

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Modelado y recreación virtual con CATIA V5 de
varios mecanismos para el trazado de elipses

Autor: María del Valle Delgado Jiménez

Tutor: D. Francisco Andrés Valderrama Gual

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Departamento de
Ingeniería Gráfica

Proyecto Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Modelado y recreación virtual con CATIA V5 de varios mecanismos para el trazado de elipses

Autor:

María del Valle Delgado Jiménez

Tutor:

D. Francisco Andrés Valderrama Gual

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Grado: Modelado y recreación virtual con CATIA V5 de varios mecanismos para el trazado de elipses

Autor: María del Valle Delgado Jiménez

Tutor: D. Francisco Andrés Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Me gustaría agradecer las oportunidades que me ha brindado la Escuela en estos años, no solo como fuente de conocimiento, sino que allí he conocido amigos con los que he aprendido, he disfrutado y han sido un apoyo fundamental cuando se hacía más duro, al fin y al cabo, son ellos los que han vivido la experiencia desde el mismo punto de vista.

También mi agradecimiento a mi tutor D. Francisco A. Valderrama, ya que ha sido quien me ha guiado y ayudado en el desarrollo del Proyecto.

Finalmente, gracias a mi familia, por creer siempre en mí, especialmente a mis padres quienes se esfuerzan día a día para que sea feliz.

Resumen

En el presente estudio se desarrolla el modelado y la posterior recreación virtual de varios mecanismos cuyo último fin es describir una elipse. Todos ellos proceden de la recopilación titulada Mecanismos de la Técnica Moderna cuyo autor es I.I. Artobolevski, la cual se considera la obra más completa en cuanto a mecanismos.

Debido a que el documento fuente ofrece una información muy escueta, se ha hecho uso de los fundamentos teóricos de la Teoría de Máquinas y Mecanismos, para completar las posibles carencias a la hora de desarrollar los diferentes mecanismos. Por ello, previamente a su modelado, se ha realizado un análisis cinemático para visualizar un probable funcionamiento de los mismos.

Partiendo de los diversos datos al alcance, se han modelado todos los elementos que conforman los mecanismos, para posteriormente ensamblarlos y darle forma al conjunto que configuran.

Tras el desarrollo del Proyecto, se concluye que cuatro de los seis mecanismos modelados, realizan la función para la que han sido definidos y solo de ellos, se ha configurado una animación de su funcionamiento. Sin embargo, los otros dos mecanismos presentan problemas debido a colisiones en su funcionamiento o a la incorrecta descripción de su trayectoria, la elipse que debe describir. Además se han realizado ampliaciones de las aplicaciones de estos mecanismos, ya sea para el caso particular de circunferencias o para la descripción de elipses de diversos tamaños.

Cabe destacar que para el desarrollo de este Proyecto, se ha utilizado una herramienta fundamental en la Ingeniería actual, el programa informático de diseño y fabricación asistido por ordenador, CATIA V5.

Índice

Agradecimientos	4
Resumen	5
Índice	6
Índice de Figuras	8
1. Introducción	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Planteamiento y objetivos del Proyecto	12
2. Herramienta	14
2.1. CAD/CAM	14
2.2. CATIA V5	16
2.2.1. Mechanical Design	16
2.2.2. Digital Mockup	19
2.2.3. Infrastructure	21
3. Desarrollo del Proyecto	22
3.1. Fundamento teórico	22
3.1.1. Teoría de Máquinas y Mecanismos.....	22
3.1.2. Elipse	23
3.2. Mecanismo 1043	25
3.2.1. Documento.....	25
3.2.2. Análisis del mecanismo	26
3.2.3. Modelado	26
3.2.3.1. Diseño.....	26
3.2.3.2. Ensamblaje y funcionamiento	28
3.2.4. Resultado final.....	30
3.3. Mecanismo 1046	34
3.3.1. Documento.....	34
3.3.2. Análisis del mecanismo	35
3.3.3. Modelado	35
3.3.3.1. Diseño.....	35
3.3.3.2. Ensamblaje y funcionamiento	38
3.3.4. Resultado final.....	43

3.4. Mecanismo 1051.....	45
3.4.1. Documento.....	45
3.4.2. Análisis del mecanismo	46
3.4.3. Modelado	46
3.4.3.1. Diseño.....	46
3.4.3.2. Ensamblaje y funcionamiento.....	51
3.4.4. Resultado final.....	53
3.5. Mecanismo 1057.....	55
3.5.1. Documento.....	55
3.5.2. Análisis del mecanismo	56
3.5.3. Modelado	56
3.5.3.1. Diseño.....	56
3.5.3.2. Ensamblaje y funcionamiento.....	62
3.5.4. Resultado final.....	68
3.6. Mecanismo 1059.....	69
3.6.1. Documento.....	69
3.6.2. Análisis del mecanismo	70
3.6.3. Modelado	70
3.6.3.1. Diseño.....	70
3.6.3.2. Ensamblaje y funcionamiento.....	76
3.6.4. Resultado final.....	82
3.7. Mecanismo 1117.....	87
3.7.1. Documento.....	87
3.7.2. Análisis del mecanismo	88
3.7.3. Modelado	88
3.7.3.1. Diseño.....	88
3.7.3.2. Ensamblaje y funcionamiento.....	96
3.7.4. Resultado final.....	100
4. Conclusiones	101
5. Estudios futuros.....	102
6. Bibliografía	103

Índice de Figuras

Figura 2.1: Ciclo de vida del producto particularizado CAD/CAM [3]	14
Figura 2.2: Itinerario de acceso al Part Design en CATIA V5	16
Figura 2.3: Itinerario de acceso al Assembly Design en CATIA V5	18
Figura 2.4: Itinerario para insertar piezas en el módulo de Assembly Design	18
Figura 2.5: Itinerario de acceso al DMU Kinematics en CATIA V5.....	20
Figura 2.6: Kinematics Joints (Barra de herramientas)	20
Figura 2.7: Ventana de Edit Simulation del módulo de DMU Kinematics.....	21
Figura 2.8: Itinerario de acceso al Photo Studio en CATIA V5.....	21
Figura 3.1: Parámetros de la Elipse	24
Figura 3.2: Esquema del Mecanismo 1043 [4]	25
Figura 3.3: Eje base del Mecanismo 1043	27
Figura 3.4: Alzado de la barra 2 del Mecanismo 1043	27
Figura 3.5: Planta de la barra 2 del Mecanismo 1043	27
Figura 3.6: Barra 2 del Mecanismo 1043	28
Figura 3.7: Corredera 5 del Mecanismo 1043	28
Figura 3.8: Corredera 6 del Mecanismo 1043	28
Figura 3.9: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1043	29
Figura 3.10: Perfil del Mecanismo 1043.....	29
Figura 3.11: Alzado del Mecanismo 1043	29
Figura 3.12: Mecanismo 1043	30
Figura 3.13: Alzado del Mecanismo 1043 y elipse que describe.	31
Figura 3.14: Alzado del Mecanismo 1043 Múltiple.....	31
Figura 3.15: Mecanismo 1043 Múltiple Configuración 1	32
Figura 3.16: Mecanismo 1043 Múltiple Configuración 2	33
Figura 3.17: Esquema del Mecanismo 1046 [4]	34
Figura 3.18: Eje base del Mecanismo 1046	36
Figura 3.19: Barra 1 del Mecanismo 1046	36
Figura 3.20: Palanca acodillada 2 del Mecanismo 1046	37
Figura 3.21: Detalle de la cabeza de la palanca acodillada 2 del Mecanismo 1046	37
Figura 3.22: Corredera 3 del Mecanismo 1046.....	38
Figura 3.23: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1046	39
Figura 3.24: Mecanismo 1046.....	39
Figura 3.25: Perfil del Mecanismo 1046.....	40
Figura 3.26: Alzado del Mecanismo 1046	40
Figura 3.27: Base del Mecanismo	41
Figura 3.28: Mecanismo 1046 incorporado a la base	41
Figura 3.29: Mecanismo 1046 para $\varphi = 20^\circ$	42
Figura 3.30: Mecanismo 1046 para $\varphi = 45^\circ$	42
Figura 3.31: Mecanismo 1046 para $\varphi = 90^\circ$	43
Figura 3.32: Mecanismo 1046 y elipse que describe en la posición 1	44
Figura 3.33: Mecanismo 1046 y elipse que describe en la posición 2	44
Figura 3.34: Esquema del Mecanismo 1051 [4]	45

Figura 3.35: Eje Base Extralargo (A) del Mecanismo 1051.....	47
Figura 3.36: Eje Base (B) del Mecanismo 1051	47
Figura 3.37: Barra 1 del Mecanismo 1051	47
Figura 3.38: Barra 2 del Mecanismo 1051	48
Figura 3.39: Barra 4 del Mecanismo 1051	48
Figura 3.40: Escuadra del Mecanismo 1051.....	49
Figura 3.41: Detalle de la escuadra del Mecanismo 1051	50
Figura 3.42: Corredera Cruciforme del Mecanismo 1051.....	50
Figura 3.43: Corredera Cruciforme del Mecanismo 1051 (Vista transversal).....	51
Figura 3.44: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1051	51
Figura 3.45: Mecanismo 1051.....	52
Figura 3.46: Particularización del Mecanismo 1051 para el caso de circunferencias.....	53
Figura 3.47: Mecanismo 1051 y las elipses que describe en la posición 1	54
Figura 3.48: Mecanismo 1051 y las elipses que describe en la posición 2	54
Figura 3.49: Esquema del Mecanismo 1057 [4].....	55
Figura 3.50: Eje Base del Mecanismo 1057.....	57
Figura 3.51: Barra 1 del Mecanismo 1057	57
Figura 3.52: Palanca acodada del Mecanismo 1057	58
Figura 3.53: Detalle de la cabeza de la palanca acodada del Mecanismo 1057	59
Figura 3.54: Corredera Cruciforme (Elemento 2) del Mecanismo 1057	59
Figura 3.55: Extremo de la Barra-Corredera 4 del Mecanismo 1057.....	60
Figura 3.56: Barra-Corredera 4 del Mecanismo 1057	60
Figura 3.57: Corredera 5 del Mecanismo 1057.....	61
Figura 3.58: Corredera 6 del Mecanismo 1057.....	61
Figura 3.59: Barra 7 del Mecanismo 1057	62
Figura 3.60: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1057	62
Figura 3.61: Base del Mecanismo 1057.....	63
Figura 3.62: Parte del mecanismo 1057 y base.....	63
Figura 3.63: Alzado del Mecanismo 1057	63
Figura 3.64: Perfil del Mecanismo 1057.....	64
Figura 3.65: Mecanismo 1057.....	64
Figura 3.66: Parte del Mecanismo 1057 Configuración 1	65
Figura 3.67: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 1 (colisión).....	65
Figura 3.68: Mecanismo 1057 Configuración 2.....	65
Figura 3.69: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 2 (colisión).....	66
Figura 3.70: Mecanismo 1057 Configuración 3.....	66
Figura 3.71: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 3 (colisión).....	67
Figura 3.72: Alzado Mecanismo 1057 Configuración 1 (sobrepaso del tramo Gn)	67
Figura 3.73: Mecanismo 1057 y la elipse que describe	68
Figura 3.74: Esquema del Mecanismo 1059 [4].....	69
Figura 3.75: Soporte 1 del Mecanismo 1059	71
Figura 3.76: Soporte 1 del Mecanismo 1059 (Vista posterior)	72
Figura 3.77: Anillo 2 del Mecanismo 1059	72
Figura 3.78: Corredera Corona 4 del Mecanismo 1059	73
Figura 3.79: Planta de la Corredera Corona 4 del Mecanismo 1059	73

Figura 3.80: Corredera 3 del Mecanismo 1059.....	74
Figura 3.81: Detalle de la Corredera 3 del Mecanismo 1059.....	74
Figura 3.82: Plato 5 del Mecanismo 1059.....	75
Figura 3.83: Alzado del Plato 5 del Mecanismo 1059	76
Figura 3.84: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1059	76
Figura 3.85: Alzado del Mecanismo 1059	77
Figura 3.86: Elipsógrafo de Arquímedes [5].....	78
Figura 3.87: Esquema del Elipsógrafo de Arquímedes [5]	78
Figura 3.88: Relación de la elipse y el Elipsógrafo de Arquímedes [5].....	79
Figura 3.89: Posiciones extremas del Elipsógrafo de Arquímedes [5]	79
Figura 3.90: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 1.....	80
Figura 3.91: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 2.....	81
Figura 3.92: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 3.....	82
Figura 3.93: Detalle del Soporte 1 Ampliado del Mecanismo 1059.....	83
Figura 3.94: Alzado del Mecanismo 1059 para una elipse mayor	83
Figura 3.95: Vista del Conjunto basado en el Mecanismo 1059	84
Figura 3.96: Vista Posterior del Conjunto basado en el Mecanismo 1059	85
Figura 3.97: Perfil del Conjunto basado en el Mecanismo 1059.....	86
Figura 3.98: Esquema del Mecanismo 1117 [4].....	87
Figura 3.99: Definición de elipse en polares	89
Figura 3.100: Eje base del Mecanismo 1117.....	90
Figura 3.101: Corredera del Mecanismo 1117.....	90
Figura 3.102: Guía 5 del Mecanismo 1117 (Vista posterior).....	91
Figura 3.103: Guía 5 del Mecanismo 1117.....	91
Figura 3.104: Barra 5 del Mecanismo 1117	92
Figura 3.105: Barra 6 y 7 del Mecanismo 1117.....	94
Figura 3.106: Barra 3 del Mecanismo 1117 (Vista posterior)	95
Figura 3.107: Barra 3 del Mecanismo 1117	95
Figura 3.108: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1117	96
Figura 3.109: Alzado del Mecanismo 1117	97
Figura 3.110: Mecanismo 1117	97
Figura 3.111: Mecanismo 1117 y elipse que debía describir	98
Figura 3.112: Mecanismo 1117 y elipse que debía describir	98
Figura 3.113: Mecanismo 1117 ($e = 1$) y parábola que debía describir	99

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Hoy en día, cuando está en auge la digitalización de la industria y la automatización de los procesos, prima la eficiencia en todas las fases de un proyecto. Tan solo varias décadas atrás, esto no era posible, ya que no se disponían de las herramientas adecuadas para llevarlo a cabo. Sin embargo, a lo largo de estos últimos años han surgido nuevos métodos de trabajo, donde la tecnología y los medios que esta ofrece juegan un papel fundamental.

Es por ello, que con la motivación de conocer la actualidad en el ámbito ingenieril y teniendo consciencia de la expansión de programas como CATIA V5 tanto en la industria aeroespacial como en otras vertientes, se ha querido desarrollar este Proyecto por medio de esta herramienta al objeto de iniciar el aprendizaje entorno a la misma, ya que resulta elemental en un mundo laboral tan ligado a la tecnología.

Por otro lado, el objeto del Proyecto es el modelado y recreación virtual por medio del programa nombrado de varios mecanismos para el trazado de elipses recogidos en el segundo volumen de la colección de Mecanismos de la Técnica Moderna del ingeniero mecánico y científico ruso Iván Ivánovich Artobolevski.

La elección del desarrollo de estos mecanismos se debe a que la Teoría de Máquinas y Mecanismos es una de las disciplinas pilares de la Ingeniería, más aún, en la vida del ser humano, ya que desde la antigüedad, éste se ha servido de infinidad de artefactos con el fin de favorecer su existencia y, en último término, asegurar su supervivencia.

Es cierto que el desarrollo tecnológico siempre ha sido anterior al desarrollo científico, de hecho, ya el hombre primitivo durante la Prehistoria se valía de determinados elementos simples, precedentes de las máquinas, pero desconocía por completo las leyes sobre las que se sustentaba su funcionamiento.

No fue hasta la llegada de los griegos, cuando se alcanzó un progreso conceptual relevante, dado que fueron pioneros en establecer los fundamentos de la ciencia en la búsqueda de las causas y su relación con los efectos. De esta época, es Arquímedes de Siracusa, quién puede ser considerado el primer ingeniero de la Historia, ya que destacó entre sus contemporáneos, resolviendo problemas de la vida diaria aplicando los conocimientos abstractos de su tiempo desde un punto de vista práctico y funcional.

Con la caída del Imperio Romano, la evolución tecnológica que habían heredado los romanos de los clásicos se vio estancada y no fue hasta el siglo XV cuando a través de los árabes se recuperó gran parte del saber que se creía extraviado. Además, las condiciones socio-culturales de la Edad Media, permitieron la aparición de personajes renacentistas cuya labor supondría el origen del método científico así como la base del progreso tecnológico de los

siguientes siglos. Destaca como máxima expresión del sabio del Renacimiento, Leonardo Da Vinci, ya que además de ser multidisciplinar, fue un adelantado a su tiempo.

En el siglo XVII, comienza a surgir un singular interés por una rama específica de la Física, la Mecánica, debido a que se contaba con la posibilidad de basar los desarrollos tecnológicos en teorías matemáticas y físicas ya consolidadas. Es entonces, cuando se estudian las máquinas elementales, la cuña, el tornillo, el plano inclinado, la polea, los engranajes, y surgen los designados “Libros de Arte” que recogían todo tipo de máquinas y artefactos. No obstante, todavía hasta el siglo XVIII se carecía de una fuerza motora potente para las máquinas y dispositivos, por lo que no sería hasta la Revolución Industrial cuando con el desarrollo de la máquina de vapor, la mecanización iniciaría su verdadero crecimiento y con ello la Ingeniería, campo que se ha enriquecido exponencialmente durante los siglos XIX y XX. Sería entonces, cuando en 1905 naciera Iván Ivánovich Artobolevski quién consciente de la relevancia de recopilar todo el conocimiento hasta la fecha de la Teoría de Máquinas y Mecanismos, desarrolló una extensa bibliografía entre la que destaca la obra fuente de este Proyecto, “Mecanismos de la Técnica Moderna”, probablemente el más completo recopilatorio de la Historia. Además, fue visionario y propulsor en ramas tan novedosas actualmente como la biomecánica.

En definitiva, aunque en la actualidad la Mecánica no sea una vertiente que recientemente se aplique en solitario, resulta indispensable en el campo de la Ingeniería ya que constituye una de las bases principales sobre la que se sustenta el mundo actual [1].

1.2. Planteamiento y objetivos del Proyecto

Por los motivos expresados en el apartado anterior, se ha desarrollado el presente Proyecto. Previamente a la exposición del mismo, se indican qué mecanismos de la Primera Parte del Volumen 2 del tratado de Artobolevski se van a abordar. El documento fuente de cada mecanismo incluye un esquema y una descripción, además tienen en común, que todos ellos reproducen curvas, concretamente elipses, estos son:

- ◆ Mecanismo 1043 : Elipsógrafo de Palancas y Colisa de Artobolevski
- ◆ Mecanismo 1046 : Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para contornear Elipses
- ◆ Mecanismo 1051 : Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para contornear Elipses Confocales
- ◆ Mecanismo 1057 : Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para trazar y contornear Elipses
- ◆ Mecanismo 1059 : Elipsógrafo de Colisa de Leonardo De Vinci
- ◆ Mecanismo 1117 : Conicógrafo de Palancas y Colisa de Kaminski

El interés de sus desarrollos reside tanto en el enriquecimiento de preservar y analizar una fuente tan renombrada en formato digital, como en el estudio de aplicación de los mismos según su funcionalidad en un contexto actual.

Como el diseño de cualquier dispositivo, el proceso seguido de modelado de cada uno de ellos se ha compuesto por una serie de iteraciones hasta converger a una conclusión, objetivo del estudio.

Para ello, inicialmente, se ha realizado un análisis cinemático de los mismos, ya que la cinemática “es la rama de la física que trata el movimiento de los sólidos sin considerar las causas que lo originan y se limita, principalmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo” [2]. Con ese propósito, se han calculado los grados de libertad de cada uno y al mismo tiempo, se ha analizado el papel que juega cada componente del conjunto en la acción.

Seguidamente, se procedió al desarrollo en CATIA V5 de las diferentes piezas que conforman los sistemas, siguiendo en mayor medida un proceso general para todas ellas, que será descrito en el próximo punto. Tras ello, haciendo uso de lo resuelto con el análisis cinemático, se ensamblan todos los elementos con el fin de construir el mecanismo y comprobar de esta manera, si funciona del modo adecuado describiendo la cónica predeterminada, o si por el contrario, necesita ser modificado para cumplir su función, siendo inevitable regresar al punto de partida del plan, realizando un proceso de síntesis y optimización iterativamente hasta alcanzar un diseño final.

Debido a la simplicidad del esquema gráfico que tenemos a disposición, han surgido diversas limitaciones, las cuales han sido comentadas y solventadas con los conocimientos de los que se disponen de Teoría de Máquinas y Mecanismos.

De esta manera, se ha concurrido a un modelo digital final de cada uno de ellos y cuyo recorrido ha sido recreado virtualmente en el caso de ser favorable su funcionamiento. Las animaciones de dichos mecanismos han sido recogidas en archivos de vídeo, los cuales no se han podido insertar en el documento. No obstante, cualquier persona que tenga interés en su visualización, los tiene a su disposición contactando con la autora del Proyecto.

2. Herramienta

2.1. CAD/CAM

El desarrollo de esta tecnología en la industria, está justificado por la imperativa demanda que existe hoy en día de productos más baratos, de mayor calidad y cuyos tiempos de producción sean cada vez menores.

Dado que la motivación de su utilidad reside en el ciclo de vida del producto, cabe comenzar por una breve explicación de lo que engloba este término. Este podría definirse como el proceso que sigue un producto desde su concepción inicial en forma de idea hasta su realización física como producto final y, su entrada en el mercado.

Fundamentalmente, se podría dividir en dos fases principales, una de diseño y otra de fabricación. La de diseño a su vez, incluye una etapa de síntesis en la que se crea el producto adecuándolo a las necesidades por las que es demandado el mismo, seguido de una etapa de análisis, en la cual se evalúa, verifica y optimiza el producto ya creado. A continuación del diseño, se procede a la materialización del resultado de la fase anterior, o sea, su fabricación. En la que en primer lugar, se requiere la planificación de los procesos a seguir así como de los recursos necesarios para llevarla a cabo. Al finalizar esta fase, se somete al producto final a un control de calidad de modo que cumpla con el diseño y la funcionalidad previamente establecidos antes de lanzarlo al mercado.

No obstante, cada fase requiere la realización de varias tareas, las cuales son ejecutadas por las diferentes herramientas que conforman los programas CAD/CAM, de forma que el ciclo de vida del producto, podría esquematizarse como en la siguiente figura:

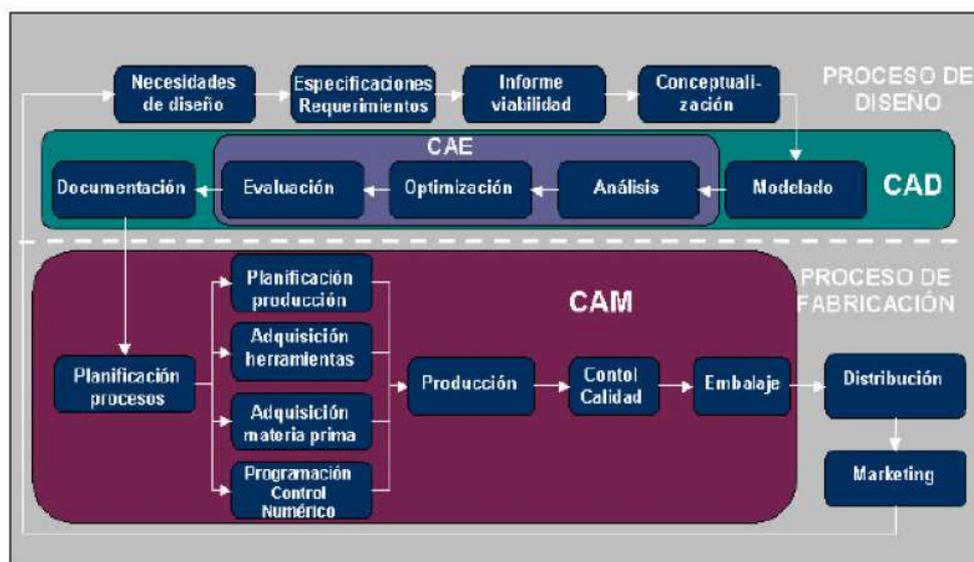


Figura 2.1: Ciclo de vida del producto particularizado CAD/CAM [3]

Observando el esquema, es lógico, que los programas CAD (Computer Aided Design) o lo que es lo mismo, Diseño Asistido por Ordenador, se encarguen de la geometría de diseño, ya que es la base de las actividades subsecuentes en el ciclo de vida del producto, de forma que estos programas informáticos te ayudan en la creación, análisis, modificación y optimización del diseño.

Como se observa, el CAD incluye la Ingeniería Asistida por Ordenador (Computer Aided Engineering o CAE) la cual es la disciplina encargada de la actividad de evaluación de la geometría generada por las aplicaciones CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto con el fin de refinar y optimizar el diseño, evitando así la construcción de prototipos reales que equivaldrían a un gasto de dinero y tiempo. A este grupo pertenecería el Método de los Elementos Finitos o FEM, tan extendido en la actualidad.

Por otro lado, el CAM (Computer Aided Manufacturing) o Fabricación Asistida por Ordenador, se puede definir como el uso de sistemas informáticos para planear, establecer y controlar las operaciones de manufactura en una planta de producción. La aplicación del CAM se divide en dos ramas, una de conexión directa entre los sistemas informáticos y los recursos de producción sujeta a las actividades de supervisión y control y, otra indirecta, en la que los ordenadores se utilizan como herramienta de apoyo del proceso de fabricación. Una de las teorías más utilizadas en esta fase es el Control Numérico, ya sea con el objeto de transformar la materia prima en producto terminado, o en dirigir robots automáticos.

El nexo de ambas disciplinas, es la planificación de procesos (incluye materias primas y recursos), indicando los pasos a seguir desde el inicio a la finalización de la producción. Sin embargo, esto es una tarea ardua, que en cierta forma, es facilitada por el uso de la Tecnología de Grupos, la cual permite generar nuevos planes a partir de otros ya existentes debido a la semejanza de las piezas en geometría o fabricación.

De hecho, a pesar de que históricamente ambas tecnologías CAD Y CAM surgieron de manera independiente, se han ido mezclando progresivamente hasta ser consideradas hoy en día como una tecnología única. No obstante, aún no se han conseguido todos los beneficios posibles de integrar ambas, por lo que ha surgido una nueva tecnología CIM (Computer Integrated Manufacturing) o Fabricación Integrada Asistida que tiene como objetivo aunar todas las funciones, e incluso también, integrar los procesos administrativos y de gestión de empresa. En esta dirección, denominada Gestión Integrada por Ordenador, están evolucionando las empresas. Así pues, al cambiar tan solo una variable de diseño del producto, se consiga generar automáticamente el itinerario óptimo para el producto desde todas las perspectivas de la empresa.

En definitiva, los programas CAD/CAM son esenciales en la ingeniería actual, ya que en cierta medida ejecutan todo aquello que esté al alcance del pensamiento humano de manera rápida y eficaz [3].

2.2. CATIA V5

Es uno de los programas CAD/CAM más potentes de la industria actual, de ahí la elección del mismo para el desarrollo del trabajo. Aunque en sus inicios fue creado con fines aeronáuticos, éste se ha extendido a multitud de disciplinas, por lo que desenvolverse en su utilización es un recurso necesario en la actualidad, de manera que ésta era una buena oportunidad de iniciarme en su manejo.

Este programa ha evolucionado a pasos agigantados desde su origen en 1975, cuando fue desarrollado por la empresa de aviación Dassault Aviation bajo el nombre de DRAPO. En 1981, sería cuando pasaría a llamarse CATI pero está vez bajo la responsabilidad de la empresa de programas informáticos Dassault Systèmes, la cual se encarga del desarrollo y comercialización del programa desde entonces.

Desde su primera versión como CATIA en el año 1982, la cual ya fue producida para el diseño 3D, modelados de superficie y programación de control numérico, han desarrollado varias versiones a lo largo de las últimas décadas. Actualmente, han alcanzado la V6, sin embargo, la utilizada en este Proyecto será la V519 la cual se comercializó en el siglo XXI y es la más utilizada en el ámbito académico.

A pesar de los numerosos grupos de trabajo de los que dispone CATIA V5, para alcanzar los objetivos propuestos tan solo han sido necesario tres de ellos, los cuales se comentan a continuación tanto en forma como en aplicación.

2.2.1. Mechanical Design

Es el bloque fundamental para el diseño y el modelado tanto de las piezas, guardadas como archivos CatPart, como de los mecanismos que éstas conforman, guardados como archivos CatProduct.

Para obtener las diferentes piezas que componen cada mecanismo, dentro de Mechanical Design, se utilizó el módulo de Part Design, el cual te permite realizar el modelo 3D de cualquier producto.

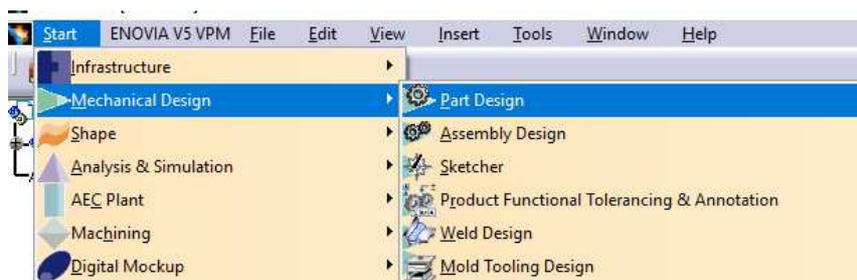


Figura 2.2: Itinerario de acceso al Part Design en CATIA V5

A partir del Sketcher [], herramienta fundamental de este módulo, se realizaban los bocetos 2D de cada uno de los elementos que forman el mecanismo, los cuales están numerados y denominados en mayor medida como se referencia a cada uno de ellos en el documento fuente.

Para realizar dichos bocetos, se utilizaron de manera recurrente las siguientes operaciones:

- Profile []: para trazar perfiles con líneas.
- Rectangle []: para trazar perfiles rectangulares.
- Circle []: para trazar perfiles circulares.
- Ellipse []: para trazar elipses.
- Line []: para trazar líneas rectas.
- Constraint []: para acotar perfiles.
- Quick Trim []: para eliminar cualquier tipo de trazado.
- Mirror []: para realizar el perfil simétrico de un boceto respecto a un eje de simetría.
- Corner []: para redondear esquinas.

Una vez finalizado el perfil plano deseado, se sale del Workbench [], de manera que puedes convertir a 3D el perfil previamente trazado. Para ello, se hace uso del comando Pad [], el cual te permite protusionar el perfil. Una vez definido el sólido 3D, a este también se le pueden realizar numerosas operaciones:

- Pocket []: para sustraer material sólido, que es previamente perfilado en un sketcher.
- Shaft []: permite realizar sólidos a partir de perfiles de revolución alrededor de un eje.
- Groove []: es la operación contraria a la anterior, como Pocket pero con perfiles de revolución.
- Rib []: para crear sólidos a partir de una sección plana transversal, y una línea continua por la que se extiende dicha sección.
- Slot []: sirve para sustraer de un sólido una sección plana transversal por toda la guía realizada por una guía continua.

- Multi-sections Solid []: para extruir sólidos a partir de varias secciones planas que lo delimitan transversalmente.
- Mirror []: para crear sólidos simétricos a partir de algún plano.
- Edge Fillet []: para redondear aristas.

Concluido el modelado de todas las piezas que forman el mecanismo, se puede abrir el módulo Assembly Design, también del Mechanical Design.

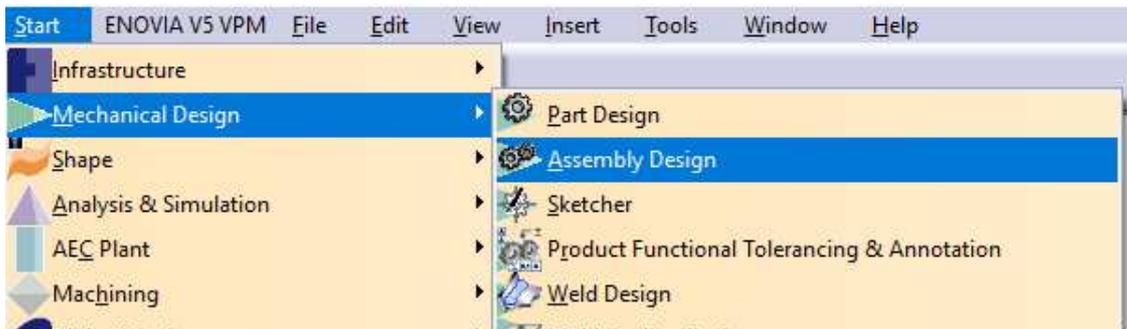


Figura 2.3: Itinerario de acceso al Assembly Design en CATIA V5

Con el fin de ensamblar el conjunto, se comienzan a insertar piezas.

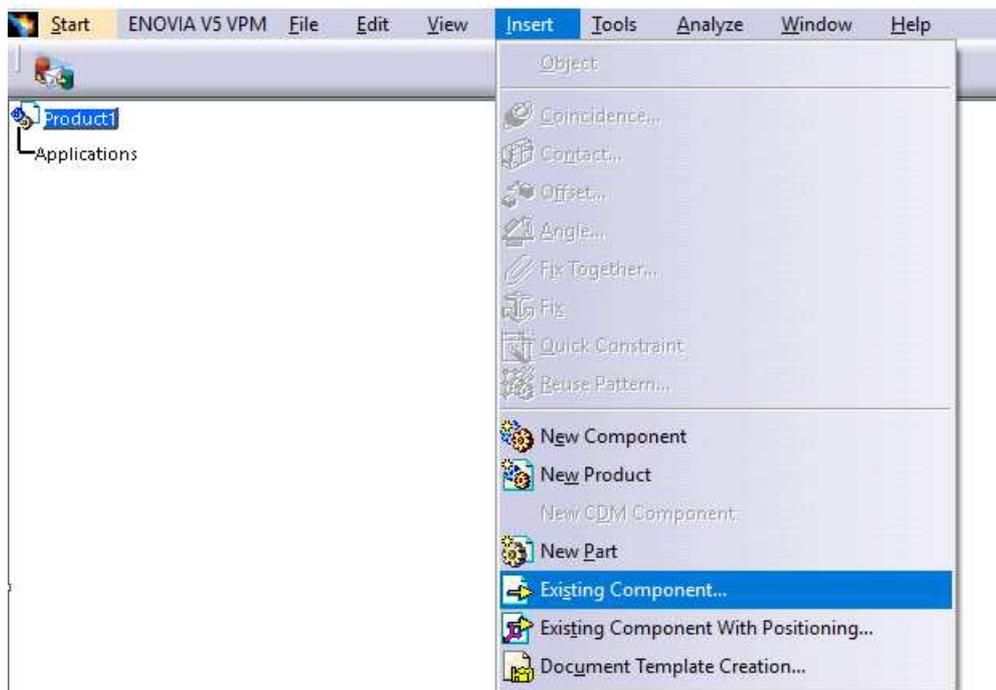


Figura 2.4: Itinerario para insertar piezas en el módulo de Assembly Design

Al objeto de establecer una pieza base, la primera de ellas (la pieza base) en todos los mecanismos se anclaba [], para a partir de ella construir el sistema. Los demás componentes, se insertan igual, pero a cada uno de ellos se le aplicaría la relación correspondiente con las piezas anteriores dispuestas, utilizando las órdenes con sus siguientes aplicaciones y, haciendo uso de los comandos de manipulación y visualización:

- Coincidence Constraint []: restricción para hacer coincidir ejes de revolución.
- Contact Constraint []: restricción para fijar el contacto entre dos superficies.
- Offset Constraint []: restricción que fija la distancia entre dos superficies.
- Angle Constraint []: restricción para fijar el ángulo entre dos superficies.
- Fix Together []: restricción para fijar elementos entre ellos, convirtiéndolos en uno solo.

Concluido el ensamblaje del mecanismo y una vez verificado que ninguna pieza intersecta con otra durante el recorrido que éste debe realizar y que además, funciona con respecto a las expectativas previas, o sea, describiendo el elemento de salida (considerado trazador o contorneador dependiendo del caso) una elipse, se procede a recrear virtualmente la trayectoria que los mecanismos ejecutan. Sin embargo, para llevarlo a cabo es necesario cambiar de bloque, al Digital Mockup.

Cabe destacar, que se ha usado un criterio común de colores, con el fin de identificar con mayor facilidad los elementos cuya función en cierta manera es relevante. Así pues, la base de los elementos será de color granate, mientras que la barra de entrada azul turquesa. También se han querido distinguir, aquellos elementos que han sido modificados con respecto a la interpretación intuitiva del esquema gráfico del documento fuente, a éstos se le ha asignado un tono anaranjado. El resto de elementos, mantendrán el color de construcción propio de CATIA V5.

Además comentar, que en cierta forma se ha intentado seguir una línea de diseño común en todos los mecanismos, es decir, mantener iguales en la medida de lo posible aquellas dimensiones que no tienen relevancia para el funcionamiento del conjunto.

2.2.2. Digital Mockup

En este bloque, se tiene que acceder al módulo DMU Kinematics, con el archivo CatProduct (resultado de la fase de ensamblaje) abierto.

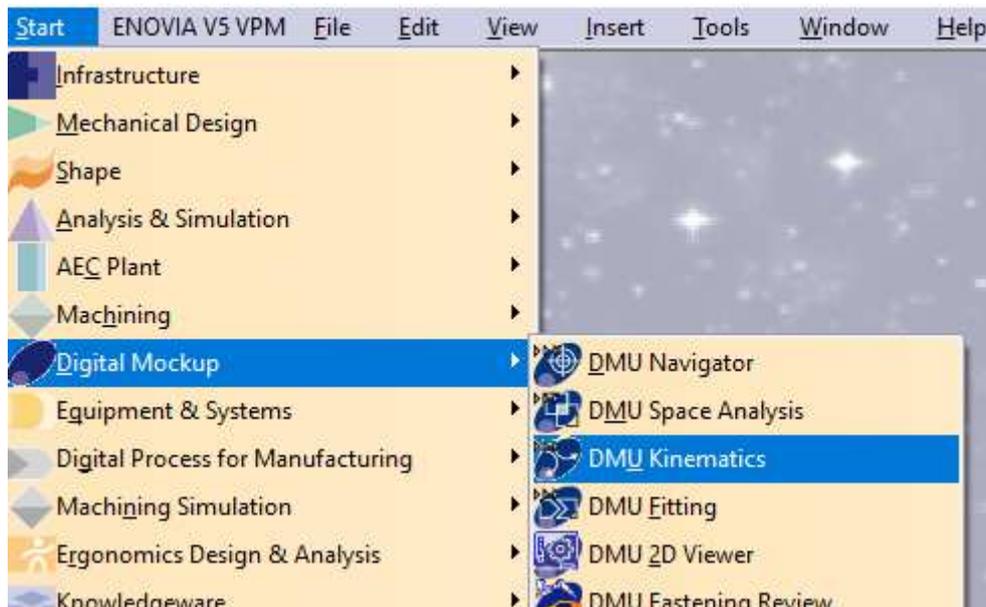


Figura 2.5: Itinerario de acceso al DMU Kinematics en CATIA V5

Con el comando de Assembly Constraints Conversion [], se crea el mecanismo que se va a dinamizar, para ello solo puede tener un grado de libertad (D.O.F), lo cual se observa en la pestaña de aplicación del árbol del archivo. En el caso de que haya que añadir más restricciones, hay dos caminos, volver a la fase previa o, completar las restricciones necesarias con las relaciones dentro del Kinematics Joints, las cuales se identifican con los diferentes pares cinemáticos existentes.



Figura 2.6: Kinematics Joints (Barra de herramientas)

Una vez resueltas las relaciones de modo que el mecanismo tiene solo un grado de libertad, se restringe el mismo determinando su movimiento. En todos los casos, la barra que tiene el grado de libertad gira entorno a un eje, por lo que se limita su rotación entre 0 ° y 360 °, de manera que todas las posiciones del mecanismos quedan completamente predeterminadas, permitiendo al programa que las calcule y genere el movimiento adecuado.

Para animarlo, se hace uso del comando Simulation [], dentro del cual se abre automáticamente una ventana que te permite variar las condiciones de esta animación, desde repetirla tantas veces como se desee a variar la velocidad de la simulación.

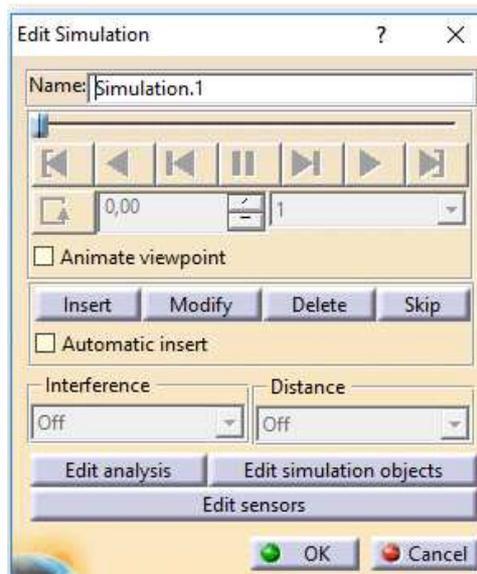


Figura 2.7: Ventana de Edit Simulation del módulo de DMU Kinematics

Finalmente, tras comprobar mediante un análisis de golpes [] las posibles ocurrencias que pudieran darse entre elementos, se puede grabar y guardar [] en formato de video la animación realizada.

2.2.3. Infrastructure

Dentro de este bloque, el módulo utilizado en el Proyecto es el Photo Studio, ya que éste te permite acondicionar la pantalla con más luminosidad global, direccional o puntual, así como capturar la imagen de lo que se va desarrollando con el programa enfocándolo desde cualquier perspectiva del producto realizado.

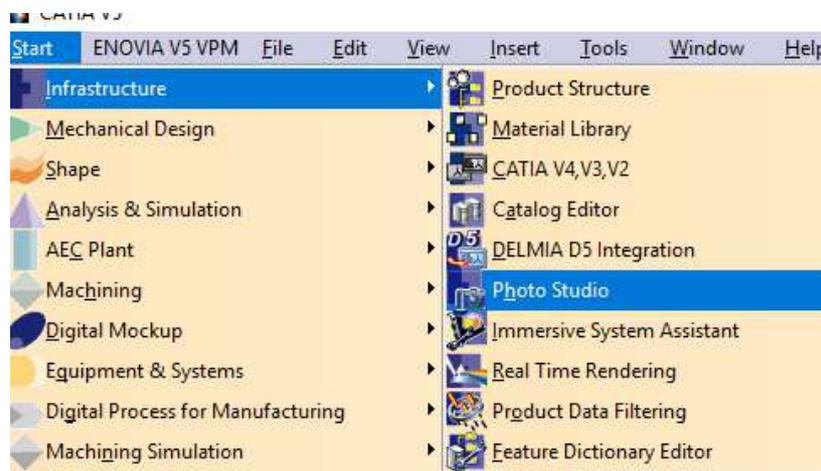


Figura 2.8: Itinerario de acceso al Photo Studio en CATIA V5

3. Desarrollo del Proyecto

3.1. Fundamento teórico

3.1.1. Teoría de Máquinas y Mecanismos

Con el objeto de facilitar la comprensión de los razonamientos realizados, se van a explicitar algunos conceptos básicos relacionados con esta materia. Toda la información aquí mostrada, proviene literalmente del libro de la asignatura de Teoría de Máquinas y Mecanismos del grado de Tecnologías Industriales de la Universidad de Sevilla [1].

En primer lugar, se puede definir una *máquina* como una combinación de sólidos resistentes, agrupados y conectados de tal modo que tienen entre sí movimientos relativos determinados y transmiten fuerzas desde una fuente de energía a una resistencia a vencer, realizando un trabajo.

Por otro lado, se define *cadena cinemática* como sistema formado por varios cuerpos conectados y con movimiento relativo entre ellos. Denominándose mecanismo, una cadena cinemática con al menos uno de los cuerpos sin movimiento, llamado soporte, bastidor o bancada.

De modo que, la principal diferencia entre máquina y mecanismo es que la máquina se asocia a un trabajo, mientras que el mecanismo se asocia a movimientos. La máquina se considera como una caja negra con una relación entrada/salida mientras que en el mecanismo cobra especial importancia el movimiento relativo entre elementos que lo componen. Además, una máquina podría estar compuesta por uno o varios mecanismos, o sea, un mecanismo es una parte de la máquina.

El mecanismo más sencillo es el cuadrilátero articulado, de gran aplicación en todo tipo de máquinas. Sin embargo, existen infinidad de mecanismos, desde los más simples a los más sofisticados. Los mecanismos elementales cuya combinación apropiada constituyen uno complejo, se pueden agrupar en:

- ♦ Mecanismos de levas
- ♦ Mecanismos de engranajes
- ♦ Mecanismos de tornillo
- ♦ Mecanismos con elementos flexibles
- ♦ Mecanismos con elementos fluidos
- ♦ Mecanismos de barras

Con todo, los mecanismos que atañen a este Proyecto pertenecen al grupo más amplio y con aplicaciones muy variadas, los mecanismos de barras. Los cuales están formados por elementos sólidos, generalmente de forma alargada, enlazados entre sí. Cada elemento, denominado eslabón o barra tiene movimiento relativo respecto a los otros que constituyen el mecanismo.

Éstos se pueden clasificar por la función que realizan dentro del mecanismo en: eslabón de entrada o conductor, eslabón transmisor o acoplador y eslabón de salida o conducido. También, asumiendo que son mecanismos planos, ya que todos los sólidos se mueven en planos paralelos a diferencia de los espaciales que se pueden mover en diversas posiciones en el espacio, se pueden distinguir cada eslabón según el movimiento que realiza en:

- Manivela: realiza un movimiento circular alrededor de un punto fijo.
- Balancín: realiza un movimiento circular oscilante alrededor de un punto fijo entre dos posiciones extremas.
- Corredera: realiza un movimiento a lo largo de una línea predeterminada.
- Biela o acoplador: realiza un movimiento combinado de rotación y traslación.
- Eslabón fijo, soporte o bastidor: no tiene ningún movimiento y sirve como sujeción del mecanismo.

Adicionalmente, se define el *par cinemático* como la unión de dos o más barras con capacidad de movimiento relativo entre ellas. Existen numerosos tipos de pares cinemáticos, cada uno de ellos restringiendo el movimiento relativo entre las dos barras de una forma diferente. A continuación se muestran los pares cinemáticos que nos encontramos en los mecanismos que se modelan:

- Par de rotación (de revolución o articulación): este par permite únicamente la rotación de un sólido respecto al otro alrededor de un eje común.
- Par prismático: permite una traslación relativa entre dos eslabones a lo largo de un eje común.

Por último, en virtud de que los análisis cinemáticos realizados se fundamentan en el cálculo de grados de libertad (G), término que indica las variables independientes que son necesarias conocer para que queden exactamente posicionados todos los eslabones de dicho mecanismo, se calcula el mismo para cada mecanismo. En el caso de un sólido con movimiento dentro de un plano, los grados de libertad son tres, dos coordenadas de un punto y un ángulo de una recta sólida, de lo que se deduce que un mecanismo con N eslabones tiene $G=3N$ en el plano, si se consideran los eslabones de forma individual. Pero cuando los eslabones se conectan mediante pares se introducen restricciones a estas libertades de forma que disminuye G . Ello depende del tipo de pares cinemáticos que se utilicen y de su número. Particularizando los pares cinemáticos que nos podemos encontrar, éstos solo serán de clase I, los cuales permiten un grado de libertad en el movimiento relativo. Una vez identificados los elementos y pares, se calcula G siguiendo esta ecuación, la cual ha sido particularizada para los mecanismos que atañen al Proyecto:

$$G = 3(N - 1) - 2C_I$$

Conocida como la ecuación de Grübler, la cual refleja como en un mecanismo de N eslabones el número de eslabones móviles es $(N-1)$, ya que debe existir siempre un eslabón fijo, y por tanto el número máximo de grados de libertad con todos los eslabones desligados es de $3(N-1)$, valor que disminuirá el doble del número de pares de clase I que se introduzcan.

Cabe destacar, que el número de grados de libertad de un mecanismo es independiente del hecho de que el mecanismo pueda tener diversas configuraciones. Además, se denomina inversión de un mecanismo a los distintos mecanismos que pueden formarse a partir de la misma cadena cinemática con el único cambio de cuál es el eslabón que se mantiene fijo. Por tanto hay tantas inversiones como eslabones tenga la cadena, y cada una de ellas da lugar a mecanismos completamente diferentes pues los movimientos absolutos de los mismos difieren en cada caso, por el contrario, el movimiento relativo entre eslabones no cambia en inversiones diferentes.

3.1.2. Elipse

Como se ha especificado, el fin último de todos los mecanismos a modelar, es la descripción de una elipse. Ésta es una figura geométrica plana y cerrada, con dos ejes perpendiculares

desiguales que a su vez son ejes de simetría de la misma y que resulta de cortar la superficie de un cono por un plano oblicuo al eje de simetría de éste con un ángulo mayor que el de la generatriz respecto al eje de revolución.

Existen muchas definiciones de esta figura, sin embargo, todos los puntos se caracterizan por sumar una distancia constante (eje mayor) a otros dos puntos fijos, denominados focos. Estos dos puntos, representan la relación de dos semiejes concretos, de manera que la posición de ellos y el valor de uno de los semiejes serían suficientes para definirla.

Centrándonos en esta definición, los parámetros característicos de la elipse serían:

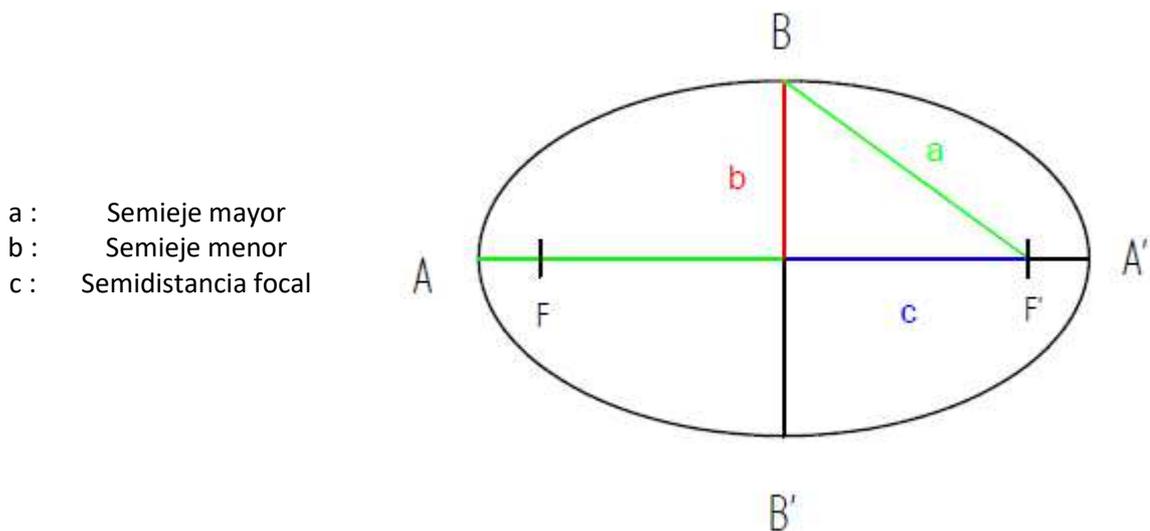


Figura 3.1: Parámetros de la Elipse

Como se refleja en la Figura 3.1, la semidistancia focal y el semieje menor forman los lados de un triángulo rectángulo, mientras que el semieje mayor es la hipotenusa del mismo, de manera que por el Teorema de Pitágoras, se puede hallar la subsecuente relación:

$$b^2 + c^2 = a^2$$

Esta expresión matemática va a resultar clave en el dimensionamiento de los elementos, como por ejemplo la longitud de ciertas barras. De hecho, a pesar de que los mecanismos son genéricos y deberían ser válidos para cualquier elipse, para cada uno de ellos, se han fijado unos valores concretos de parámetros característicos de forma que se conozca el resultado previamente y, se pueda dimensionar el mecanismo por el método inverso. Es decir, que el primer paso de la fase de modelado, será determinar el resultado que se quiere obtener.

Cabe destacar, que el modelado de todos los mecanismos se ha realizado de manera adimensional, debido a que se podría fabricar cualquiera de ellos, en principio, de cualquier tamaño, pues tienen numerosas aplicaciones y, sería el ámbito de aplicación del mismo el que delimitaría dicho factor.

3.2. Mecanismo 1043

3.2.1. Documento

ELIPSÓGRAFO DE PALANCAS Y COLISA DE ARTOBOLEVSKI

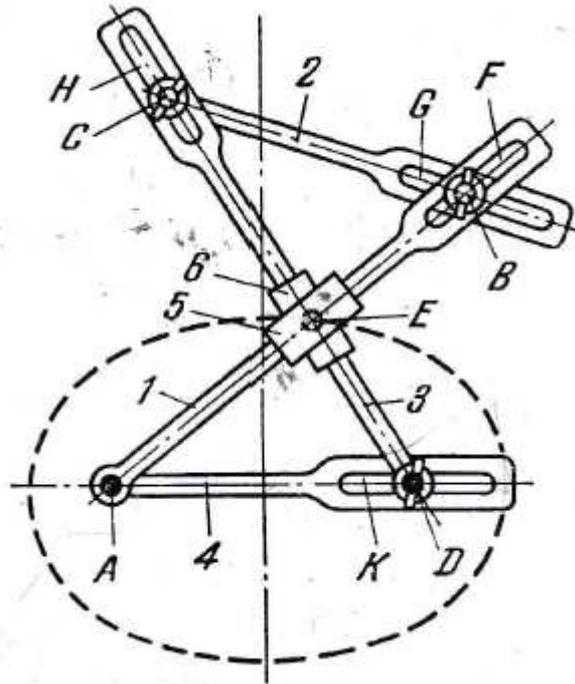


Figura 3.2: Esquema del Mecanismo 1043 [4]

La base del mecanismo es el antiparalelogramo ABCD con el elemento pequeño fijo al que está unido un grupo de dos órganos de arrastre compuesto por dos correderas 5 y 6 articuladas en el punto E. El mecanismo está destinado para trazar elipses. Las articulaciones A y D se encuentran en los focos de la elipse. El punto trazador se encuentra en el centro de la articulación E. Se pueden obtener elipses con parámetros diferentes eligiendo correspondientemente las longitudes de los elementos 1, 2, 3 y 4, cosa que se logra desplazando las articulaciones B, C y D en las ranuras F, G, H y K de los elementos 1, 2, 3 y 4 [4].

3.2.2. Análisis del mecanismo

En primer lugar, se deben comprobar los grados de libertad del mecanismo para comprender su cinemática. Como se puede observar en la Figura 3.2, el conjunto está formado por 6 elementos, de los cuales uno es la barra fija, por lo que los supuestos grados de libertad serían 15. Sin embargo, tiene varias restricciones de movimiento, en concreto, 4 pares de rotación entre las barras 1 y 3 (cruzadas) con la barra fija y la barra 2. También hay otro par de revolución entre las dos correderas, que a su vez conforman un par prismático cada una junto a las barras 1 y 3. En definitiva, el mecanismo dispone de un grado de libertad en su movimiento, otorgado a una de las barras cruzadas.

Por otro lado, que se describa la base del mecanismo como un antiparalelogramo, corresponde a establecer la misma longitud a las barras dos a dos, es decir que las barras 2 y 4 son idénticas en esta dimensión, así como las barras 1 y 3 entre ellas.

3.2.3. Modelado

3.2.3.1. Diseño

Debido a que las dimensiones de las barras están directamente relacionadas con la elipse que describe el mecanismo, para el diseño de sus elementos, es necesario definir los parámetros característicos de la forma geométrica a realizar.

Se ha escogido una elipse con semieje menor de 30 y semieje mayor de 50 por tanto su distancia focal (entre focos) es de 80 (FF'). A continuación se detallan los diferentes elementos que conforman el sistema, así como la relación de cada uno de ellos con los parámetros característicos.

Cabe destacar, que en una primera instancia se ha simplificado la morfología del mecanismo de la Figura 3.2, debido a que la función de los alojamientos rectangulares de las barras es fijar los pares de rotación en diferentes localizaciones para describir elipses de diferentes tamaños. Por simplicidad, se desarrollarán los elementos para una sola elipse.

➤ Eje base

Como soporte del mecanismo, se han tomado dos ejes de forma cilíndrica cuyo espesor corresponden al de la barra que mantienen. Estos, ejercen de barra fija, es decir, de barra 4, que ha sido omitida, ya que no tiene ninguna función en el movimiento y, para la comprensión de éste basta con situar ambos ejes con la distancia correspondiente entre ellos, FF' .

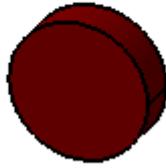


Figura 3.3: Eje base del Mecanismo 1043

➤ Barra 2

Como se ha comentado anteriormente, debido a que la estructura base es un antiparalelogramo, la longitud de la barra 4 (o, lo que es lo mismo, de eje base a eje base) y de la barra 2, es la misma, y ésta corresponde por lo tanto a la distancia focal (FF').

Su morfología es sencilla, sin tener relevancia el resto de sus dimensiones en el movimiento del mecanismo, pero con un espesor ajustado por las limitaciones geométricas del resto del conjunto. Se destaca, la disposición de unos salientes en los extremos, los cuales corresponderán a los pares de rotación C y B de la Figura 3.2.



Figura 3.4: Alzado de la barra 2 del Mecanismo 1043

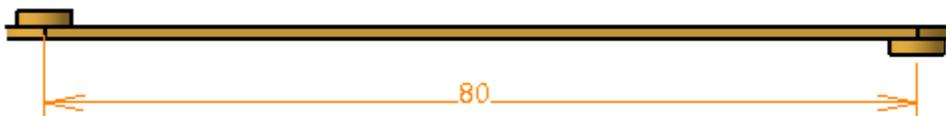


Figura 3.5: Planta de la barra 2 del Mecanismo 1043

➤ Barra 3 y 1

Las barras 3 y 1, denominadas cruzadas, debido a la disposición que tienen en el antiparalelogramo, son idénticas también. Pero, en esta ocasión, su longitud corresponde al eje mayor de la elipse.

La morfología de ambas es sencilla, y con la anchura común a la barra 2 pero con un espesor mayor.

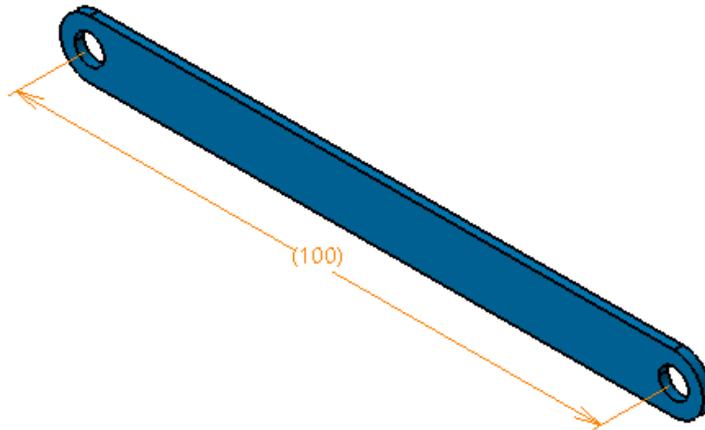


Figura 3.6: Barra 2 del Mecanismo 1043

➤ Corredera 5 y 6

Estos dos elementos son similares, a excepción del saliente que tiene una de ellas mientras que la contraria tiene un alojamiento para dicho saliente, ambos conforman el par de rotación entre las correderas.

Se han diseñado con un perfil rectangular sencillo, que ha sido extruido según una dimensión máxima que permita un correcto funcionamiento del mecanismo.

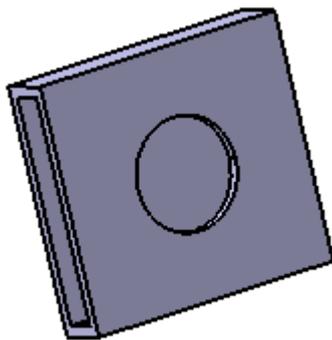


Figura 3.7: Corredera 5 del Mecanismo 1043

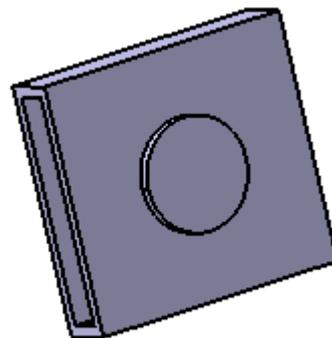


Figura 3.8: Corredera 6 del Mecanismo 1043

3.2.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Tras el modelado de cada elemento, se procedió al ensamblaje de los mismos. Para ello, se utilizaron los pares cinemáticos expuestos en el análisis cinemático junto con otras restricciones relacionadas con la secuencia de planos en los que se distribuye el mecanismo.

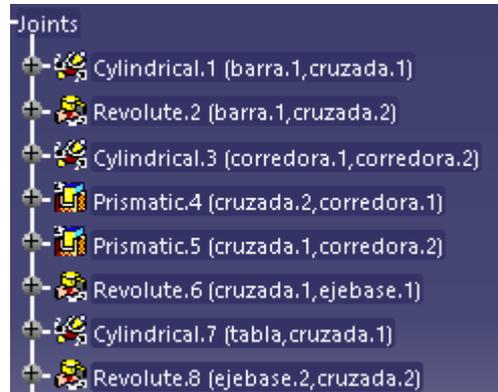


Figura 3.9: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1043

Por otro lado, se observó, que las barras cruzadas no podían estar en el mismo plano, de hecho, por esta causa se diseñaron las correderas opuestas. Además la oposición de las barras cruzadas, justifica la disposición de los salientes de la barra 2 y por el mismo motivo, los planos en los que se sitúan los ejes base, son paralelos.



Figura 3.10: Perfil del Mecanismo 1043

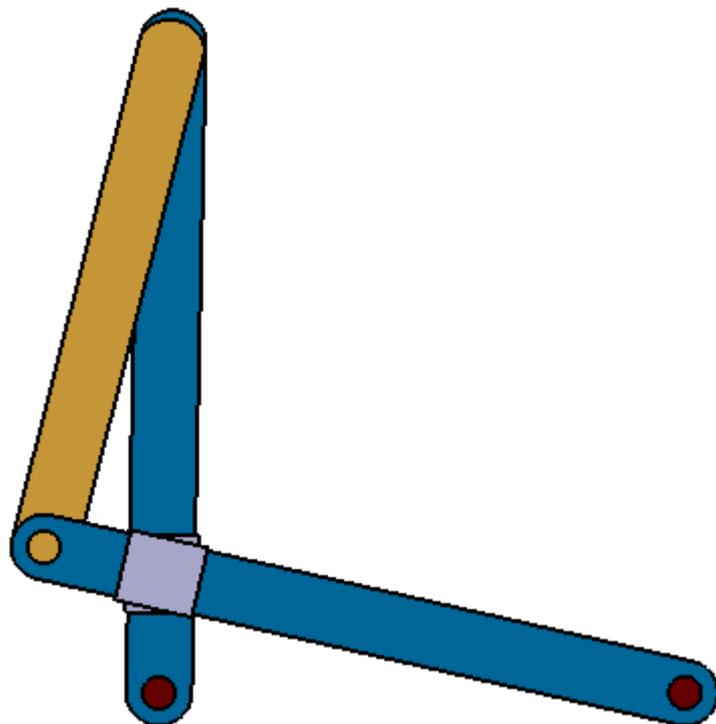


Figura 3.11: Alzado del Mecanismo 1043

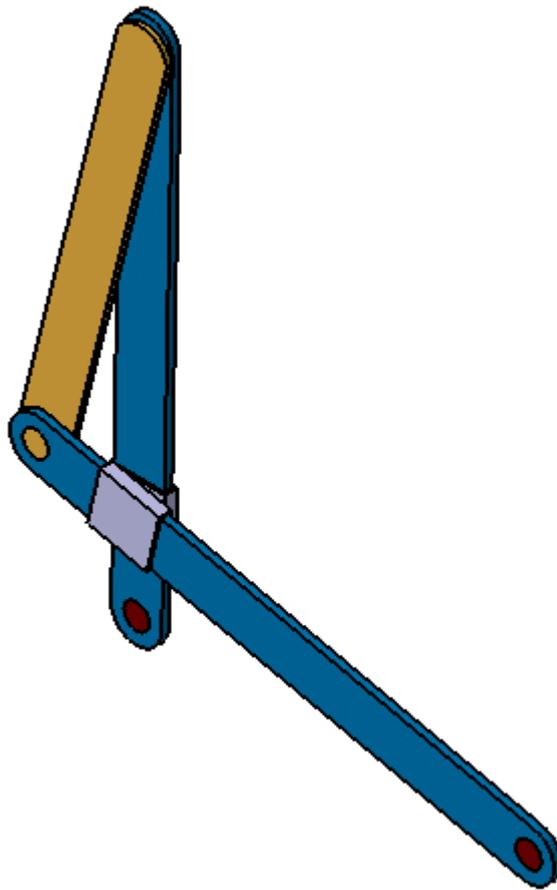


Figura 3.12: Mecanismo 1043

Además, finalmente se puede comprobar, como el mecanismo describe la elipse determinada con anterioridad. No obstante, no la describirá completamente en el módulo de Assembly Desing, ya que debido a su condición de antiparalelogramo, existen los denominados puntos muertos, que en la práctica gracias a la inercia del mecanismo no suponen un conflicto, sin embargo, en este módulo el mecanismo se bloquea al llegar a estos puntos. A pesar de ello, cuando se traspasa al módulo DMU Kinematics, estas posiciones no suponen un problema y, el mecanismo describe la elipse completa perfectamente.

Por otro lado, comentar que no sería aplicable este mecanismo para describir el caso extremo de elipses, su particularización como circunferencias, ya que estas carecen de distancia focal, y según la morfología del mecanismo el punto trazador E, situado en el centro de las correderas, no podría coincidir con los ejes base.

3.2.4. Resultado final

Finalmente, se puede concluir, que el Elipsógrafo de Palancas y Colisa de Artobolevski descrito en el documento fuente cumple con el objetivo para el que se ha modelado. Este hecho, se

puede comprobar en la simulación realizada a partir del módulo cinemático, la cual al ser recogida en un vídeo no puede ser insertada en el documento.

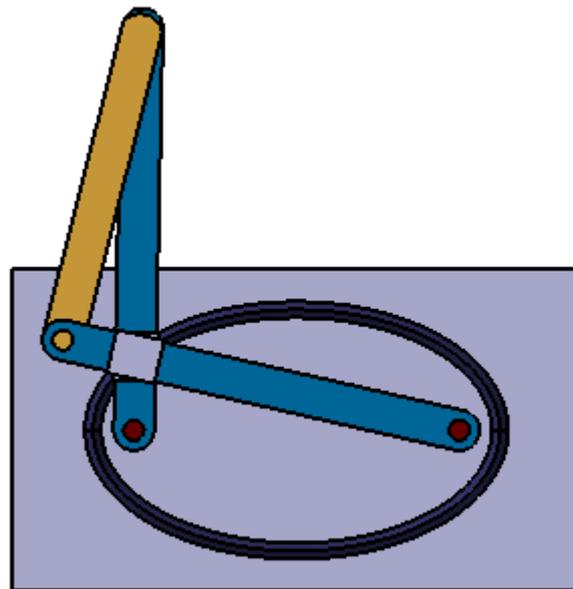


Figura 3.13: Alzado del Mecanismo 1043 y elipse que describe.

También, debido a que la Figura 3.2 muestra la posibilidad de realizar elipses de diversos tamaños, se ha desarrollado un mecanismo similar, que facilite esta opción.

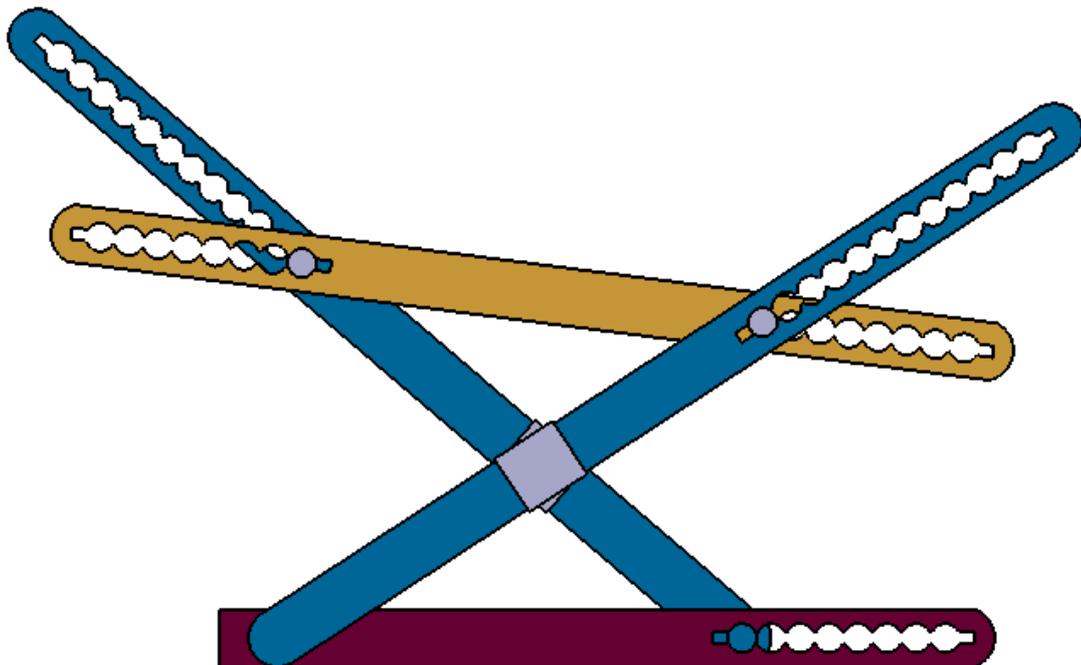


Figura 3.14: Alzado del Mecanismo 1043 Múltiple

Sin embargo, debido a las longitudes extras de las barras con el motivo de extender el tamaño de elipses que pueden describir, al realizar su trayectoria, la barra 2 (naranja) intersecta con las correderas y la barra fija.

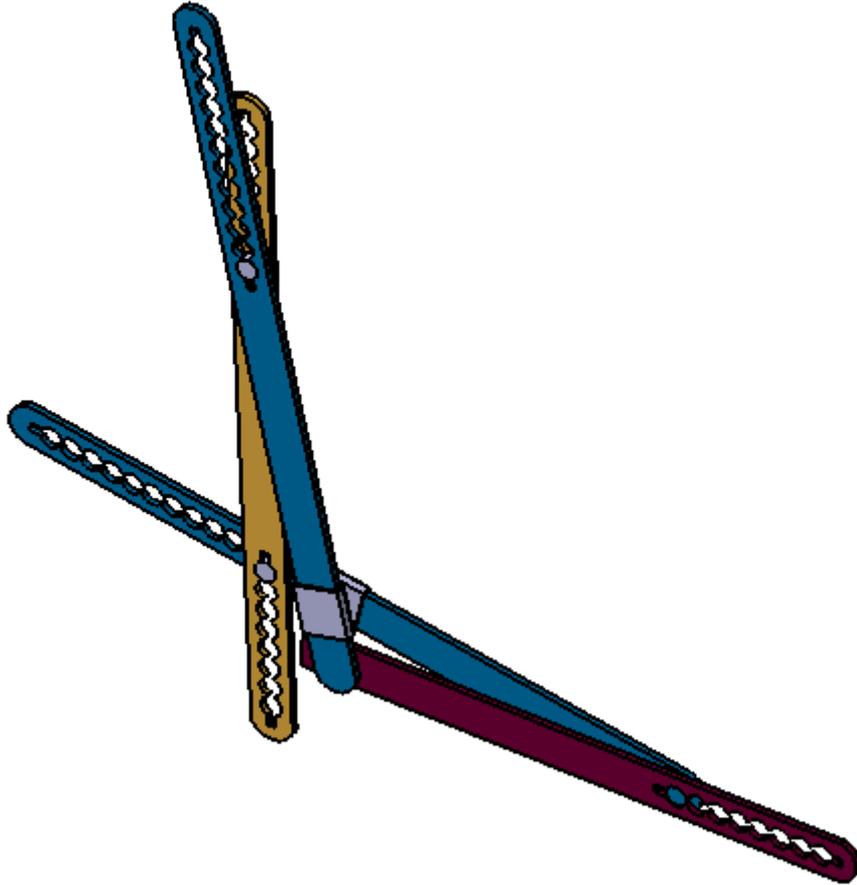


Figura 3.15: Mecanismo 1043 Múltiple Configuración 1

Se intenta solucionar este problema, con un cambio de plano de los elementos que conforman el mecanismo, pero de nuevo, al verificar su funcionamiento observamos como una de las barras cruzadas atraviesa el eje de unión entre la otra barra cruzada y la barra 2, lo cual es físicamente imposible.

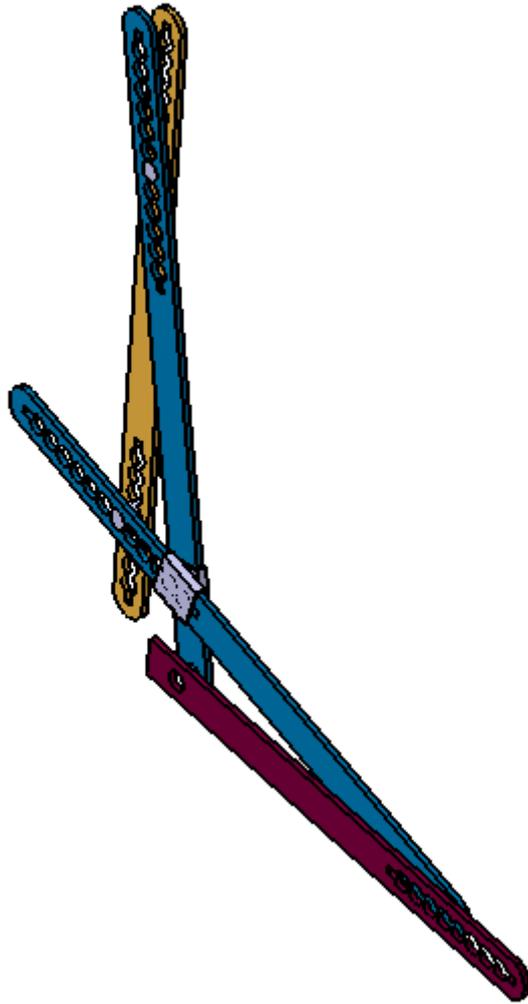


Figura 3.16: Mecanismo 1043 Múltiple Configuración 2

De manera que se puede concluir, que un mecanismo múltiple como el sugerido en el documento fuente no sería de utilidad, debido a los fallos en su funcionamiento. Así pues, el desarrollo del Mecanismo 1043, se limitaría a la descripción de una sola elipse predeterminada.

3.3. Mecanismo 1046

3.3.1. Documento

MECANISMO DE PALANCAS Y COLISA DE ARTOBOLEVSKI PARA CONTORNEAR ELIPSES

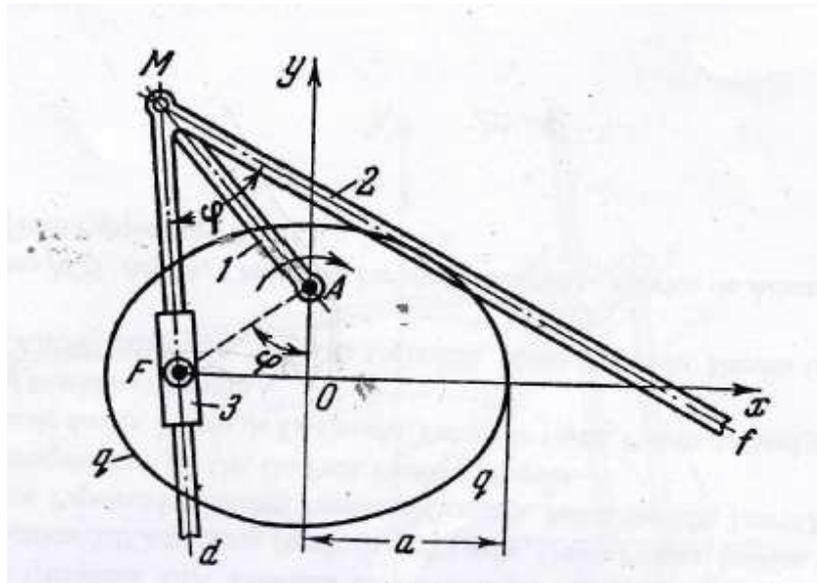


Figura 3.17: Esquema del Mecanismo 1046 [4]

El elemento 1, que gira alrededor del eje fijo A, forma el par de rotación M con el elemento 2 en forma de palanca acodillada con el ángulo dMf igual a φ . El lado Md del elemento 2 se desliza en la corredera 3 que gira alrededor del eje fijo F. Si el centro F se dispone en uno de los focos de la elipse, el centro A se sitúa sobre el eje Oy, que pasa por el centro O de la elipse a la distancia AO igual a

$$AO = \frac{OF}{\operatorname{tg}\varphi}$$

Y la longitud AM del elemento 1 se elige igual a $AM = \frac{a}{\operatorname{sen}\varphi}$, donde a es el semieje mayor de la elipse, entonces, cuando el elemento 1 gira alrededor del eje A, la recta Mf contorneará la elipse q-q [4].

3.3.2. Análisis del mecanismo

Tal y como en el mecanismo anterior, se comprobaron cuáles eran los grados de libertad del mismo. Dado que el mecanismo tiene 3 elementos descontando la barra fija AF, supuestamente tendría nueve grados de libertad que sustrayéndole las restricciones de movimiento de los pares de rotación entre la barra 1 y la palanca acodillada 2, la barra 1 y la barra fija y, la corredera 3 y la barra fija, así como el par prismático entre la corredera 3 y la barra acodillada 2, resulta en que el movimiento del sistema está limitado a un grado de libertad, que se ha asignado como se observa en la Figura 3.17, a la rotación de la barra 1 entorno al eje fijo A.

Por otro lado, cabe destacar la relevancia del ángulo φ , ya que las dimensiones de las barras dependen de éste. Observando las fórmulas es sencillo determinar que los posibles ángulos son aquellos limitados al primer cuadrante, es decir entre 0° y 90° . Además, hay que señalar que el caso límite inferior (0°) no es posible de materializar, y que el límite superior (90°) supondría la alineación de los ejes fijos en una recta. Para una mayor comprensión del mecanismo, se mostrarán diversos casos variando el valor del ángulo.

3.3.3. Modelado

3.3.3.1. Diseño

El dimensionamiento del mecanismo comienza con la determinación de la elipse a contornear, para este caso se ha escogido la misma elipse con la que se ha desarrollado el anterior sistema: semieje mayor igual a 50, semieje menor igual a 30 y por tanto una semidistancia focal igual a 40.

Por otro lado, como se ha comentado, se variará el ángulo φ , analizando sus consecuencias en el siguiente apartado, mientras tanto φ será igual a 45° .

Los elementos que conforman este sistema son:

➤ Eje base

Este elemento tan sencillo, conformará la base de soporte del mecanismo. Su mayor ventaja, es la mínima interacción que tiene con el conjunto, limitándose su relación a la interacción exclusiva con el elemento que soporta. En este caso, la barra 1 y la corredera 3.

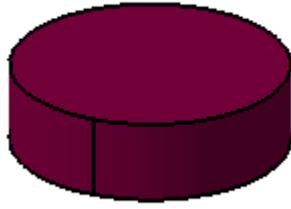


Figura 3.18: Eje base del Mecanismo 1046

➤ Barra 1

La longitud de esta barra depende de la relación $AM = \frac{a}{\text{sen}\varphi}$, como el semieje mayor a es 50, su longitud solo queda en función de φ .

Sus otras dimensiones no son determinantes, de modo que se ha escogido un criterio común para todos los elementos con un ancho de 5 y un espesor de 1.5.

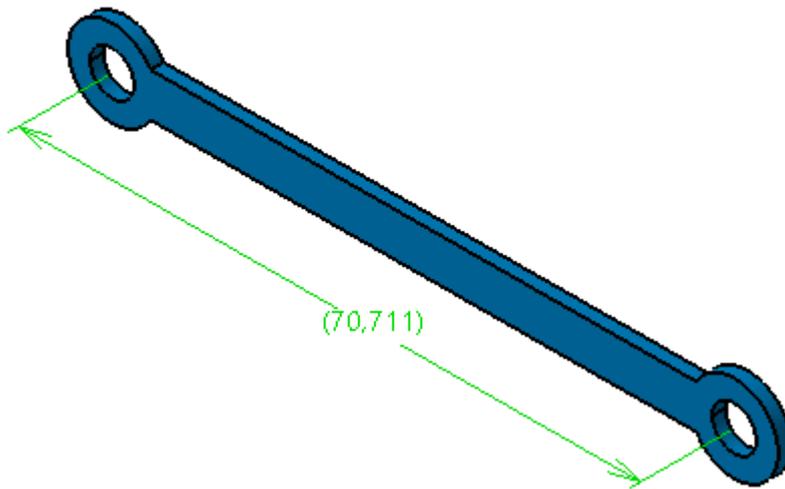


Figura 3.19: Barra 1 del Mecanismo 1046

➤ Palanca acodillada 2

Este elemento no tiene ninguna restricción de longitud, tan solo la suficiente extensión para que siempre se mantenga en el interior de la guía ejercida por la corredera 3. Sin embargo, un parámetro característico es el ángulo entre sus dos ramas, el cual es φ .

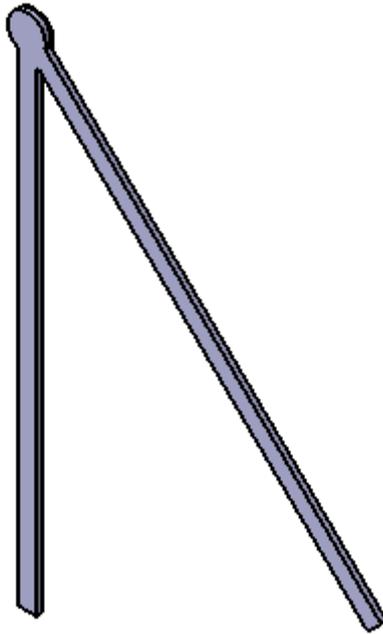


Figura 3.20: Palanca acodillada 2 del Mecanismo 1046

Por otro lado, con el fin de materializar el mecanismo en 3D, en la cabeza de la unión de ambas ramas, se ha añadido un suplemento (0.5) en el espesor para ajustar la disposición de los planos del conjunto, tal y como se observará en el siguiente apartado.

Además, sobre este suplemento, se ha extruido un saliente cilíndrico, que conforma el par de rotación del punto M (Figura 3.17), entre la barra 1 y la palanca acodillada.

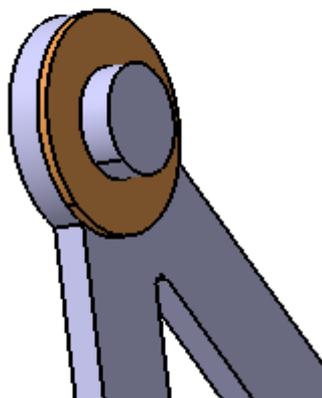


Figura 3.21: Detalle de la cabeza de la palanca acodillada 2 del Mecanismo 1046

➤ Corredera 3

El último componente es la corredera 3, la cual es la guía de la rama dM de la palanca acodillada. Para su dimensionamiento, simplemente se ha diseñado un perfil rectangular sencillo para acoger esta barra. Su longitud tampoco es determinante, por lo que se ha establecido un valor suficiente desde un punto de vista estructural de la pieza así como funcional con el resto del conjunto.

Ya que éste será un elemento clave en la fijación del mecanismo a la base, se ha añadido partiendo de una idea visual de la imagen del documento fuente (Figura 3.17), una corona que funcionará de alojamiento del eje base sobre el que la corredera tiene el par de rotación.

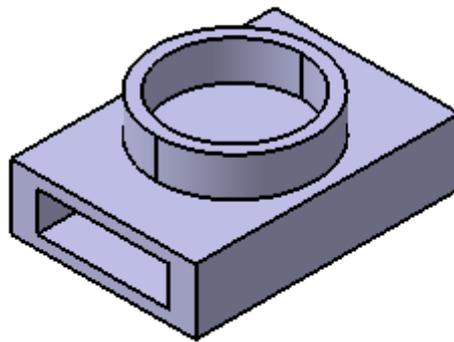


Figura 3.22: Corredera 3 del Mecanismo 1046

3.3.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Tras diseñar todos los elementos que forman el conjunto, se ensambla el mecanismo, para ello principalmente se utilizan las relaciones entre barras determinadas al comprobar el grado de libertad y algunas relaciones más, relacionadas con el contacto de caras y la disposición de los planos.



Figura 3.23: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1046

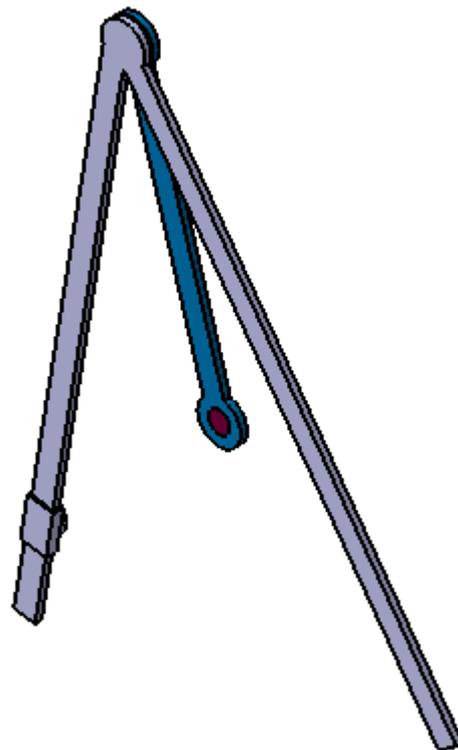


Figura 3.24: Mecanismo 1046

Sobre la disposición de los elementos en los diferentes planos, hay que resaltar que basta con sobredimensionar el espesor de la palanca acodillada tal y como se ha reflejado anteriormente con el fin de que exista un contacto entre este elemento y la barra 1. Además, cabe indicar que los ejes bases sobre los que se apoyará el mecanismo, se encuentran en diferentes planos, pero consecutivos.



Figura 3.25: Perfil del Mecanismo 1046

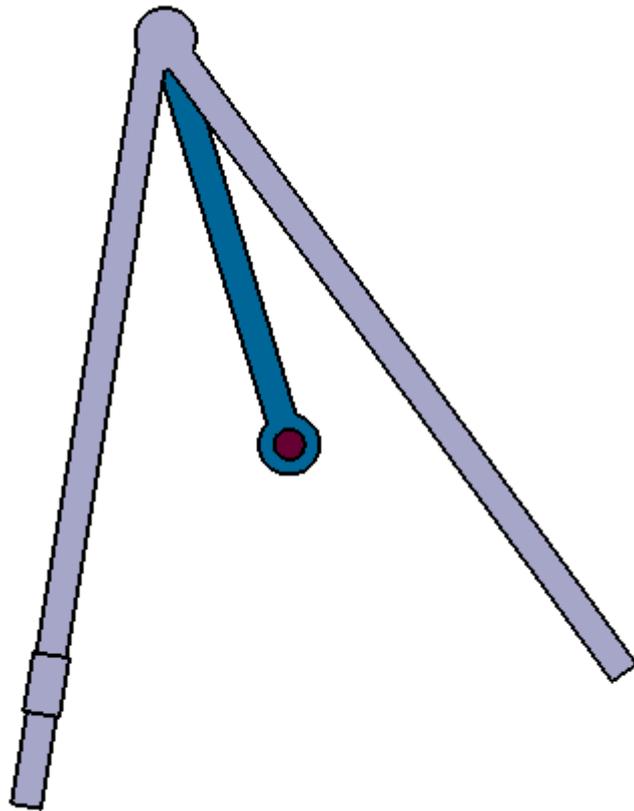


Figura 3.26: Alzado del Mecanismo 1046

Por otro lado, para facilitar el montaje del conjunto se ha diseñado una base para posicionar correctamente los ejes base. El dimensionamiento de la estructura base, está supeditado a la elipse que se quiere contornear. De modo que sigue las relaciones determinadas en el documento fuente para determinar los lados del triángulo AOF.

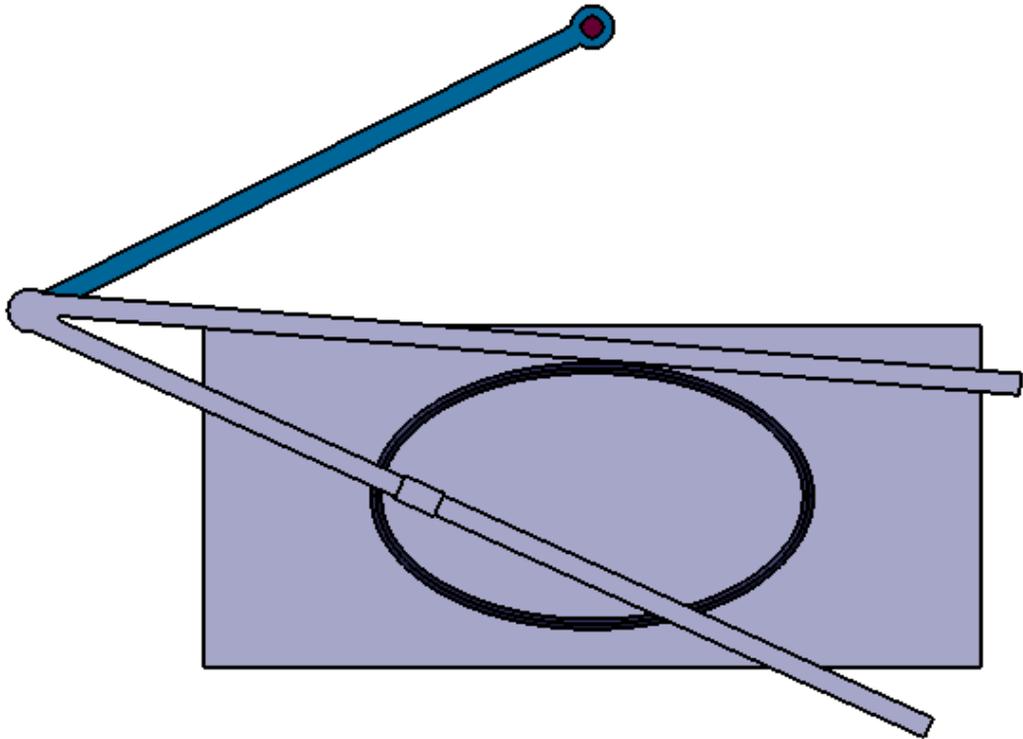


Figura 3.29: Mecanismo 1046 para $\varphi = 20^\circ$

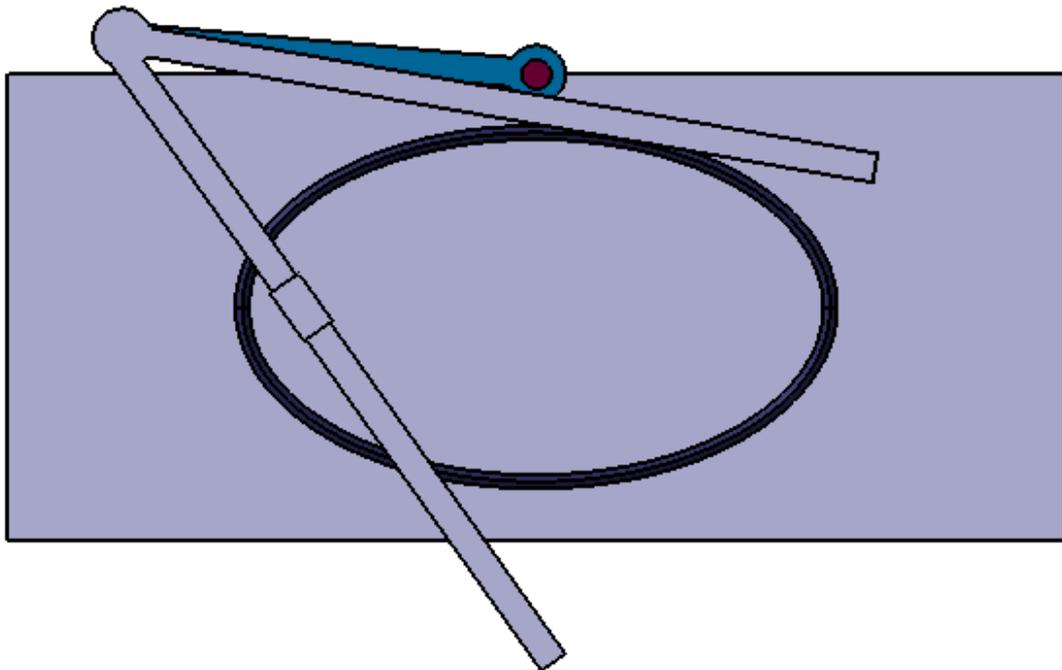


Figura 3.30: Mecanismo 1046 para $\varphi = 45^\circ$

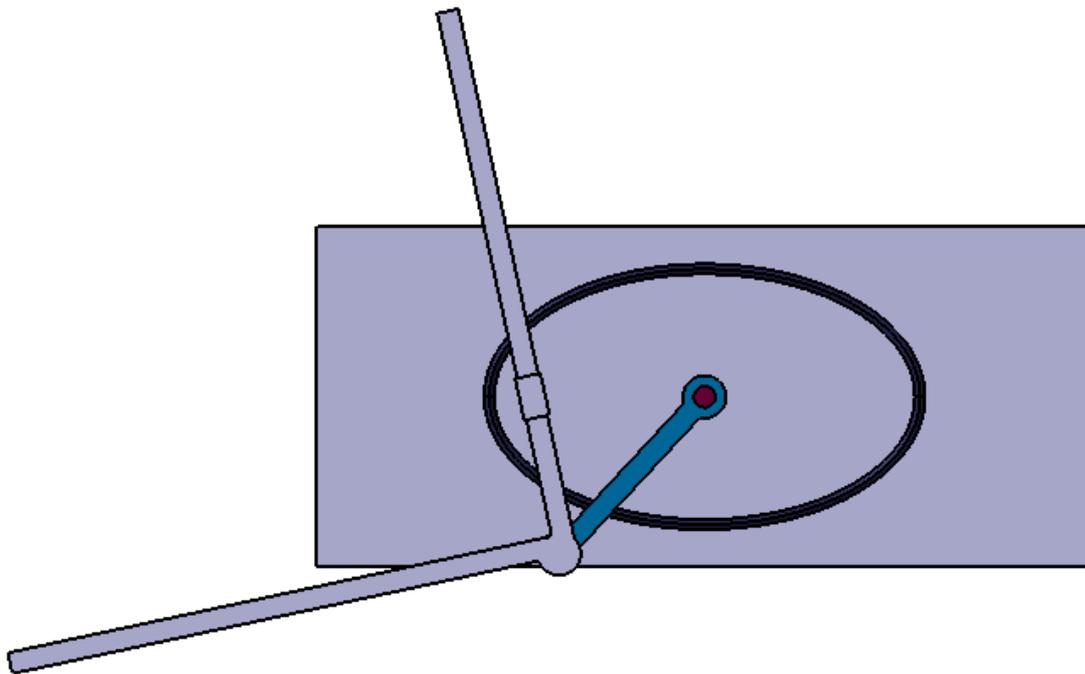


Figura 3.31: Mecanismo 1046 para $\varphi = 90^\circ$

En estas imágenes se puede observar como para las mismas dimensiones de elipse a medida que disminuye el ángulo φ , las dimensiones del mecanismo aumentan en gran medida. Por este motivo, el más conveniente sería el tercero, la palanca acodillada con ramas perpendiculares. Sin embargo, como se observa en la Figura 3.31, el funcionamiento del mecanismo varía, de modo que la rama Mf no contornea la elipse durante cierto recorrido, lo que en una aplicación directa del mecanismo no sería correcto, ya que no ejerce su función.

En definitiva, visto que las dimensiones del mecanismo con φ igual a 45° son manejables, el posible rango de ángulos φ podría ser estimado entre 45° y 80° , para así no forzar el funcionamiento del sistema por el límite superior. Además, es un mecanismo que no es aplicable para el caso particular de elipse con ejes iguales, o sea, circunferencias, ya que φ tendría que ser 90° y a pesar de que la rama Mf contornea, al contrario que para las elipses, tendría una trayectoria muy accidentada.

3.3.4. Resultado final

Tras comprobar la cinemática del mecanismo y, verificar que ningún elemento colisiona con otro, y que por tanto su mecánica de funcionamiento se puede materializar correctamente. Se puede concluir, que el Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para contornear Elipses describe adecuadamente el contorno de la figura geométrica previamente determinada.

Finalmente, se ha realizado una animación de su movimiento que ha sido recogida en un vídeo, el cual no puede ser insertado en el documento.

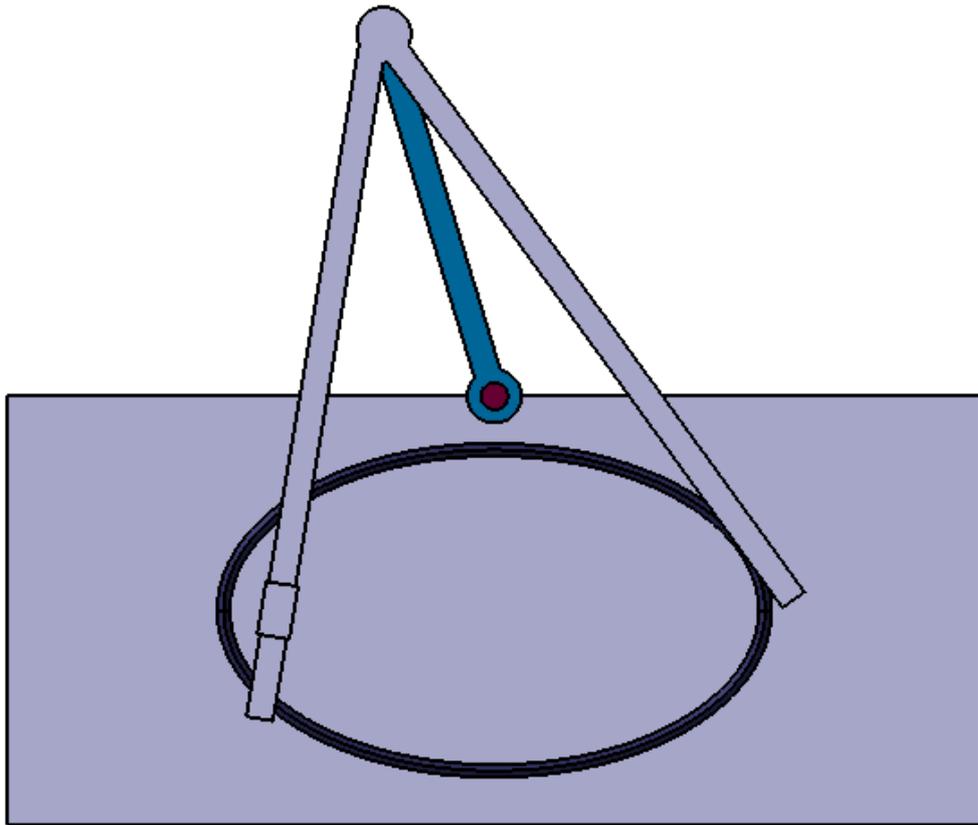


Figura 3.32: Mecanismo 1046 y elipse que describe en la posición 1

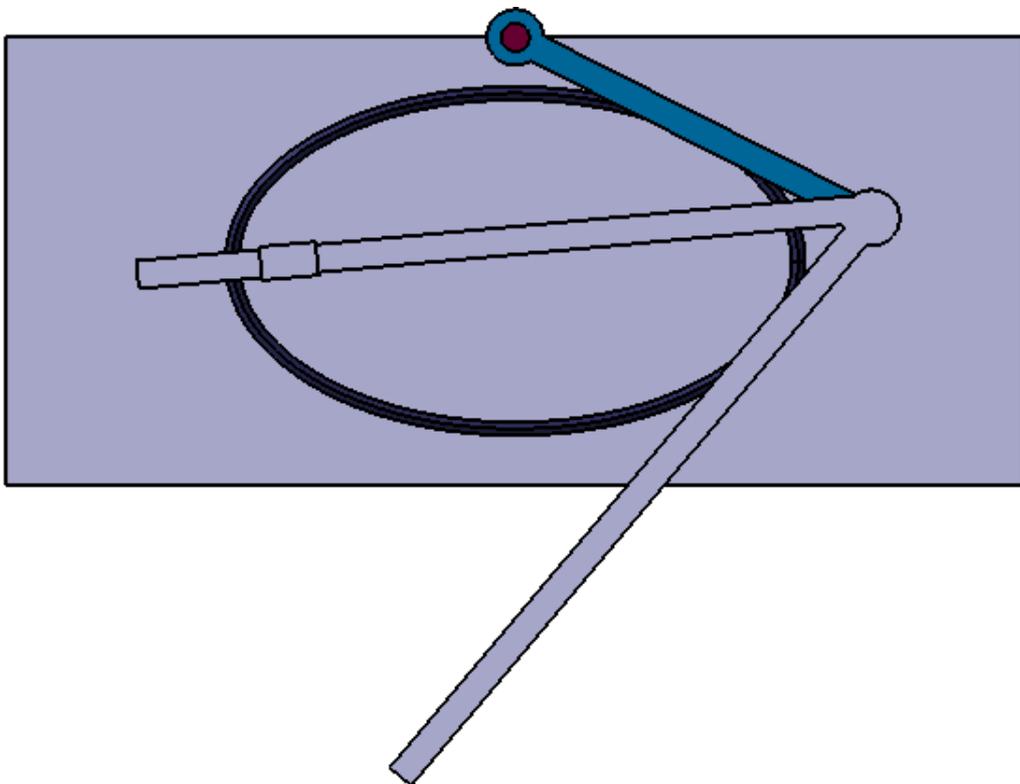


Figura 3.33: Mecanismo 1046 y elipse que describe en la posición 2

3.4. Mecanismo 1051

3.4.1. Documento

MECANISMO DE PALANCAS Y COLISA DE ARTOBOLEVSKI PARA CONTORNEAR ELIPSES CONFOCALES

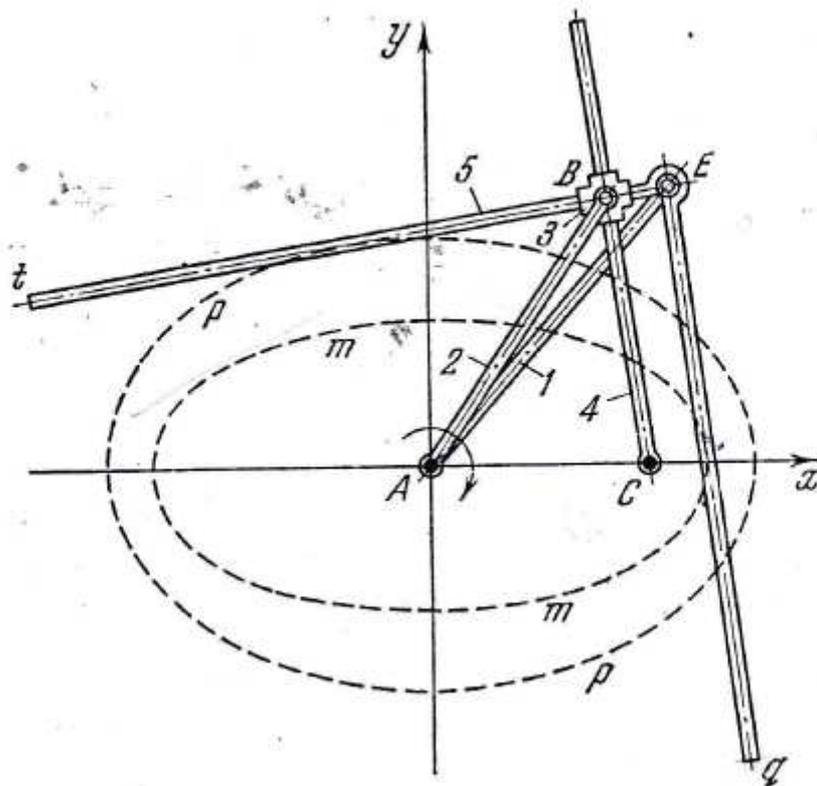


Figura 3.34: Esquema del Mecanismo 1051 [4]

Las longitudes de los elementos del mecanismo satisfacen las condiciones:

$$AB = a_2 \quad \text{y} \quad AE = \sqrt{a_1^2 + b_2^2} = \sqrt{a_2^2 + b_1^2}$$

Donde a_1 y b_1 son los semiejes de la elipse m-m, a_2 y b_2 son los semiejes de la elipse p-p. El ángulo tEq es igual a 90° . El elemento 1, que gira alrededor del eje fijo A, forma el par de rotación E con el elemento 5 en forma de una palanca de dos brazos tEq. El elemento 4, que gira alrededor del eje fijo C, forma un par de traslación con la corredera cruciforme 3, cuyas guías son mutuamente perpendiculares. El lado Et del elemento 5 se desliza en la corredera 3. El elemento 2, que gira alrededor del eje fijo A, forma el par de rotación B con la corredera 3. Si el punto A se dispone en el centro común de las elipses m-m y p-p, y el punto C se sitúa en uno de los focos comunes, entonces, cuando el elemento 1 gira alrededor del eje A, los lados del ángulo recto tEq del elemento 5 contornean simultáneamente las elipses confocales m-m y p-p [4].

3.4.2. Análisis del mecanismo

Como en los anteriores, hay que calcular los grados de libertad del mecanismo. En este caso, el sistema está compuesto por 6 elementos (Figura 3.34): barra 1, barra 2, escuadra (5), barra 4, corredera cruciforme (3) y la barra fija. Por ello, limitando el movimiento al plano, cada uno de ellos tendría 3 grados de libertad, es decir, se parte de 15 grados de libertad. A este número hay que sustraerle las restricciones de movimiento impuestas por los pares de rotación de la barra fija con las barras 1, 2 y 4, así como los pares de rotación entre la barra 5 y la barra 1 y, la barra 2 y la corredera cruciforme. También limitan, los pares prismáticos de la corredera cruciforme con las barras 4 y 5. En resumen, queda demostrado que el mecanismo tiene un grado de libertad, asociado a la rotación de la barra 1.

Por otro lado, ante la peculiaridad de la confocalidad de las elipses resultantes (que tengan diferentes semiejes pero la misma distancia focal), surgen los siguientes comentarios, basados en estas relaciones:

$$c^2 = a_1^2 - b_1^2$$

$$c^2 = a_2^2 - b_2^2$$

El primero reside, en la complejidad de encontrar relaciones de confocalidad entre elipses. Y además, la particularización del mecanismo ante el caso de igualdad de semiejes, es decir, circunferencias, puesto que no existiría la distancia focal.

3.4.3. Modelado

3.4.3.1. Diseño

Basándose en las relaciones anteriores, se han determinado las dimensiones de las elipses a contonear. De manera que las elipses están determinadas por:

$$a_1 = 15$$

$$b_1 = 9$$

$$a_2 = 37$$

$$b_2 = 35$$

$$c = 12$$

A continuación, se especifican los diferentes elementos que conforman este sistema:

➤ Eje base

Como en los casos anteriores, la base del mecanismo serán dos ejes de geometría cilíndrica, cuyas longitudes varían dependiendo del conjunto de barras que soporten. En el caso de la rotación A (Figura 3.34), ya que acopla la barra 2, 1 y un suplemento intermedio que se

comentará más adelante, será de dimensión longitudinal mayor que el eje correspondiente a la rotación B.

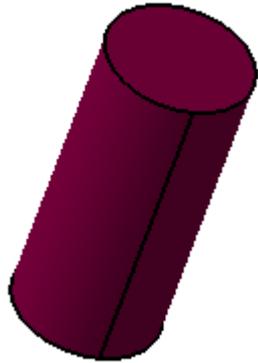


Figura 3.35: Eje Base Extralargo (A) del Mecanismo 1051

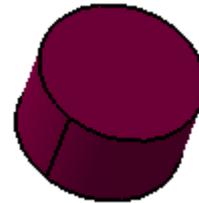


Figura 3.36: Eje Base (B) del Mecanismo 1051

➤ Barra 1

Esta barra, tiene su longitud determinada por la relación AE del documento fuente. Por lo demás, la anchura y el espesor es el común a todas las barras.

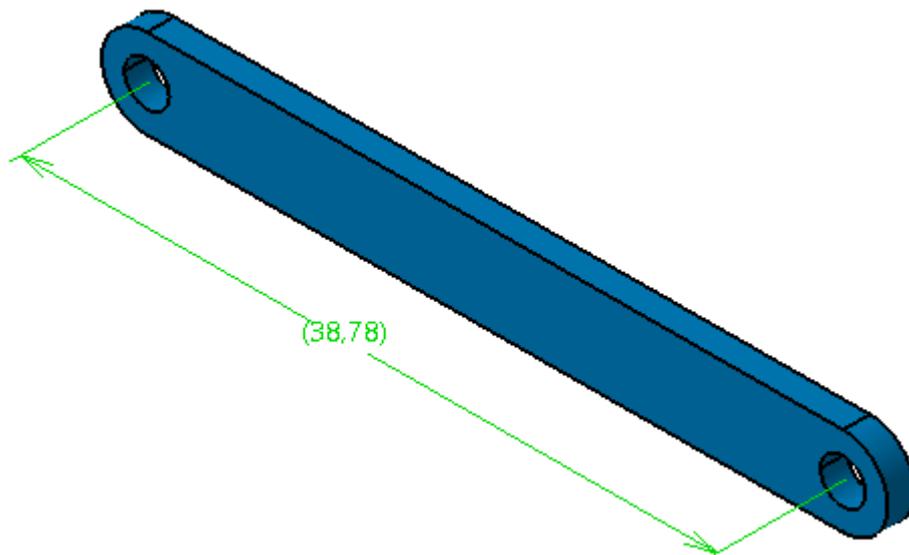


Figura 3.37: Barra 1 del Mecanismo 1051

➤ Barra 2

Esta barra varía con respecto a la barra 1 en su longitud, ya que en morfología son idénticas. Dicha dimensión, está preestablecida por las relaciones con los semiejes de las elipses según el documento fuente y, es igual al semieje mayor de la elipse de mayor tamaño.

Debido a la diferencia de planos entre los elementos, habrá que añadir un suplemento cilíndrico en el extremo que corresponde con el par de rotación A entre las barras 1 y 2, al objeto de hacer materializable físicamente el mecanismo.

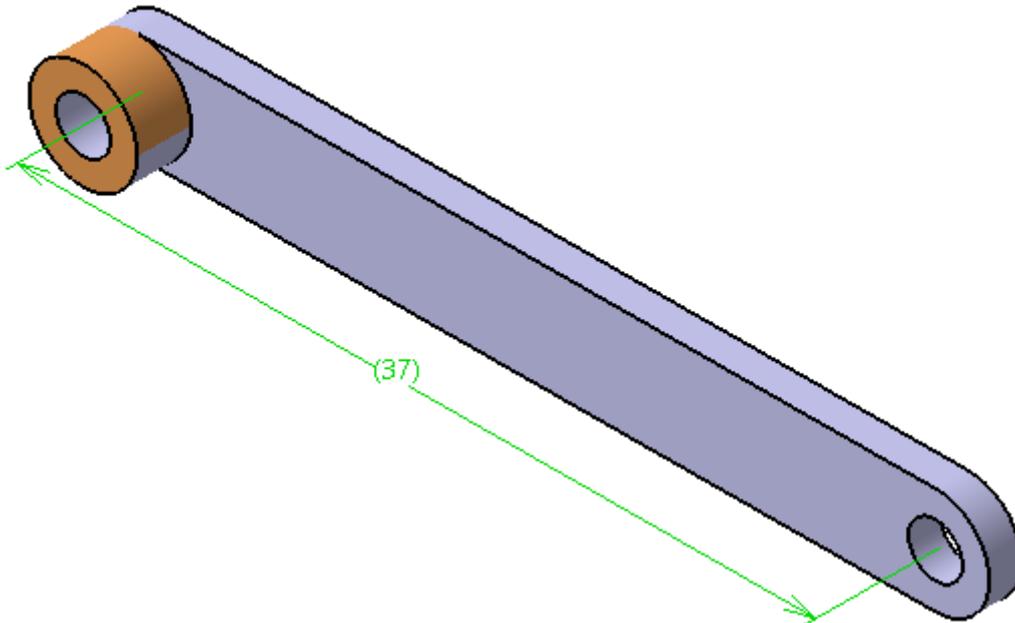


Figura 3.38: Barra 2 del Mecanismo 1051

➤ Barra 4

Respecto a la barra 4, lo único que hay que destacar, es que su longitud sea lo suficientemente extensa como para que permanezca en el interior de la guía ejercida por la corredera cruciforme durante todo el recorrido de contorno.

La morfología es similar a las barras anteriores, exceptuando la forma del extremo libre, resuelto tal y como se observa en la Figura 3.34.

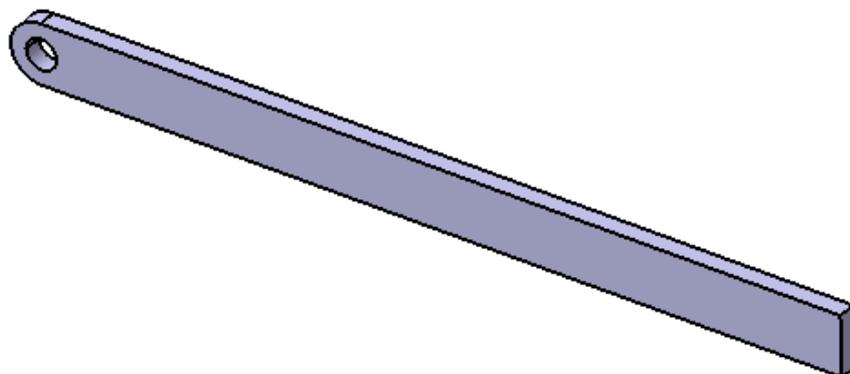


Figura 3.39: Barra 4 del Mecanismo 1051

➤ Escuadra

A diferencia de la palanca acodillada del mecanismo anterior, este mecanismo requiere que el ángulo entre sus dos ramas sea recto. Ambas ramas contornearán simultáneamente las dos elipses, la rama E_q contorneará la elipse menor mientras que la rama tE realizará la mayor. Ambas ramas se han definido con la misma longitud.

Sin embargo, su longitud no está preestablecida, tan solo que sea apropiada para poder contornear en cualquier punto del recorrido, y que como la barra 4, permanezca dentro del par prismático durante toda la trayectoria.

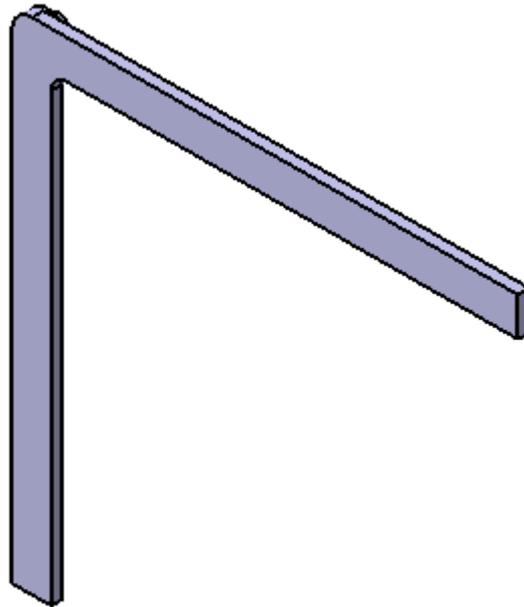


Figura 3.40: Escuadra del Mecanismo 1051

En la cabeza de la escuadra, nexo de las dos ramas, es necesario añadir un suplemento con el fin de compensar la diferencia de planos entre los elementos. Sobre este, además, se extruye el eje cilíndrico del par de rotación E (Figura 3.34) entre la barra 1 y la escuadra.

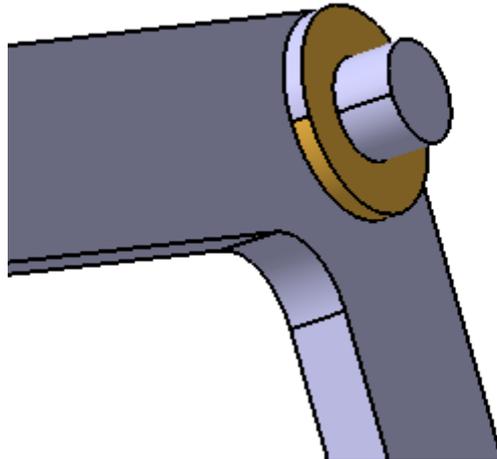


Figura 3.41: Detalle de la escuadra del Mecanismo 1051

➤ Corredera Cruciforme

Este elemento en la Figura 3.34, puede llevar a confusión, no obstante tras el análisis del funcionamiento se determina que las guías son perpendiculares, pero pertenecen a diferentes planos, ya que un par prismático de una cruceta resultaría imposible. De hecho, tal y como se observa en la misma Figura la barra 4 y la rama tE son identificadas independientemente.

La geometría de las correderas es rectangular, con las dimensiones exactas para alojar las barras y, una longitud mínima para guiarlas adecuadamente.

Finalmente, ambas correderas están separadas por una protusión cilíndrica, correspondiente al par de rotación B (Figura 3.34) entre la barra 2 y la corredera cruciforme. Este cambio de configuración, será justificado en el siguiente apartado.

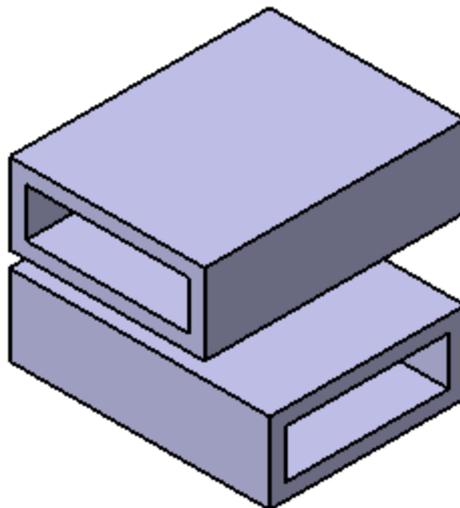


Figura 3.42: Corredera Cruciforme del Mecanismo 1051

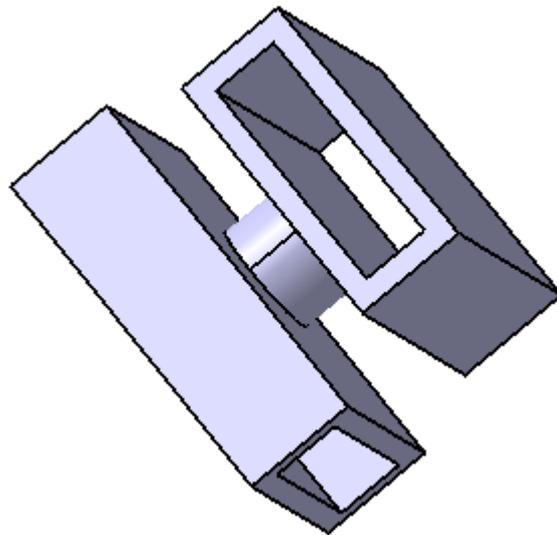


Figura 3.43: Corredera Cruciforme del Mecanismo 1051 (Vista transversal)

3.4.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Para ensamblar las piezas de este mecanismo, como en los anteriores, se parte de una estructura base sobre la que se disponen los ejes base, que como se observa en la Figura 3.34, su longitud será igual a la semidistancia focal de ambos elipses. A partir de ella, respetando los pares de rotación y prismáticos anteriormente expuestos, se conforma el conjunto.



Figura 3.44: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1051

De manera que el resultado será:

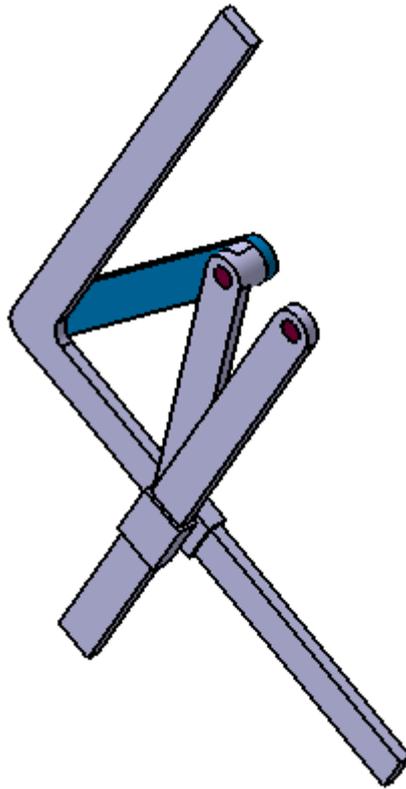


Figura 3.45: Mecanismo 1051

Se destaca, la modificación de la disposición de las barras del mecanismo con respecto a la Figura 3.34. Este cambio, reside en la colocación del par de rotación B entre las correderas, ya que si se dispusiera externo tal y como se refleja en el documento fuente, la barra 4 al girar colisionaría con el eje base común de las barras 2 y 1 (A). Por ello, se ha resuelto este defecto con el cambio de diseño de la corredera cruciforme. De modo, que el orden de barras en la corredera sería barra 5, barra 4 y barra 2, comenzando la enumeración en el plano más lejano.

Para el caso particular en el que, en lugar de realizar elipses se contorneasen dos circunferencias, la distancia focal es nula, por lo que la disposición del conjunto varía con respecto al caso de descripción de elipses, ya que la barra 4 también estará fijada con respecto al eje A. De manera que ya no importaría la disposición de la barra 2 sobre la corredera cruciforme 3, o en el plano intermedio de ambas correderas como en el caso de elipses. Además, tampoco existe la dificultad de buscar relaciones de confocalidad entre las circunferencias, de modo que el mecanismo sería válido para cualquier relación que exista entre ellas, exceptuando la unicidad de sus centros.

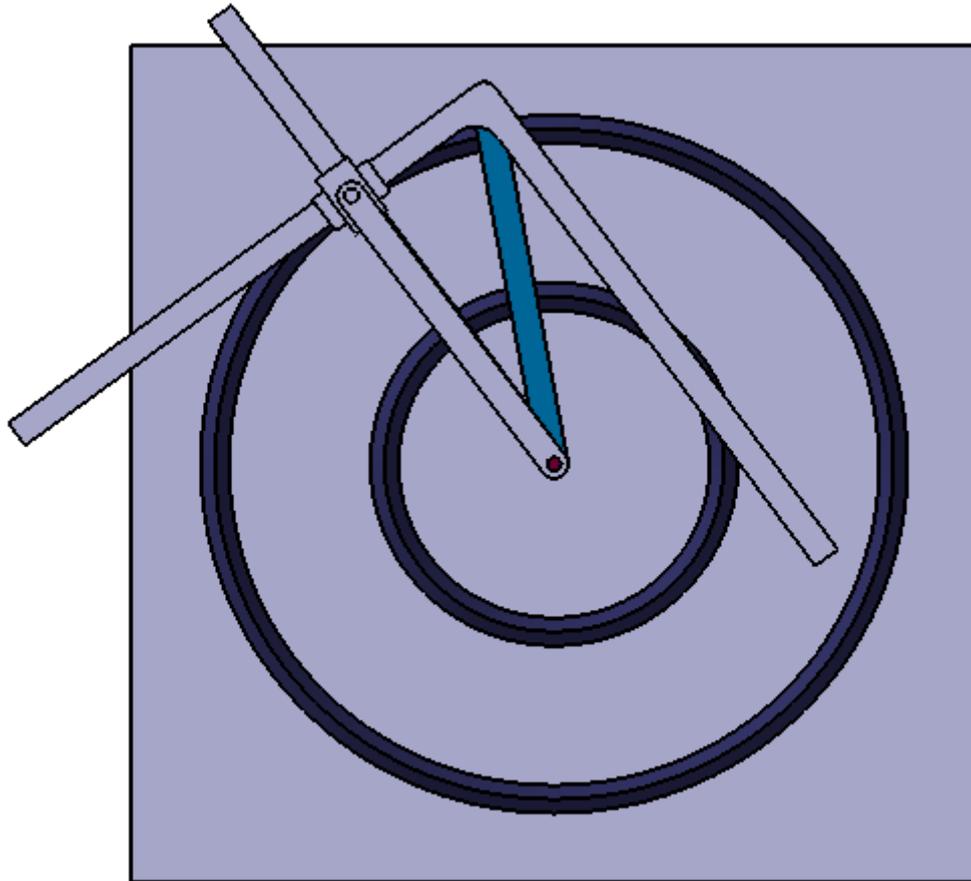


Figura 3.46: Particularización del Mecanismo 1051 para el caso de circunferencias

3.4.4. Resultado final

Tras el ensamblaje y el análisis del funcionamiento, realizando las modificaciones necesarias, se puede concluir que el Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para contornear Elipses Confocales, es ejecutable, ya que no hay colisión entre los diversos elementos del conjunto durante todo el recorrido y además, cumple con su función, pues contornea ambas elipses simultáneamente, como se puede observar a continuación. No obstante, como se ha explicitado anteriormente, el encontrar elipses confocales es una tarea compleja, por el contrario, particularizando el mecanismo para describir circunferencias, la versatilidad del mismo sería mayor.

Finalmente, se ha realizado la animación del mismo recogéndola en un vídeo que no se ha podido adjuntar al documento.

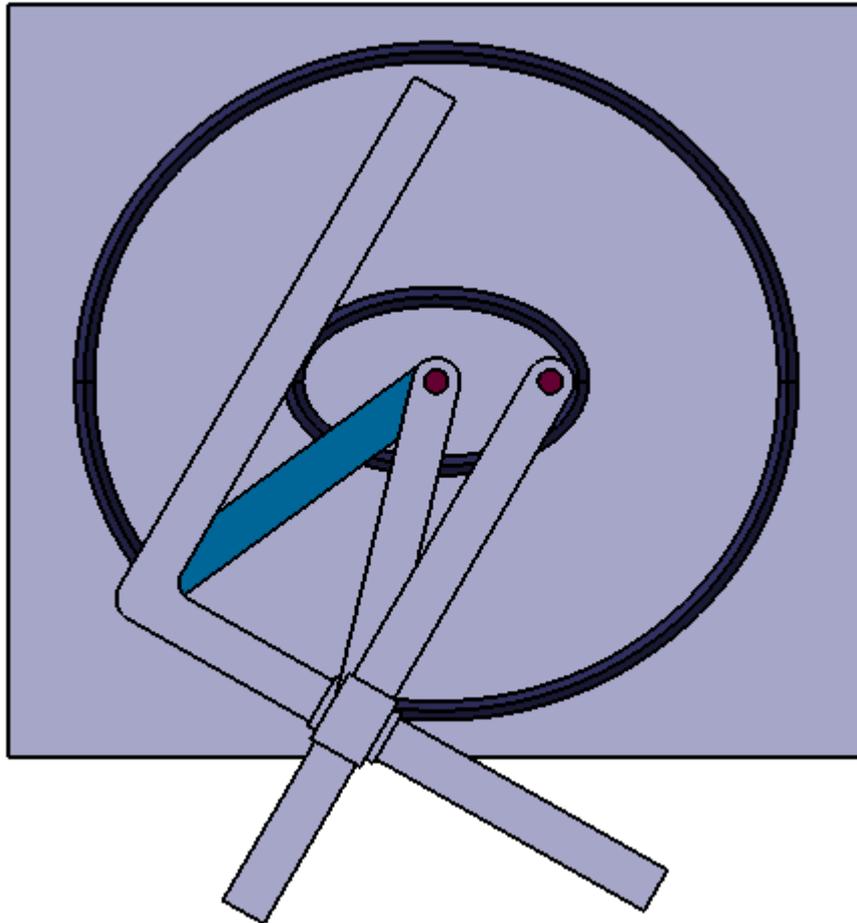


Figura 3.47: Mecanismo 1051 y las elipses que describe en la posición 1

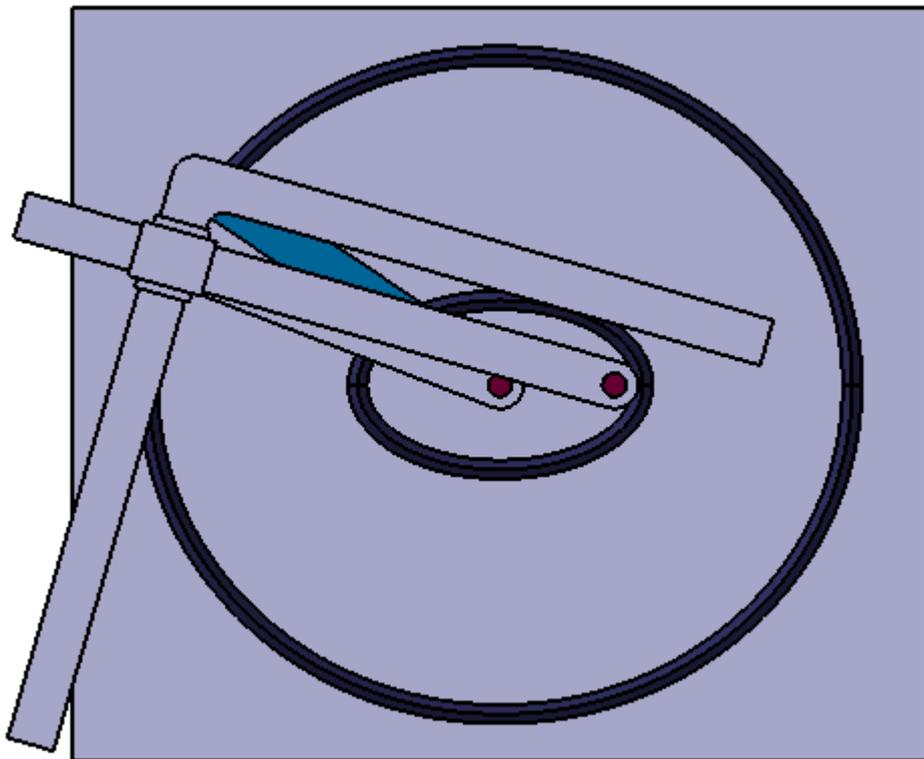


Figura 3.48: Mecanismo 1051 y las elipses que describe en la posición 2

3.5. Mecanismo 1057

3.5.1. Documento

MECANISMO DE PALANCAS Y COLISA DE ARTOBOLEVSKI PARA TRAZAR Y CONTORNEAR

ELIPSES

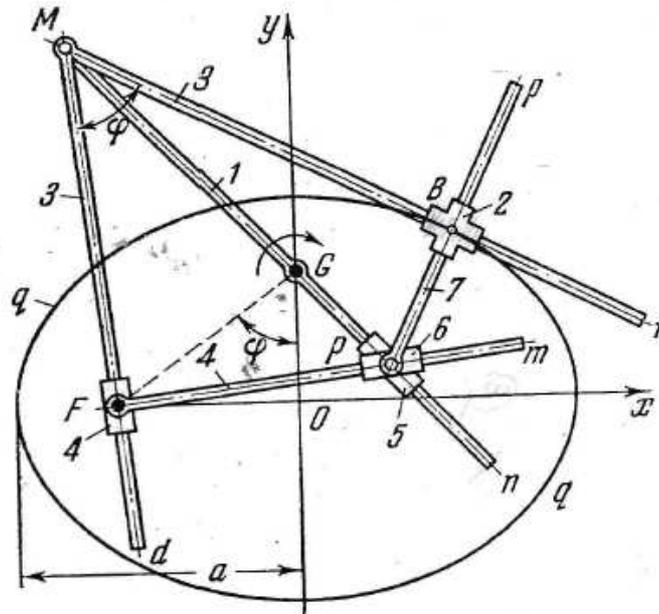


Figura 3.49: Esquema del Mecanismo 1057 [4]

El elemento 1, que gira alrededor de eje fijo G, forma el par de rotación M con el elemento 3, el cual tiene forma de una palanca acodada dMf con el ángulo igual a φ . El lado Md del elemento 3 se desliza en la corredera 4 que gira alrededor del eje fijo F; el lado Mf del elemento 3 se desliza en la corredera cruciforme 2, los ejes de cuyas guías son perpendiculares entre sí. Las correderas 5 y 6, que forman el par de rotación P se deslizan por las direcciones Fm y Gn de los elementos 4 y 1. Si el centro F se dispone en uno de los focos de la elipse, y el centro G se sitúa sobre el eje Oy que pasa por el centro O de la elipse en la intersección GO con el eje Fx, que es igual a

$$GO = \frac{OF}{\operatorname{tg} \varphi}$$

y la longitud GM del elemento 1 se toma igual a

$$GM = \frac{a}{\operatorname{sen} \varphi}$$

Donde a es el semieje mayor de la elipse, entonces, cuando el elemento 1 gira alrededor del eje G, la recta Mf contorneará la elipse q-q, y el punto B de la corredera 2, que se encuentra en la intersección de las direcciones Pp y Mf, contorneará la elipse q-q [4].

3.5.2. Análisis del mecanismo

Al objeto de comprender la cinemática del mecanismo, se estudia, en primer lugar los grados de libertad del mismo. Puesto que, descontando la barra fija, el conjunto está compuesto por 7 elementos, se parte de 21 grados de libertad. Sin embargo, estos se ven reducidos a causa de los pares de rotación y prismáticos entre los diversos elementos. Existen pares de rotación de la barra fija con la barra 1 y la corredera 4, también entre la Barra 1 y la 3, la corredera 5 y la corredera 6 y, la corredera 6 y la barra 7. Del mismo modo, los pares prismáticos entre la corredera 2 con la barra 3 y la barra 7, la corredera 6 con la barra-corredera 4, la barra 1 y la corredera 5 y, la barra-corredera 4 con la barra 3, también restringen el movimiento. Por lo que, los grados de libertad del mecanismo se reducen a uno, que se le asigna a la rotación de la barra 1 entorno al eje fijo G (Figura 3.49).

Además, como se puede observar en la Figura 3.49, el mecanismo es muy similar al de la Figura 3.17. De hecho, las relaciones de las barras descritas en el documento fuente son idénticas. Debido a esta similitud, se va a desarrollar el mecanismo, entorno a la misma figura geométrica para apreciar con mayor exactitud las diferencias entre ambos.

3.5.3. Modelado

3.5.3.1. Diseño

Tal y como se ha comentado, la elipse sobre la que se va a basar el mecanismo es aquella cuyo semieje mayor es igual a 50, su semieje menor es igual a 30 y por tanto, la semidistancia focal es 40.

Al igual que para el mecanismo 1046, el ángulo φ es determinante en el dimensionamiento de los elementos, por ello, tras el análisis de dependencia hecho en el mecanismo previo entorno a este parámetro, se ha decidido desarrollar el mecanismo que ahora concierne con un φ igual a 45° .

Los elementos que conforman este conjunto, son los siguientes:

➤ Eje base

Como en los casos anteriores, la base del mecanismo, serán dos ejes fijos, diseñados con una geometría cilíndrica, que soportarán en este caso, la barra 1 y la corredera 4. Ambos ejes no están situados en el mismo plano como se comprobará en el ensamblaje.

También en el siguiente apartado se comentará un elemento que facilitará la disposición de los ejes.

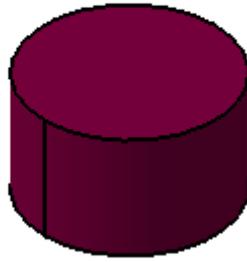


Figura 3.50: Eje Base del Mecanismo 1057

➤ Barra 1

La dimensión característica de esta barra, es su longitud. Parte de ella, está determinada por la relación $GM = \frac{a}{\text{sen } \varphi}$ del documento fuente, mientras que la otra, se extiende hasta asegurar que la barra no sale de la guía en todo el recorrido.

Sus otras dimensiones, son comunes al resto de barras, y no tienen relevancia con respecto al movimiento del sistema.

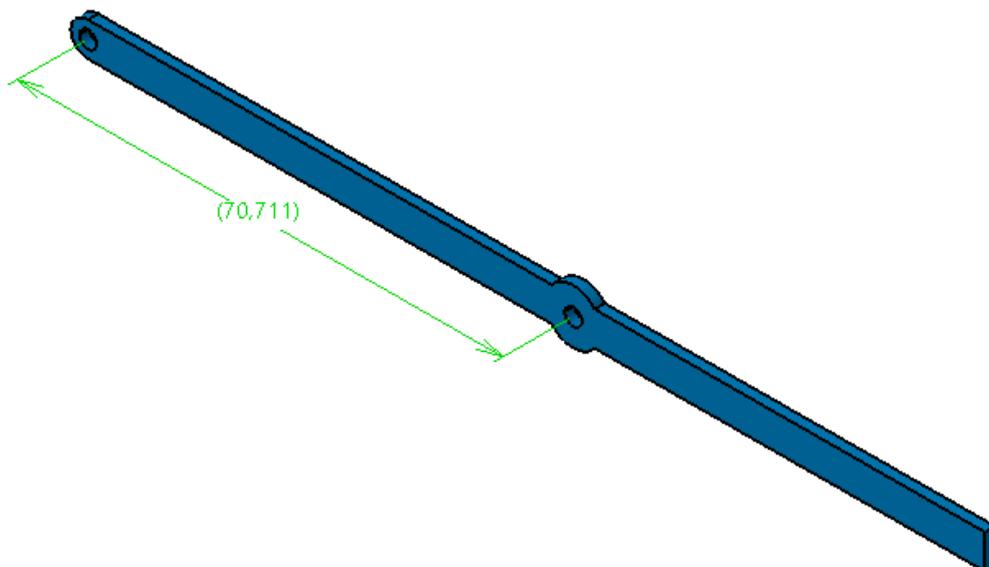


Figura 3.51: Barra 1 del Mecanismo 1057

➤ Palanca Acodada

Este elemento, también denominado barra 3, tiene geometría triangular isósceles, y está caracterizado por el ángulo φ , particularizado en 45° . Además la longitud de sus dos ramas, es decir los lados del triángulo, se alarga hasta que las mismas permanezcan alojadas en el interior de las guías durante toda la trayectoria.

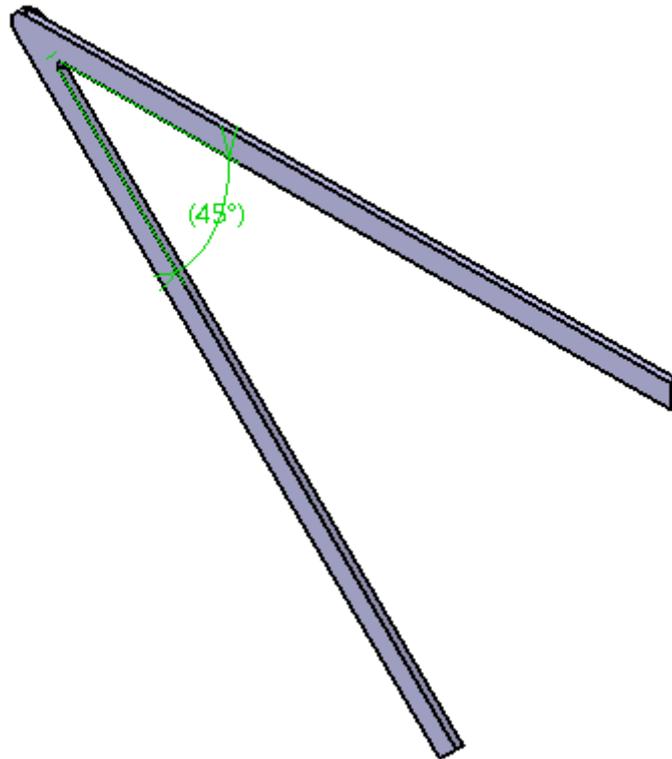


Figura 3.52: Palanca acodada del Mecanismo 1057

Al igual que en los anteriores casos, se ha añadido un pequeño suplemento para nivelar los diferentes planos en los que se sitúa el mecanismo, con el fin de materializarlo físicamente. Sobre éste, se ha modelado el eje del par de rotación M entre la barra 1 y 3 (Figura 3.49).

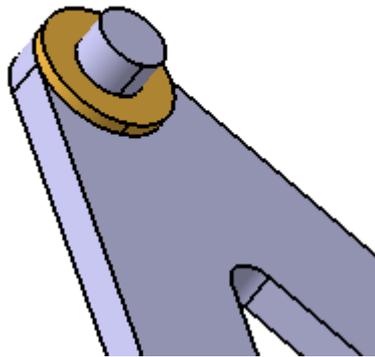


Figura 3.53: Detalle de la cabeza de la palanca acodada del Mecanismo 1057

➤ Corredera Cruciforme

Tal y como se describe en el documento fuente, la corredera cruciforme tiene los ejes de sus guías perpendiculares, sin embargo, a pesar de lo que pueda sugerir la Figura 3.49, éstas no se encuentran en el mismo plano, es más, en este caso, no son ni consecutivos. Por ello, se han modelado ambas guías con la misma geometría rectangular, a diferencia de un espesor específico que se ha extruido entre ellas con el objetivo de compensar la diferencia de planos de las barras que alojan.

La longitud de ambas correderas no es determinante, tan solo un tamaño lógico en comparación al conjunto.

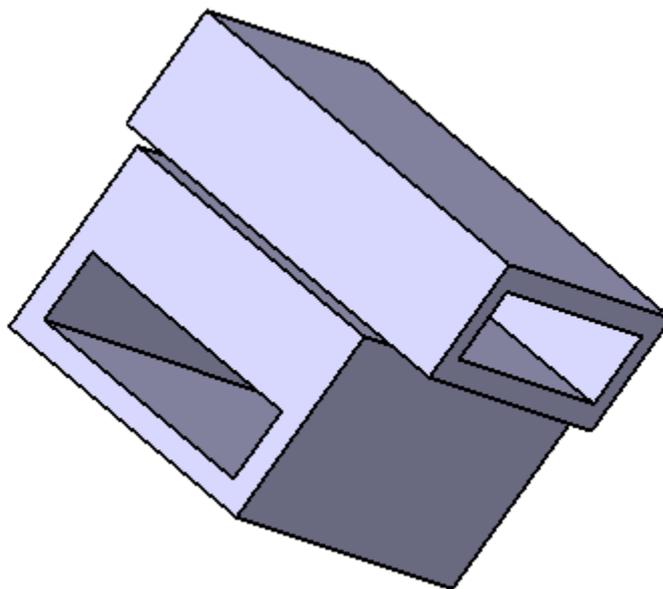


Figura 3.54: Corredera Cruciforme (Elemento 2) del Mecanismo 1057

➤ Barra-Corredera 4

Este elemento en la Figura 3.49, puede llevar a confusión, dado que el par de rotación F puede hacer pensar que se encuentra entre la barra 4 y la corredera 4, no obstante, son el mismo elemento rígido. Y el par de rotación F , restringe el movimiento entre la corredera 4 y la barra fija. Para alojar el eje base, se ha modelado una corona circular, a un lado de la corredera.

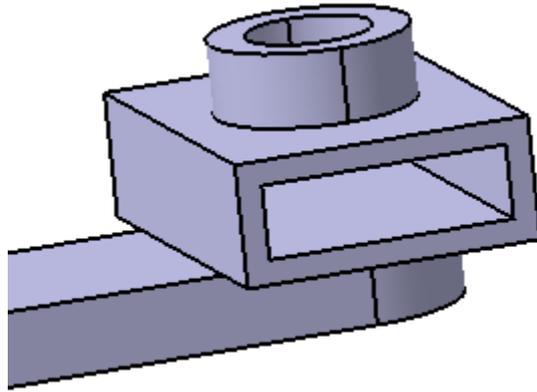


Figura 3.55: Extremo de la Barra-Corredera 4 del Mecanismo 1057

Mientras que en la cara opuesta a la corona, se ha modelado la barra que conformará el par prismático con la corredera 6. Una característica específica de este elemento, es la perpendicularidad existente entre los ejes de la barra y la corredera que lo componen. El resto de parámetros geométricos del elemento, son comunes a los otros elementos del mecanismo.

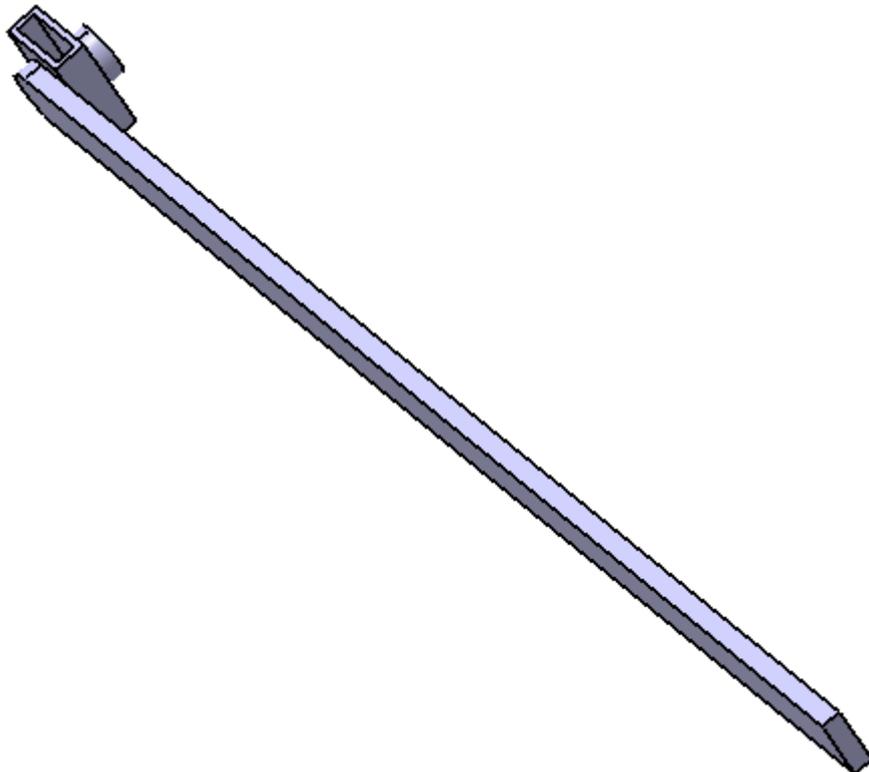


Figura 3.56: Barra-Corredera 4 del Mecanismo 1057

➤ Corredera 5 y 6

Ambas correderas son idénticas en geometría (semejantes al resto de correderas) a excepción de que sobre la corredera 5 se ha modelado el eje del par de rotación entre ambas correderas. Mientras, que en la corredera 6, se ha modelado el alojamiento complementario. La longitud del eje de la corredera 5 está impuesta por la correlación de planos entre la barra 1 y la barra 4, que son las que alojan las correderas 5 y 6 respectivamente.

Además la corredera 6, sobre la cara contraria al alojamiento, se ha extruido un eje cilíndrico, el cual formará el par de rotación con la barra 7.

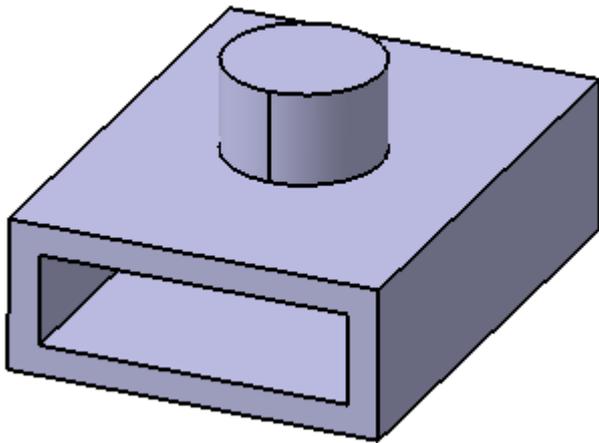


Figura 3.57: Corredera 5 del Mecanismo 1057

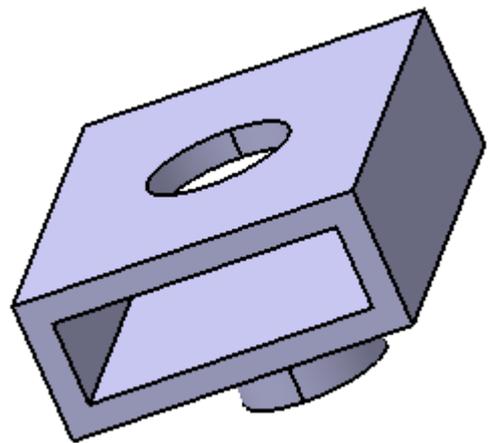


Figura 3.58: Corredera 6 del Mecanismo 1057

➤ Barra 7

Finalmente, la geometría de esta pieza es la que se observa en la Figura 3.49. Su longitud se ha extendido, de modo que la barra permanezca siempre alojada en su guía respectiva de la corredera cruciforme. Su ancho y espesor son de dimensiones comunes a las barras del sistema.

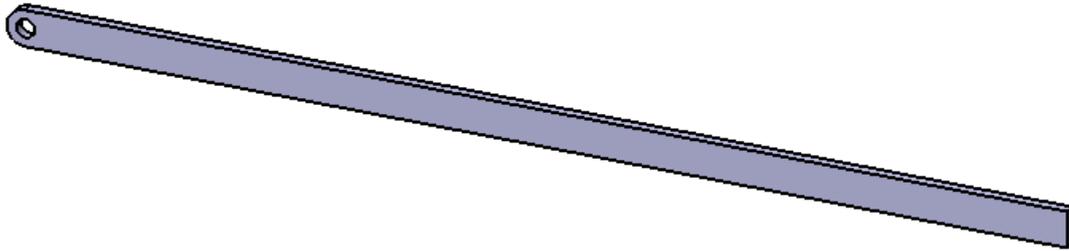


Figura 3.59: Barra 7 del Mecanismo 1057

3.5.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Una vez modeladas todas las piezas, se procede al ensamblaje de las mismas, siguiendo las relaciones determinadas por los pares prismáticos y de rotación, así como la correlación de planos en los que se sitúa el mecanismo.



Figura 3.60: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1057

Para la disposición de los ejes base, es decir, punto de partida del mecanismo, se ha utilizado una estructura cuya geometría está determinada por el ángulo φ y la relación GO del documento fuente, así como la semidistancia focal de la elipse.

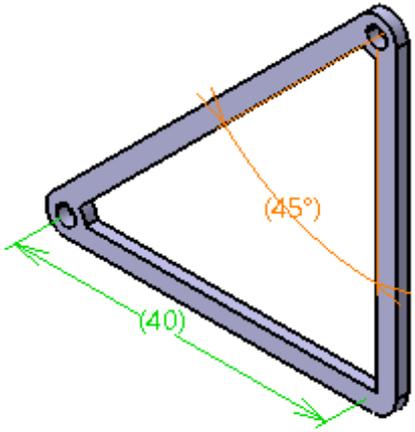


Figura 3.61: Base del Mecanismo 1057

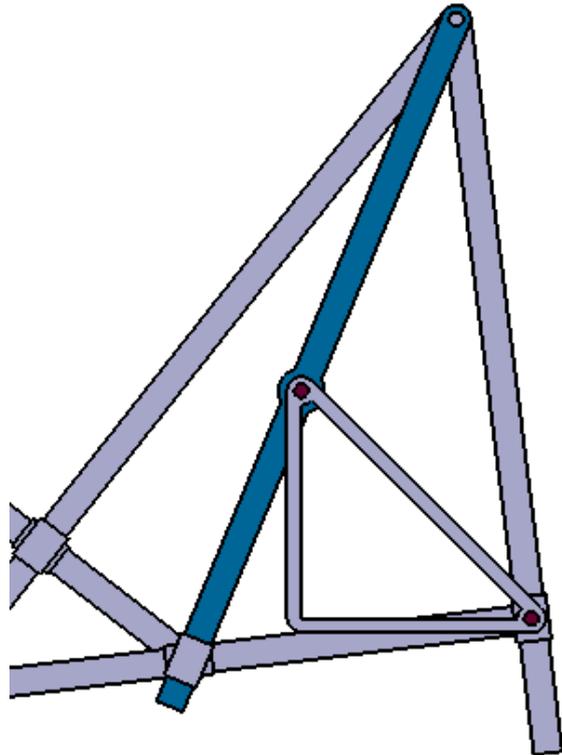


Figura 3.62: Parte del mecanismo 1057 y base

Tras disponer cada elemento a partir de la base, haciendo uso de las diversas relaciones existentes, el mecanismo ensamblado resulta:

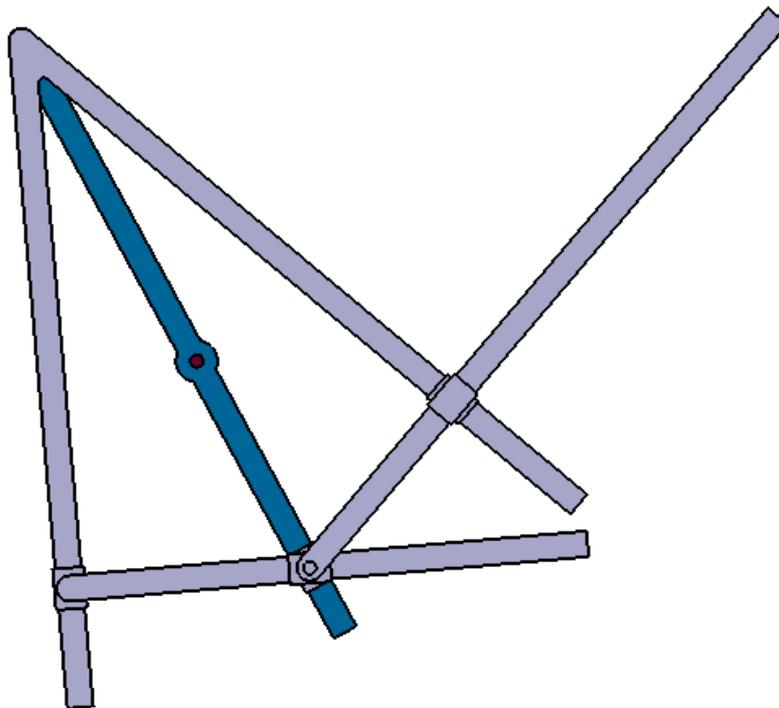


Figura 3.63: Alzado del Mecanismo 1057



Figura 3.64: Perfil del Mecanismo 1057

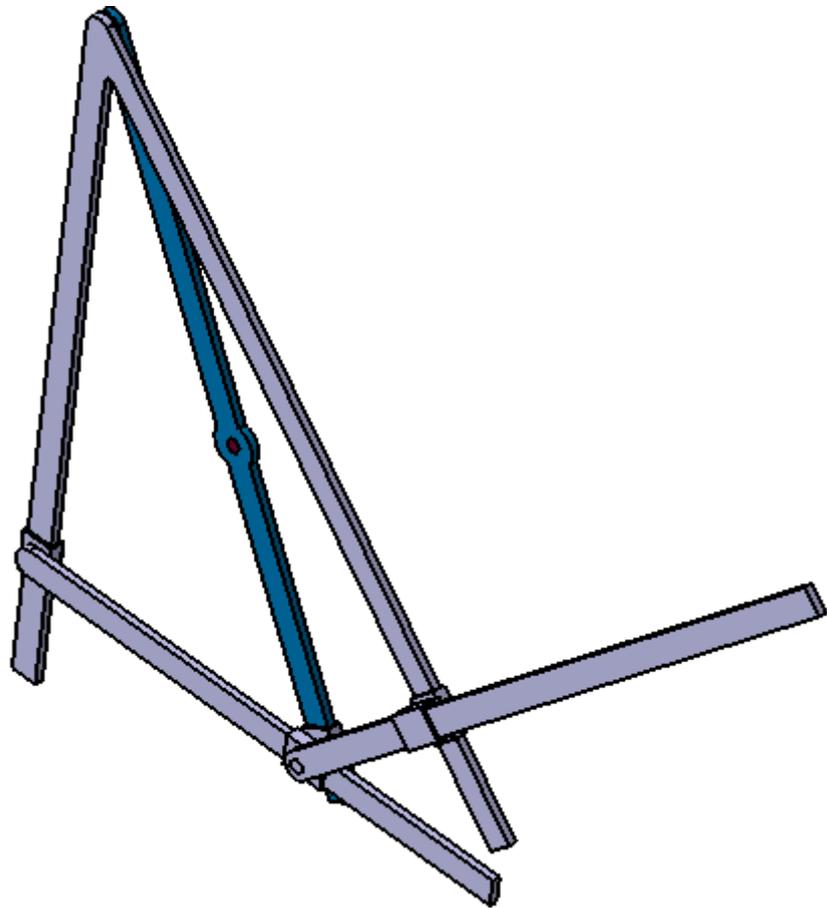


Figura 3.65: Mecanismo 1057

A pesar de que la Figura que muestra el alzado del mecanismo resulta bastante similar a la imagen del documento fuente y, de que en el perfil se observa la distribución de los elementos en diferentes planos, tras la comprobación del funcionamiento del mismo, se puede visualizar como en diversos instantes de la trayectoria que realiza el mecanismo, los elementos colisionan.

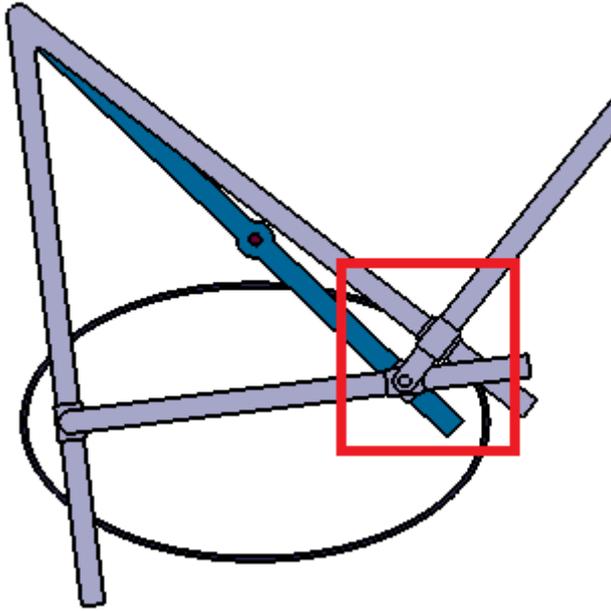


Figura 3.66: Parte del Mecanismo 1057 Configuración 1

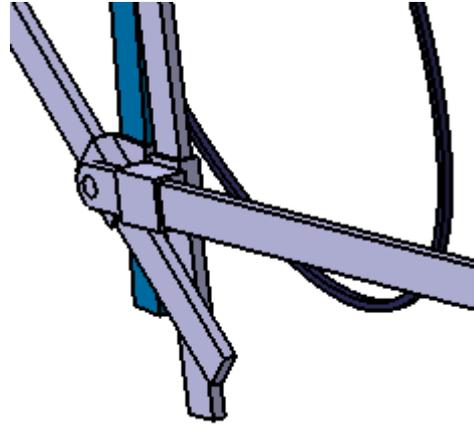


Figura 3.67: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 1 (colisión)

Debido al problema anterior, se estudió la posibilidad de variar la distribución de los planos en los que se sitúan los elementos, cambiando su orden, se han probado diversas combinaciones, sin embargo, ninguna de ellas resuelve el problema de colisiones.

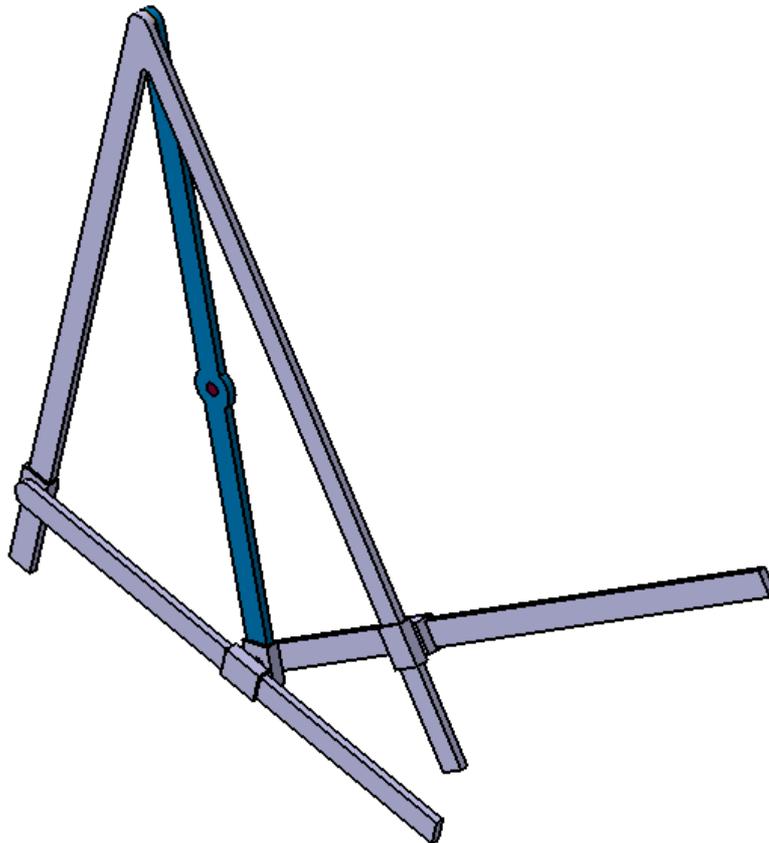


Figura 3.68: Mecanismo 1057 Configuración 2

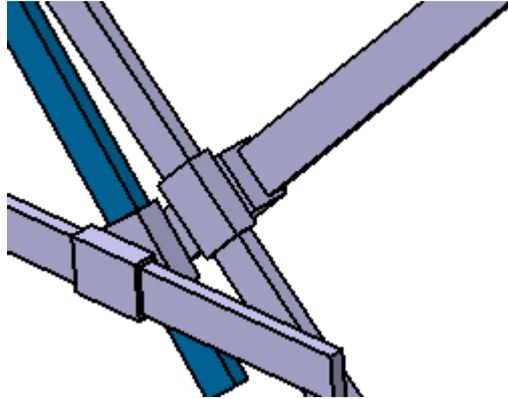


Figura 3.69: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 2 (colisión)

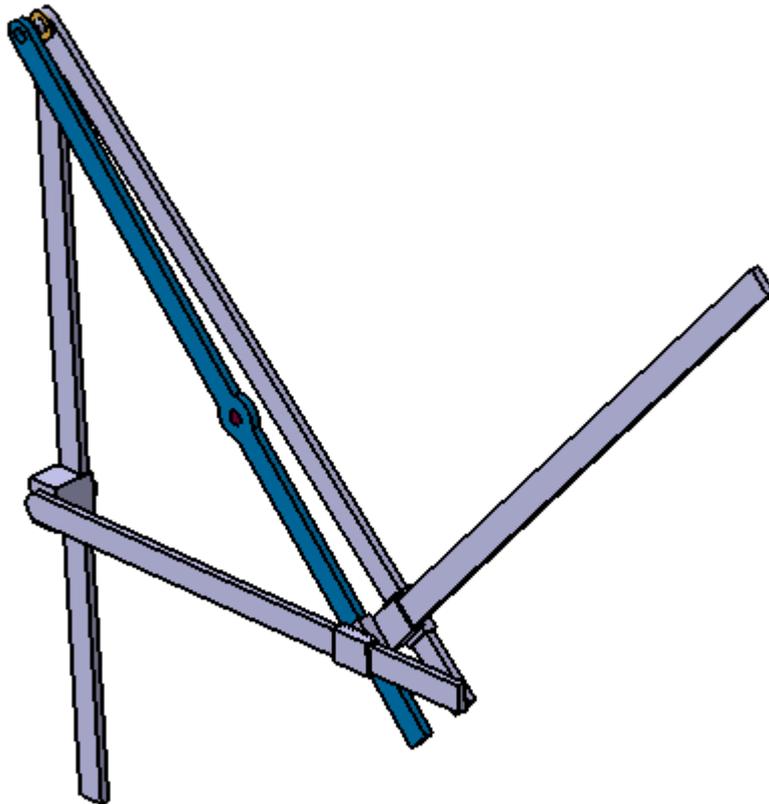


Figura 3.70: Mecanismo 1057 Configuración 3

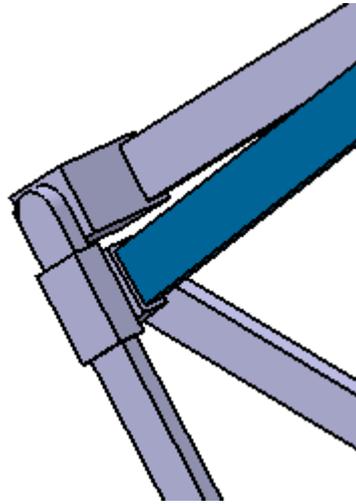


Figura 3.71: Detalle del Mecanismo 1057 Configuración 3 (colisión)

Además, se puede observar como el movimiento de la corredera 5 no se limita al tramo G_n de la barra 1 (Figura 3.49), tal y como se indica en la descripción del documento fuente.

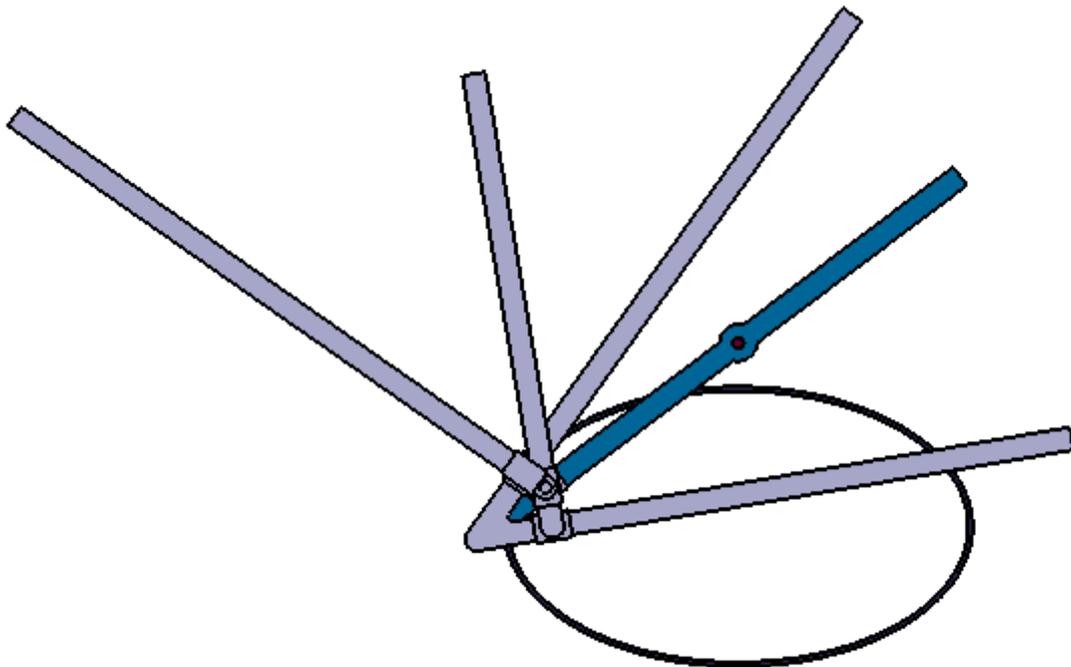


Figura 3.72: Alzado Mecanismo 1057 Configuración 1 (sobrepaso del tramo G_n)

3.5.4. Resultado final

Por tanto, teniendo en cuenta el estudio hecho del mecanismo, y a pesar de que la siguiente imagen puede confundir la realidad del funcionamiento, se concluye que la construcción del Mecanismo de Palancas y Colisa de Artobolevski para trazar y contorneare Elipses no es útil, debido a que las colisiones entre los elementos que lo componen durante su trayectoria no permiten al sistema realizar la función para la que ha sido diseñado.

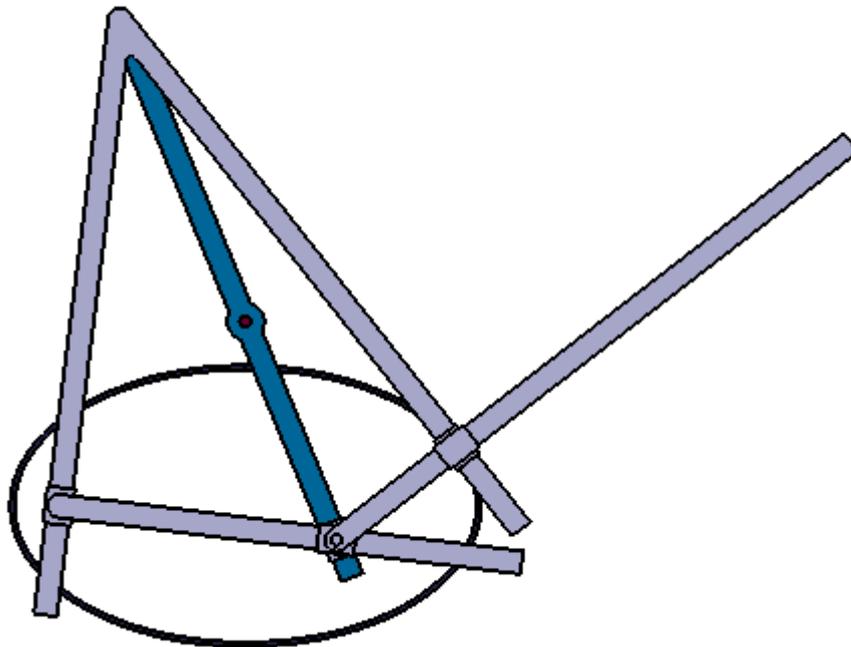


Figura 3.73: Mecanismo 1057 y la elipse que describe

Debido a las colisiones durante su funcionamiento, no se ha desarrollado una animación virtual de este mecanismo, ya que carecería de sentido llevarla a cabo debido a la imposibilidad de su movimiento completo físicamente.

3.6. Mecanismo 1059

3.6.1. Documento

ELIPSÓGRAFO DE COLISA DE LEONARDO DE VINCI

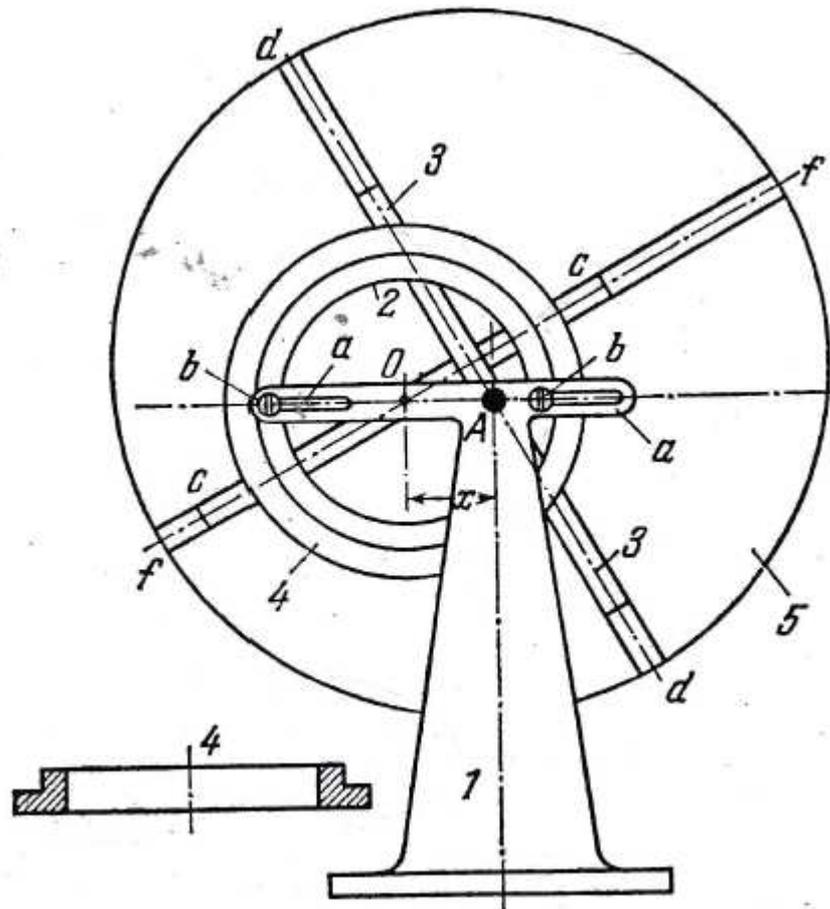


Figura 3.74: Esquema del Mecanismo 1059 [4]

Al soporte 1, que tiene las ranuras a, está fijado por medio de los tornillos b, el anillo 2, el cual puede ser situado en cualquier lugar de las ranuras a. El lugar del anillo 2 se determina por la coordenada x igual a AO , donde O es el centro del anillo 2. Alrededor del eje fijo A gira la corredera 3 dispuesta en la ranura $d-d$ del plato 5. La corredera 4, fabricada en forma de un anillo que abraza el anillo fijo 2, posee los salientes c situados en la ranura $f-f$ del plato 5. Los ejes de las ranuras $d-d$ y $f-f$ son mutuamente perpendiculares. Cuando la corredera 3 gira, el lápiz fijado en el soporte 1 traza una elipse sobre el plato 5 que gira alrededor del eje A y se desliza a lo largo de los ejes de las ranuras $d-d$ y $f-f$. Los parámetros de dicha elipse dependen del valor x ajustado previamente [4].

3.6.2. Análisis del mecanismo

Al objeto de visualizar la cinemática del mecanismo, es conveniente calcular los grados de libertad del mismo, ya que esta información es muy relevante para ello. En primer lugar, se contabilizan el número de elementos que conforman el conjunto. En este caso, son 5, sin embargo tal y como se reseña en la descripción del documento fuente, tanto el soporte 1 como el anillo son elementos fijos.

Por ello, se puede partir de 9 supuestos grados de libertad, debido a que quedarían otros 3 elementos libres en su movimiento en el plano. No obstante, a esta cantidad se le deben sustraer las restricciones de movimiento causadas por los pares entre los tres componentes. De hecho, existen por un lado, pares prismáticos entre la corredera 4 y la corredera 2, los salientes de la corredera 4 y la guía f-f del plato 5 y, la barra 3 y la guía d-d del plato 5. Y por otro lado, tan solo un par de rotación entre la barra 3 y el soporte 1. En definitiva, el mecanismo tiene un solo grado de libertad, que se ha asignado a la rotación de la barra 3 en el punto A (Figura 3.74) sobre el soporte 1.

3.6.3. Modelado

3.6.3.1. Diseño

Con una primera idea de cómo se mueve el mecanismo, habría que dimensionarlo, para poder verificar su funcionamiento. Puesto que el texto del documento fuente no es muy explicativo con respecto a estas relaciones y, vista la geometría del sistema, en concreto los puntos O y A (Figura 3.74), en un primer momento, se identificaron estos puntos con el centro de la elipse y un foco respectivamente, es decir, que la distancia x sería la semidistancia focal.

Partiendo de esta idea, se preestableció una elipse cuyos parámetros característicos fueran un semieje mayor de 50, un semieje menor de 30 y por tanto, una semidistancia focal de 40.

Seguidamente se especifican los diferentes elementos que componen el mecanismo:

➤ Soporte 1

Como su nombre indica, este elemento tan solo sirve como soporte del conjunto, en la Figura 3.74, aparecen unas ranuras (a) para regular el anillo 2, sin embargo éste se ha modelado para una sola posición del anillo.

Para fijar el anillo en la posición correcta, se han extruido unos salientes cilíndricos mientras que para acoger el eje del par de rotación A con la barra 3, se ha diseñado un agujero. Por lo demás, la geometría del soporte es similar a la del documento fuente.

En primera instancia, se pensó que la distancia entre los salientes que soportarían el anillo 2 debía ser el eje mayor, no obstante, después se comentará que no tiene por qué coincidir con este parámetro.

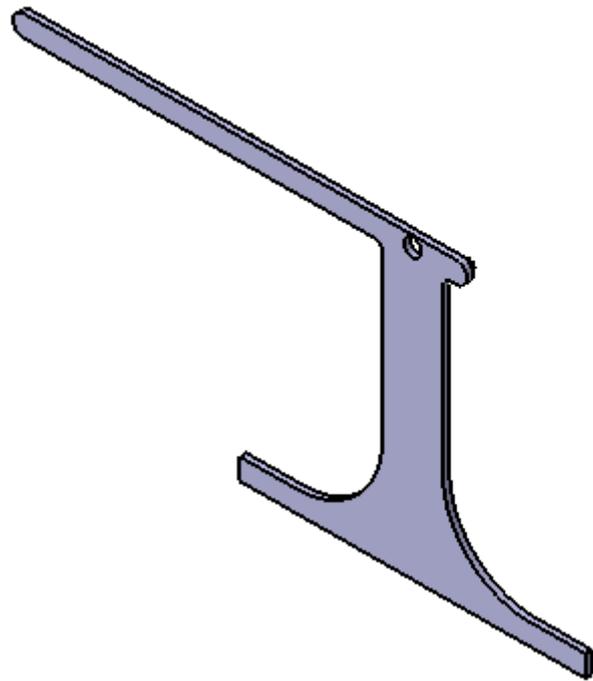


Figura 3.75: Soporte 1 del Mecanismo 1059

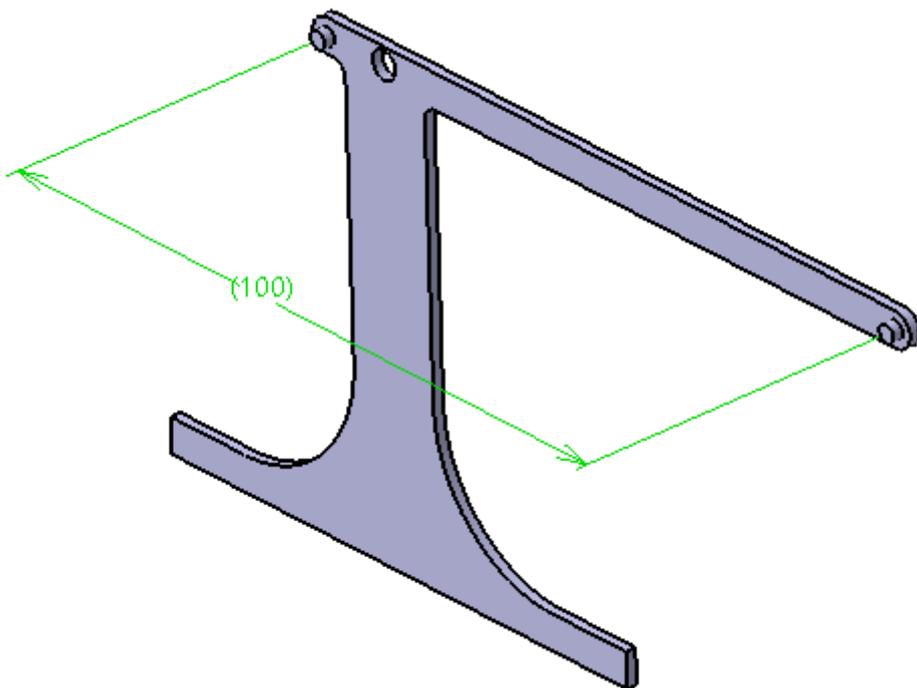


Figura 3.76: Soporte 1 del Mecanismo 1059 (Vista posterior)

➤ Anillo 2

Del mismo modo, partiendo del hecho de que x es la semidistancia focal, se extrapola que el diámetro del anillo, será el semieje mayor de la elipse. Esta suposición se realiza observando la disposición de los tornillos b en la Figura 3.74.

Respecto al modelado, es una geometría sencilla, a la cual se le ha dado un espesor aleatorio pero coherente, y en la cual se han abierto dos agujeros para alojar los salientes cilíndricos del soporte 1, que fijarán el anillo 2.

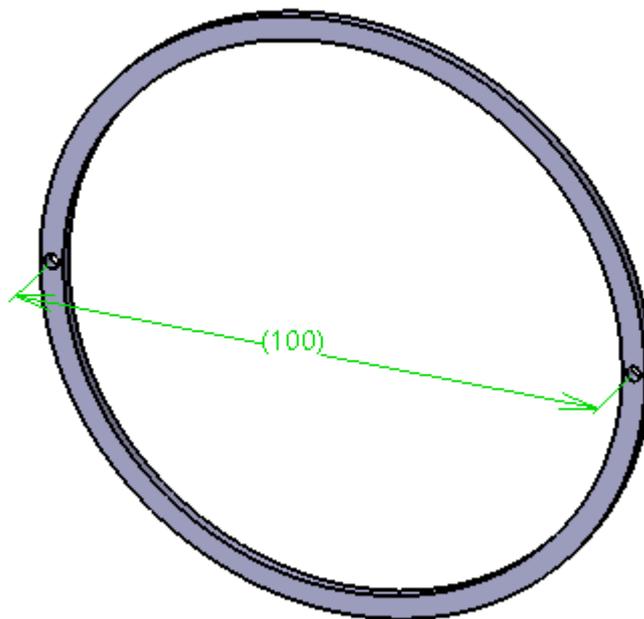


Figura 3.77: Anillo 2 del Mecanismo 1059

➤ Corredera Corona 4

Tal y como se observa en la Figura 3.74, la corredera 4 abraza el anillo 2 y además, tiene unos salientes c-c que serán la corredera de la guía f-f del plato 5. De modo, que se ha extruido una corona circular con idéntico espesor al anillo 2, al objeto de que éste se encuentre perfectamente encajado en la corredera 4. Además, se ha modelado siguiendo el perfil que se especifica en el documento fuente de este elemento.



Figura 3.78: Corredera Corona 4 del Mecanismo 1059

En la siguiente imagen, se observan como los salientes son más extensos que la corona, con el fin de que se alojen en la guía del plato 5, que se encontrará en un plano consecutivo a la corona.



Figura 3.79: Planta de la Corredera Corona 4 del Mecanismo 1059

➤ Corredera 3

Esta pieza, está conformada por dos partes, un perfil rectangular que irá alojado en la guía d-d del plato 5, sobre la que se ha extruido un perfil cilíndrico, eje del par de rotación A con el soporte 1. En esta parte, se distinguen dos espesores, la de menor diámetro correspondiente a dicho par y la de mayor, cuya función es separar las piezas, ya que no se encuentran en los mismos planos.

La longitud de la barra no está preestablecida, se le ha dado una dimensión extensa, ya que a ella se le asigna el grado de libertad y facilitará el movimiento.

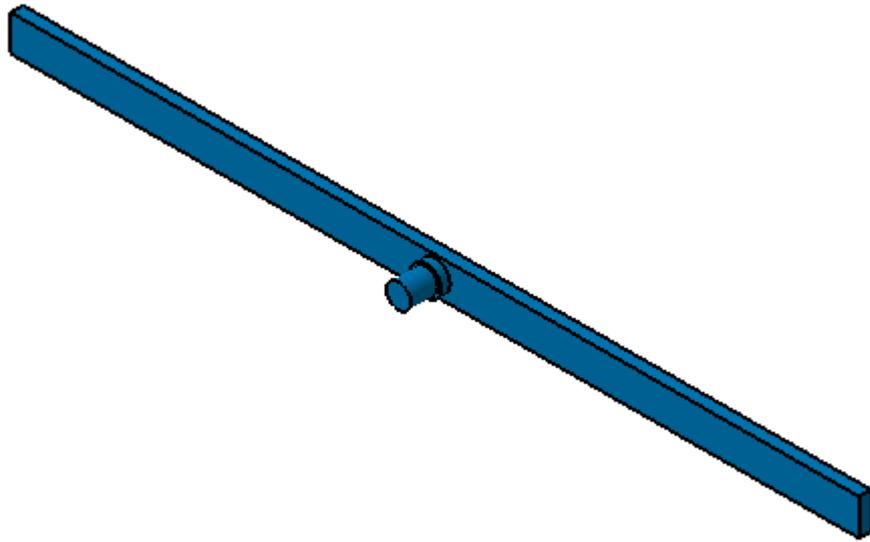


Figura 3.80: Corredera 3 del Mecanismo 1059

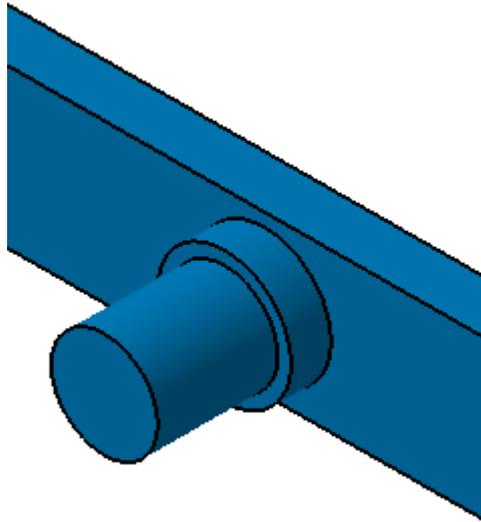


Figura 3.81: Detalle de la Corredera 3 del Mecanismo 1059

➤ Plato 5

Finalmente, este componente, se ha diseñado como una estructura sencilla, compuesta por un anillo exterior, que será entrecruzado por las guías d-d y f-f, cuyos ejes son perpendiculares. Cabe destacar que mientras la guía d-d es continua, la f-f está partida, de modo que está dispuesta a ambos lados de d-d. Ambas guías se encuentran definidas en los mismos planos y su ancho es el correspondiente para alojar respectivamente a la corredera 3 en el caso de la guía d-d y, a los salientes c-c de la corredera 4 en la guía f-f, es decir, la d-d tiene un ancho mayor a la f-f.

Respecto a su tamaño, se ha escogido un diámetro grande, en correspondencia a lo que se observa en la Figura 3.74.

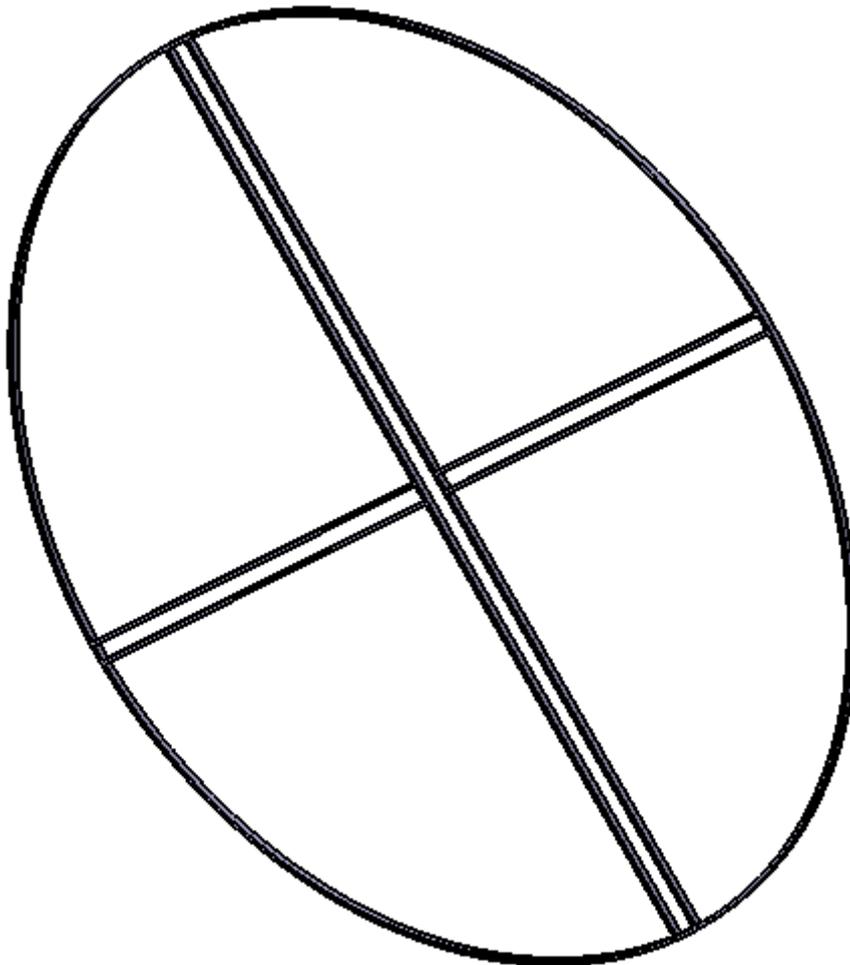


Figura 3.82: Plato 5 del Mecanismo 1059

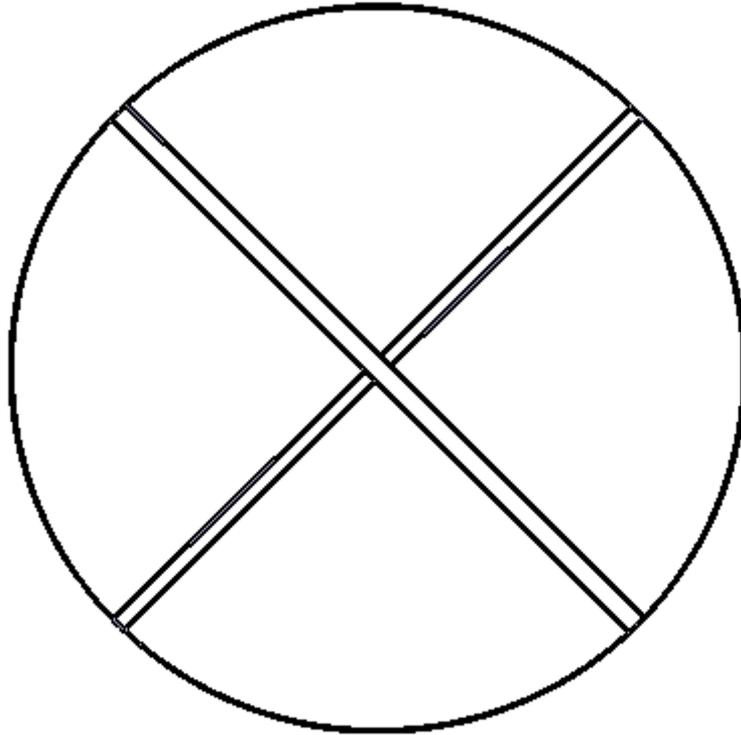


Figura 3.83: Alzado del Plato 5 del Mecanismo 1059

3.6.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Tras el modelado de todas las piezas, se procede a su ensamblaje, siguiendo las relaciones definidas por los pares de rotación y prismáticos, así como una relación lógica de planos en los que se sitúan de manera que no choquen durante su funcionamiento.

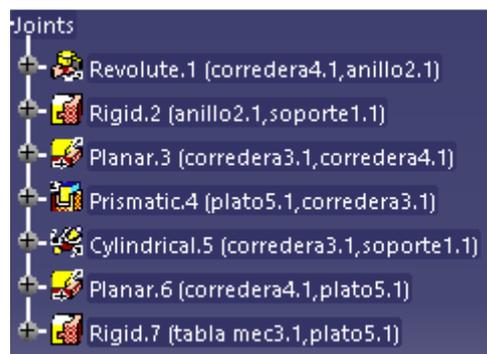


Figura 3.84: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1059

Tras ello, el mecanismo resultaría como en la siguiente figura, la cual es muy similar a la Figura 3.74.

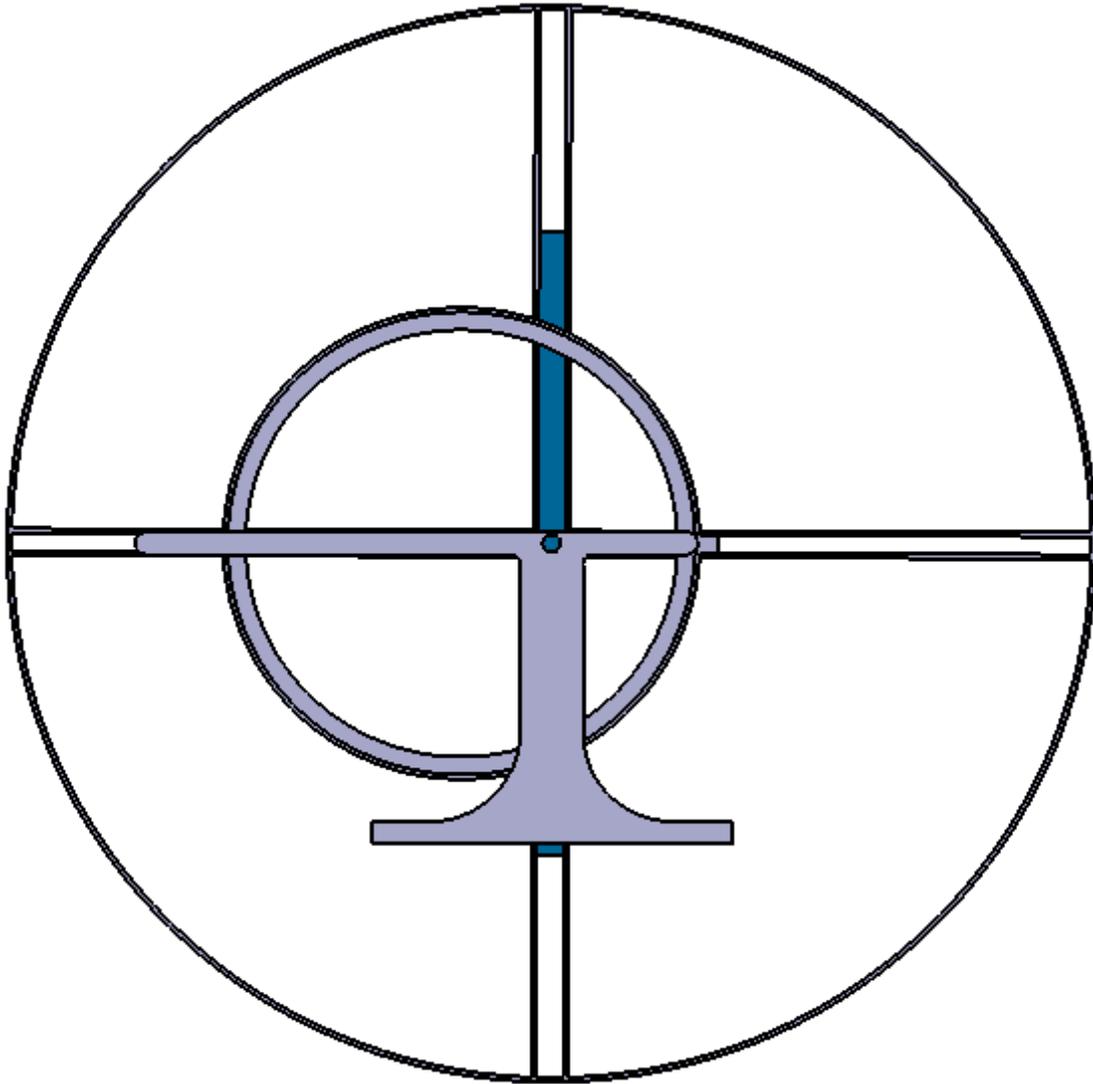


Figura 3.85: Alzado del Mecanismo 1059

Sin embargo, tras varios intentos de funcionamiento, partiendo de la definición de elipse caracterizada por la semidistancia focal, no era posible lograr la descripción de la figura geométrica previamente definida, supuestamente dependiente de la distancia x como semidistancia focal.

Siendo erróneo este procedimiento seguido, se atisbó tras observar parte de su cinemática que su funcionamiento se basa en el elipsógrafo de Arquímedes.

De manera que para comprender el Elipsógrafo de Leonardo, es conveniente analizar el de Arquímedes. Este dispositivo mecánico no tiene una forma concreta, simplemente, tiene que cumplir una geometría básica que restrinja el movimiento requerido. Por ello, basta con disponer dos ranuras rectas y perpendiculares. En estas ranuras, se deslizan dos piezas que están unidas mediante una varilla de una longitud fija, que puede girar conforme se mueven las dos piezas como pares prismáticos sobre las ranuras. Una propuesta del mecanismo podría ser el siguiente, el cual es un dibujo clásico del Elipsógrafo que se puede ver en el libro 'Mathematical Models' de Cundy y Rollet.

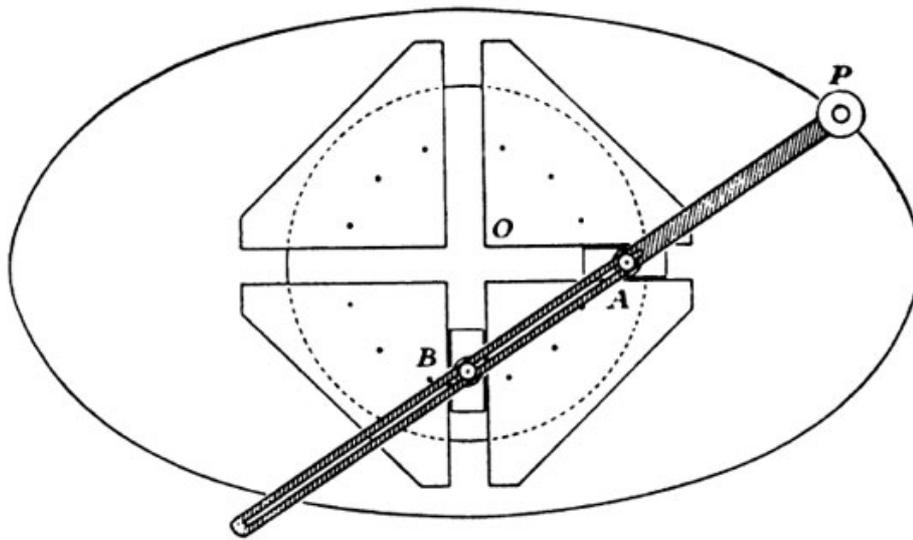


Figura 3.86: Elipsógrafo de Arquímedes [5]

Debido a que las deslizaderas conforman dos pares prismáticos con las guías y éstas a su vez están unidas a la varilla mediante pares de rotación, tanto el extremo P de la varilla, como cualquier otro punto de la varilla, describen una elipse durante del movimiento de las mismas.

No obstante, se va a comprobar matemáticamente mediante relaciones trigonométricas, la relación que tiene dicha varilla con respecto a la elipse.

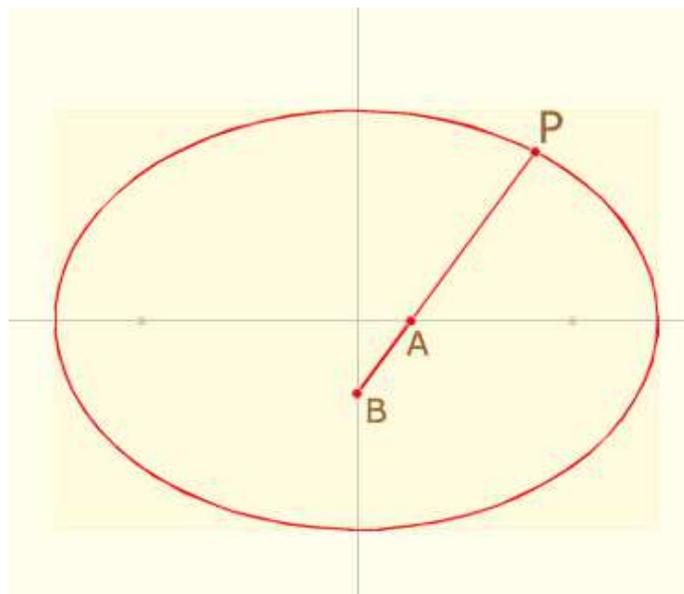


Figura 3.87: Esquema del Elipsógrafo de Arquímedes [5]

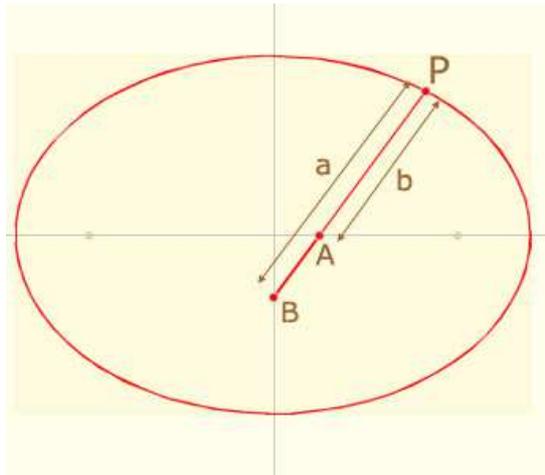


Figura 3.88: Relación de la elipse y el Elipsógrafo de Arquímedes [5]

De las figuras anteriores, se pueden determinar las coordenadas del punto P, las cuales son:

$$(a \cos \vartheta, b \sin \vartheta)$$

De modo que la trayectoria del punto P describe la elipse, cuyos parámetros característicos son el semieje mayor a y el semieje menor b , que se corresponden con las longitudes de la varilla. Cambiando los valores de a y b , se realiza cualquier elipse.

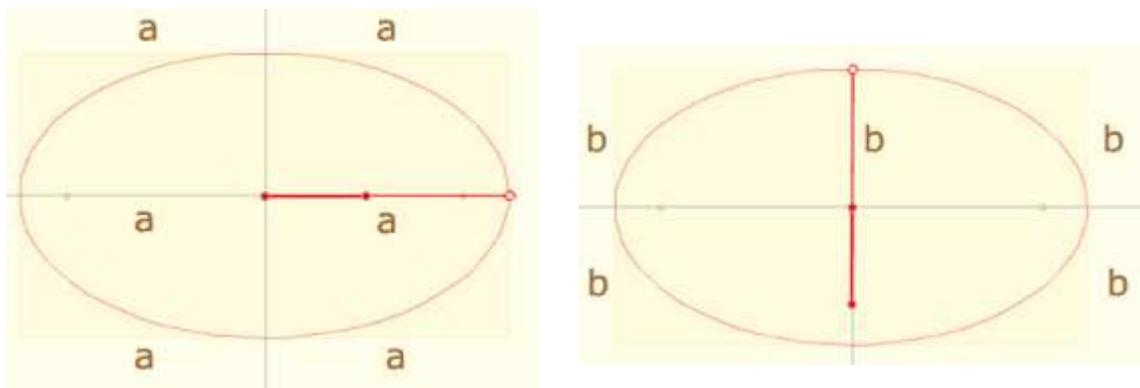


Figura 3.89: Posiciones extremas del Elipsógrafo de Arquímedes [5]

Una vez comprendido este dispositivo y, observando la cinemática del Mecanismo 1059, la cual es similar, aunque no idéntica, debido a que las deslizaderas siempre permanecen en sus guías, y además, lo que permite la descripción de la elipse es la rotación y traslación del plato 5, se puede establecer cierta relación entre el Elipsógrafo de Arquímedes y el de Leonardo De Vinci.

De hecho, la distancia x no se corresponde con la semidistancia focal como antes se ha explicitado, sino con la diferencia entre el semieje mayor y menor. De este modo, relacionándolo con la varilla de Arquímedes, la distancia entre el punto A y el centro del anillo 2, es decir el punto O, sería x , lo que significa que el radio del anillo 2 no tiene porqué ser a .

En definitiva, el modelado de las piezas anteriormente hecho es correcto, a diferencia del significado que se le ha otorgado a la distancia x , la cual ha sido corregida en el párrafo anterior. Podría variarse el diámetro del anillo 2, ya que su valor, como se ha comentado, no tiene influencia directa con respecto al tamaño de la elipse, sino la distancia que existe entre el punto A y el centro O del anillo. No obstante, como el elemento 2 tiene un tamaño aceptable, se va a mantener tal y como se ha modelado.

Finalmente, se comprueba como el mecanismo describe la elipse preestablecida. Cabe destacar, que el elemento sobre el que se describe la elipse, en este caso, una tabla rectangular, tiene que estar fijada al plato 5, es decir, seguirá su mismo movimiento. Por otro lado, se indica que el eje menor de la elipse, estará alineado con el eje de corredera 3 (o lo que es lo mismo con el eje de la guía d-d). También, para que se visualice mejor la descripción de la elipse, se ha resaltado un punto rojo sobre el soporte 1, que será el punto donde se encontrará el lápiz que describirá la elipse. La elipse preestablecida ha sido la definida por un semieje mayor igual a 50 y un semieje menor igual a 30, de manera que la distancia x es 20.

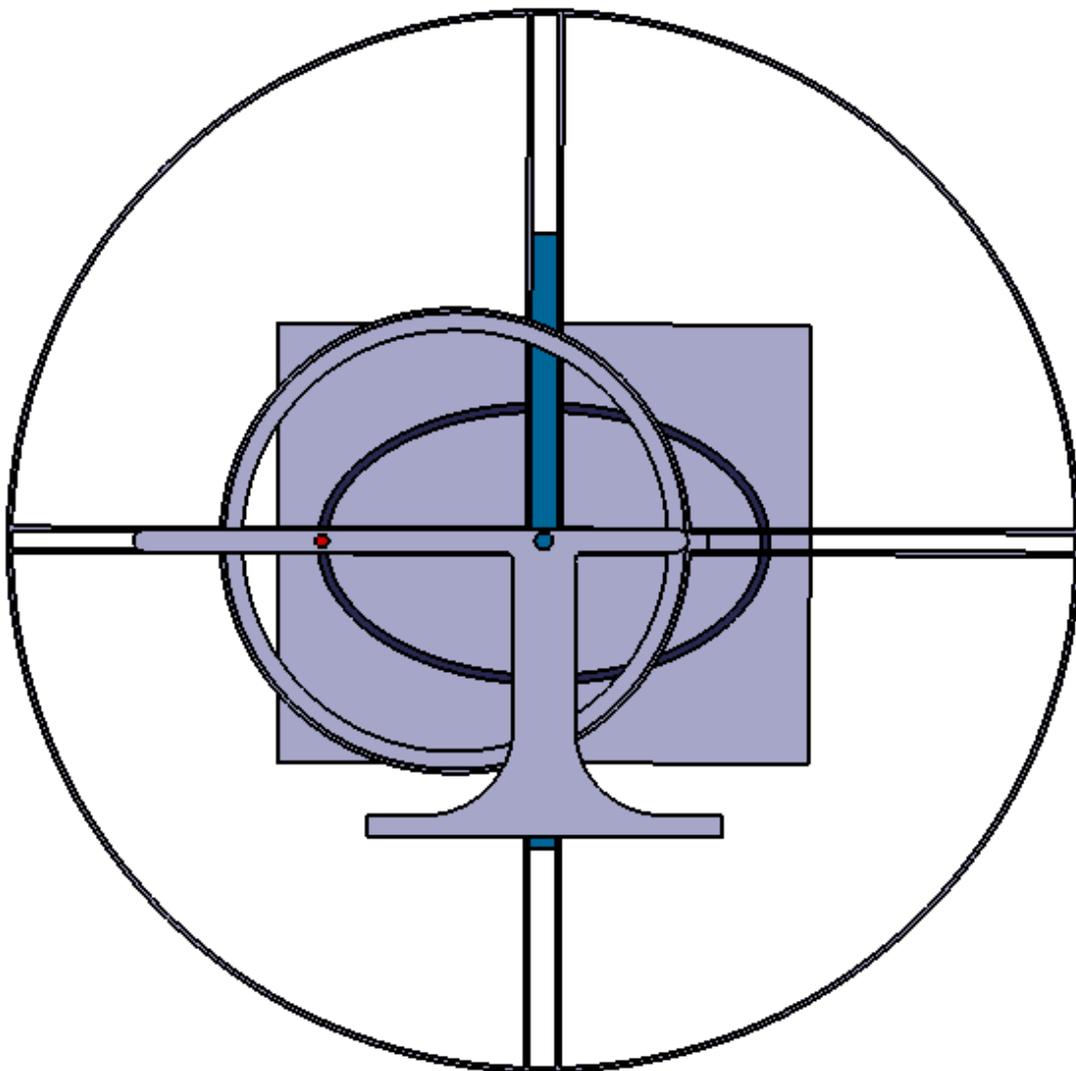


Figura 3.90: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 1

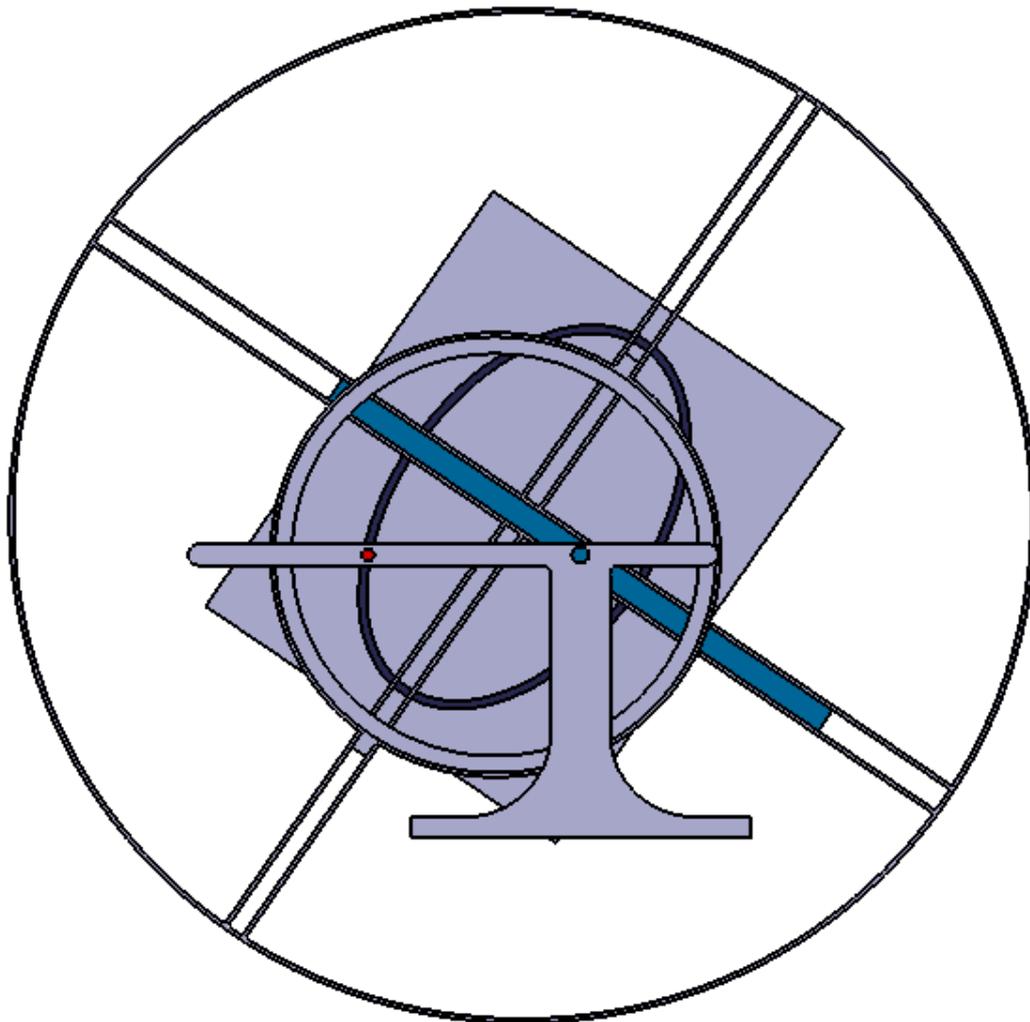


Figura 3.91: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 2

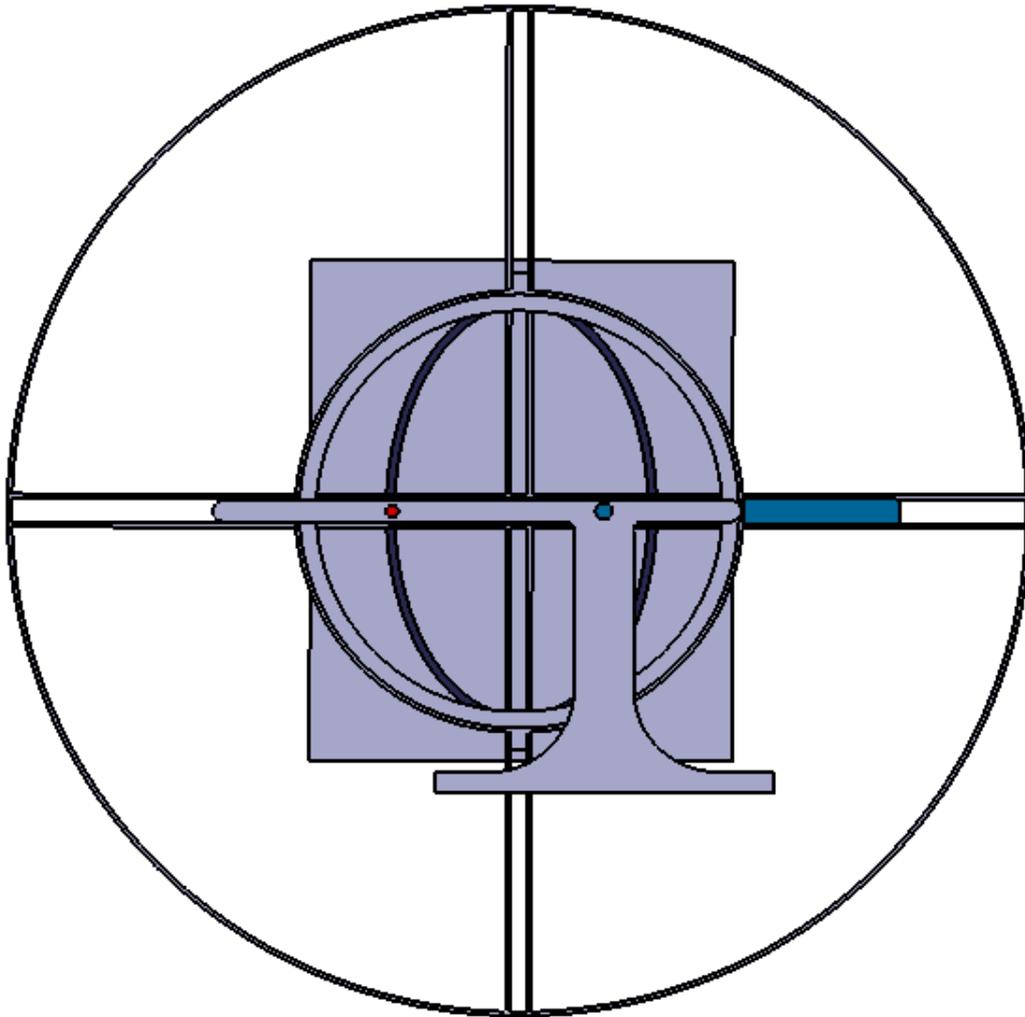


Figura 3.92: Alzado del Mecanismo 1059 y la elipse que describe en la posición 3

3.6.4. Resultado final

Se puede concluir, que el Elipsógrafo de Colisa de Leonardo De Vinci es realizable físicamente y, que funciona como se indica describiendo una elipse determinada.

Dada la versatilidad de este mecanismo, ya que con unos mismos elementos, variando la disposición de los mismos, es decir la distancia x , se trazan elipses de tamaños diversos, se ha extendido el diseño del soporte 1 de manera que se puedan abarcar la descripción de otras elipses. De manera que el soporte 1 sería:

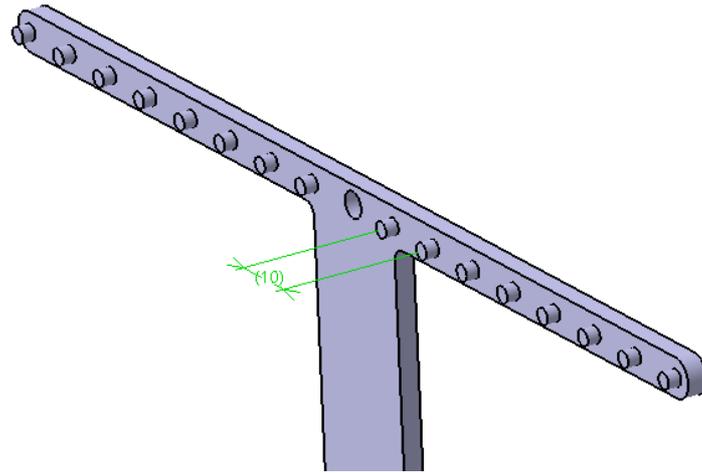


Figura 3.93: Detalle del Soporte 1 Ampliado del Mecanismo 1059

Se va a comprobar, para el caso de semieje mayor 80 y semieje menor 10, ya que se ha escogido una distancia x igual a 70 (50 del radio del anillo 2 más la distancia entre el anillo y el punto A) .

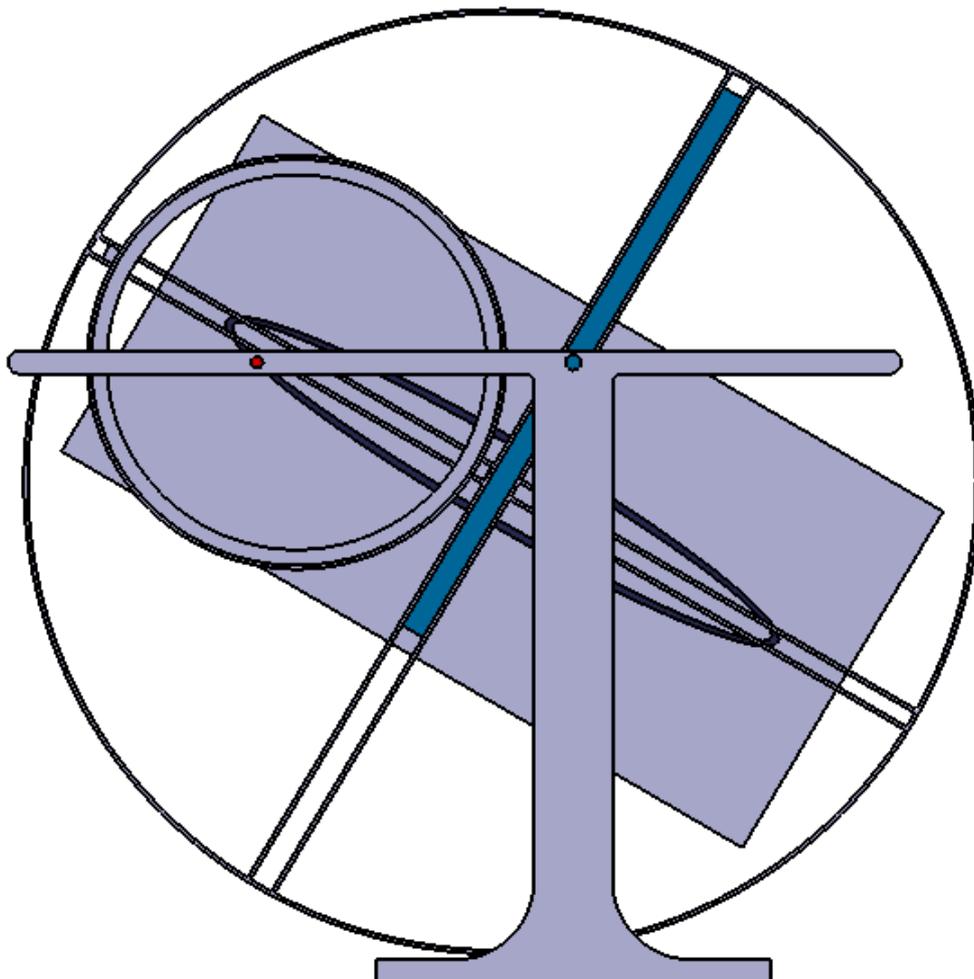


Figura 3.94: Alzado del Mecanismo 1059 para una elipse mayor

Además, a pesar de que las figuras mostradas en el apartado anterior sobre el funcionamiento del mecanismo son muy clarificadoras, no son reales, ya que el lápiz o la herramienta que vaya a describir la elipse aunque tiene que estar a la altura del punto A del soporte 1, no se encontrará sobre el soporte 1, sino en algún soporte externo, de modo que se ha modelado un prototipo de lo que podría ser el conjunto más cercano a la realidad, donde el trazador tiene la capacidad de ajustarse a la elipse que se quiere trazar. De hecho, con una misma distancia x , se pueden trazar elipses de diferentes tamaños variando tan solo la posición del trazador.

Por otro lado, para el caso extremo de elipses, es decir, circunferencias, es aplicable el mecanismo. De hecho, se puede realizar con los mismos elementos, solo habría que modificar la distancia x , la cual tendrá que ser nula (el centro del anillo y el punto A de la Figura 3.74 coinciden), puesto que los dos semiejes son iguales. También, se obtendrían circunferencias de diversos tamaños variando la posición del punto trazador del soporte 1.

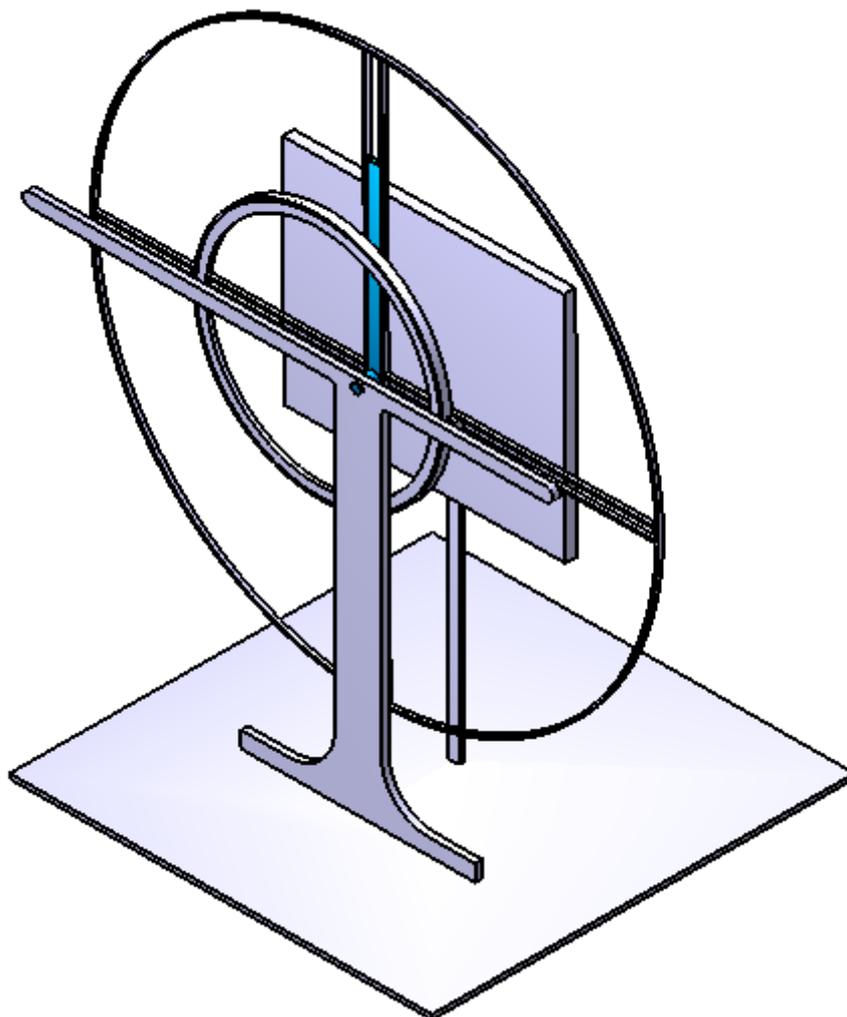


Figura 3.95: Vista del Conjunto basado en el Mecanismo 1059

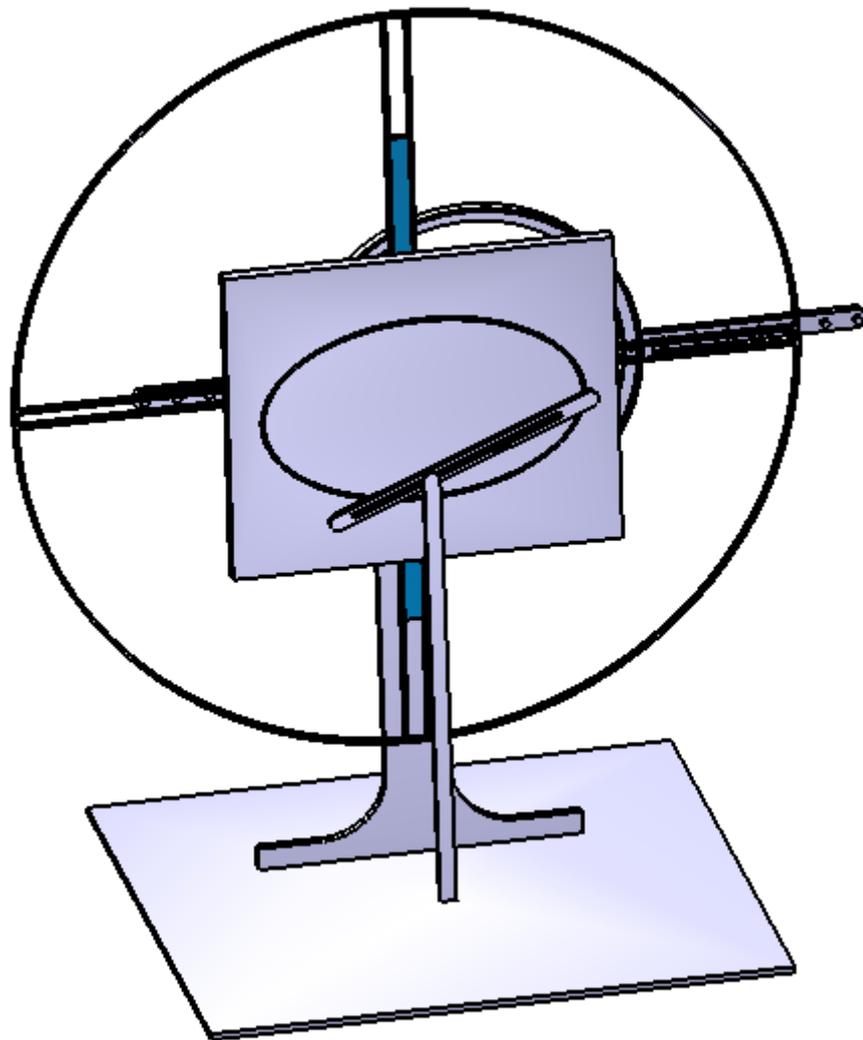


Figura 3.96: Vista Posterior del Conjunto basado en el Mecanismo 1059

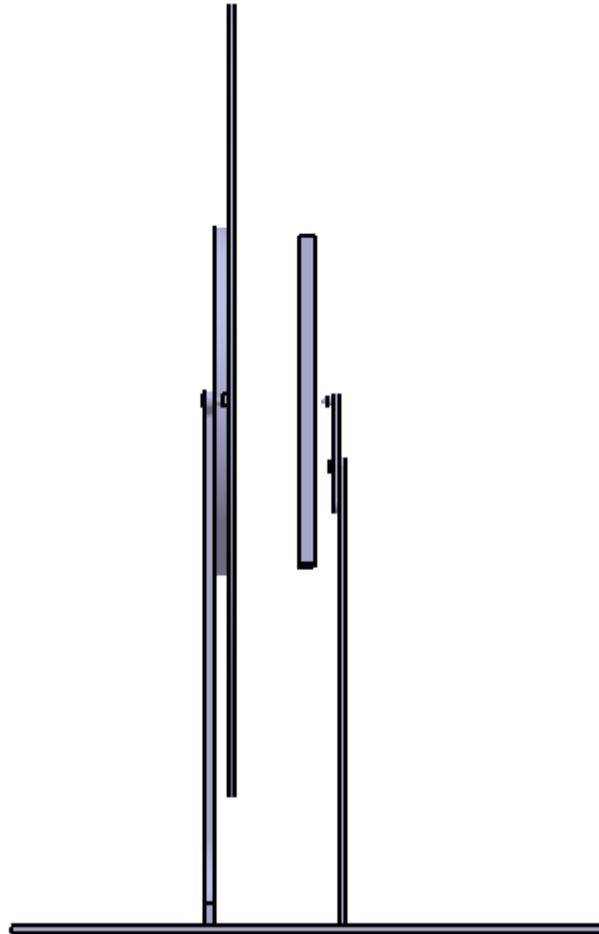


Figura 3.97: Perfil del Conjunto basado en el Mecanismo 1059

Finalmente, siendo propicio su funcionamiento, se ha desarrollado una recreación virtual del mismo a través del módulo DMU Kinematics, el cual ha sido recogido en un vídeo que no ha sido posible adjuntar al documento.

3.7. Mecanismo 1117

3.7.1. Documento

CONICÓGRAFO DE PALANCAS Y COLISA DE KAMISNKI

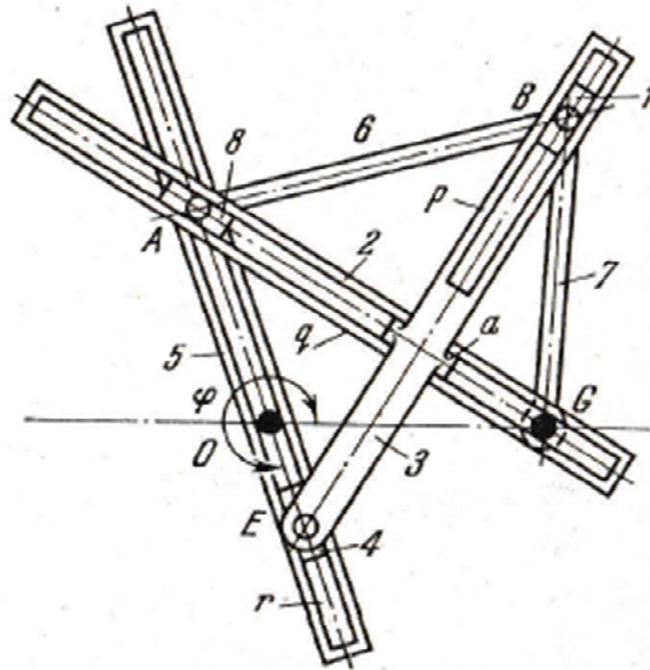


Figura 3.98: Esquema del Mecanismo 1117 [4]

El mecanismo se basa en el sistema de cuatro elementos articulados OABG. La corredera 1, que forma los pares de rotación B con los elementos 6 y 7, se desliza en la ranura p del elemento 3. Con el elemento 3 está rígidamente unida a la corredera a, cuyo eje de deslizamiento es perpendicular al eje de la ranura p. La corredera a del elemento 3 se desliza a lo largo de la ranura q del elemento 2 que gira alrededor del eje fijo G. El elemento 2 forma un par de traslación con la corredera 8, la cual forma el par de rotación A con el elemento 5 que gira alrededor del eje fijo O. El elemento 3 forma el par de rotación E con la corredera 4 que se desliza en la ranura r del elemento 5. El punto E del mecanismo describe una sección cónica, cuya ecuación es

$$\varrho = \frac{p}{1 + e \cos\varphi}$$

donde

$$\varrho = OE$$

$$p = \frac{(OG)^2 + (AB)^2 - (OA)^2 - (GB)^2}{2OA}$$

y

$$e = \frac{OG}{OA}$$

El punto E describe una elipse, si $e < 1$; una parábola, si $e = 1$; una hipérbola, si $e > 1$. El eje de la guía p del elemento 3 es siempre tangente a la sección cónica que se describe. La regulación se efectúa variando la longitud OA del elemento 5, cosa que se logra desplazando la articulación A a lo largo de la guía r y fijándola en la posición elegida [4].

3.7.2. Análisis del mecanismo

En primer lugar, para facilitar la comprensión de la cinemática del movimiento, se calculan los grados de libertad del sistema como en los casos anteriores. Este conjunto, está formado por 8 elementos descontando la barra fija, por ello, se parten de 24 grados de libertad en el plano. Aplicando las restricciones de movimiento causadas por los pares de rotación de la barra fija con la barra 5, la barra 7 y 2, además de los existentes entre partes móviles como la barra 5 y 6, la barra 5 y la corredera 8, la barra 7 y 6, la barra 7 y la corredera 1 y, la barra 3 y la corredera 4. Así como, las limitaciones consecuencia de los pares prismáticos entre la barra 2 y la corredera 8, la corredera 1 y la barra 3, la barra 3 y la barra 2 y, la barra 5 y la corredera 4. Se puede concluir que el mecanismo pierde en su totalidad todos los grados de libertad, convirtiéndose en un conjunto rígido, es decir, con ausencia de movimiento.

Dado que en el mecanismo fuente, se hace explícito la necesidad de que el mecanismo tenga un grado de libertad, otorgado a la rotación del elemento 5 y, teniendo en cuenta, que el cuatro barras base del mecanismo en el texto del documento fuente resulta escaso en definición, se ha decidido añadir un elemento más al conjunto.

Ese elemento, será denominado barra 5, mientras que el elemento 5 como tal reflejado en la Figura 3.98, será la guía 5. Este nuevo elemento tendrá la misma longitud que el anterior pero solo la correspondiente a la distancia OA (Figura 3.98). Esta adición, repercutirá en el mecanismo original en los pares que forma con el resto del conjunto, ya que el par de rotación del sistema original entre la barra 6, el elemento 5 y la corredera 8 en el punto A (Figura 3.98) se verá fragmentado de la siguiente manera: la nueva barra 5 formará el par de rotación con la barra 6, mientras el par de rotación de la corredera 8 será con la guía 5.

De este modo, el mecanismo resultante con 9 elementos, descontando la barra fija, tendrá un grado de libertad asignado a la guía 5.

3.7.3. Modelado

3.7.3.1. Diseño

El diseño de este mecanismo en particular ha tenido mayor complejidad, dado que además de la escasez de relaciones geométricas de los diversos elementos, es necesario poner en práctica otra definición de la elipse, diferente a la usada hasta ahora.

Esta definición, como se refleja en el texto del documento fuente, requiere también la explicación de un parámetro característico de esta familia de cónicas, la excentricidad (e). Este parámetro determina la forma de la elipse, y se define como el cociente entre la semidistancia focal (c) y el semieje mayor (a). De hecho, dependiendo del valor de este parámetro se pueden distinguir diversas secciones cónicas, tal y como se expresa en el texto.

- Si $e = 0$ la cónica es una circunferencia
- Si $0 < e < 1$ la cónica es una elipse
- Si $e = 1$ la cónica es una parábola
- Si $e > 1$ la cónica es una hipérbola

Realizada la distinción entorno a la excentricidad, existe una definición en polares de una sección cónica que utiliza este parámetro y que es similar a las identidades del texto fuente, la cual es la siguiente:

Con el origen en el foco 2

$$r(\vartheta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \vartheta}$$

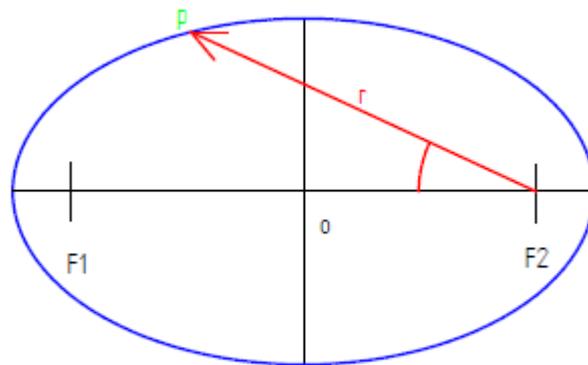


Figura 3.99: Definición de elipse en polares

Por lo tanto, vista la similitud entre esta definición y la relación ofrecida en el documento fuente, se ha decidido reconocer ambas como iguales. Y de ellas, se hará uso para dimensionar el mecanismo, identificando el punto O (Figura 3.98) como centro de la elipse, y el G como foco de la misma.

Se ha realizado el modelado de los siguientes elementos que conforman el mecanismo, con el fin de describir una elipse de semieje mayor 50, semieje menor 30 y por tanto, una semidistancia focal de 40.

➤ Eje base

Este elemento, a diferencia de los mecanismos anteriores, se ha modelado como una corona circular, ya que requiere ser a su vez eje y alojamiento de los pares de rotación G y O (Figura 3.98), en cualquier caso, será la pieza que de soporte al mecanismo y que por tanto tendrá movimiento de sólido rígido, es decir, la barra fija.

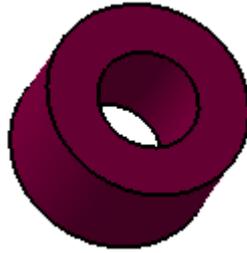


Figura 3.100: Eje base del Mecanismo 1117

➤ Correderas

Otro elemento recurrente de este sistema, es la corredera, concretamente las que son denominadas correderas 1, 4 y 8. Las cuales tienen una morfología común, compuestas por una sección rectangular que será la parte que conforme el par prismático con las guías p, r y q respectivamente, y sobre ellas, se ha extruido el eje cilíndrico de los diferentes pares de rotación (B, E y A).

La única diferencia entre ellas, es la longitud de dicho eje, ya que dependiendo de la corredera que sea, la pieza o piezas con las que forma dicho par de revolución se encuentra en planos consecutivos o no. De hecho, mientras que en la corredera 1 sí que son consecutivos, en la corredera 4 y 8 no, por lo que tienen un sobre espesor (parte en naranja de la siguiente figura) para compensar esta diferencia de planos, de diferente longitud en cada una de ellas, con el fin de servir de apoyo para el elemento con el que forma el par.

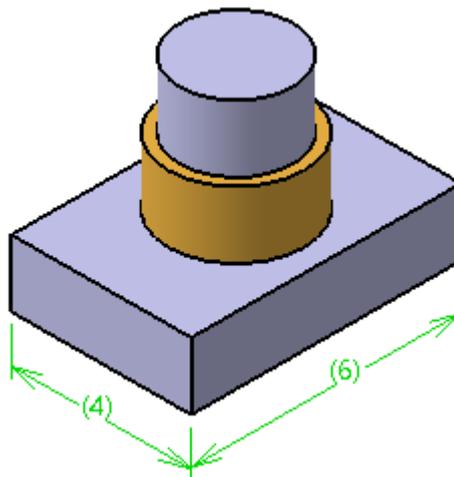


Figura 3.101: Corredera del Mecanismo 1117

➤ Guía 5

El modelado de este componente, no sigue fielmente el perfil de la Figura 3.98, ya que se ha omitido la parte superior al punto A, pues se ha fijado el valor del semieje mayor en 50, de modo que el mecanismo solo sirva, en primera instancia, para describir esta elipse.

Por ello, relacionado con la definición de excentricidad dada en el texto fuente, se establece la longitud OA como el semieje mayor, quedando por definir la parte inferior de la guía. Ésta se ha determinado, tras observar la posible cinemática, como también el semieje mayor más la mitad de la longitud de la corredera, de modo que lo que sería el punto trazador E (eje de la corredera 4) cuando la guía se encuentre en la posición horizontal sea el extremo de la elipse.

Añadir, que se ha dispuesto el eje del par de rotación O de la barra en la cara inferior de la misma, con el fin de que éste, no interrumpa el deslizamiento de la corredera 4 por toda la guía.

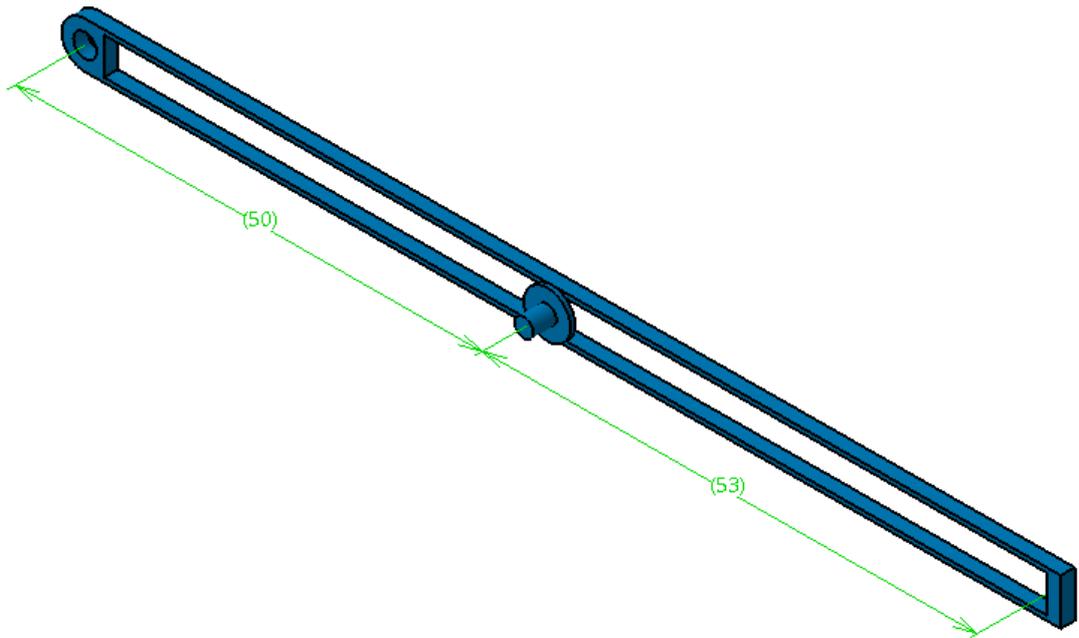


Figura 3.102: Guía 5 del Mecanismo 1117 (Vista posterior)

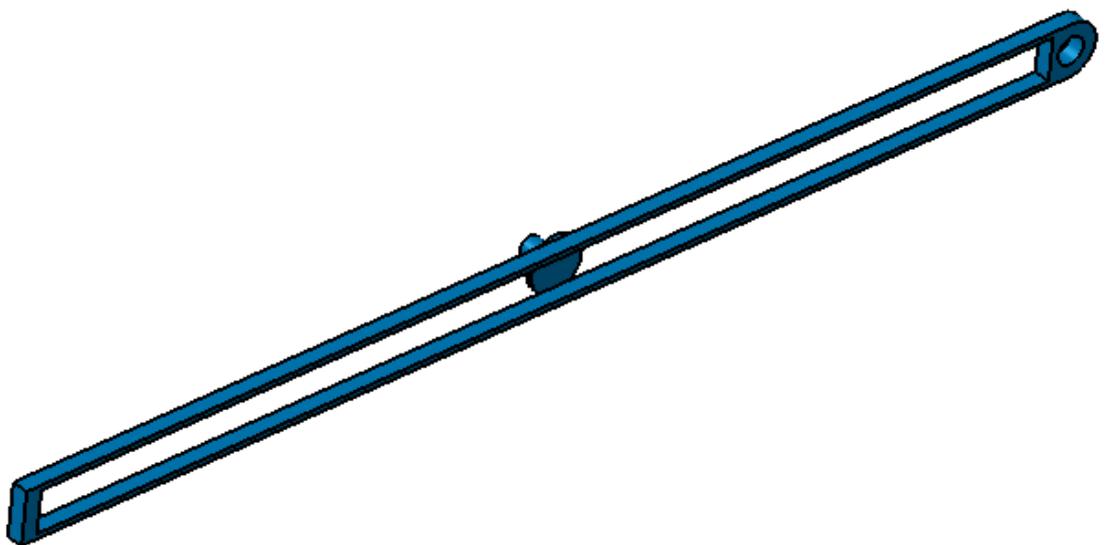


Figura 3.103: Guía 5 del Mecanismo 1117

➤ Barra 5

Como se ha comentado en el análisis, la longitud de la barra 5 y la distancia OA de la guía 5 es la misma. Además, tiene un agujero en un extremo con el diámetro del eje base, correspondiente al punto O (Figura 3.98), mientras que en el otro extremo, tiene un saliente cilíndrico que conformará el par de rotación entre la barra 5 y la barra 6.

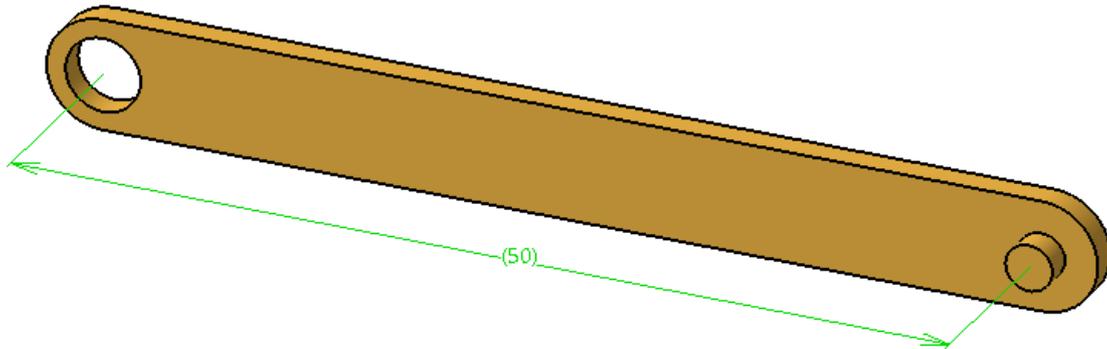


Figura 3.104: Barra 5 del Mecanismo 1117

➤ Barra 6 y 7

Ambas barras forman con la barra 5 el cuadrilátero base del mecanismo y tienen la misma morfología, una barra esbelta redondeada en los extremos, con un agujero en cada una de las extremidades. Sin embargo, su longitud no está determinada de forma explícita, y equiparando las identidades anteriormente mostradas, se han determinado dos posibles valores para cada barra según el siguiente procedimiento:

Partiendo de las relaciones:

$$\rho(\varphi) = \frac{p}{1 + e \cos \varphi}$$

Ecuación del documento fuente

$$r(\vartheta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \vartheta}$$

Ecuación de la definición de la elipse en polares desde el foco

Se igualan los numeradores debido a la similitud de ambas expresiones, pero para ello, en primer lugar se debe particularizar p para el caso de la elipse.

$$p = \frac{(OG)^2 + (AB)^2 - (OA)^2 - (GB)^2}{2OA} = \frac{(c)^2 + (AB)^2 - (a)^2 - (GB)^2}{2a}$$

Entonces, igualando ambos numeradores

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2a}=a(1-e^2)$$

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2a}=a\left(1-\left(\frac{c}{a}\right)^2\right)$$

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2a}=a\left(1-\left(\frac{c}{a}\right)^2\right)$$

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2a}=a\left(\frac{a^2-c^2}{a^2}\right)$$

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2a}=\frac{a^2-c^2}{a}$$

$$\frac{(c)^2+(AB)^2-(a)^2-(GB)^2}{2}=a^2-c^2$$

Opción 1:

$$(c)^2+(AB)^2=2a^2$$

$$-(a)^2-(GB)^2=-2c^2$$

$$AB=\sqrt{2a^2-c^2}$$

$$GB=\sqrt{2c^2-a^2}$$

Particularizando para $a = 50$ y $c = 40$

$$AB = 58.31$$

$$GB = 26.46$$

No obstante, estas longitudes no son válidas, ya que para que el mecanismo fuera un doble manivela, como se requiere para que la elipse se describa completamente, según la ley de Grashof ("La barra más corta de un mecanismo de cuatro barras da vueltas completas respecto de todas las demás, si se verifica que la suma de las longitudes de la barra más corta y más larga es menor que la suma de las otras dos") y la inversión elegida, la barra más corta debería ser la fija, hecho que no sucede pues la longitud de la barra 7 es menor. De manera que se tiene que descartar esta opción.

Opción 2:

$$(AB)^2-(a)^2=2a^2$$

$$(c)^2-(GB)^2=-2c^2$$

$$AB=\sqrt{2a^2+a^2}$$

$$GB=\sqrt{2c^2+c^2}$$

$$AB = \sqrt{3}a$$

$$GB = \sqrt{3}c$$

Particularizando para $a = 50$ y $c = 40$

$$AB = 86.60$$

$$GB = 69.28$$

Según esta opción, también se cumple la ley de Grashof y además, la barra más corta es la fija, de manera que a priori, parecen admisibles dichos valores, por lo que se han determinado los valores de AB y GB como las longitudes de las barras 6 y 7 respectivamente.

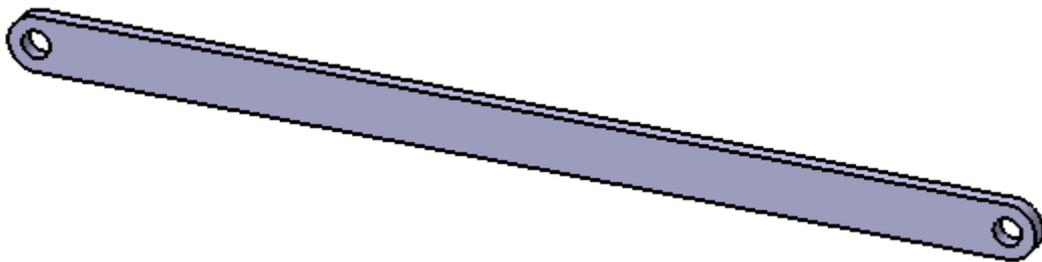


Figura 3.105: Barra 6 y 7 del Mecanismo 1117

➤ Barra 3

Esta pieza, es muy completa, ya que al margen de tener la estructura de una barra, tiene además varios elementos que hay que dimensionar, los cuales son: una guía p para la corredera 1, un alojamiento en otro extremo para el eje del par de rotación E que forma con la corredera 4 y, un saliente cuyo eje es perpendicular al eje longitudinal de la barra y que se trata de la corredera a , que deslizará sobre la guía q .

En primer lugar, se fija una longitud para la barra completa, la cual es del orden de las guías del conjunto. Para la guía p , se diseña un perfil rectangular cuyo ancho y espesor es el de la sección rectangular de la corredera 1, y cuya longitud es lo más extensa posible, delimitada por la corredera transversal a . Por otra parte, el alojamiento del eje del par de rotación es del tamaño del diámetro del mismo. Finalmente, la corredera a , se sitúa a una distancia igual al semieje mayor con respecto al agujero circular del par de revolución, ya que se prevé que el punto trazador E cuando la guía 5 esté en posición vertical corresponderá con el extremo inferior del semieje menor, lo cual significa que junto a la semidistancia focal que separa el punto O del G (Figura 3.98), ambos conforman los lados de un triángulo rectángulo, por lo que según lo explicado en el apartado 3.1.2, la hipotenusa de dicho triángulo sería el semieje mayor. En definitiva, que la distancia entre el centro de la corredera a y el centro del alojamiento del par E , es igual al semieje mayor de la elipse.

Definido todo, la barra 3, resultaría de la siguiente forma:

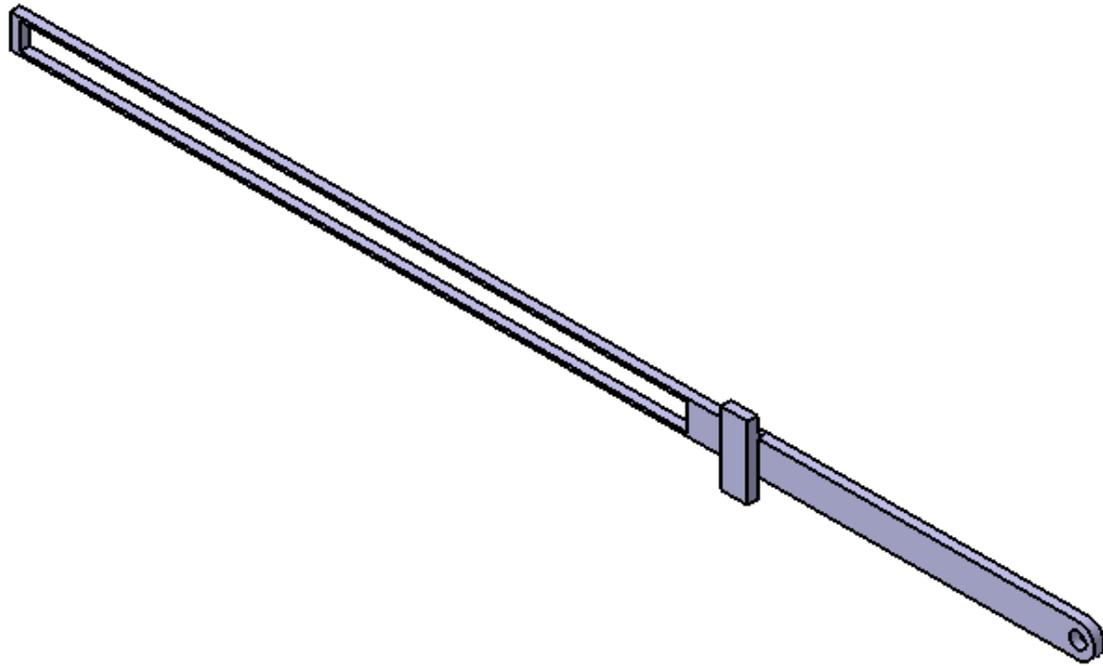


Figura 3.106: Barra 3 del Mecanismo 1117 (Vista posterior)

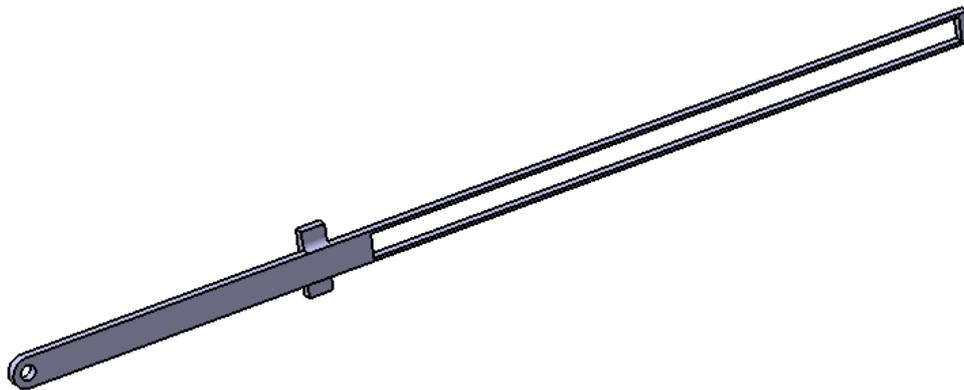


Figura 3.107: Barra 3 del Mecanismo 1117

➤ Barra 2

La barra 2 se ha modelado similar a la guía 5, su longitud no es especificada, por lo que se cree que no es relevante, a excepción de la distancia entre el punto G y su extremo inferior (Figura 3.98), que se ha supuesto como la diferencia entre el semieje mayor y la semidistancia focal.

3.7.3.2. Ensamblaje y funcionamiento

Concluido el modelado de todas las piezas que conforman el conjunto, se tienen que ensamblar, para ello, partiendo de los ejes base y haciendo uso de los pares que restringen el movimiento de cada pieza, se han dispuesto las barras consecutivamente tomando como plano base la guía 5, anterior a ella, las barras 2 y 3 respectivamente y, posterior a ella las tres barras que forman el cuadrilátero junto a los ejes base.

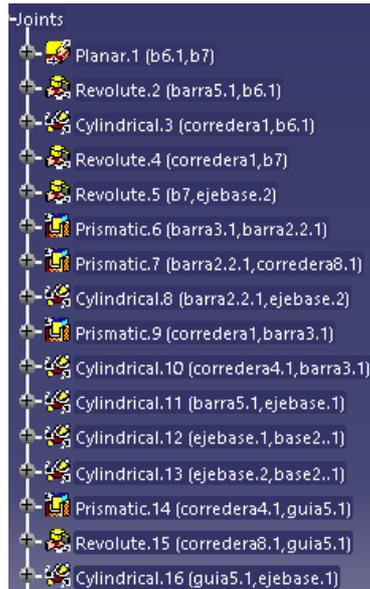


Figura 3.108: Restricciones de movimiento del Mecanismo 1117

De este modo, el mecanismo resultante sería:

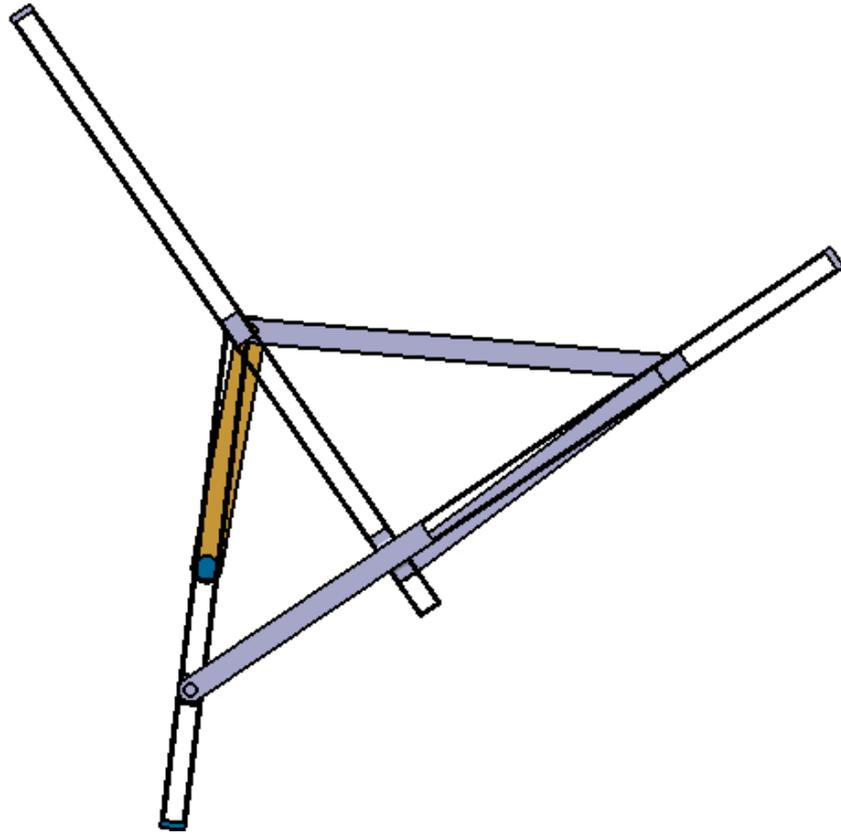


Figura 3.109: Alzado del Mecanismo 1117

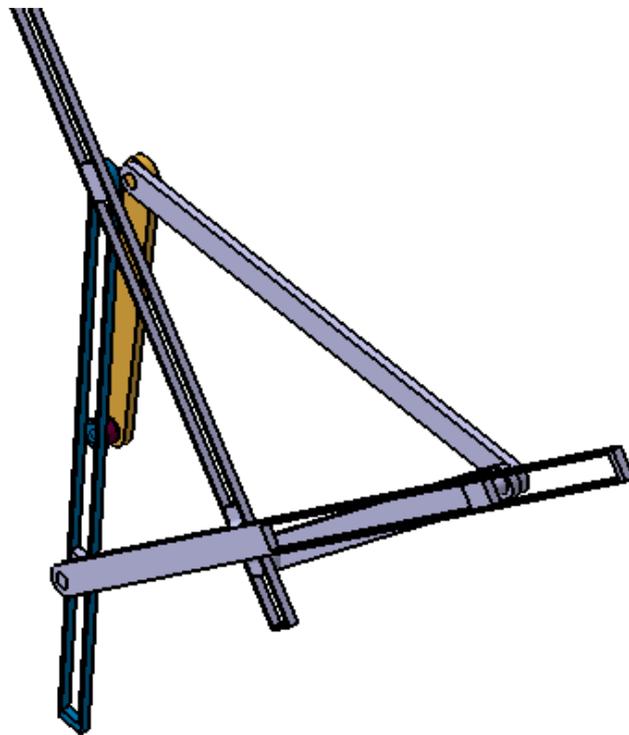


Figura 3.110: Mecanismo 1117

Al no funcionar con la elipse, se intenta también el mismo mecanismo para una parábola (cuya excentricidad es la unidad), localizando el punto O (Figura 3.98), en el extremo de la parábola y, el punto G en el foco de la misma. No obstante, tampoco se conoce como definir las longitudes de la barra 6 y 7, por lo que se estiman sabiendo que el numerador de su ecuación en polares es igual a la distancia focal de la parábola (a). Tras modelarlo y ensamblarlo, igualmente no describe la parábola predeterminada (comparar el punto rojo y la parábola que debía describir).

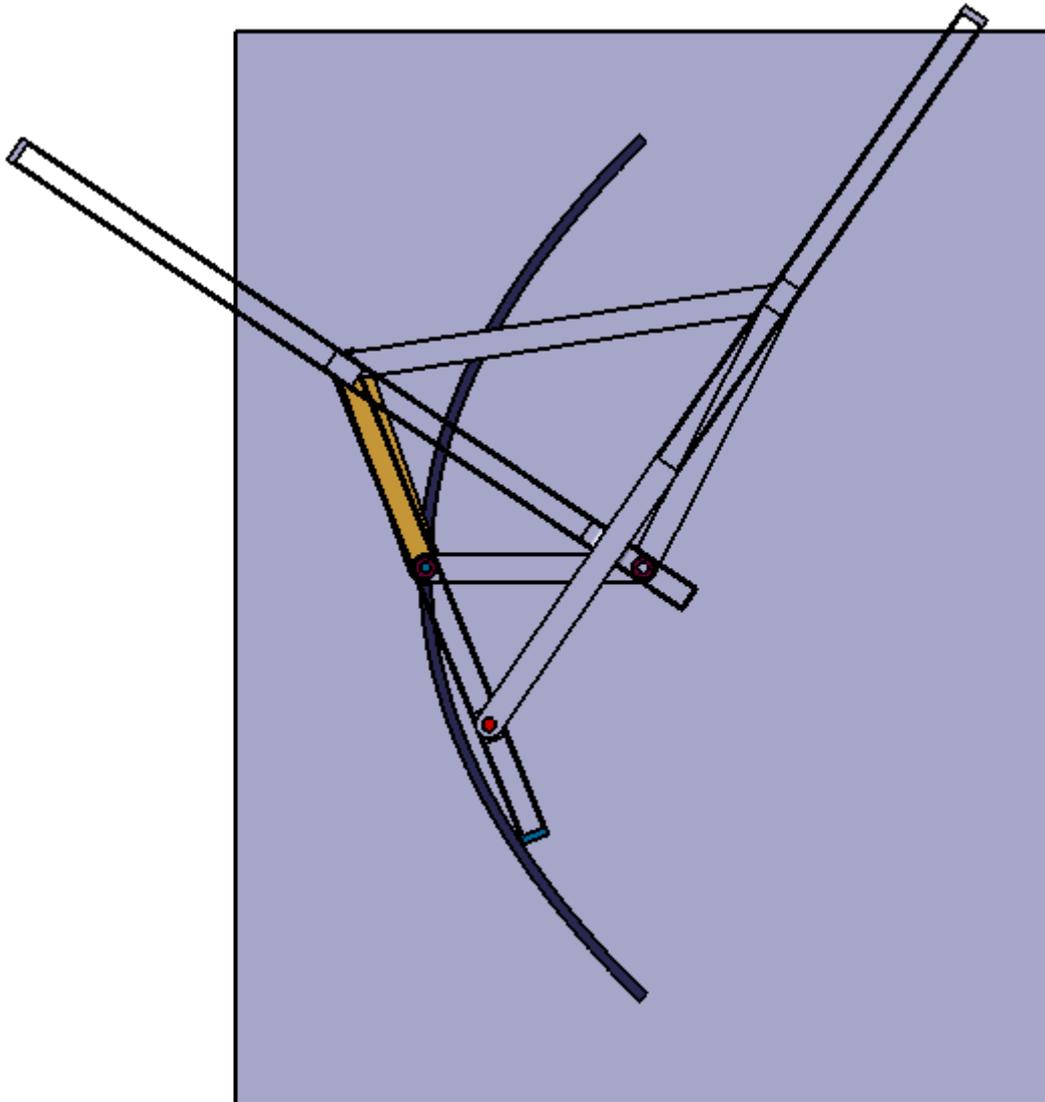


Figura 3.113: Mecanismo 1117 ($e = 1$) y parábola que debía describir

3.7.4. Resultado final

Tras modelar el mecanismo tanto para el caso de elipse como de parábola, tomando las decisiones que se han creído oportunas, se puede concluir que el Conicógrafo de Palancas y Colisa de Kaminski tal y como se especifica en el texto fuente, no supone un resultado aceptable. Ya que, a pesar de poder ser en cierta manera diseñado y ensamblado, no realiza la función para la que es construido. Este hecho, principalmente se cree que es consecuencia del dimensionamiento del cuatro barras base, ya que éste es el responsable en mayor medida del accionamiento del resto del mecanismo y por tanto, el conjunto no realiza la trayectoria oportuna.

4. Conclusiones

Tras el análisis, desarrollo y animación de los seis mecanismos propuestos, se puede concluir que no todos ellos pueden ser modelados a la perfección a partir de la escueta información proveniente del documento fuente. De hecho, se ha comprobado como sí cumplirían su funcionalidad los Mecanismos 1043, 1046, 1051 y 1059; por el contrario, se observan dificultades en el funcionamiento de los Mecanismo 1057 y 1117 por diferentes motivos.

Desde en un principio, se concebía la posibilidad de que estos mecanismos fueran aplicables en la industria como guidores mecánicos de herramientas dispuestas en los puntos trazadores, sin embargo, se ha percibido la inexactitud y falta de precisión de sus movimientos debido a la exactitud necesaria de determinadas dimensiones de los elementos principales propulsores de la acción descriptiva de la figura geométrica. Por lo que, para evitar los posibles errores generados por la automatización y posibilitar la fiabilidad propia de estos mecanismos, la acción trazadora de manera exacta de estos mecanismos, estaría supeditada a una precisión dimensional igual o menor de los elementos que conforman los sistemas.

No obstante, el desarrollo de estos mecanismos también puede resultar de utilidad en ámbitos menos precisos o incluso, en el didáctico o del entretenimiento infantil, ya que son sistemas de fácil manejo, cuya construcción podría realizarse con materiales económicos, y cuyo resultado, sería llamativo y curioso desde estas perspectivas.

Por otro lado, tanto el conocimiento teórico fundamentalmente de disciplinas mecánicas como el práctico estrechamente relacionado a la iniciación en el uso del programa CATIA V5, han supuesto un enriquecimiento académico sin precedentes, que ha fomentado el desarrollo de otras habilidades de cara al mundo laboral además de una visión real de las implicaciones que conllevaría un proyecto ingenieril en cierta medida.

5. Estudios futuros

En este último apartado, se conciben algunas direcciones en las que este Trabajo podría evolucionar.

En primer lugar, una posibilidad sería tratar de reinterpretar los mecanismos que han resultado en un funcionamiento negativo, ya que en este Proyecto se ha tratado de buscar soluciones manteniendo la configuración en mayor medida.

También, se podrían modelar todos los conjuntos de una manera más realista, es decir, con un aspecto externo y una configuración de elementos reales, partiendo de la base establecida por los modelos sencillos de este Proyecto.

Relacionado con lo anterior, se podrían llevar a la práctica la construcción de dichos modelos, construyendo prototipos de los mismos por medio de una impresora 3D. Lo cual utilizando los materiales adecuados, resultaría económico y curioso en su resultado.

Finalmente, se podría ampliar el estudio hecho a otros mecanismos incluidos en dichos volúmenes al objeto de preservar el conocimiento de esta joya, como es considerada la obra de I.I. Artobolevski.

6. Bibliografía

- [1] J. Domínguez Abascal, *Teoría de máquinas y mecanismos*. Universidad de Sevilla, 2016.
- [2] “cinematica - Buscar con Google.” [Online]. Available: https://www.google.com/search?ei=3GYcXY7RAAdLB8gLD4ITwCg&q=cinematica+&oq=cinematica+&gs_l=psy-ab.3..35i39j0i67j0l2j0i67j0i67j0l3.2802.2802..3023...0.0..0.96.96.1.....0....1..gws-wiz.....0i71.s-tIN_VH77g. [Accessed: 03-Jul-2019].
- [3] Knowledge based Engineering, “Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5 Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5,” *Introd. Al Cad/Cam*.
- [4] I.I. Artobolevski, *MECANISMOS EN LA TECNICA MODERNA. Volumen 2. Primera parte.*, Segunda ed. Moscú: Editorial MIR, 1983.
- [5] “Matematicas Visuales | Elipsógrafo: un aparato mecánico para dibujar elipses.” [Online]. Available: <http://www.matematicasvisuales.com/html/geometria/elipses/trammel.html>. [Accessed: 26-Jun-2019].