyectando esquemas sobre las piezas. A lo largo de esta década sucedieron hechos relevantes para el desarrollo de la realidad aumentada: Louis Rosenberg creó "Virtual Fixtures", el primer sistema inmersivo de realidad aumentada, proyectando brazos robóticos sobre los brazos del usuario, se creó KARMA, un banco de pruebas para diseñar experiencias de realidad aumentada automatizadas y "Dancing in cyberspace" presentó el primer teatro de realidad aumentada.

En 1998, Sportsvision usó realidad aumentada en transmisiones de la NFL para marcar líneas virtuales en el campo. La NASA también aplicó realidad aumentada para mejorar la navegación en vuelos de prueba en 1999. Ese mismo año, Hirokazu Kato desarrolló ARToolKit, un software que fusionaba acciones del mundo real con objetos virtuales, influyendo en aplicaciones actuales de realidad aumentada basadas en flash.

En el año 2000, Bruce H. Thomas innovó al desarrollar ARQuake, una adaptación de Quake, un popular juego de computadora, que incorporaba la realidad aumentada para enriquecer la experiencia. Este juego al aire libre con dispositivos móviles marcó un hito.

Años después, la NFL introdujo la conocida "Skycam", una cámara aérea que proporcionaba una vista panorámica del campo y permitía superponer la línea del primer down. Posteriormente, nació AR Wikitude como pionero en tecnología de realidad aumentada móvil, centrándose inicialmente en ofrecer experiencias a través de la aplicación "wikitude world browser".

A finales de la década de los 2000, la realidad aumentada llegó al ámbito de los navegadores web.

En la década de 2010 se encuentran avances de esta tecnología en los videojuegos, se empieza a incorporar a consolas como Xbox o Play Station. Además, en 2012, Google presenta las gafas de realidad aumentada llamadas Glass. Posteriormente, Microsoft también expondría sus propias gafas.

La automoción también se une a la realidad aumentada cuando Volkswagen la implementa en sus manuales de vehículos.

En 2016, se crea Pokémon Go, un juego móvil de RA que se convierte en un fenómeno mundial. En el mismo año, Apple y Google lanzan ARKit y ARCore, sus respectivos kits de desarrollo de realidad aumentada.

En la actualidad, la realidad aumentada se ha convertido en una tecnología cada vez más integrada en la vida cotidiana y en diversos campos, abriendo un abanico de oportunidades y aplicaciones innovadoras. La RA sigue evolucionando con avances en hardware, como gafas de realidad aumentada más avanzadas, y en software, como aplicaciones y plataformas de desarrollo que permiten a más personas crear y experimentar contenido de RA. Su potencial para transformar la manera en que interactuamos con el mundo y la información sigue siendo un área emocionante de desarrollo tecnológico.

6.2. ELEMENTOS EN LA REALIDAD AUMENTADA

Un sistema de realidad aumentada generalmente se compone de los siguientes elementos esenciales:

- **Dispositivo de captura (Cámara):** Una cámara, generalmente incorporada en un dispositivo móvil, gafas o un ordenador, que recoge imágenes y vídeos del entorno real.
- **Elementos de procesamiento:** Un procesador o conjunto de unidades de procesamiento que toma las imágenes capturadas y calcula la superposición de objetos virtuales en el entorno real.
- **Software de Realidad Aumentada:** Aplicaciones y algoritmos informáticos que combinan la información virtual con la imagen del mundo real y controlan la interacción entre los dos.
- **Pantalla:** Puede ser la pantalla de un dispositivo móvil, gafas de realidad aumentada u otros sistemas, que presenta la combinación de elementos virtuales y el entorno real al usuario.
- **Sensores y rastreo de posición:** Sensores como giroscopios, acelerómetros y a veces cámaras adicionales que rastrean la posición y orientación del dispositivo para mantener la alineación correcta de los objetos virtuales relacionados con el entorno.
- **Conectividad a Internet:** La conexión a la red permite la comunicación con servidores remotos para acceder a datos adicionales o contenido virtual que se superpone al entorno real.
- **Elementos de reconocimiento:** Estos pueden ser códigos QR, marcadores visuales, objetos físicos o tecnologías como la detección de posición GPS para que el sistema identifique el contexto y superponga la información adecuada.
- **Contenido virtual:** Los objetos, gráficos y modelos 3D que se superponen en el mundo real para crear la experiencia aumentada.

7. MODELADO DE LA FRESADORA DE FREDERICK W. HOWE

La presente sección describe la metodología aplicada para llevar a cabo el proceso de investigación y desarrollo en este Trabajo de Fin de Grado. Se detallarán los pasos y enfoques adoptados para lograr los objetivos propuestos y abordar las preguntas de investigación. La metodología seguida involucra la búsqueda y análisis de patentes, la toma de decisiones informadas, el modelado en el software SolidWorks y la creación de un modelo virtual a partir de eDrawings, con el fin de construir un enfoque coherente y riguroso en todo el proceso de desarrollo. Además, se incluirán los resultados obtenidos.

7.1. BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE PATENTES

Al tratarse de una máquina creada en el siglo XIX, se ha recurrido a la búsqueda de la patente para obtener una mayor información y poder tomar unos datos de partida para su posterior modelización.

La patente fue encontrada en “Directory of American Tool And Machinery Patents” [23]. La primera fresadora universal patentada, como ya se comentó anteriormente, por Brown & Sharpe, incluye la mejora del plato divisor. Por tanto, este proyecto se ha decidido llevar a cabo añadiendo dicha mejora para hacer la representación lo más fidedigna posible a la patente.

En la siguiente tabla se exponen todos los datos obtenidos de la patente.

Tabla 2. Datos de la patente [23].

“US Patent”: 46,521 “Improved Milling Machine”	
Fecha de concesión de la patente	21 de febrero de 1865
Poseedor de la patente	Joseph R. Brown
Clasificación de aptentes (USPTO)	144/134.1, 409/228, 74/813R
Categoría de herramientas	Máquinas metalúrgicas: Fresadoras
Cesionarios	J. R. Brown & Sharpe
Fabricante	J. R. Brown & Sharpe Brown & Sharpe Mfg. Co.
Testigos	Isaac A. Brunell Samuel Barratt

En el Anexo A se adjunta la patente, con sus planos esquemáticos y los documentos que dejan constancia del poseedor de dicha patente.

7.2. TOMA DE DECISIONES INFORMADAS

Aunque se tiene la patente, se carece de medidas ya que estos planos esquemáticos son útiles para transmitir la esencia de la invención de manera clara, sin revelar todos los detalles técnicos que podrían estar protegidos por la patente.

Por ello, se llevó a cabo una búsqueda de información para obtener una medida que permitiera esclarecer las dimensiones de esta fresadora.

En primer lugar, se contactó con la Universidad Yale (“Yale University”), donde se tiene la primera fresadora universal, para intentar obtener algún plano o medida que permitiera sacar el resto. Sin embargo, después de varios intentos mediante correo electrónico, no se obtuvo ninguna respuesta.

En segundo lugar, se decidió investigar más acerca de la época, la antropometría histórica. Los hombres medían 1,65 metros de media en el siglo XIX. Por tanto, pensando en la comodidad de estas personas, la mesa de trabajo debía estar cerca de los codos para facilitar el trabajo. Por tanto, la altura del suelo a la mesa de trabajo de la fresadora debía ser alrededor de 1 metro. Teniendo esta medida, se han escalado con Autocad las vistas de la patente, pudiendo obtener así una gran cantidad de medidas necesarias.

Con las dos vistas no ha sido posible obtener la totalidad de las medidas de todas las piezas que conforman la fresadora. Por ello se ha acudido a los manuales de Nicolás Correa S.A. sobre la fresadora universal “Correa” F1U, que guarda algunas similitudes, aunque es un siglo posterior, para tener una idea de las dimensiones de algunas de esas piezas.

7.3. MODELADO EN SOLIDWORKS

7.3.1. Introducción a SolidWorks

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado por la compañía Dassault Systèmes. Está diseñado para ayudar a los ingenieros, diseñadores y fabricantes a crear modelos 3D precisos de piezas y ensamblajes, así como generar planos de fabricación y documentación técnica. SolidWorks es ampliamente utilizado en una variedad de industrias, incluyendo la manufactura, la ingeniería mecánica, la industria automotriz, la aeroespacial, la electrónica y muchas más. En este caso, se va a estar trabajando con la versión SolidWorks 2022.

Algunas características y capacidades clave de SolidWorks incluyen:

- **Modelado 3D:** SolidWorks permite a los usuarios crear modelos 3D de piezas individuales utilizando una variedad de herramientas de diseño, como extrusión, revolución, barrido, entre otras. Estas piezas pueden ser geométricas o complejas, y los usuarios pueden modificar sus dimensiones y formas fácilmente.
- **Ensamblajes:** Con SolidWorks, los usuarios pueden crear ensamblajes 3D al combinar múltiples piezas en un conjunto funcional. Esto permite simular cómo las piezas interactúan entre sí, detectar interferencias y evaluar el rendimiento del ensamblaje.

- **Simulación:** SolidWorks incluye herramientas de simulación que permiten a los ingenieros analizar y evaluar cómo los diseños responderán bajo diferentes condiciones de carga, presión, temperatura, etc. Esto ayuda a predecir el comportamiento y rendimiento de los productos antes de la fabricación.
- **Generación de planos:** SolidWorks puede generar automáticamente dibujos de ingeniería y planos detallados a partir de los modelos 3D. Estos planos son esenciales para la comunicación con los fabricantes y para asegurarse de que las piezas se produzcan de acuerdo con las especificaciones.
- **Renderizado y visualización:** El software permite crear imágenes y animaciones de alta calidad para presentar los diseños a los clientes, colegas o para fines de marketing. Esto ayuda a visualizar cómo se verá el producto final.
- **Gestión del ciclo de vida del producto (PLM):** SolidWorks ofrece soluciones para la gestión de datos y la colaboración entre equipos en diferentes etapas del desarrollo del producto. Esto ayuda a organizar y rastrear los cambios realizados en los diseños a lo largo del tiempo.

En resumen, SolidWorks es una herramienta integral para el diseño, desarrollo y fabricación de productos en 3D. Facilita la creación de modelos precisos, la realización de análisis de rendimiento y la generación de documentación técnica, lo que contribuye a acelerar los procesos de diseño y a mejorar la calidad de los productos finales. [24]

7.3.2. Unidades Sistema Internacional

Antes de empezar con el modelado en este software es importante asegurar si se está trabajando en el Sistema Internacional o en un submúltiplo de éste. En este caso se ha optado por trabajar en milímetros para aportar una mayor precisión a cada pieza.

Para comprobar o editar las unidades, una vez en el modelo, se accede al menú superior, seguidamente en “Opciones”, “Propiedades del documento” y finalmente “Unidades”. Entonces, se selecciona MMGS (milímetro, gramo, segundo).

7.3.3. Proceso de modelado

Para obtener el modelo de la fresadora universal ha sido necesario crear y ensamblar más de 80 piezas, tomando las medidas del archivo de AutoCAD comentado en el apartado 7.2. A continuación, se expondrá este proceso de algunas de las piezas, ya que explicar todas resultaría tedioso para el lector y el trabajo quedaría demasiado extenso.

En todas las piezas se ha partido de croquis iniciales para realizar las operaciones. Es importante que los croquis estén totalmente definidos.

Se van a definir las operaciones utilizadas para el modelo, con el objetivo de familiarizar al lector con el programa.

- **Extrusión:** La extrusión es una operación fundamental en SolidWorks que implica crear una forma 3D al extender un perfil 2D a lo largo de una dirección específica.
- **Redondeo:** El redondeo se utiliza para suavizar los bordes y esquinas de una pieza. Se pueden agregar redondeos con un radio específico a las aristas seleccionadas para mejorar la apariencia y evitar esquinas afiladas.
- **Recubrir:** La operación de recubrir se utiliza para eliminar material de la parte interior de una pieza, creando un grosor uniforme en las paredes. Esto es útil para crear carcasas o envolturas en objetos.
- **Taladrado:** La operación de taladrado permite agregar orificios a una pieza de manera precisa. Se pueden seleccionar tamaños de orificios estándar y personalizar la ubicación, profundidad y características de los orificios.
- **Revolución de Saliente/Base:** La revolución se utiliza para crear formas girando un perfil 2D alrededor de un eje. Es posible crear tanto revoluciones de salientes como de bases para crear piezas con simetría alrededor del eje de rotación.
- **Saliente/Base Barrido:** La operación de barrido permite crear formas al mover un perfil 2D a lo largo de un camino. Se pueden realizar barridos de salientes o bases para crear características complejas.
- **Extruir Corte:** Similar a la extrusión, esta operación realiza un corte o agujero en una pieza al extender un perfil 2D en una dirección específica.
- **Corte Barrido:** Al igual que el barrido, esta operación corta un perfil a lo largo de un camino determinado en una pieza.
- **Corte de Revolución:** Esta operación crea un corte en una pieza girando un perfil 2D alrededor de un eje, eliminando material a lo largo de la trayectoria de la revolución.
- **Matriz Circular:** La matriz circular permite crear copias repetidas de una o varias características en torno a un eje central. Es útil para generar patrones simétricos.
- **Simetría:** La operación de simetría posibilita duplicar características de un lado de una pieza al otro lado, manteniendo la simetría en torno a un plano central.

Cada pieza del modelo ha sido creada a partir varias de estas operaciones.

En los planos situados en “Anexo II” se dará más detalles acerca de las dimensiones y las vistas de estas piezas.

7.3.3.1. Base y cuerpo

En primer lugar, la base y el cuerpo se modelarán como una única pieza. La base de la fresadora es la estructura principal que sostiene y estabiliza la máquina.

Para comenzar el modelado será necesario dibujar un croquis con las medidas iniciales que tendrá la base. Este croquis se muestra en la siguiente figura.

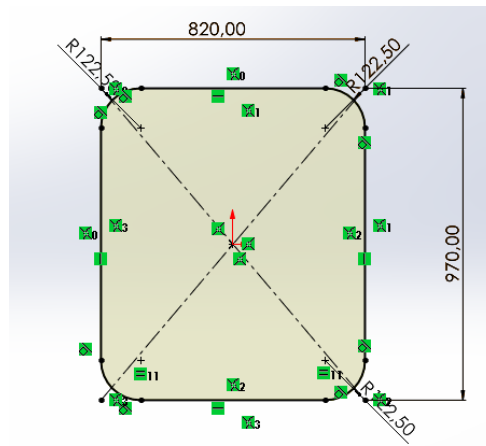


Figura 42. Croquis para extrusión de la base en SolidWorks.

Posteriormente, a este croquis se le realizarán las operaciones de extrusión con la altura correspondiente y redondeo de los bordes. Tras esto, se realizará otro croquis para obtener la base completa y el redondeo de sus aristas para tener la mayor similitud al plano. Será necesaria la utilización de recubrir para recrear la unión entre la base y el cuerpo como aparece en el plano.

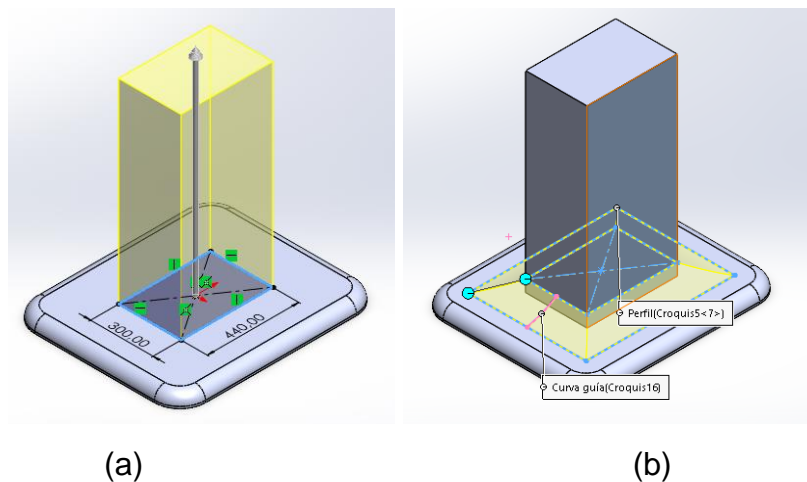


Figura 43. (a) Extrusión cuerpo en SolidWorks. (b) Recubrimiento base en SolidWorks.

Por último, se realizarán dos taladros en el perfil izquierdo, ya que serán necesarios para el ensamblaje.

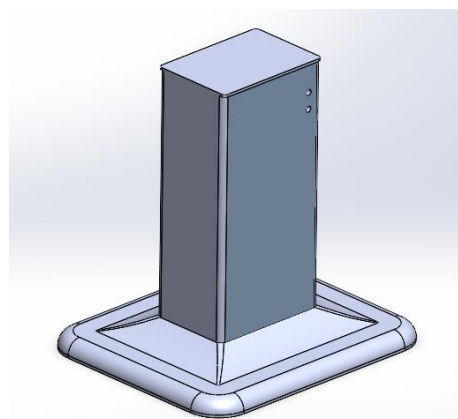


Figura 44. Pieza base y cuerpo en SolidWorks.

7.3.3.2. Puente

El puente de la fresadora es la parte que se encuentra sobre la base y sostiene el husillo principal.

Para el modelado del puente, se empezará por dos croquis para realizar el recubrimiento de la base del puente.

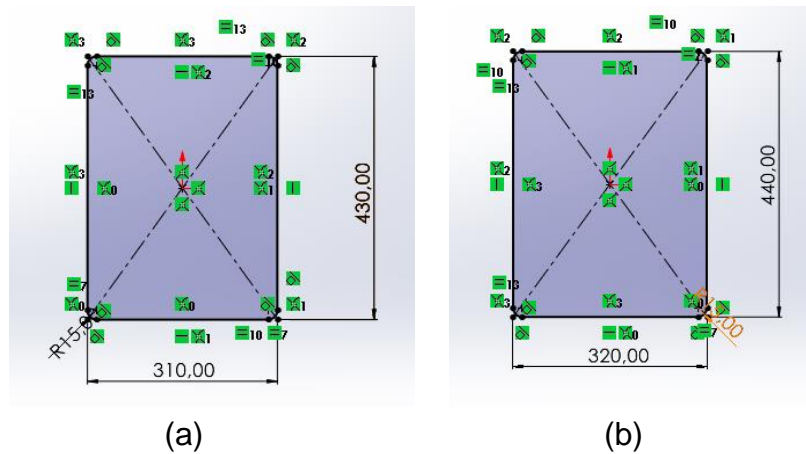


Figura 45. (a) y (b) Croquis puente en SolidWorks.

Para la operación de recubrir se utilizarán los dos croquis mostrados anteriormente y una curva guía, que se trazará con cada extremo en uno de los croquis.

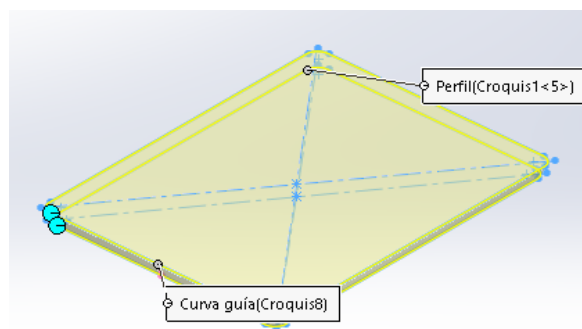


Figura 46. Recubrimiento base del puente en SolidWorks.

Una vez obtenida la primera parte de la base mediante la operación de recubrimiento, se le da a la base la altura que se requiere mediante una operación de extrusión.

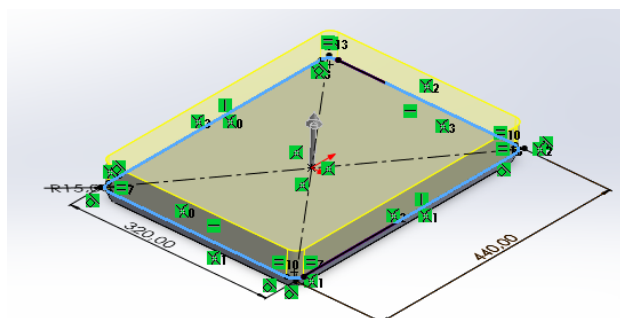


Figura 47. Extrusión base del puente en SolidWorks.

Tras tener la base del puente, se procede a modelar el primer soporte, para ello, a partir de un croquis rectangular, se extruye dándole la altura del centro. Entonces, se extruye a partir de una circunferencia de diámetro correspondiente a la longitud de la base del rectángulo anterior.

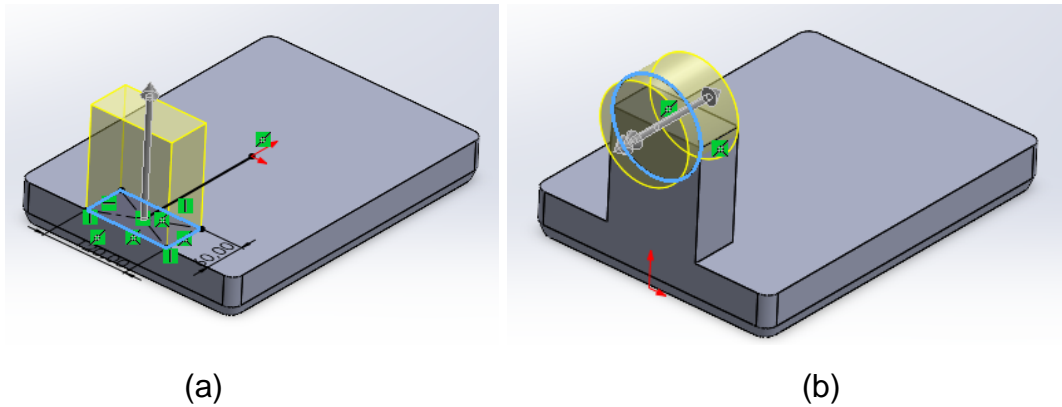


Figura 48. (a) y (b) Extrusión del primer soporte del puente en SolidWorks.

Posteriormente, se realiza, con mismo centro, otra extrusión de un círculo de menor diámetro y se procede a la operación extruir corte con el diámetro necesario para el husillo principal. Finalmente se realiza un redondeo en ambos lados.

Para el segundo soporte se necesitará la operación recubrir, ya que tiene distintas curvas complejas.

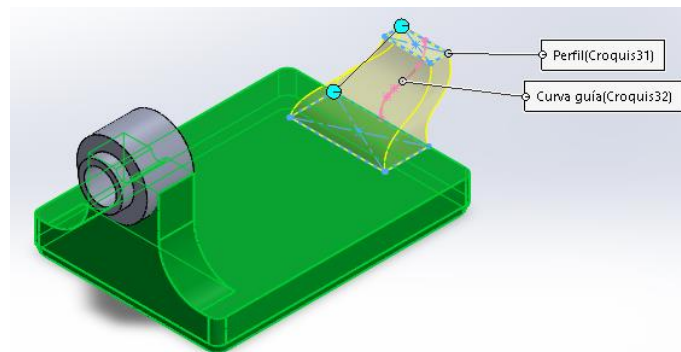


Figura 49. Recubrimiento del segundo soporte del puente en SolidWorks.

Finalmente, se extruye el rectángulo superior dando la altura requerida por las medidas del plano. Después, se redondea y se realiza una extrusión corte con el diámetro preciso.

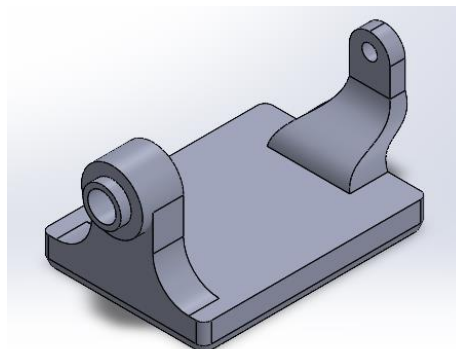


Figura 50. Puente en SolidWorks.

7.3.3.3. Polea para correa estriada

Las poleas para correa estriada son componentes mecánicos utilizados en sistemas de transmisión por correa para transmitir movimiento y potencia entre ejes. Estas poleas están diseñadas específicamente para funcionar con correas estriadas, que son correas con dientes en su superficie que encajan en las ranuras correspondientes de las poleas

En esta fresadora la correa estriada se unirá a dos poleas para transmitir el movimiento del plato solidario al husillo principal a la junta cardan. En primer lugar, se va a realizar el croquis de estas poleas. Al modelarse mediante una revolución por saliente/base, será necesario dibujar en dicho croquis un eje de revolución y sólo la mitad de la polea.

Téngase en cuenta que esto es sólo un croquis para el posterior modelado de la pieza. Las cotas estarán correctamente especificadas en los planos correspondientes.

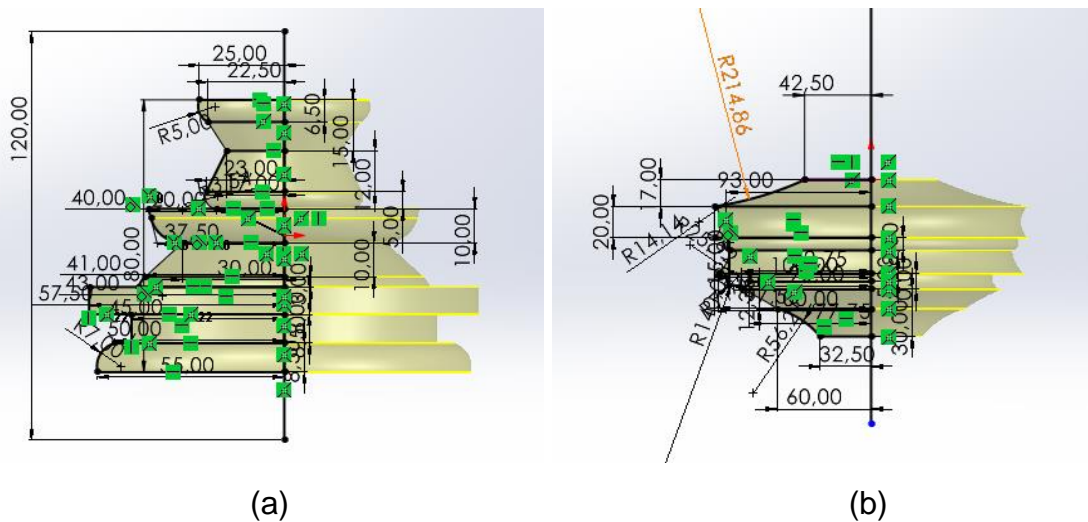


Figura 51. (a) y (b) Croquis de las poleas para correa estriada en SolidWorks.

Una vez obtenido el croquis mediante las medidas realizadas en el archivo de AutoCAD, se procede a realizar una operación de revolución de saliente/base. Finalmente, se utiliza la operación extruir corte con el diámetro correspondiente para cada polea.

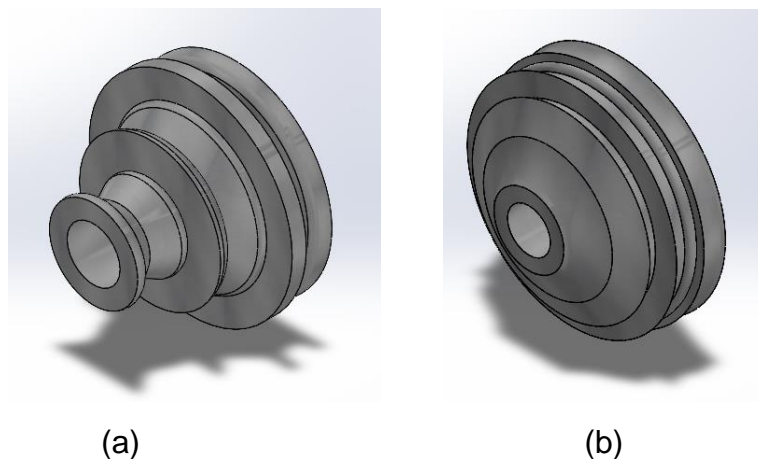


Figura 52. (a) y (b) Poleas para correa estriada en SolidWorks.

7.3.3.4. Manivela

Las manivelas son componentes utilizados para realizar ajustes manuales en ciertos aspectos del proceso de mecanizado

En esta fresadora se tienen varias manivelas, cada una con sus respectivas dimensiones. Sin embargo, para resumir el modelado, se va a mostrar sólo una de ellas, aunque el modelado del resto es similar, sólo cambian las medidas.

Para el modelado de la manivela se va a comenzar con el mango. Primero se realiza el croquis de éste.

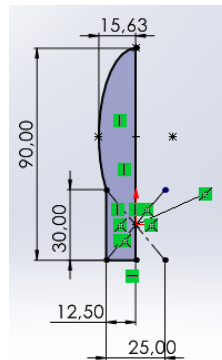


Figura 53. Croquis del mango de la manivela en SolidWorks.

A partir del croquis se realiza una operación de revolución de saliente/base, lo que dará forma al mango. Posteriormente, se realiza el croquis del brazo y se lleva a cabo una operación de extrusión.

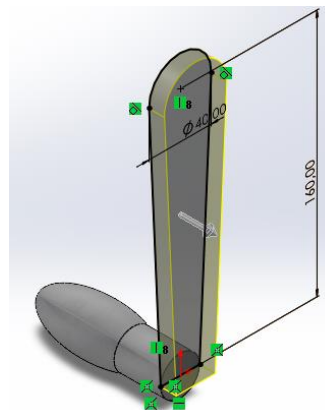


Figura 54. Extrusión del brazo de la manivela en SolidWorks.

Para el modelado del pivote se lleva a cabo el croquis de una circunferencia en la parte superior del brazo del mismo diámetro que ésta.

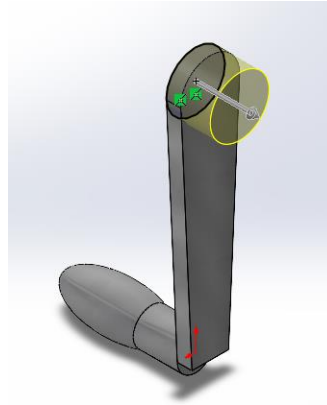


Figura 55. Extrusión del pivote de la manivela en SolidWorks.

Finalmente, para conseguir posteriormente ensamblar la manivela con el eje correspondiente, será necesario realizar la operación extrusión corte con mismo centro que la circunferencia extruida anteriormente y con el diámetro del eje. Además, se realizará un chavetero con el tamaño de la chaveta que se fije al eje para la fijación con la manivela y conseguir su movimiento solidario.

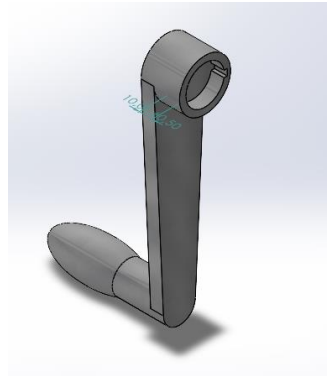


Figura 56. Manivela en SolidWorks.

7.3.3.5. Eje de la herramienta

Es responsable de sostener la herramienta de corte y girarla a velocidades controladas para realizar operaciones de corte. Para el modelado del eje de la herramienta, se dibuja un croquis de una circunferencia con un diámetro de 55 milímetros. Posteriormente se extruye el croquis hasta una longitud de 590 milímetros.

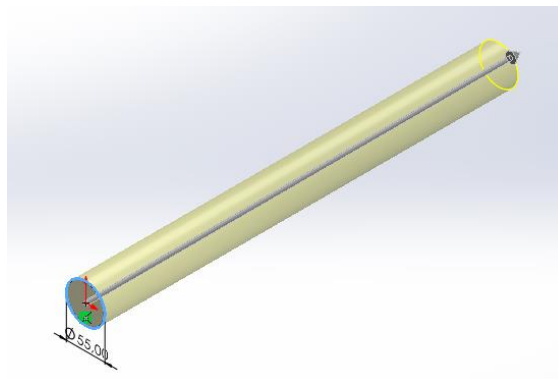


Figura 57. Extrusión eje de la herramienta en SolidWorks.

Una vez extruido el primer diámetro del eje, se realiza un chavetero. Para esto será necesaria la creación de un plano coincidente con el fondo que se quiere para el chavetero. Además, se trazará una línea desde el sistema de coordenadas hasta la distancia a la que se precise el chavetero. Finalmente, se dibuja el croquis del chavetero con la opción de “ranura recta” y, una vez cerrado el croquis, se realiza la operación extruir corte.

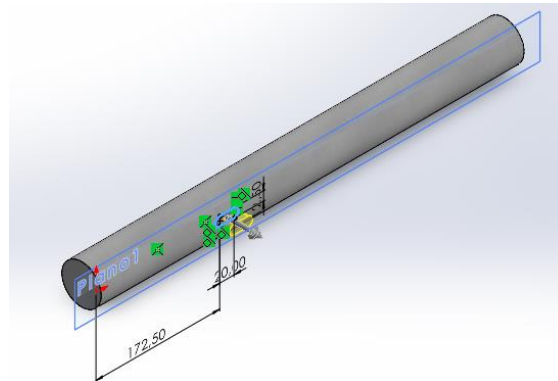


Figura 58. Chavetero en el eje de la herramienta en SolidWorks.

A partir del final del primer diámetro, se dibuja un croquis de otra circunferencia de menor diámetro, pero con mismo centro y dicha circunferencia se extruye. Posteriormente se va a realizar otro chavetero donde se insertará en el ensamblaje una chaveta para unir el eje con la manivela con el proceso de extruir corte.

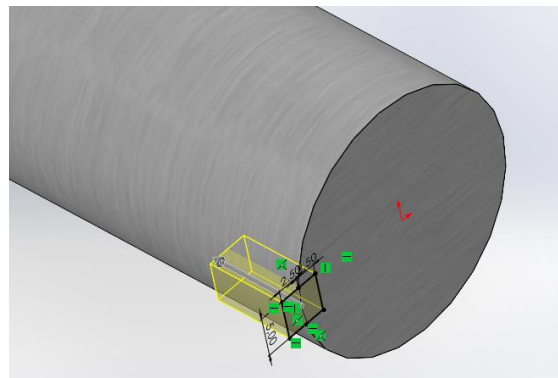


Figura 59. Segundo chavetero en el eje de la herramienta en SolidWorks.

Finalmente, se realiza un chaflán al principio del eje, en el cambio de sección y al final. Además, se realiza una operación de corte extrusión en el primer diámetro sin llegar al final de éste.

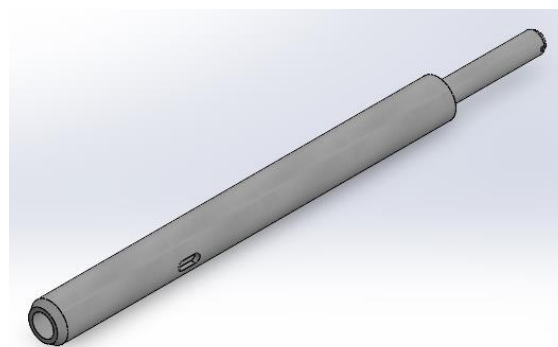


Figura 60. Eje de la herramienta en SolidWorks.

7.3.3.6. Mesa de trabajo

En primer lugar, se dibuja el croquis de la mesa con la ranura en T y el resto de ranuras para su posterior ensamblaje.

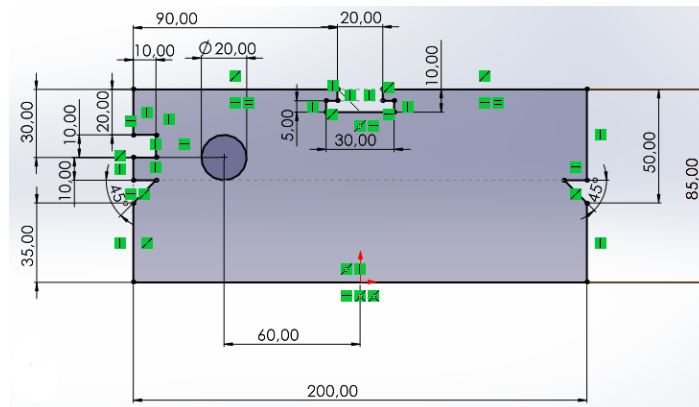


Figura 61. Croquis mesa de trabajo en SolidWorks.

Una vez se tiene el croquis preparado, se procede a extruir. Una vez extruido se dibuja un croquis por la parte inferior con el ancho del bloque del husillo transversal, ya que se situará en esta cavidad. Posteriormente, se opera extruir corte.

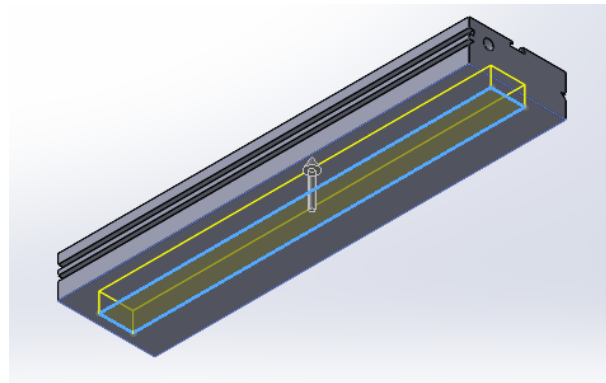


Figura 62. Extruir corte en la mesa de trabajo en SolidWorks.

A continuación, por la parte posterior se realizará un proceso de extruir corte de un croquis de una circunferencia del tamaño del husillo transversal y por el perfil derecho otra circunferencia del diámetro de la junta cardan.

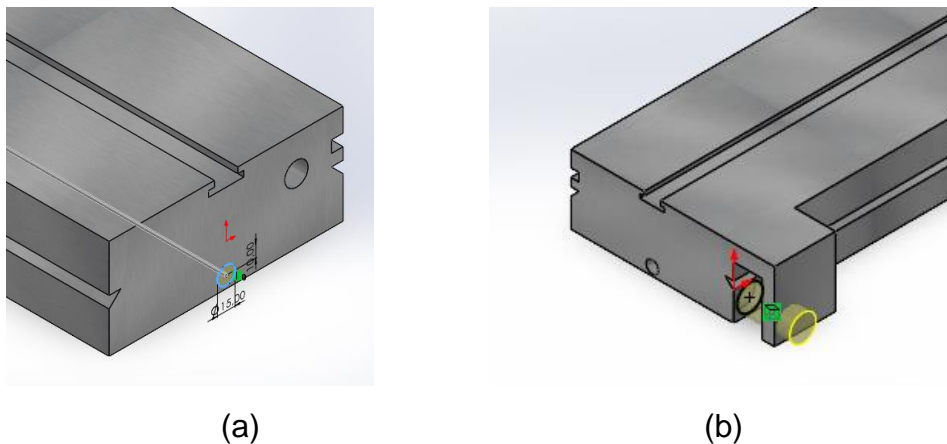


Figura 63. (a) y (b) Orificios en la mesa de trabajo en SolidWorks.

Finalmente, el modelo de la mesa de trabajo se puede ver en la siguiente figura.

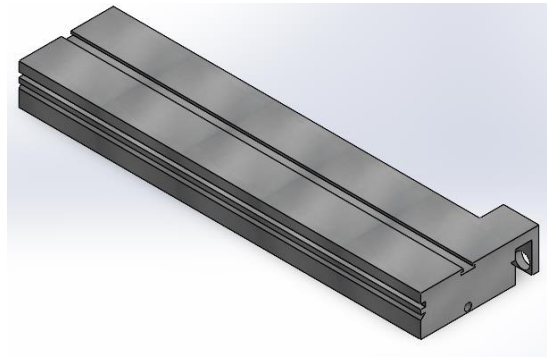


Figura 64. Mesa de trabajo en SolidWorks.

7.3.3.7. Carro transversal

El carro transversal en una fresadora es una parte de la máquina que permite el desplazamiento horizontal de la mesa de trabajo a lo largo del eje Y.

Para su modelado, primero se dibuja el croquis, en este caso tendrá forma de trapecio. Después se procede al proceso de extrusión para darle el volumen adecuado.

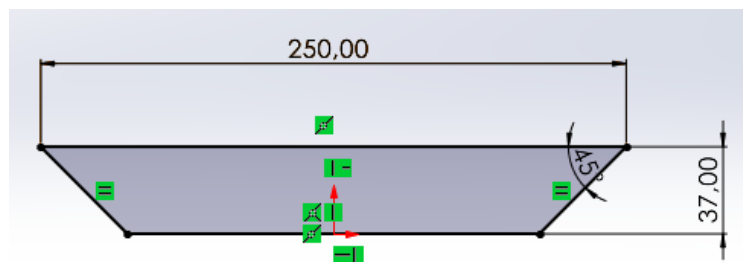


Figura 65. Croquis carro transversal en SolidWorks.

En segundo lugar, se realiza la operación de extruir corte para un croquis de una circunferencia con el diámetro del husillo transversal . Este agujero será pasante.

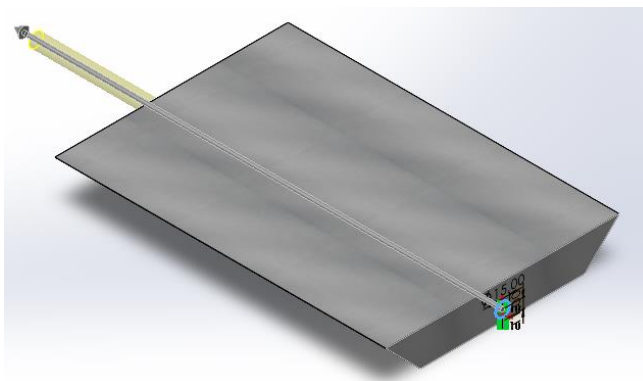


Figura 66. Orificio en el carro transversal para el husillo en SolidWorks.

Como se puede ver en la patente, en el carro transversal será necesario un rebaje que se realizará con la operación de extruir corte mediante un croquis rectangular. Además, con esta operación también se va a realizar la guía lineal para el bloque del husillo transversal, permitiendo que se desplace a lo largo de una dirección específica.

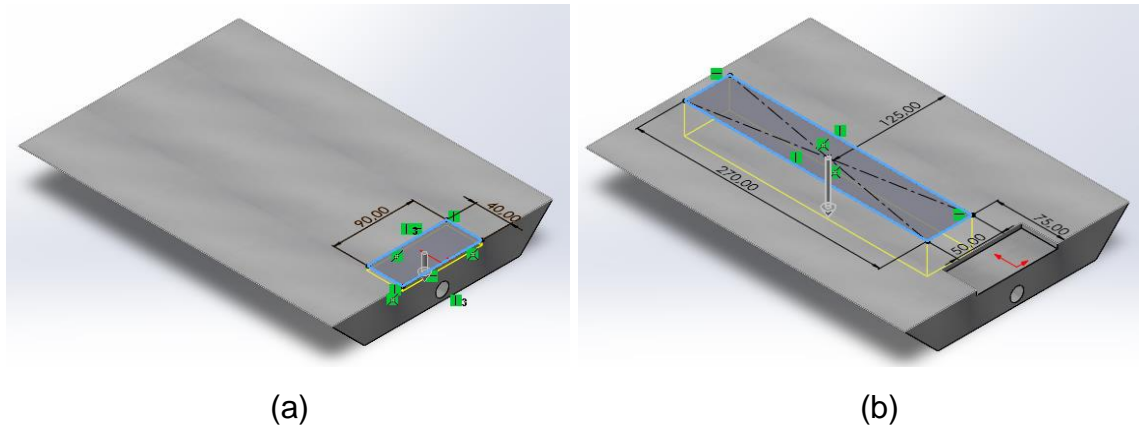


Figura 67. (a) Rebaje del carro longitudinal en SolidWorks.
(b) Guía lineal para el bloque del husillo longitudinal en SolidWorks.

Finalmente, el modelo del carro transversal resulta como se puede observar en la siguiente figura.

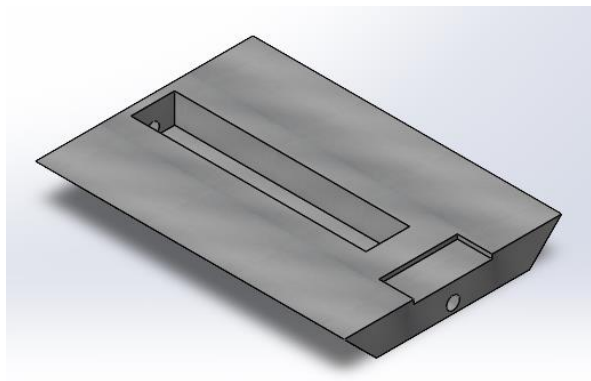


Figura 68. Carro transversal en SolidWorks.

7.3.3.8. Carro longitudinal

El carro longitudinal en una fresadora es la parte de la máquina que permite el desplazamiento lateral de la mesa de trabajo a lo largo del eje X.

Para su modelado, en primer lugar, se dibuja el croquis, en este caso tendrá forma rectangular. Después se procede al proceso de extrusión para darle el volumen adecuado.

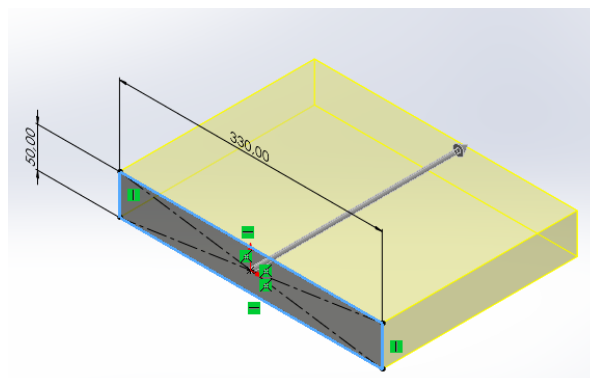


Figura 69. Croquis y extrusión del carro longitudinal en SolidWorks.

En segundo lugar, se realiza la operación de extruir corte para posteriormente ensamblar este carro con la mesa de trabajo.

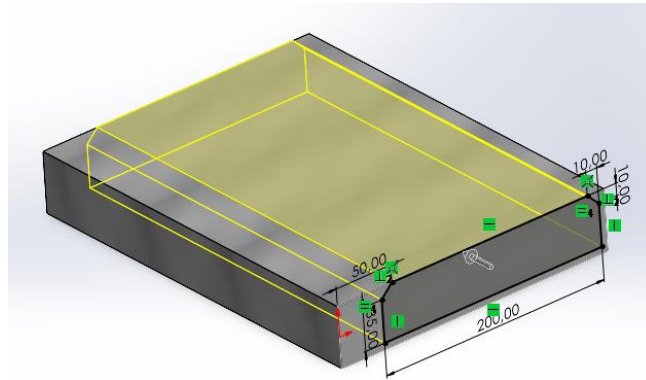


Figura 70. Extruir corte en el carro longitudinal en SolidWorks.

Tras esto, se sitúan dos taladros para fijar el bloque del husillo longitudinal.

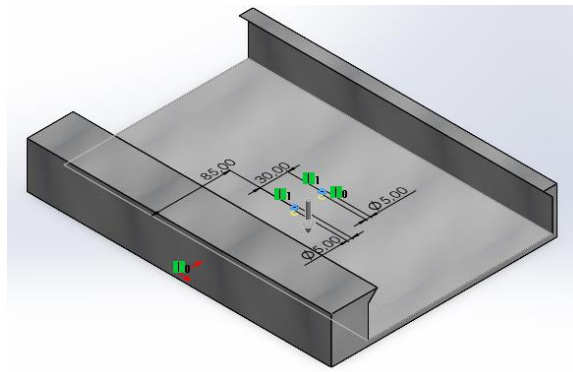


Figura 71. Taladro en el carro longitudinal en SolidWorks.

Finalmente, el carro longitudinal queda modelado como se puede observar en la siguiente figura.

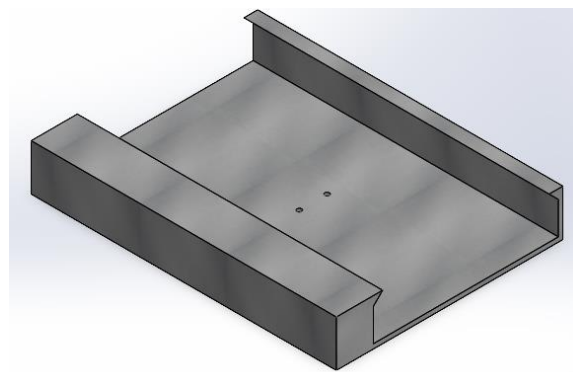


Figura 72. Carro longitudinal en SolidWorks.

7.3.3.9. Junta cardán

La junta cardán, también conocida como junta universal o junta de Cardán es un mecanismo utilizado para transmitir movimiento y rotación entre ejes que están en ángulos diferentes entre sí. Los elementos principales de una junta cardán incluyen:

Eje de entrada y de salida, horquilla de entrada y de salida, cruces de la junta cardán y rodamientos.

Las horquillas y los ejes se modelarán de forma conjunta para facilitar el ensamblaje posterior, aunque en la realidad los ejes no suelen soldarse directamente a las horquillas en una junta cardán, ya que esto limitaría la capacidad de la junta para acomodar movimientos angulares y podría provocar problemas de vibración y desgaste prematuro.

- **Horquillas**

En primer lugar, para el modelado se va a realizar el croquis de las horquillas. Todas las horquillas serán de las mismas dimensiones, sólo cambiará el eje que se solape a ellas. El croquis se puede ver en la siguiente imagen.

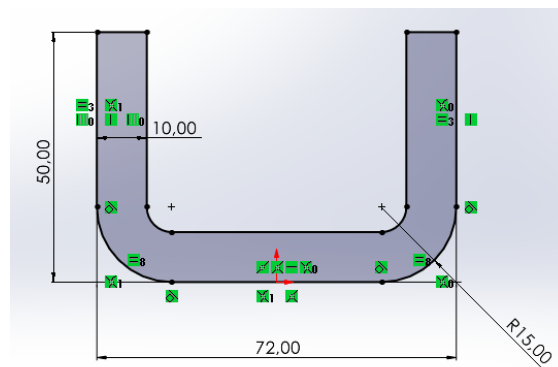


Figura 73. Croquis horquillas de la junta cardán en SolidWorks.

Se realiza la operación de extrusión en ambas direcciones para dar el volumen requerido a las horquillas, esto se consigue escogiendo la dirección plano medio en el Gestor de Diseño del FeatureManager cuando se escoge la operación.

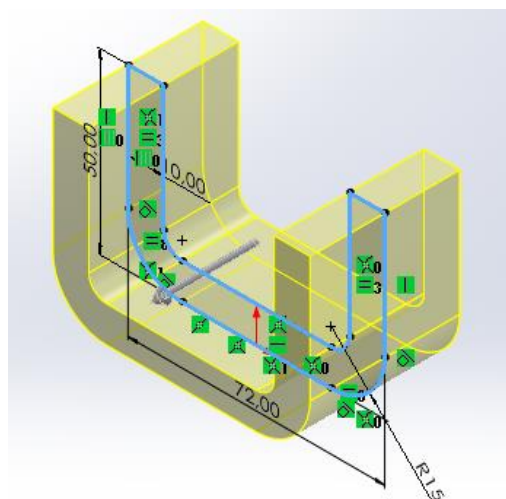


Figura 74. Extrusión horquillas de la junta cardán en SolidWorks.

Posteriormente, en las aristas superiores se realiza la operación de redondeo con un radio determinado, en este caso de 20 milímetros.

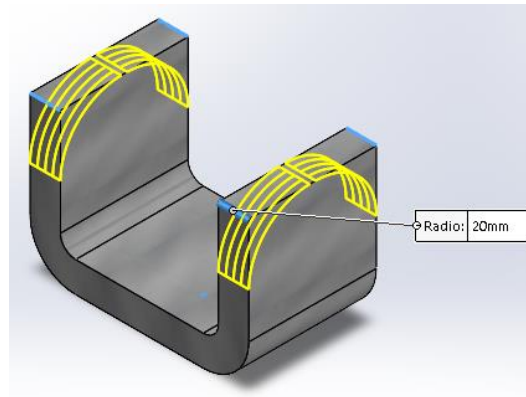


Figura 75. Redondeo horquillas de la junta cardán en SolidWorks.

La siguiente operación será extruir corte de un croquis de una circunferencia, para realizar un orificio en el que se insertarán las crucetas y los rodamientos. Estos orificios serán pasantes, por tanto, sólo será necesario un croquis y una operación para abarcar el corte de los dos orificios.

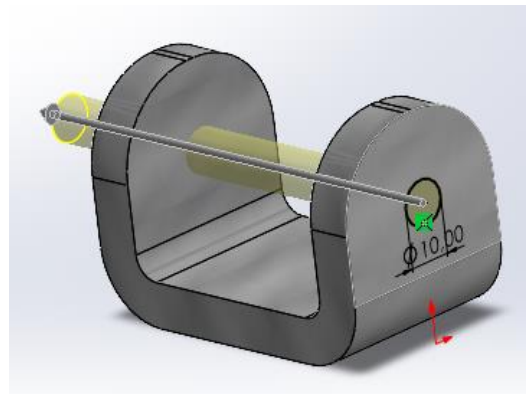


Figura 76. Corte horquillas de la junta cardán en SolidWorks.

Por último, se extruye el eje que irá junto a la horquilla a partir del croquis de una circunferencia en la parte inferior de la horquilla. Finalmente, la pieza queda como se puede ver en la imagen siguiente.

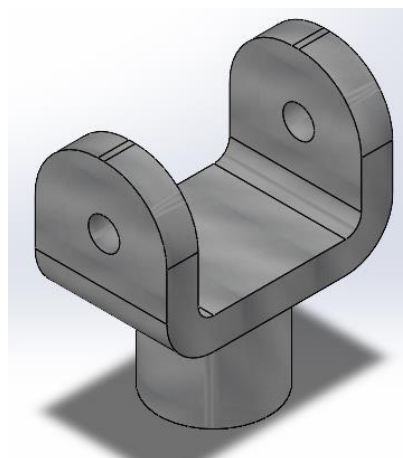


Figura 77. Horquilla de la junta cardán en SolidWorks.

- **Crucetas**

Para realizar el modelado de las crucetas, en primer lugar, se dibuja el croquis con sus correspondientes medidas. En la junta cardán se tendrán dos crucetas con las mismas dimensiones.

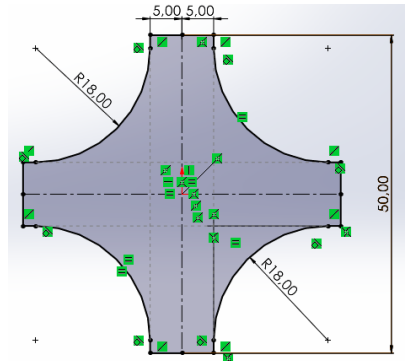


Figura 78. Croquis de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.

En segundo lugar, se extruye el croquis y se redondea, seleccionando las aristas necesarias para dicho redondeo.

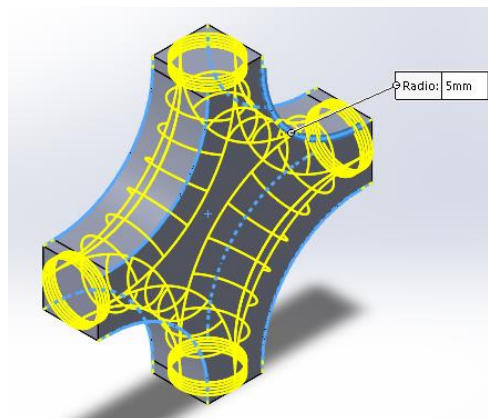


Figura 79. Redondeo de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.

Posteriormente, en el centro de la cruceta se croquiza una circunferencia, a la cual posteriormente se le realiza la operación extruir corte con fines estéticos. Con la operación simetría se obtiene en el otro lado de la cruceta.

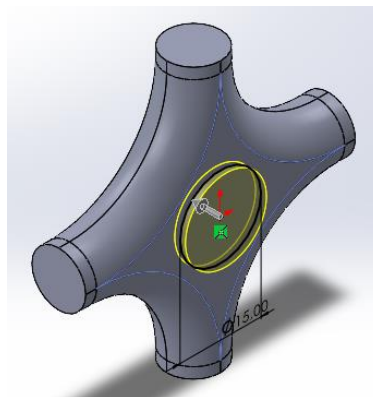


Figura 80. Corte de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.

Después, se dibuja un croquis de una circunferencia en los extremos de la cruceta y dicho croquis se extruye. Este saliente se introducirá en los orificios de las horquillas entre los rodamientos.

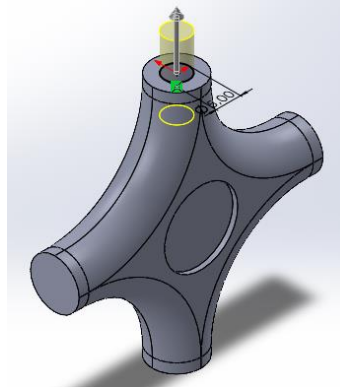


Figura 81. Extrusión de las crucetas de la junta cardán en SolidWorks.

En última instancia se lleva a cabo una matriz circular de estos últimos salientes con una separación igual, con un ángulo total de 360° y el número de instancias 4. Entonces, la cruceta acabada se puede ver en la imagen.

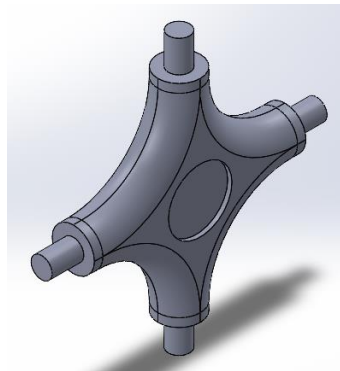


Figura 82. Cruceta de la junta cardán en SolidWorks.

- **Árbol de transmisión fijo**

A partir de una horquilla, se efectúa un croquis circunferencial que posteriormente se extruye.

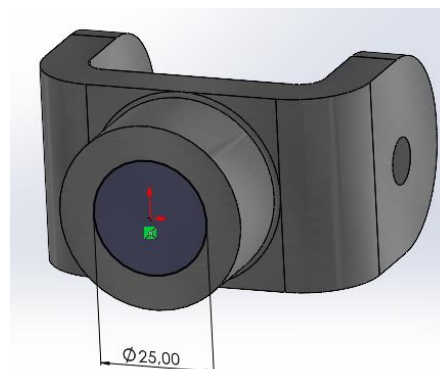


Figura 83. Croquis árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.

Seguidamente, se croquiza y extruye un cuadrado sobre la superficie extruida en el paso anterior.

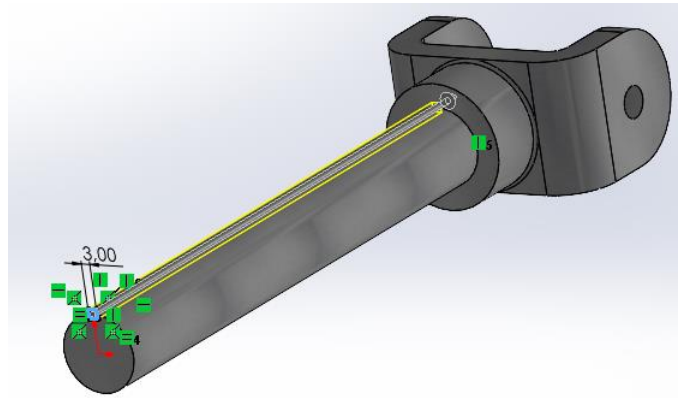


Figura 84. Extrusión árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.

Por último, se concluye una matriz circular sobre la superficie comentada del cuadrado extruido con una separación igual, ángulo total de 360° y número de instancias 10.

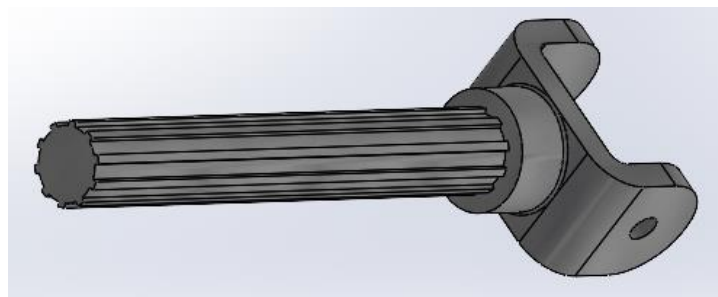


Figura 85. Árbol de transmisión fijo de la junta cardán en SolidWorks.

- **Árbol de transmisión deslizante**

Al igual que para el árbol de transmisión fijo, a partir de una horquilla, se efectúa un croquis circular que posteriormente se extruye.

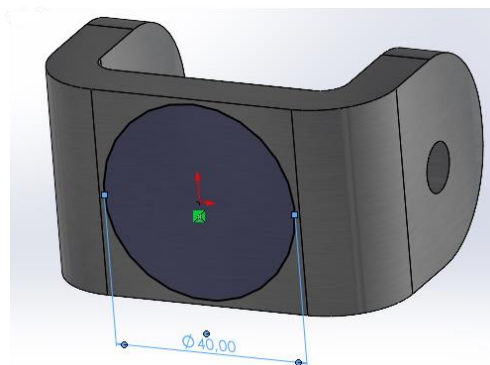


Figura 86. Croquis árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.

A posteriori, se croquiza otra circunferencia en el extremo de la que se extruyó anteriormente y se realiza la operación extruir corte.

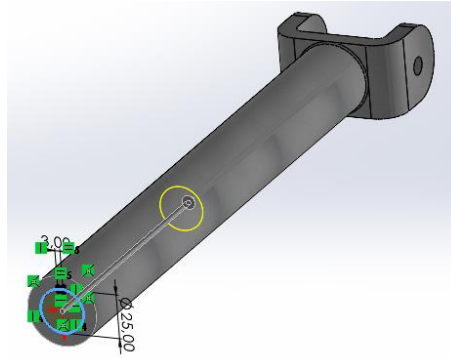


Figura 87. Corte árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.

Una vez realizada la operación anterior, se croquiza un cuadrado, del mismo tamaño que el cuadrado realizado en el árbol de transmisión fijo, ya que estos deben encajar, y se lleva a cabo la operación extruir corte de nuevo.

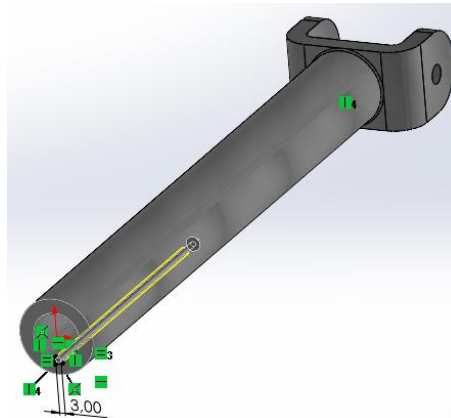


Figura 88. Ranuras árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.

Finalmente, se concluye una matriz circular sobre la superficie comentada del cuadrado extruido con una separación igual, ángulo total de 360° y número de instancias 10.

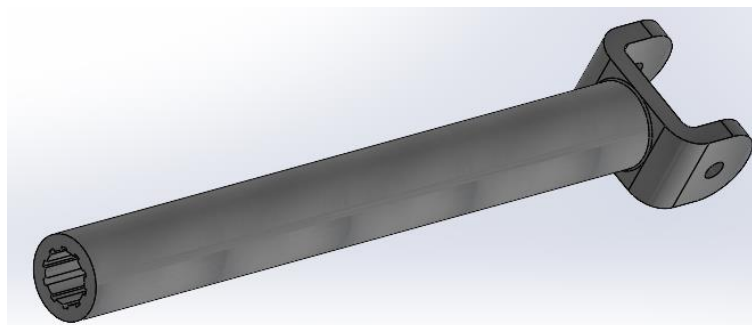


Figura 89. Árbol de transmisión deslizante de la junta cardán en SolidWorks.

- **Ensamblaje junta cardán**

La junta cardán, una vez modeladas todas sus partes y añadiendo desde la biblioteca de diseño un rodamiento normalizado, se ensambla con las relaciones de posición correspondientes respetando el movimiento que debe realizar.



Figura 90. Junta cardán en SolidWorks.

7.3.4. Piezas normalizadas

Las piezas normalizadas utilizadas han sido:

- Tornillos y tuercas
- Arandelas
- Rodamientos de rodillos
- Engranaje y piñón cónicos de dientes rectos
- Engranaje recto

Estas piezas no han necesitado de un modelado, sino se han obtenido de la biblioteca de diseño o “Toolbox”.

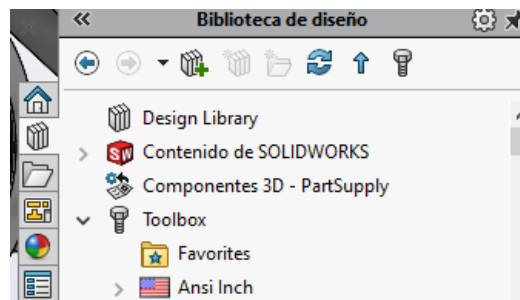


Figura 91. Biblioteca de diseño o “Toolbox”.

Para la obtención de las piezas se va a elegir la librería ISO (“Organización Internacional de Normalización”), ya que es la aplicada en todos los estados miembros de la Unión Europea.

7.3.5. Ensamblaje

Para el ensamblaje se han tenido en cuenta las relaciones de posición entre las piezas. Las relaciones de posición en SolidWorks son restricciones geométricas y dimensionales que se aplican a los componentes en un ensamblaje para definir cómo deben estar ubicados y orientados entre sí. Estas relaciones aseguran que las piezas mantengan sus posiciones relativas específicas, lo que es crucial para lograr un diseño coherente y funcional en un ensamblaje.

A continuación, se van a describir las relaciones de posición que han sido usadas en este ensamblaje.

- **Coincidente:** Esta relación alinea dos caras o ejes de manera que compartan un punto en común. Se utiliza para asegurar que las partes estén ubicadas exactamente donde se requiere, como cuando dos agujeros deben estar alineados.

- **Concéntrica:** Mantiene dos cilindros concéntricos, asegurando que el centro de ambos coincida. Es útil para ensamblajes que requieren partes giratorias o que comparten un mismo eje de rotación.
- **Paralelo:** Mantiene dos caras o ejes paralelos entre sí. Se utiliza cuando es necesario mantener una alineación paralela precisa entre componentes.
- **Distancia:** Establece una distancia específica entre dos puntos o componentes. Puede ser útil para mantener espacios precisos entre partes o para simular el funcionamiento de un mecanismo.
- **Tangente:** Asegura que dos superficies se toquen en un punto de contacto. Es comúnmente utilizada en ensamblajes que requieren un contacto suave entre partes curvas.
- **Ancho:** Se utiliza para definir la distancia entre dos caras paralelas en un ensamblaje. Esta relación asegura que la distancia entre estas dos caras se mantenga constante, independientemente de los movimientos o cambios en otros componentes del ensamblaje.
- **Tornillo:** Es una restricción especial que se utiliza para simular la relación de un tornillo girando en una rosca. Esta relación es particularmente útil cuando se desea modelar el movimiento realista de un tornillo al ser atornillado o desatornillado en una tuerca o en una rosca correspondiente. La relación "Tornillo" permite controlar varios parámetros del movimiento del tornillo, como el avance del tornillo por vuelta, el número de vueltas, la dirección de giro y la posición inicial. Esto es esencial para representar de manera precisa y detallada cómo se comportaría un tornillo en un ensamblaje real.

Cada pieza ha necesitado varias relaciones de posición para simular las interacciones reales entre las piezas y asegurar que se mantenga la geometría y alineación correctas.

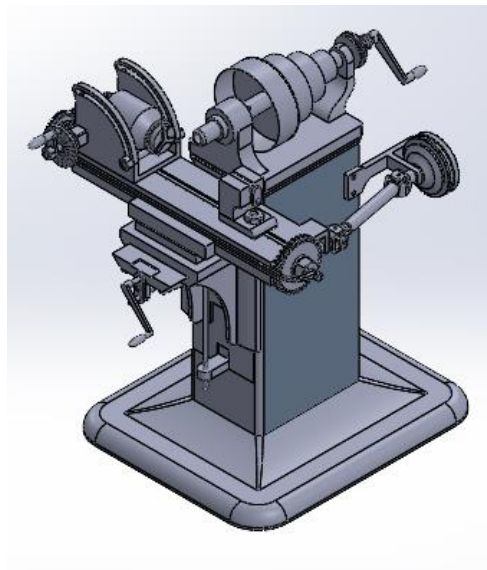


Figura 92. Fresadora Universal de Frederick W. Howe en SolidWorks.

7.3.6. Análisis cinemático en SolidWorks

En primer lugar, es relevante señalar que la patente adquirida de la primera fresadora universal carece de información respecto al sistema de accionamiento o el movimiento de la máquina. Por tanto, se ha considerado el funcionamiento de fresadoras más modernas, como las patentadas por Nicolás Correa en el siglo XX para obtener una comprensión del movimiento implementado en la fresadora de Frederick W. Howe.

El análisis cinemático en SolidWorks se lleva a cabo mediante la pestaña “Estudio de Movimiento” en la parte inferior de la interfaz. Para poder llevar a cabo el análisis de movimiento se debe tener activado el complemento “SolidWorks Motion”. Este se encuentra en “Configuración” y, posteriormente, “Complementos”.

Antes de empezar a comentar la simulación, es importante saber que un "RotaryMotor" en SolidWorks se refiere a una función o componente que se utiliza para simular el movimiento de rotación de una pieza o conjunto en el modelo. Es esencialmente una fuente de movimiento que se aplica a un componente específico en la simulación cinemática, lo que permite replicar el giro o rotación que tendría en la realidad.

A continuación, se va a estudiar el análisis cinemático de la máquina herramienta, teniendo en cuenta los movimientos que realiza la mesa mediante los carros longitudinal, transversal y vertical. Para facilitar la visibilidad de cada movimiento, se va a mostrar únicamente los mecanismos que intervienen en cada movimiento.

- **Movimiento transversal:** Mediante la relación tornillo se consigue mover el mecanismo. Para ello, la manivela girará manualmente por lo que, al estar unida al husillo transversal, hará girar a este, que provocará el desplazamiento lineal del bloque de husillo transversal. Este bloque se une mediante tornillos al carro longitudinal y éste, a su vez, a la mesa de trabajo como se explicará posteriormente, provocando así su desplazamiento transversal.

Para la simulación de movimiento en SolidWorks se implementa un motor rotativo o “RotaryMotor” en la manivela.

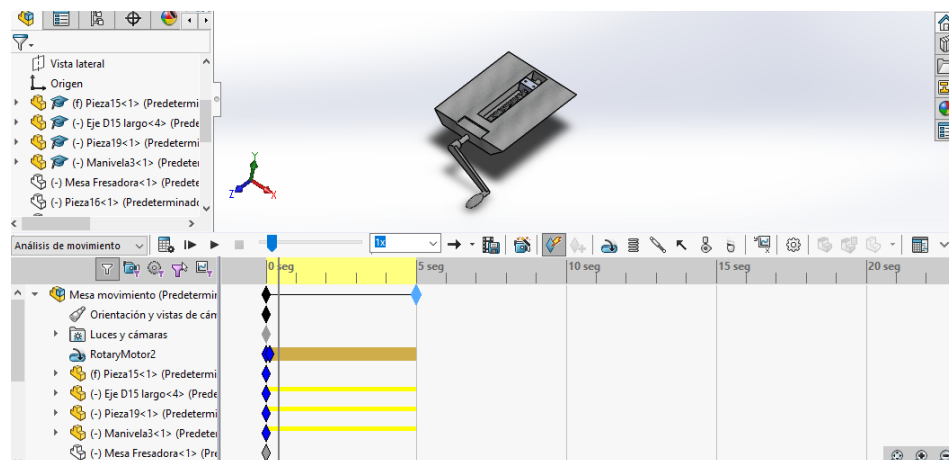


Figura 93. Análisis cinemático movimiento transversal.

- Movimiento longitudinal:** Al igual que se ha explicado para el carro transversal, mediante la relación tornillo se consigue mover el mecanismo. La manivela girará manualmente por lo que, al estar unida al husillo transversal, hará girar a este, que provocará el desplazamiento lineal de la mesa de trabajo. En este caso, el bloque de husillo longitudinal se une mediante tornillos a la mesa auxiliar superior al carro transversal, quedando fijo.

Para la simulación de movimiento en SolidWorks se implementa un motor rotativo o “RotaryMotor” en la manivela.

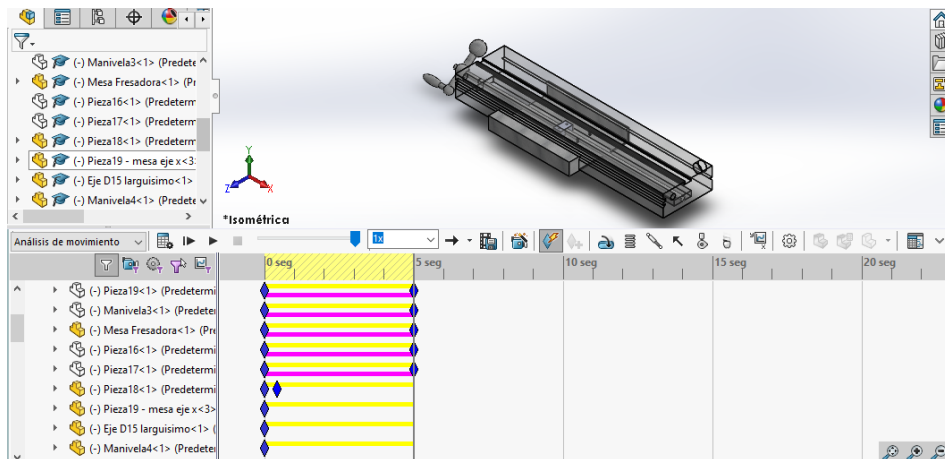


Figura 94. Análisis cinemático movimiento longitudinal.

- Movimiento vertical:** El movimiento vertical de la mesa de trabajo se consigue de la siguiente manera: Mediante una manivela se hace girar un eje solidario a un engranaje cónico que permite convertir el movimiento de rotación en el eje X en movimiento de rotación en el eje Y. Mediante la relación tornillo, el eje solidario al engranaje con mayor número de dientes se desplaza verticalmente empujando al carro longitudinal, ya que es coincidente con este, y, a su vez al transversal hasta desplazar la mesa de trabajo.

Para el análisis cinemático se implementa un motor rotativo o “RotaryMotor” en la manivela.

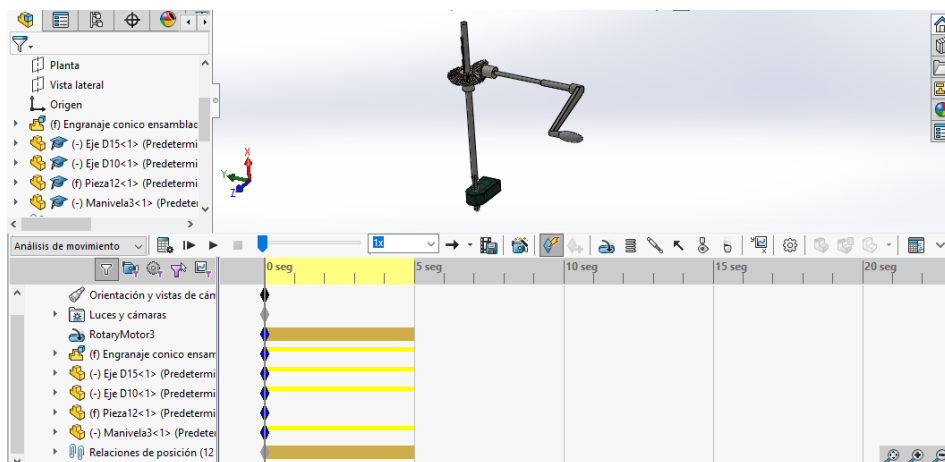


Figura 95. Análisis cinemático movimiento vertical.

7.3.7. Texturizado del ensamblaje

Con el objetivo de proporcionar una mayor fidelidad visual a la máquina, se procedió a la incorporación de atributos estéticos mediante el empleo de la herramienta SolidWorks de “Apariencia”. Se aplicó una tonalidad verdosa de carácter oscuro tanto a la base como al puente de la máquina. Esta elección cromática se fundamenta en una imagen encontrada de la fresadora universal en la Universidad Yale, la cual exhibía un matiz similar. El resto de las piezas se han renderizado en un color metálico, ya que se desconoce el material de cada una de ellas.

Por último, se ha decidido añadirle a la fresadora, mediante la herramienta “Calcomanía” de SolidWorks, un logo de la Universidad de Málaga con el propósito de identificar y asociar este trabajo con la institución.

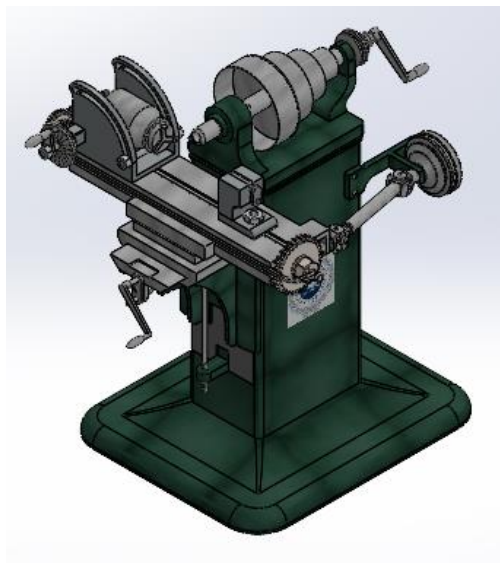


Figura 96. Fresadora Universal de Frederick W. Howe con texturas en SolidWorks.

7.4. MODELADO EN REALIDAD AUMENTADA CON EDRAWINGS

7.4.1. Introducción a eDrawings

eDrawings es una aplicación de software desarrollada por Dassault Systèmes, la misma compañía detrás de SolidWorks. eDrawings es una herramienta de colaboración y visualización diseñada para permitir a los usuarios compartir y revisar modelos CAD en 3D y dibujos en 2D de manera eficiente y precisa. Esta aplicación está especialmente diseñada para trabajar con archivos creados en SolidWorks y otros formatos de archivos de CAD.

Algunas características y funciones clave de eDrawings incluyen:

- **Visualización en 3D:** eDrawings permite a los usuarios ver modelos 3D interactivos de alta calidad, girar, hacer zoom y explorar las partes y ensamblajes desde diferentes ángulos.
- **Visualización en 2D:** Además de modelos 3D, eDrawings permite visualizar dibujos en 2D con detalle, como planos y esquemas técnicos.

- **Colaboración:** eDrawings facilita la colaboración al permitir a los usuarios marcar y anotar los modelos con comentarios, medidas y notas. Los comentarios pueden ser agregados directamente en el modelo y compartidos con otros usuarios.
- **Mediciones:** Los usuarios pueden medir distancias, ángulos y otras dimensiones directamente en el modelo, lo que es útil para verificar dimensiones y relaciones en los diseños.
- **Compatibilidad:** eDrawings admite varios formatos de archivos de CAD, como archivos de SolidWorks (partes, ensamblajes y dibujos), así como formatos como DXF, DWG y STL, lo que facilita la colaboración entre usuarios que trabajan con diferentes herramientas de diseño.
- **Vista de secciones y detalles:** Permite a los usuarios ver secciones internas de los modelos y examinar detalles específicos para una comprensión más profunda.
- **Visualización móvil:** eDrawings también ofrece aplicaciones móviles que permiten a los usuarios ver y colaborar en modelos 3D y dibujos en dispositivos móviles.
- **Protección de propiedades intelectuales:** eDrawings permite controlar qué información es visible y qué propiedades se pueden ocultar en los modelos antes de compartirlos, lo que ayuda a proteger la propiedad intelectual.

En resumen, eDrawings es una herramienta versátil que facilita la colaboración y comunicación en proyectos de diseño al permitir a los usuarios visualizar, revisar y anotar modelos 3D y dibujos en 2D de manera sencilla y eficiente.

7.4.2. Proceso de modelado

Para exportar un ensamblaje desde SolidWorks hacia eDrawings, el proceso se inicia al seleccionar la opción "Guardar" y posteriormente optar por "Publicar en eDrawings" desde SolidWorks. Tras esta acción, la aplicación de eDrawings se abre automáticamente con el ensamblaje en cuestión. En este punto, se procede a guardar el archivo en el formato propio de eDrawings (.easm).

Para compartir este archivo y llevarlo al dispositivo deseado para su visualización en realidad aumentada, se pueden emplear diversos métodos como el envío por correo electrónico, la transferencia vía Bluetooth u otros medios similares.

Para continuar, es esencial que la aplicación de eDrawings esté previamente descargada en el dispositivo móvil o tablet. En el caso que estamos considerando, se está utilizando un dispositivo móvil con sistema operativo Android, por tanto, esta aplicación debe descargarse desde Google Play Store, simplemente buscando "eDrawings".

Una vez el archivo ha sido descargado exitosamente en el dispositivo, se procede a abrir la aplicación de eDrawings. Dentro de la aplicación, se agrega el archivo del ensamblaje previamente guardado y así se habilita la visualización y exploración de dicho ensamblaje en el entorno de eDrawings.

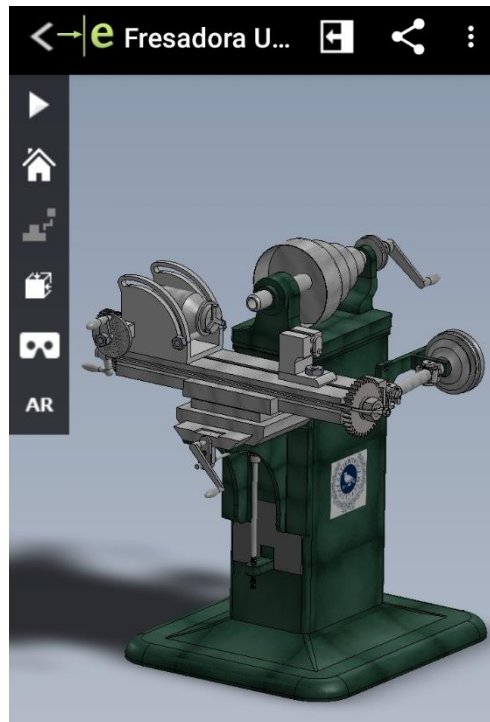


Figura 97. Fresadora universal en la aplicación eDrawings.

Dentro de la aplicación, en el icono AR, es posible obtener un código QR al seleccionar la opción "Get Marker". Este código brindará la posibilidad de experimentar la fresadora en realidad aumentada mediante un dispositivo móvil. A través de esta función, se podrá rotar la fresadora, explorar sus vistas y, inclusive, ajustar su tamaño según se prefiera.

(Point your device camera this way!)

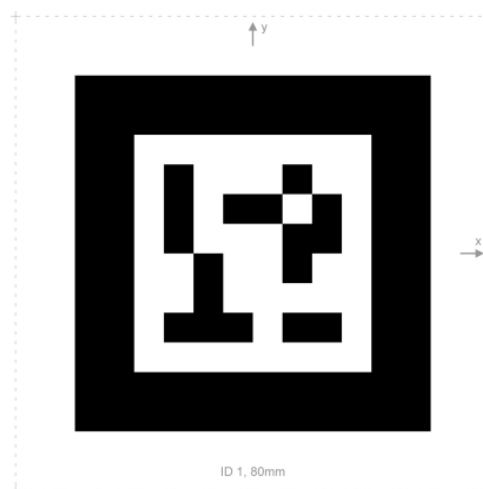


Figura 98. Marcador global de realidad aumentada.

Posteriormente, para poder visualizar la fresadora en realidad aumentada será necesario imprimir este código, dejarlo en una superficie plana y enfocararlo con la aplicación mediante el dispositivo móvil.

7.4.3. Modelo en realidad aumentada

Mediante eDrawings, con el teléfono móvil y con el marcador global mostrado en el apartado anterior, se procede a obtener la fresadora en realidad aumentada.

Se escanea la superficie del entorno utilizando la cámara del teléfono móvil. La aplicación detectará la superficie y ubicará el modelo 3D sobre ella.

En la siguiente imagen se puede ver la fresadora en un espacio real como es un pasillo de una casa. Como se puede ver, en relación con la puerta, se puede observar que la fresadora está representada en las dimensiones que se establecieron.

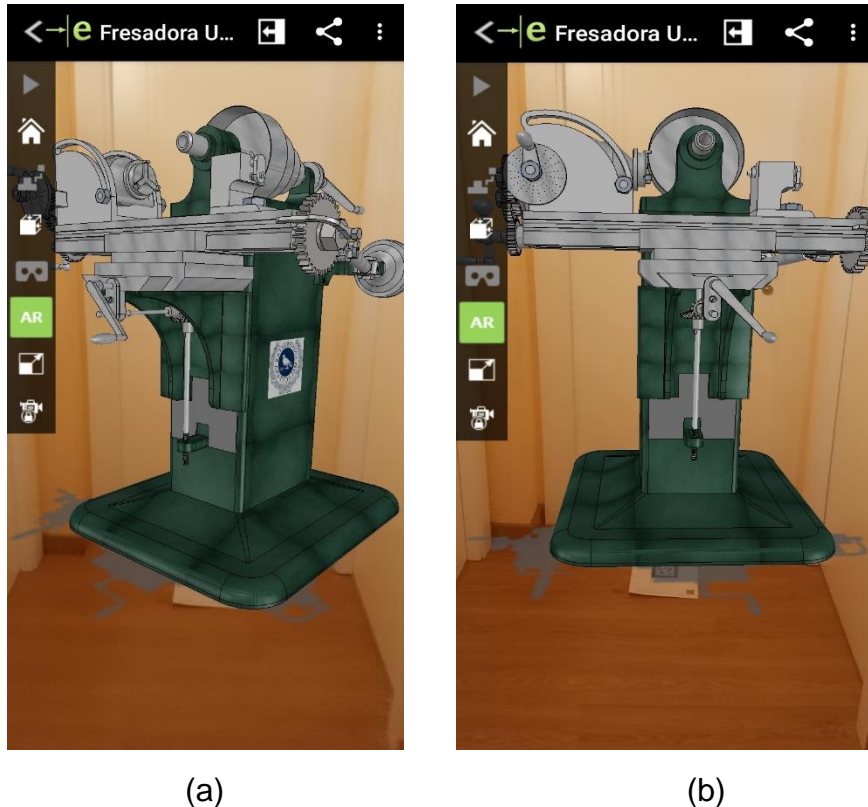


Figura 99. (a) y (b) Fresadora en Realidad Aumentada.

Una vez que el modelo esté en su lugar, se podrá interactuar con él utilizando gestos táctiles, como pellizcar para hacer zoom, arrastrar para mover y girar para cambiar la perspectiva.

Se puede utilizar la realidad aumentada para explorar el modelo desde diferentes ángulos y acercarse a detalles específicos. Se pueden identificar componentes, ver cómo se ensamblan y evaluar su diseño desde diversas perspectivas.

La aplicación eDrawings en realidad aumentada también permite agregar anotaciones y comentarios al modelo, lo que facilita la comunicación y colaboración con otros usuarios.

7. CONCLUSIONES

Finalmente, se puede observar que se han cumplido los objetivos principales de este Trabajo Fin de Grado, lograr un modelo CAD 3D preciso y detallado de la primera fresadora universal de Frederick W. Howe, además de obtener una mayor información acerca del contexto histórico de esta máquina herramienta dentro del patrimonio industrial.

Este trabajo no se habría conseguido sin una ardua investigación, ya que se contaba con unos recursos limitados. Ha sido necesario introducirse en la historia de las máquinas herramientas y, en concreto, las fresadoras, para obtener más información acerca de las dimensiones y el funcionamiento de ésta. Adicionalmente se ha examinado la biografía del creador, Frederick W. Howe, y la evolución de la compañía Brown and Sharpe al ser la empresa titular de la patente que se tiene de esta máquina.

La innovación de este trabajo radica en la integración de la realidad aumentada mediante eDrawings. Esta tecnología ha liberado a la fresadora del confinamiento de la pantalla y la ha traído al entorno tangible. De esta manera, los usuarios pueden no solo observar, sino también interactuar y experimentar directamente con los modelos de simulación y visualización en un contexto más natural y auténtico. Al permitir a los usuarios experimentar la fresadora en su espacio físico a través de dispositivos móviles, se ha logrado una conexión con un pasado que sentó las bases de la tecnología que conocemos hoy día.

Por otra parte, conforme se realizaba el trabajo, se decidió añadir la texturización del modelo en una herramienta de renderizado como Blender para facilitar su continuidad. La idea es alentar a la continuación de este trabajo para poder desarrollarlo en otras plataformas con gafas de realidad virtual y dotar a la fresadora de movimiento a través de los controladores o mandos de realidad virtual para permitir al usuario interactuar de manera más inmersiva con el entorno virtual al seguir sus movimientos y gestos.

En última instancia, este Trabajo Fin de Grado no es solo un estudio de la evolución industrial y tecnológica, sino también un testimonio de la capacidad de las herramientas contemporáneas para revivir y conmemorar el legado industrial. A medida que la fresadora de Frederick W. Howe toma su lugar en el mundo digital y aumentado, invita a un diálogo intergeneracional, recuerda la importancia de preservar los logros pasados e impulsa a explorar las nuevas posibilidades del futuro.

8. LÍNEAS FUTURAS

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se procede a plantear líneas de investigación futuras que podrían resultar de gran interés para el desarrollo del patrimonio industrial.

Respecto al modelado de la fresadora universal de Howe:

- **Estudio Mecánico y Análisis de Materiales:** Se propone llevar a cabo un estudio exhaustivo del sistema mecánico. Esto involucraría la especificación de los materiales utilizados en la construcción de la máquina. A través de diversos ensayos, se busca evaluar su resistencia a la fatiga, desgaste y análisis de esfuerzos. Este enfoque permitirá una comprensión profunda de la robustez y durabilidad de la fresadora original.
- **Simulación de la Herramienta de Corte:** Se propone realizar un estudio y simulación específica para la herramienta de corte utilizada en la fresadora. Mediante la realización de desbastes en diferentes materiales, se buscará evaluar la durabilidad y el rendimiento de la herramienta.
- **Automatización y Control Dinámico:** A partir del modelo dinámico de la máquina, se propone investigar la viabilidad de su automatización conforme a los estándares contemporáneos. Un enfoque basado en software permitiría introducir la forma final de desbaste y, a través de un programa informático, controlar el funcionamiento de la máquina para lograr la geometría deseada de manera precisa y eficiente.

Respecto al Patrimonio Industrial:

- **Conservación y Restauración de Fresadoras Históricas:** Explorar los desafíos y enfoques en la conservación y restauración de fresadoras históricas, incluida la fresadora de Howe. Investigar técnicas de restauración, documentación y preservación que aseguren la integridad y autenticidad de estas valiosas piezas de patrimonio industrial.

Respecto a la realidad aumentada:

- **Plataformas alternativas de Realidad Aumentada:** Integrar la tecnología de realidad aumentada en la fresadora utilizando diversas aplicaciones, como AR Core (Servicios de Google Play para RA) para dispositivos móviles, en este caso no ha sido posible por la incompatibilidad con los dispositivos móviles que se tenían, o mediante la plataforma Unity para habilitar el uso de gafas de realidad virtual. En este último enfoque, utilizando Unity, sería factible programar y controlar los movimientos fundamentales de la fresadora, permitiendo así simular de manera efectiva un proceso de corte a través de las gafas Oculus Quest 2.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Evolución técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica.* Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>. Último acceso: Junio 2023.
- [2] *Patrimonio Industrial.* Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Patrimonio_industrial. Último acceso en: Julio 2023.
- [3] *Eli Whitney's Contribution To Modern Day.* Disponible en: <https://eliwhitneyweebly.weebly.com/eli-whitneys-contribution-to-modren-day.html>. Último acceso: Julio 2023.
- [4] *Wikipedia: Máquina herramienta.* Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_herramienta. Último acceso: Agosto 2023.
- [5] *Huron (Hure) Milling Machines.* Disponible en: <http://www.lathes.co.uk/huronmillers/>. Último acceso: Julio 2023.
- [6] *La historia del CNC (Control Numérico por Computadora).* Disponible en: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/la-historia-del-cnc-control-numericopor-computadora.html>. Último acceso: Julio 2023.
- [7] *Fresadoras CNC.* Disponible en: <https://www.helfer.es/fresadoras-cnc/>. Último acceso: Julio 2023.
- [8] *Wikipedia: Fresadoras.* Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora>. Último acceso: Agosto 2023.
- [9] J.M. Cañero. *Tema 9: Aspectos Generales del Fresado.* Apuntes de la asignatura Tecnología de Fabricación, Universidad de Málaga, 2023.
- [10] J.M. Cañero. *Documentación adicional y complementaria I.* Apuntes de la asignatura Tecnología de Fabricación, Universidad de Málaga, 2023.
- [11] *Mega guía de fresadoras. Qué son, tipos y características.* Disponible en: <https://bitfab.io/es/blog/fresadoras/>. Último acceso: Agosto 2023.
- [12] *Máquinas, herramientas y CNC. Tipos de fresadoras.* Disponible en: <https://pyrosisproyect.wordpress.com/2011/09/08/por-la-orientacion-del-eje-de-giro/>. Último acceso: Agosto 2023.
- [13] *Robbins & Lawrence Co. – History.* Disponible en: <http://vintagemachinery.org/mfgindex/detail.aspx?id=2509>. Último acceso: Julio 2023.
- [14] *Wikipedia: Brown & Sharpe.* Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Brown_%26_Sharpe. Último acceso: Julio 2023.
- [15] *Brown & Sharpe Mfg Co. – First Universal Milling Machine.* Disponible en: <http://vintagemachinery.org/mfgindex/imagetdetail.aspx?id=5581>. Último acceso: Agosto 2023.

- [16] *Dispositivos para la sujeción de piezas y sus usos*. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=B97HCNi5nOs&list=LL&index=8&t=514s>.
Último acceso: Agosto 2023.
- [17] *El cabezal divisor*. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/El_cabezal_divisor2.pdf.
Último acceso: Agosto 2023.
- [18] *Divisor*. Disponible en: <http://sns.chonbuk.ac.kr/manufacturing/indexhead.htm>.
Último acceso: Agosto 2023.
- [19] *Sistemas de amarre de la fresadora – Los divisores*. Disponible en: <http://ut4practica4.blogspot.com/p/punto-clave-2.html>. Último acceso: Agosto 2023.
- [20] *Historia del museo – Makina Erreminta Museoa*. Disponible en: <https://museoa.eus/es/museo/historia-del-museo/>. Último acceso: Agosto 2023.
- [21] *Sistema de transmisión del taller de mecanizado*. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=VwyUY8fpQ-U&list=LL&index=16>. Último acceso: Agosto 2023.
- [22] *Wikipedia: Realidad Aumentada*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada. Último acceso: Agosto 2023.
- [23] *US Patent: 46,521 – Improved Milling Machine*. Disponible en: <https://www.datamp.org/patents/advance.php?pn=46521&id=23275&set=2>.
Último acceso: Agosto 2023.
- [24] *SolidWorks*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>. Último acceso: Agosto 2023.
- [25] *Blender*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Blender>. Último acceso: Agosto 2023.



ANEXOS



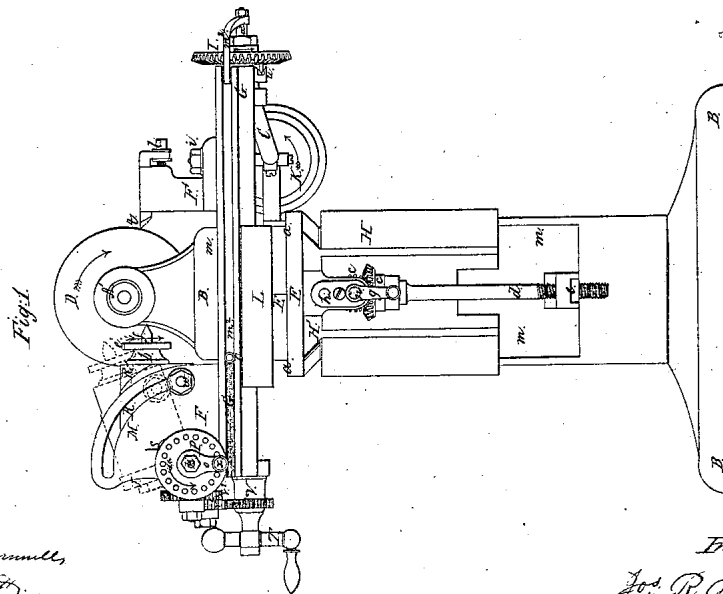
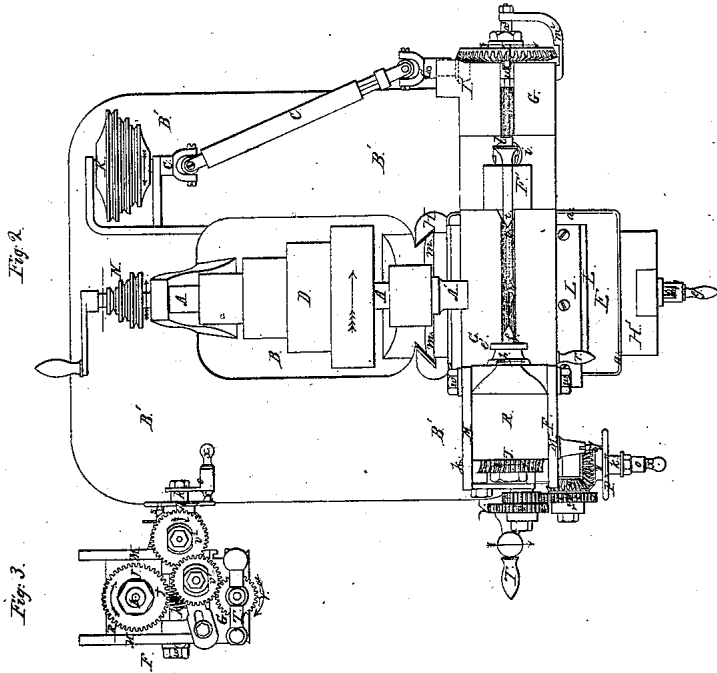
ANEXO A: PATENTE

J. R. Brown,

Screw-Threading Machine,

N^o 46,521.

Patented Feb. 21, 1865.



Witnesses;
James A. Bunnell,
Charles Bennett.

Inventor,
John R. Brown.

UNITED STATES PATENT OFFICE.

JOSEPH R. BROWN, OF PROVIDENCE, RHODE ISLAND, ASSIGNOR TO J. R. BROWN & SHARPE, OF SAME PLACE.

IMPROVED MILLING-MACHINE.

Specification forming part of Letters No. 46,521, dated February 21, 1865.

To all whom it may concern:

Be it known that I, JOSEPH R. BROWN, of Providence, in the county of Providence and State of Rhode Island, have invented certain new and useful Improvements in Milling-Machines; and I do hereby declare that the following is a full, clear, and exact description of the same, reference being had to the accompanying drawings, making part of this specification, in which—

Figure 1 is a front elevation of my improved machine. Fig. 2 is a plan of the same; and Fig. 3 is an end elevation of the geared head on the carriage detached.

Similar letters of reference indicate corresponding parts in all the figures.

My invention consists in an improved construction and arrangement of certain devices for holding and presenting the work to be performed to a revolving cutter or milling-tool that is calculated to adapt the machine to a great variety of work and insure convenience of operation.

In the drawings, B is a cast-iron column, serving as a frame for the machine, having a broad, flat base, B', by which it is fastened down to insure solidity and firmness, and upon the top of this column is formed suitable bearings for the revolving cutter-head, consisting of a spindle, A, provided with cone-pulleys D, by which it is revolved by means of a suitable belt or band at different speeds suited to the nature of the work to be performed. The end A' of the spindle is made hollow, to provide for the reception of the arbor upon which the cutters or mills are secured, which, owing to the solidity of the spindle-bearings, revolve with great firmness and accuracy.

The piece of work to be operated upon may be held either in a vise or clamping-jaws, or between two centers or in a chuck, according to its nature and requirements, either device being conveniently arranged on the sliding swiveling-carriage G, and in order to insure firmness in the said carriage it is mounted upon a heavy knee, H, of cast-iron, that is secured to and slides vertically upon a projecting plate, m, cast upon the front of the column B. This knee H is adjusted to its proper elevation by means of the screw d, which is turned for that purpose in the nut e, project-

ing from the front of the column, by means of the crank g in front, on the end of the rod n, which is connected to the screw by the bevel-gears C C. The upper portion, H', is formed with a slide, to which is fitted the sliding plate E, which is formed with a ledge, a, at its margin to serve as a dripping-pan to receive the oil that is applied to and drips from the work, and this sliding plate is moved in a direction parallel to the axis of the spindle A, and adjusted by means of a screw operated by a crank on the stem h. This sliding plate affords a broad and firm bearing for the swivel-plate L, in which the carriage G slides, and by means of which the said carriage, turning on the swivel, is set to slide at any convenient angle that may be required.

The construction and arrangement of the parts, as above described, provides for the elevation of the carriage G, for its sliding longitudinally with the spindle of the cutter-head, and for setting it so as to slide at any convenient angle therewith, so that every possible movement or position thereof is obtained that is required for any work that can be performed by a machine of this character.

The machine is represented in the drawings with two center-heads, F F', mounted on the carriage G, the greater proportion of the work which this machine is adapted to do being swung upon or held between two centers, as in a lathe. The center-head F is made stationary at the end of the carriage, and is provided with a hollow spindle, b, in which is inserted the line-center f, formed with a slotted plate, e', in which the tail of the "dog" is inserted for the purpose of turning the arbor or work to which such dog is fastened with the line-center spindle. The center-head F' is fitted to slide longitudinally on the carriage to the position required for holding the work, in which it is secured by the nut i. In this head the dead-center t is fitted and adjusted to hold the work by means of the screw l. The hollow spindle of the line-center head F is provided with a worm-wheel, J, secured by a nut on its rear end, as shown in Fig. 3, and a worm-gear, j, on the spindle K, having a crank, o, by means of which the said spindle and its center are revolved, and the spindle K is provided with an index-plate, p, turning freely thereon, by which

to divide the revolution of the center-spindle, and a stop, S, Fig. 2, consisting of a sliding pin in a barrel firmly secured to the side of the head, which enters one of the perforations in the index-plate to hold it stationary, and the crank *o* is furnished with a sliding pin, *x*, the pointed end of which is pushed into one of the perforations in the index-plate after the crank-spindle and worm have been turned to produce the desired division of the revolution of the center-spindle for the purpose of holding the whole mechanism stationary while the cutter or mill is operating on the work that is held between the centers. A piece of work—as, for instance, a rimmer or a spur-gear in an arbor—being confined between the centers in the usual way and properly adjusted by the means above described to present it to the cutter or mill on the cutter-head, the carriage G is moved laterally in the swivel-plate L, to feed the work to the cutter by means of a feeding-screw arranged beneath the carriage and provided with a crank, T, at one end, by which it is turned and the position of the carriage adjusted by hand, and a sliding clutch, *u*, at the opposite end thereof, engaging with jaws formed on the hub of the bevel-gear I, Figs. 1 and 2, which is connected by a smaller bevel-gear, I', (in dotted lines,) to the universal-jointed shaft C, the opposite end of which is provided with cone-pulleys K, which are revolved by means of a band from the cam-pulleys N, on the rear end of the spindle A at the speed required by the nature of the work, the said clutch being thrown in and out of gear, when desired, to feed steadily by power by means of the spindle *a*², connecting with the clutch and protruding from the end of the screw, which is made hollow for its reception, the protruding end being connected by a nut thereon to the sliding rod *m*², having a convenient handle, *r*, thereon, by which it is moved.

By means of the gear I and its connections the feeding movement of the carriage is produced, carrying the work in the direction of its length up to the cutter.

I have thus far described the revolving movement of the center-spindle *b* and the sliding feeding movement of the carriage G as separate functions operating separately. It is, however, desirable in doing certain kinds of work—as, for instance, in cutting spiral grooves, in making "twist-drills," and similar tools—to combine these two functions, so that with a certain extent of the sliding movement of the carriage the center-spindle, and with it the work attached thereto, will make a certain degree of revolution, the two working conjointly to feed the work to the cutter to produce the effect described of spiral cutting or milling. This result is produced by means of the spur-gear V on the screw, Figs. 2 and 3, connecting the motion of the latter through the medium of the intermediate spur-gears, *v*¹, *v*², and bevel-gears *y y* with that of the index-plate *p* on the worm-spindle *k*, which is con-

nected and its movement communicated to the worm-spindle by inserting the sliding pin *x* of the crank *o* in one of the perforations of the index-plate, as shown in Fig. 3, so that the crank *o* and the worm-spindle will revolve with the index-plate, the proper ratio of velocity between the worm-spindle and the feeding-screw of the carriage G being obtained by suitable changes of the intermediate gears, by which their movements are connected, as described. The block R, in which the center-spindle *b* is held, swings upon the worm-spindle *k* from the horizontal position shown into a vertical position or any intermediate angle between the same, it being secured and held stationary in such position by means of the bolt *w* and its nut, passing through the block and the curved slots formed in the two side pieces, M, and the center-spindle being while in a vertical or oblique position still subject to the action and control of its worm-wheel and worm and the index-plate, as above described. By this means spur and bevel gears fixed on a stud inserted in the hollow spindle in place of the center may be cut by using the elevating-screw *d* as a feeding-screw to feed the work to the cutter by a vertical movement. By means of this arrangement, also, the line-center *f* can be raised or depressed to cut the blades of tapering reamers, burrs, milling-cutters, &c. A chuck having adjustable jaws may be secured upon the protruding end of the line-center spindle *b*, and a rod of metal that is too long to be held between the centers gripped and held by the jaws of the chuck and revolve with the spindle *b*, subject to the movement and regulating devices above mentioned.

The construction and arrangement of a suitable vise or clamping-jaws upon the carriage G will be readily understood by mechanics who are familiar with machines of this character and need not therefore enter into this description.

What I claim as my invention, and desire to secure by Letters Patent, is—

1. The combination of the elevating-knee H, the sliding plate E, the swivel-plate L, and sliding carriage G with the revolving cutter-head, constructed and arranged to operate substantially as described.

2. The arrangement of the center-spindle *b*, or its equivalent, with the devices which actuate and govern the movements of the same, in combination with the sliding carriage G and the devices by which it is operated, so that the two mechanisms may operate either separately or conjointly, substantially in the manner described.

3. The arrangement within the center-head F of the swinging block R, or its equivalent, and the revolving spindle *b* with the devices which operate the same, substantially as described, for the purpose specified.

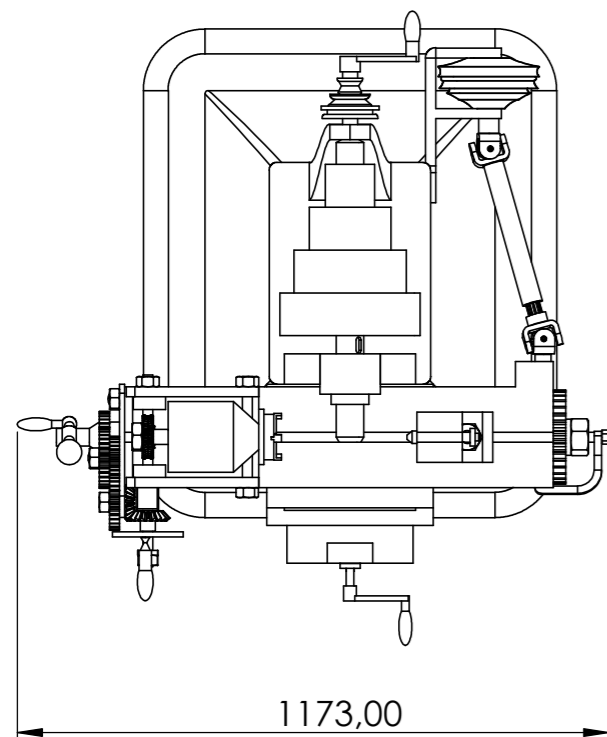
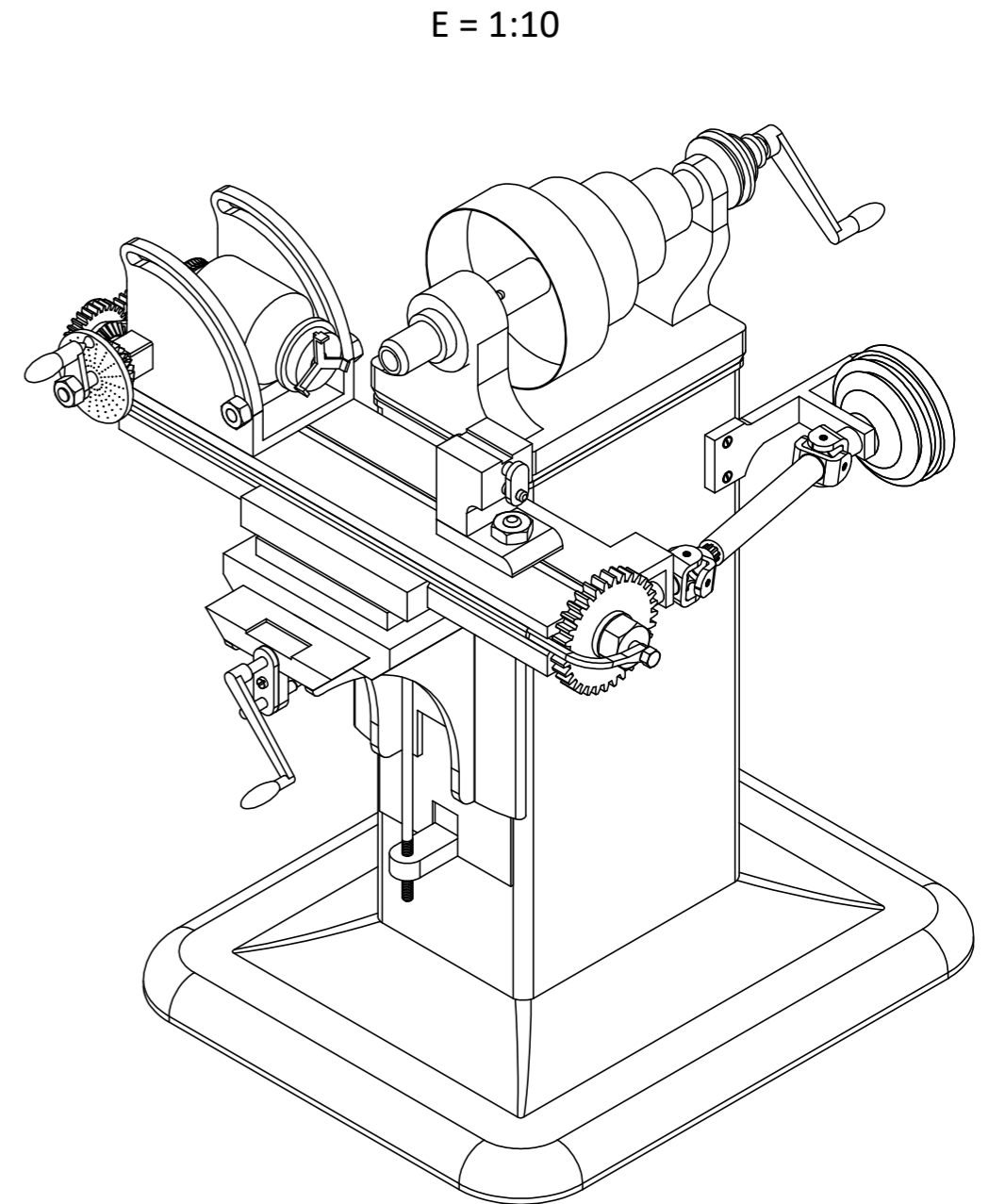
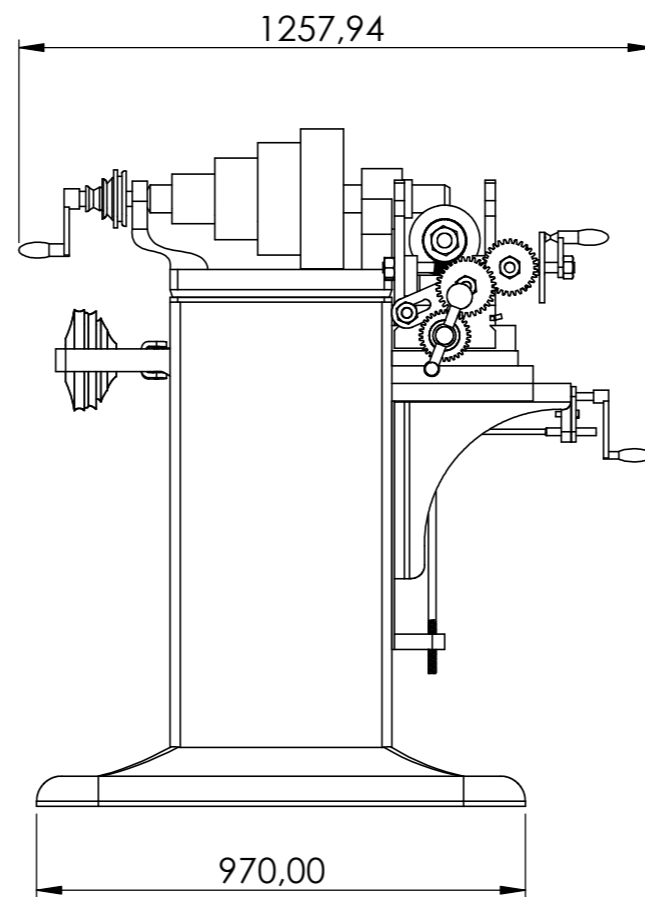
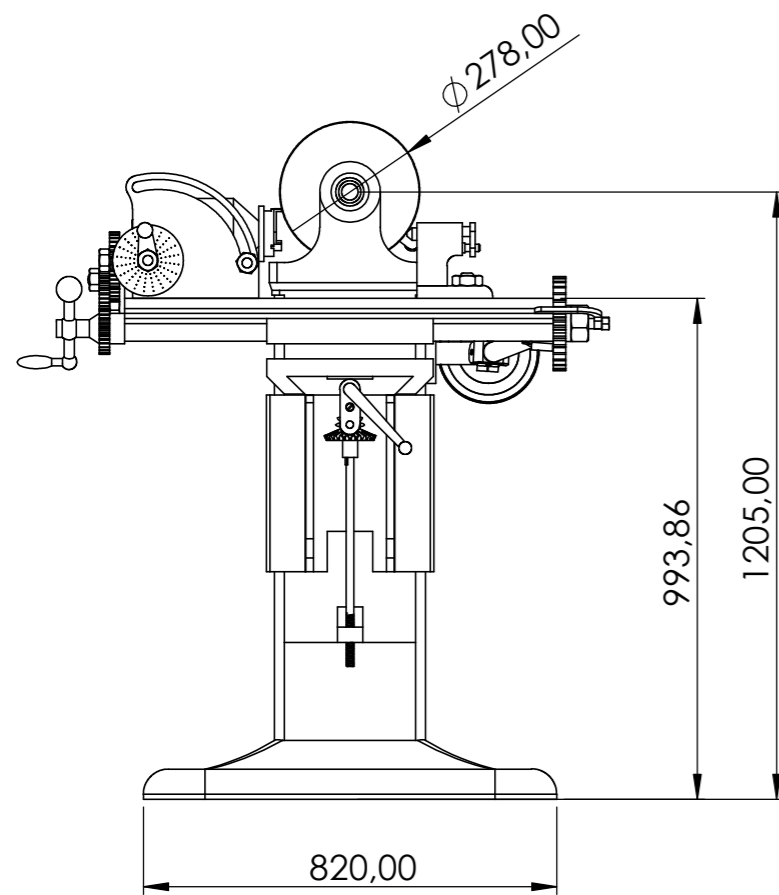
JOS. R. BROWN.

Witnesses:




ISAAC A. BRUNELL,
SAMUEL BARRATT.

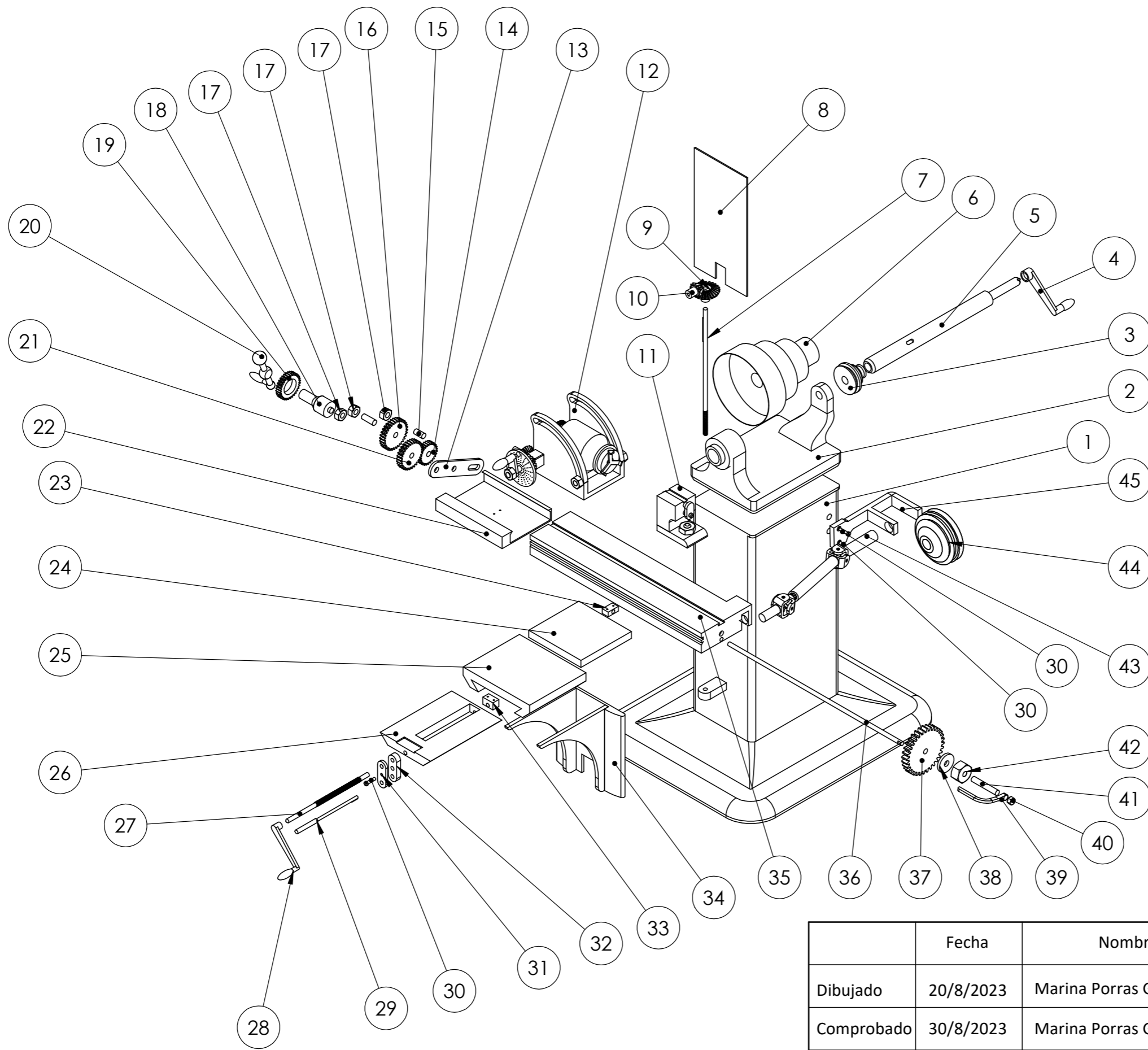




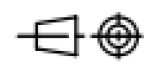
ANEXO B: PLANOS





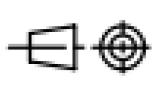
Nota: Vistas principales a escala 1:15
 Perspectiva isométrica a escala 1:10

	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García		Escala:	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		1:15	
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Conjunto N°: 1.00	
Título: PLANO DE CONJUNTO - VISTAS PRINCIPALES Y PERSPECTIVA ISOMÉTRICA				Plano N°: 1.00	






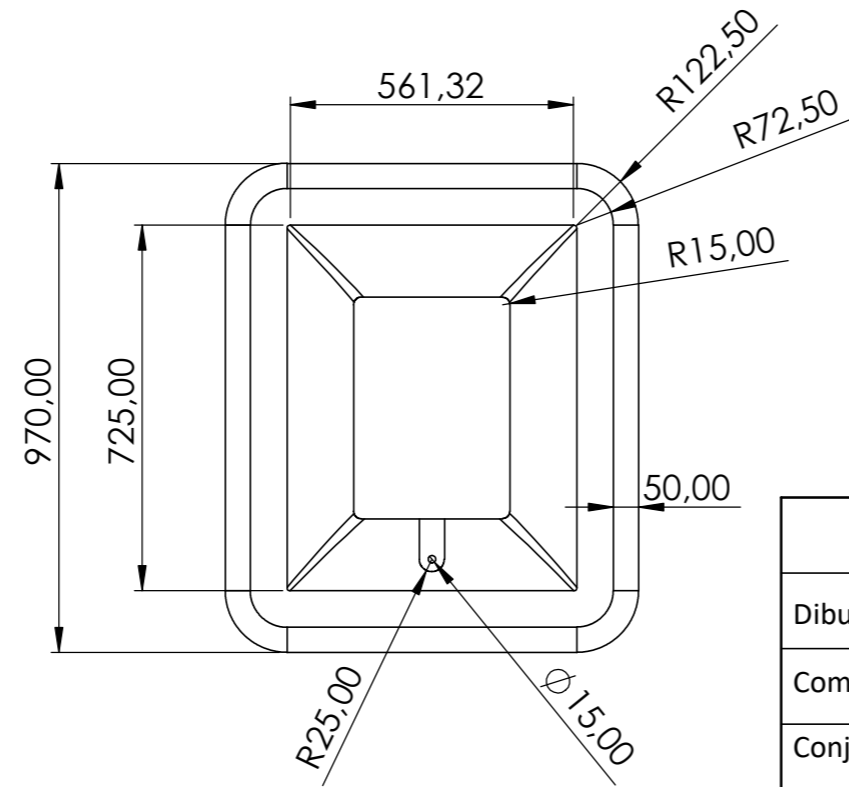
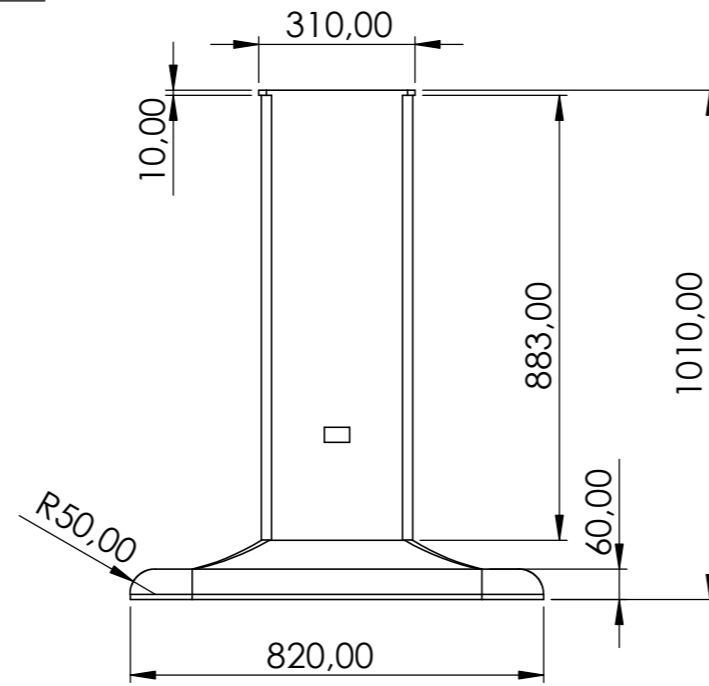
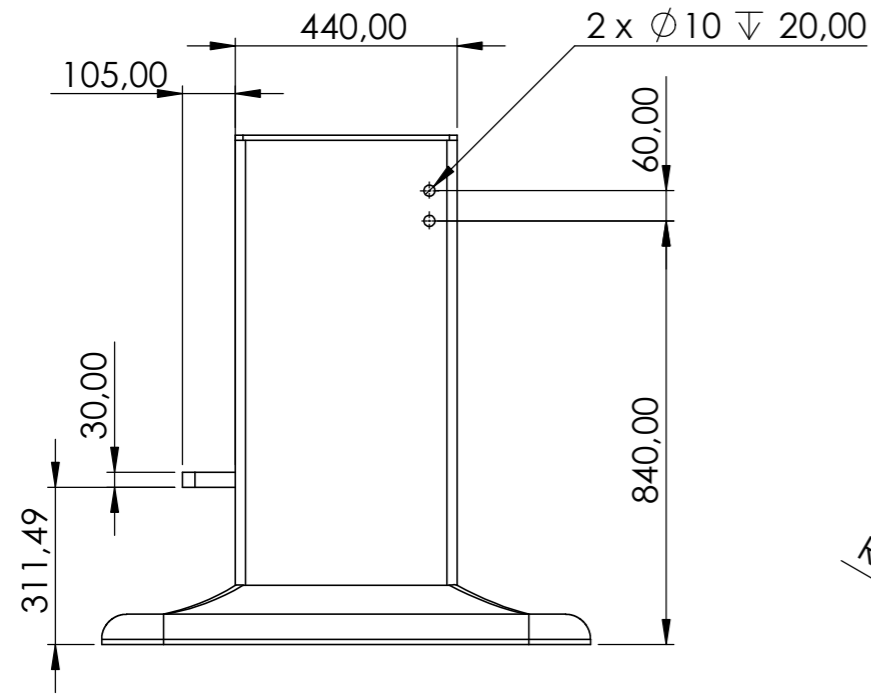
	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García		Escala: 1:15	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		Conjunto N°: 1.00	
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Título: EXPLOSIONADO FRESADORA UNIVERSAL	
				Plano N°: 1.00	

MARCA	DENOMINACIÓN		Nº DE PIEZAS	NORMA
1	Base		1	
2	Puente		1	
3	Polea trapezoidal D120 mm		1	
4	Manivela del eje de la herramienta		1	
5	Eje de la herramienta		1	
6	Cono Morse		1	
7	Husillo vertical		1	
8	Guías		1	
9	Engranaje cónico conducido		1	
10	Engranaje cónico conductor		1	
11	Contrapunto		1	
12	Plato divisor		1	
13	Carril de engranajes		1	
14	Engranaje recto 3M		1	UNE EN ISO 1328
15	Pasador 20 x 45		2	UNE EN ISO 2339
16	Engranaje recto 3.5M		1	UNE EN ISO 1328
17	Tuerca cabeza hexagonal M20		3	DIN 934
18	Soporte de manivela y engranaje		1	
19	Engranaje recto 3M		1	UNE EN ISO 1328
20	Manivela del husillo longitudinal		1	
21	Engranaje recto 3.5M		1	UNE EN ISO 1328
	Fecha	Nombre	Firma: 	 Escala: S/E 
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García		
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Conjunto Nº: 1.00
Título: PLANO DE CONJUNTO - LISTA DE DESPIECE				Plano Nº: 1.00

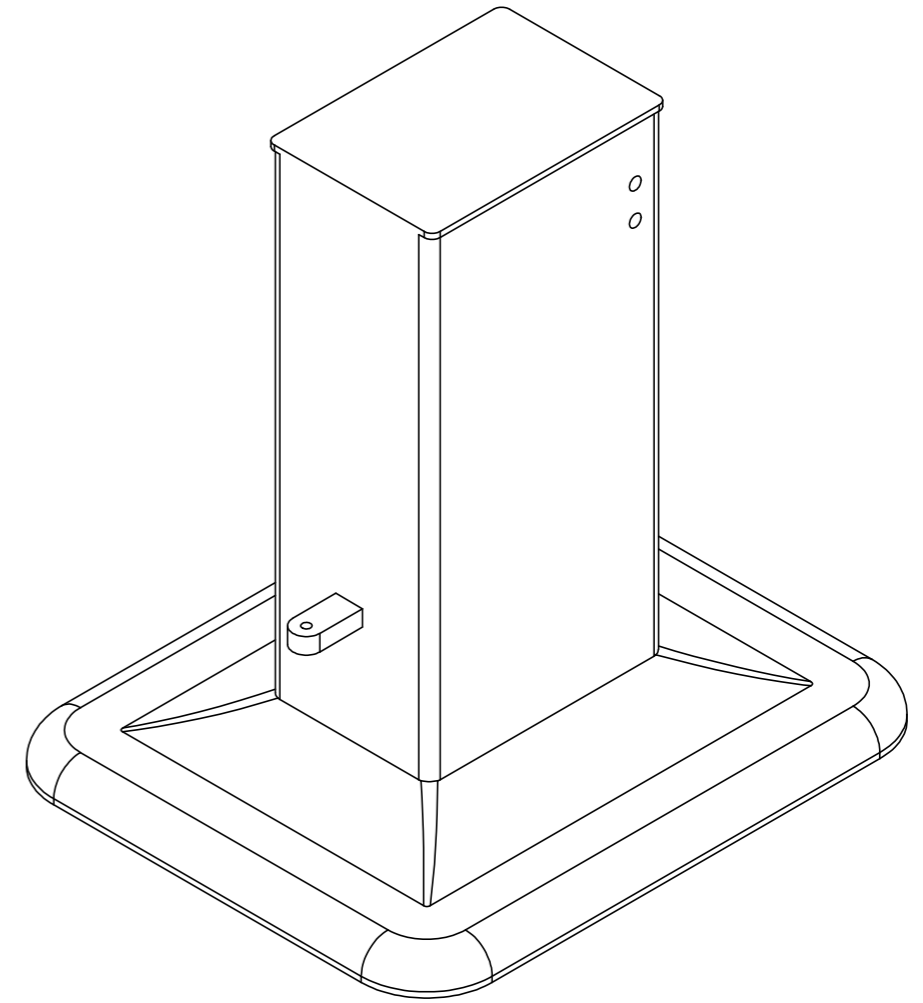
MARCA	DENOMINACIÓN		Nº DE PIEZAS	NORMA
22	Carro longitudinal		1	
23	Bloque de husillo longitudinal		1	
24	Soporte de carro longitudinal		1	
25	Mesa cruzada del carro longitudinal		1	
26	Carro transversal		1	
27	Husillo transversal		1	
28	Manivela del husillo transversal		1	
29	Eje transversal		1	
30	Tornillo M10 x 40		3	UNE EN ISO 1207
31	Soporte de ejes frontal		1	
32	Soporte de ejes posterior		1	
33	Bloque de husillo transversal		1	
34	Carro vertical		1	
35	Mesa de trabajo		1	
36	Husillo longitudinal		1	
37	Engranaje recto 5.5M		1	UNE EN ISO 1328
38	Arandela D20		1	UNE EN ISO 7094
39	Fijador de engranaje		1	UNE EN ISO 4034
40	Tuerca cabeza hexagonal M20		1	UNE EN ISO 4032
41	Pasador 20 x 100		1	
42	Tuerca cabeza hexagonal		1	
	Fecha	Nombre	Firma: 	 Escala: S/E 
Dibujado	20/8/2023	Marina Porrás García		
Comprobado	30/8/2023	Marina Porrás García		
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Conjunto Nº: 1.00
Título: PLANO DE CONJUNTO - LISTA DE DESPIECE				Plano Nº: 1.00

MARCA	DENOMINACIÓN	Nº DE PIEZAS	NORMA
43	Junta Cardan	1	
44	Polea Trapezoidal D200	1	
45	Soporte polea trapezoidal D200	1	

	Fecha	Nombre	Firma: 			
Dibujado	20/8/2023	Marina Porrás García		Escala: S/E		
Comprobado	30/8/2023	Marina Porrás García				
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Conjunto Nº: 1.00		
Título: PLANO DE CONJUNTO - LISTA DE DESPIECE				Plano Nº: 1.00		

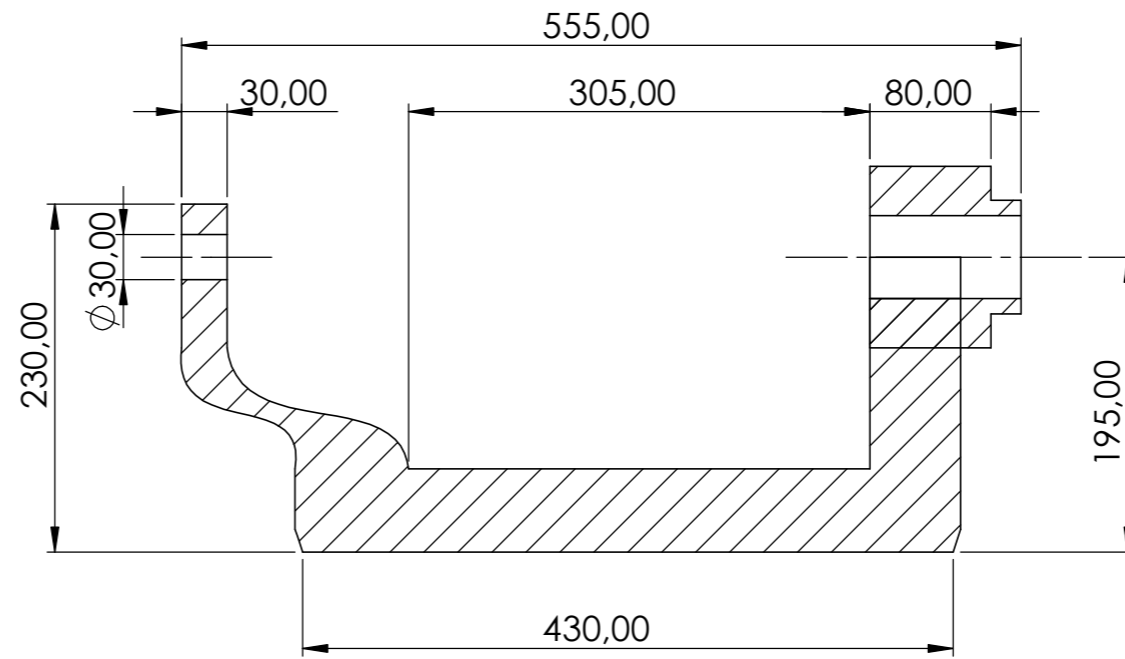
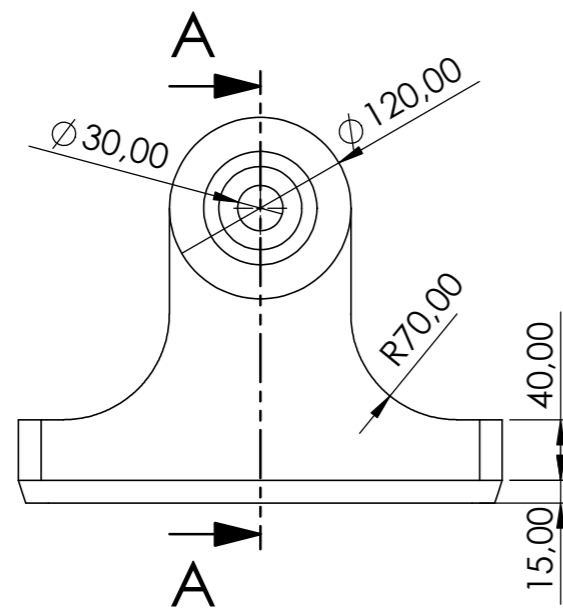


E = 1:10

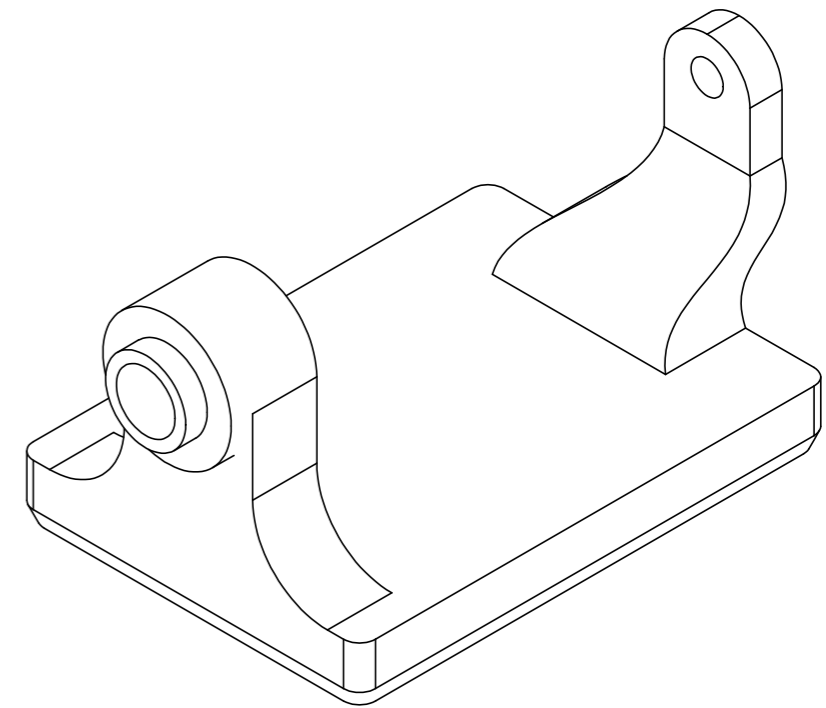
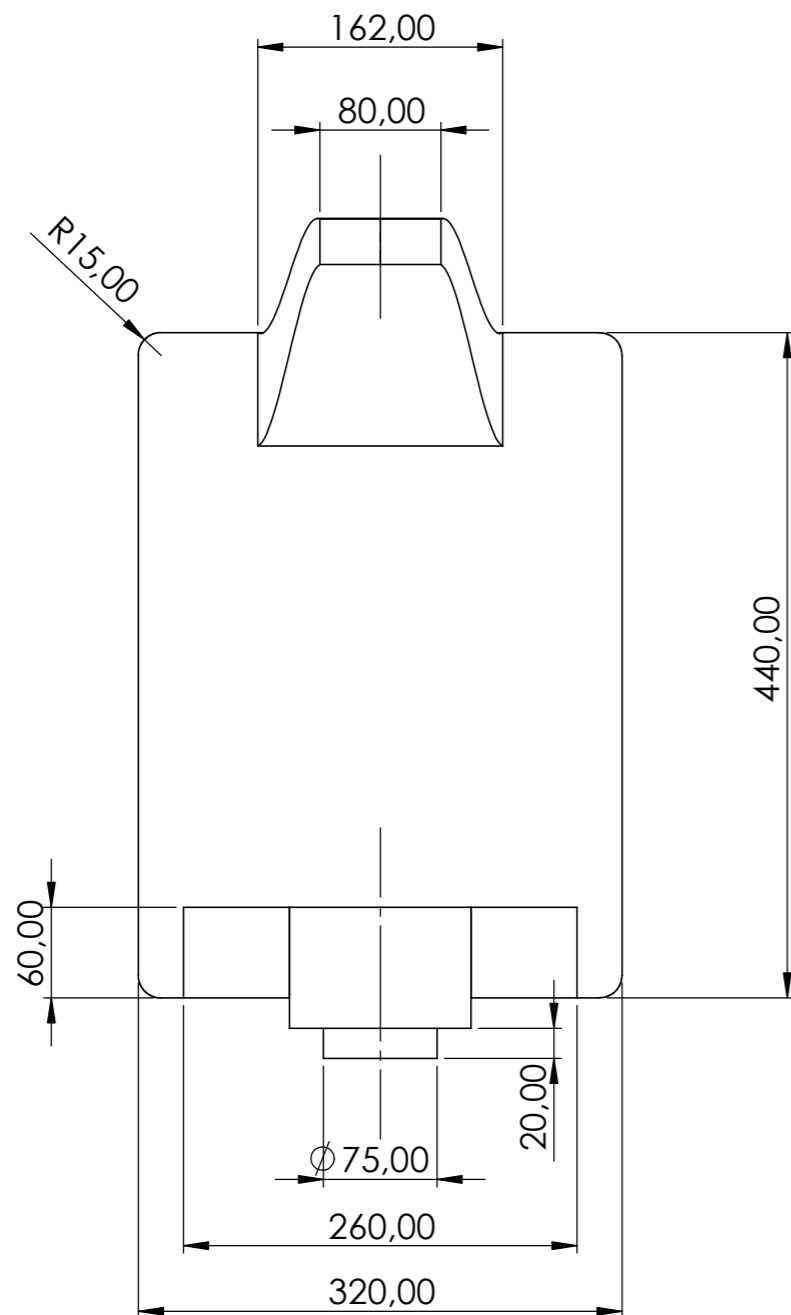





Nota: Vistas principales a escala 1:15
Perspectiva isométrica a escala 1:10

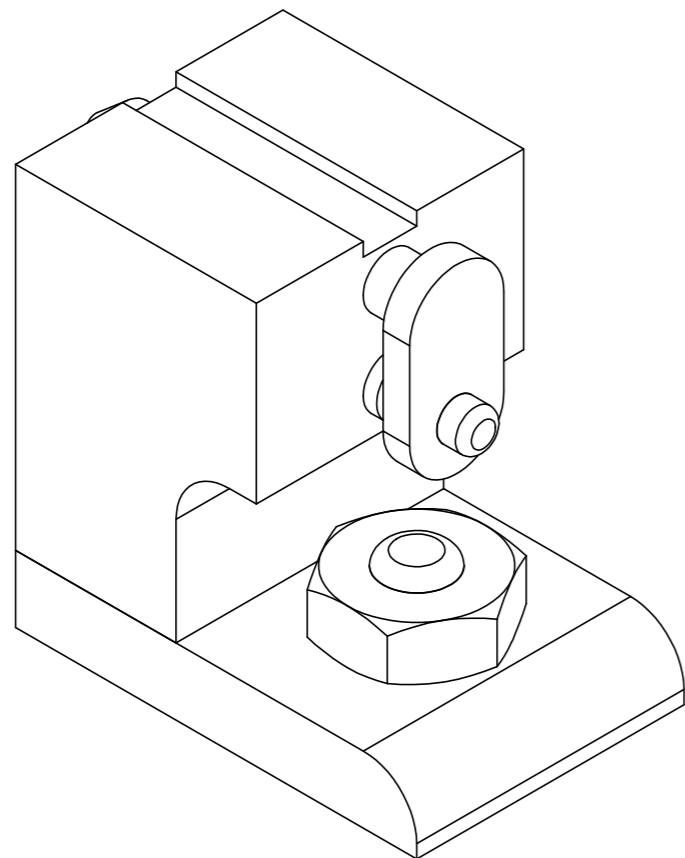
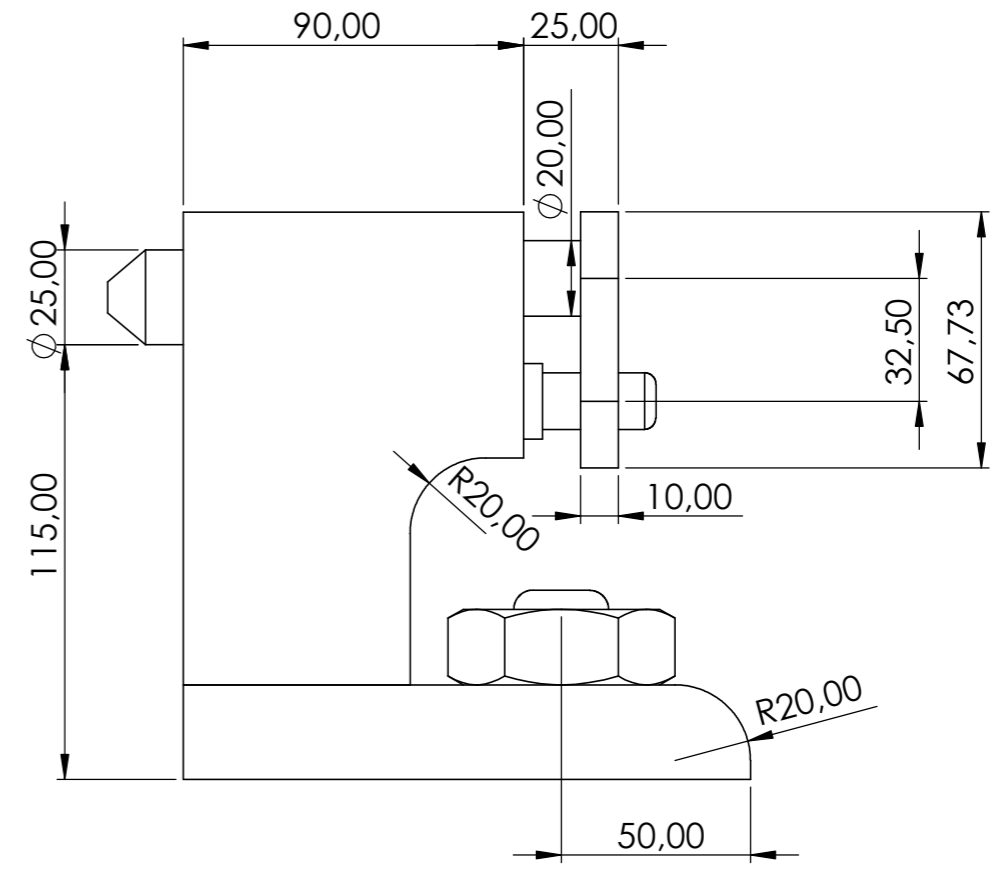
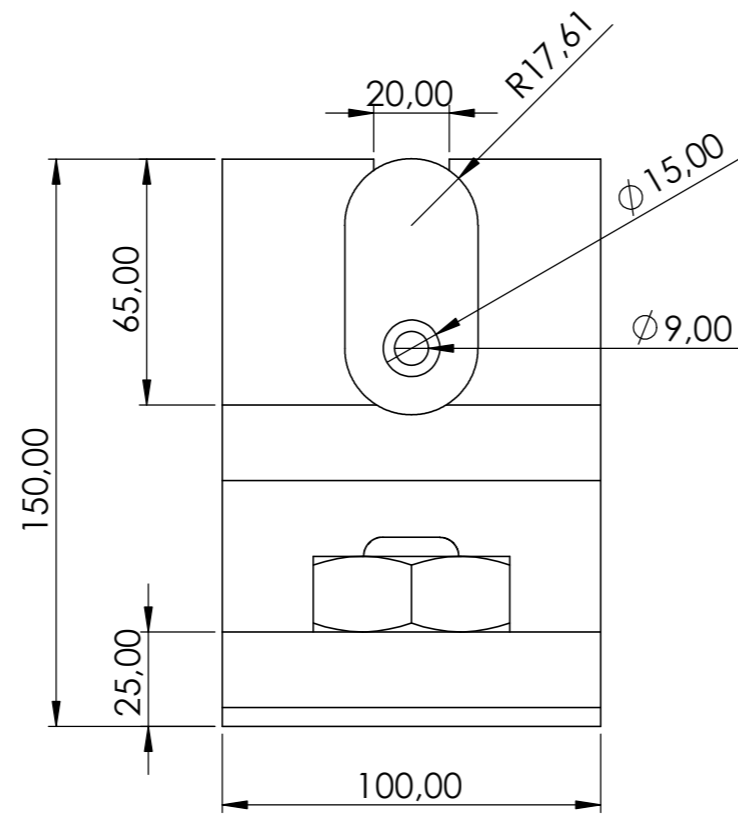
	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García		Escala:	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		1:15	
Conjunto:	FRESADORA UNIVERSAL			Conjunto N°:	1.00
Título:	BASE			Plano N°:	1.01



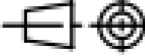


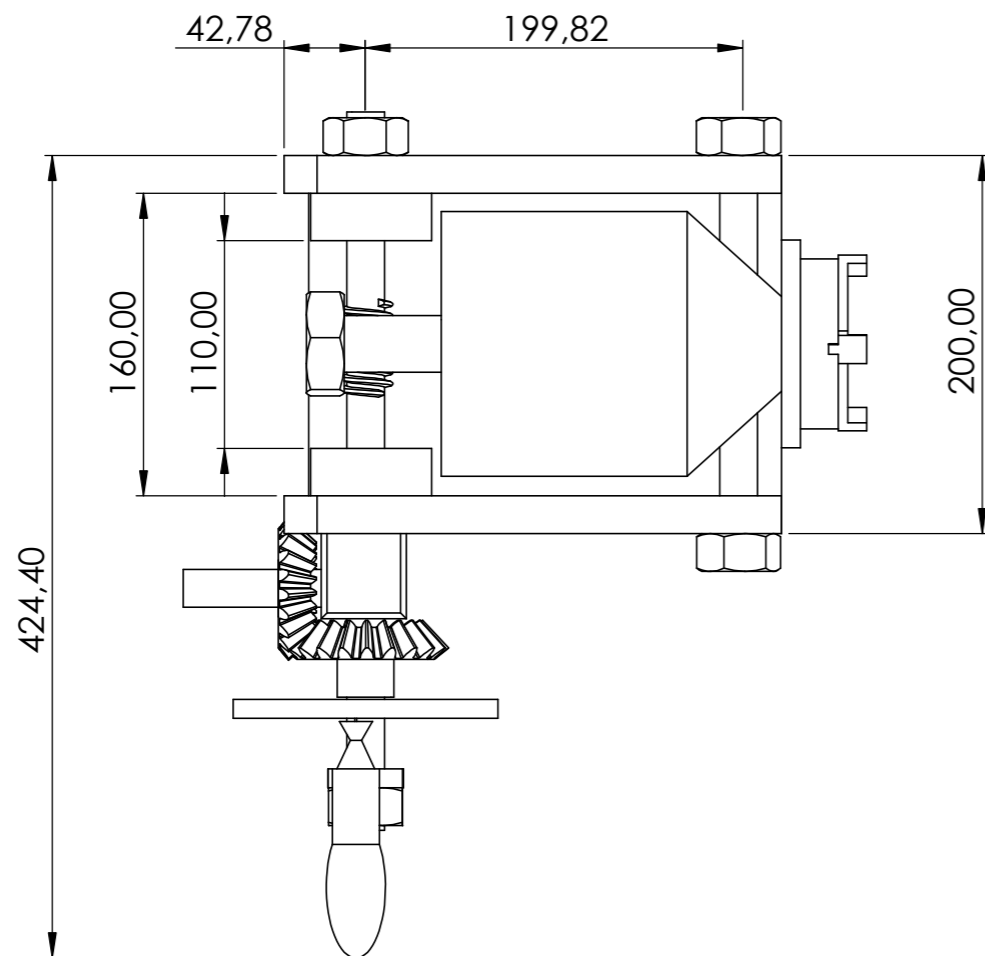
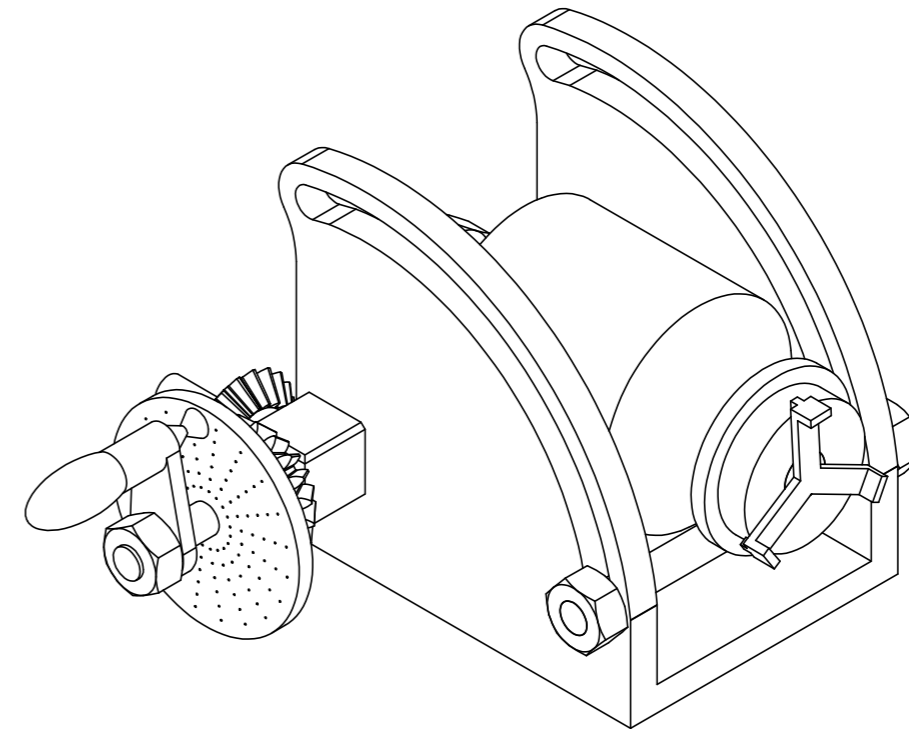
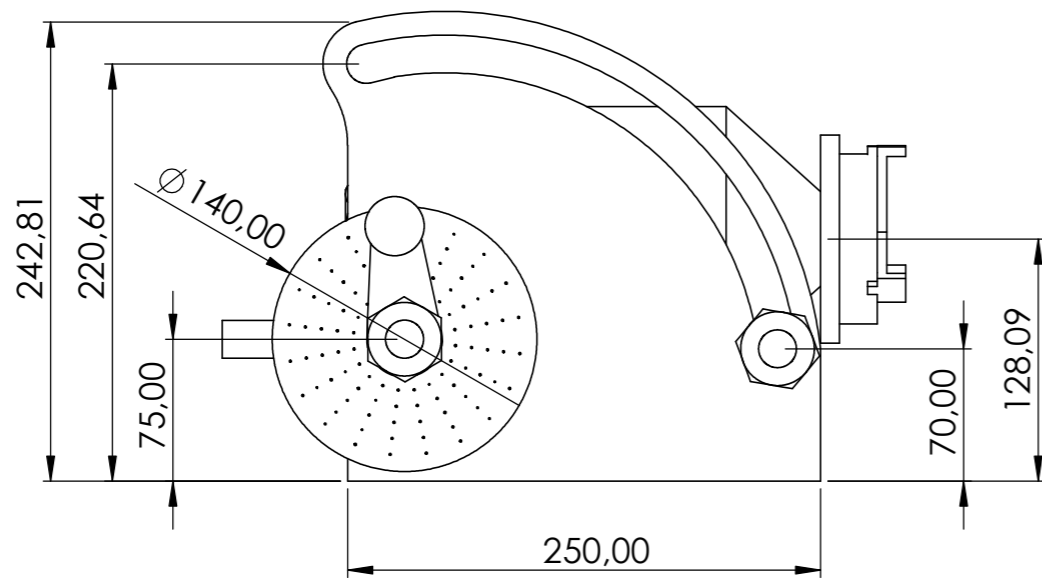
SECCIÓN A-A






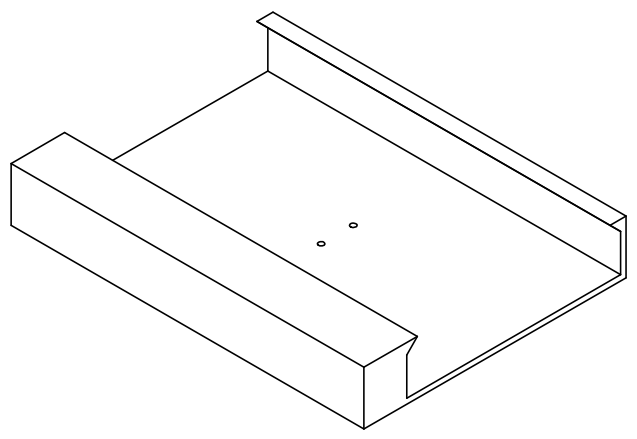
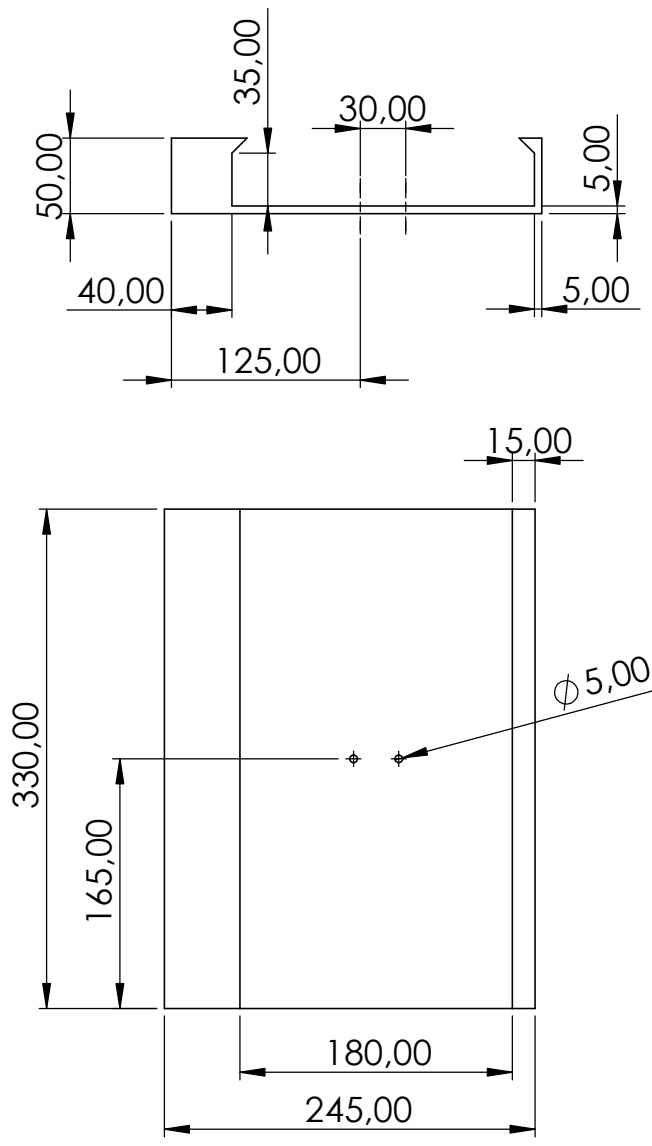
	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porrás García		Escala: 1:5	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porrás García		Conjunto N°: 1.00	
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Título: PUENTE	
				Plano N°: 1.02	





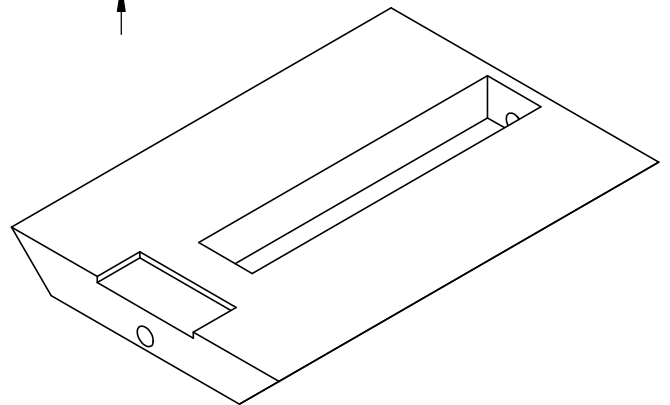
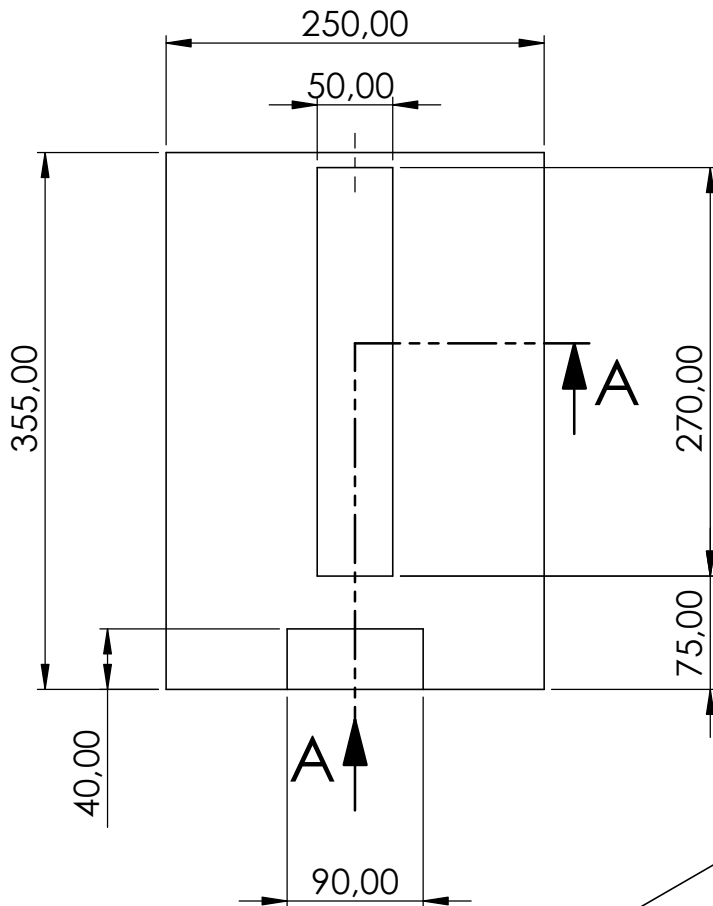
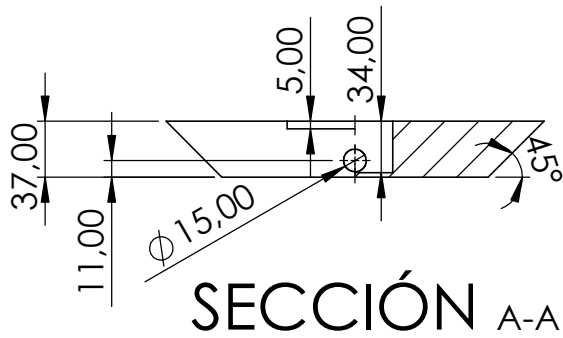
	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porrás García		Escala: 1:2	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porrás García		Conjunto N°: 1.01	
Título:	CONTRAPUNTO PLANO DE SUBCONJUNTO - CONTRAPUNTO			Plano N°: 1.11	






	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García		Escala: 1:4	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		Conjunto N°: 1.02	
Título: PLANO DE SUBCONJUNTO - PLATO DIVISOR				Plano N°: 1.12	



	Fecha	Nombre	Firma: 		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porras García			
Comprobado	30/8/2023	Marina Porras García		Conjunto N°: 1.00	
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Título: CARRO LONGITUDINAL	
				Plano N°: 1.22	



	Fecha	Nombre	Firma:		
Dibujado	20/8/2023	Marina Porrás García		Escala:	
Comprobado	30/8/2023	Marina Porrás García		1:5	
Conjunto: FRESADORA UNIVERSAL				Conjunto N°: 1.00	
Título: CARRO TRANSVERSAL				Plano N°: 1.26	