



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

ANÁLISIS MECÁNICO DEL MEDIDOR DE DISTANCIAS DE LEONARDO DA VINCI MEDIANTE HERRAMIENTA DE CAD 3D AVANZADO

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERIA MECANICA

Autor: Majdoubi Mansouri, Yassine
Director: Fernández Cañavate, Francisco José

Cartagena, abril 2024



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Índice general

Resumen.....	4
Abstract	5
Capítulo 1: Introducción	6
Objetivos	7
Alcance del trabajo	7
Capítulo 2: Estado del conocimiento. Antecedentes.....	8
Leonardo Da Vinci	8
El medidor de distancias de Leonardo da Vinci.....	9
Capítulo 3: Aplicación CAD empleada y justificación.....	11
SolidWorks Motion	12
Funciones dentro de SolidWorks Motion.....	13
Capítulo 4: Descripción del odómetro.	16
Análisis cinemático del medidor compacto	19
Componentes del medidor	22
Chasis.....	23
Conjunto Ruedas Delanteras	25
Conjunto rueda trasera	26
Conjunto transmisión primaria	27
Conjunto transmisión secundaria	28
Recipiente	29
Medidor: vistas y dimensiones principales	30
Material	31
Capítulo 5: simulación	34
Aplicación de funciones.....	34
Configuraciones de visualización	34
Simulación	35
Capítulo 6: Resultados alcanzados.....	38
Análisis cinemático	38
Transmisión primaria	40
Transmisión secundaria.....	43
Tiempo de caída del material a 5 Km/h	46
Animación del medidor.....	48
Capítulo 7: Conclusión	54
Anexo I - Planos.....	55

Índice de figuras

Figura 1.- Retrato de Leonardo da Vinci.....	8
Figura 2.- "Tornillo Aéreo" de Leonardo da Vinci.....	9
Figura 3.- SolidWorks Motion	12
Figura 4.- Contacto entre solidos	13
Figura 5.- Motor.....	13
Figura 6.- Resorte.....	14
Figura 7.- Gravedad	14
Figura 8.- Fuerza o torsión.....	15
Figura 9.- función resultados	15
Figura 10.- Esquema del medidor de distancias de Leonardo da Vinci.....	16
Figura 11.- Rueda horizontal	17
Figura 12.- numeración de las ruedas	19
Figura 13.- Conjuntos principales que forman el mecanismo	22
Figura 14.- Vista explosionada del chasis	24
Figura 15.- Vista explosionada del Conjunto Ruedas Delanteras.....	25
Figura 16.- Vista explosionada del conjunto rueda trasera	26
Figura 17.- Vista explosionada del conjunto transmisión primaria	27
Figura 18.- Vista explosionada del conjunto transmisión secundaria.....	28
Figura 19.- Vista explosionada del recipiente	29
Figura 20.- Vistas y medidas principales del medidor	30
Figura 21.- Vista de la escena general.....	35
Figura 22.- animación de la transmisión primaria en SolidWorks Motion.....	36
Figura 23.- animación del movimiento de las canicas en SolidWorks Motion.....	37
Figura 24.- animación escena final en SolidWorks Motion.....	37
Figura 25.- Persona junto al mecanismo.....	38
Figura 26.- Rueda 1.....	40
Figura 27.- Rueda 2.....	40
Figura 28.- W1	41
Figura 29.- W2	42
Figura 30.- Rueda 3.....	43
Figura 31.- Rueda 4.....	43
Figura 32.- W3	44
Figura 33.- W4	45
Figura 34.- Angulo de los orificios	46
Figura 35.- vista: perfil	48
Figura 36.- vista: frontal	49
Figura 37.- vista: trasera	50
Figura 38.- vista: planta	51
Figura 39.- vista: isométrica	52
Figura 40.- vista: medidor junto a un ser humano	53

índice de tablas

Tabla 1.- Piezas del chasis	23
Tabla 2.- Piezas del Conjunto Ruedas Delanteras	25
Tabla 3.- Piezas del conjunto rueda trasera.....	26
Tabla 4.- Piezas del conjunto transmisión primaria	27
Tabla 5.- Piezas del conjunto transmisión secundaria	28
Tabla 6.- Piezas del recipiente	29

Resumen

El presente trabajo de fin de grado rescata un sistema mecánico relevante en la historia y cuyo creador es Leonardo Da Vinci mediante su simulación 3D en la herramienta computacional SolidWorks realizando una simulación y un análisis cinemático de su movimiento.

El sistema mecánico consiste en un aparato mecánico diseñado para la medición de distancias, es un sistema simple y eficaz que constituyo un gran desarrollo respecto a su antecesor. Se parte de los bocetos y piezas del aparato de Leonardo Da Vinci para su simulación en SolidWorks. Se realiza una descripción estructural del aparato, además de introducir una variante del mismo documentado en los bocetos de Leonardo Da Vinci.

Este aparato desempeñó un papel muy relevante para la medición de distancias y fue el predecesor a su vez de gran variedad de mecanismo que se utilizan en la actualidad para la medición de distancias, cuyo creador fue un genio renacentista que creo gran diversidad de aparatos y obras de arte.

Abstract

The present thesis aims to rescue a mechanical system relevant in history and whose creator is Leonardo Da Vinci through its 3D simulation in the SolidWorks computational tool, performing a simulation and kinematic analysis of its movement.

The mechanical system consists of a mechanical device designed for measuring distances, it is a simple and effective system that constituted a great development compared to its predecessor. It is based on the sketches of Leonardo da Vinci's device for its simulation in SolidWorks. A structural description of the device is made, in addition to introducing a variant of it documented in the sketches of Leonardo Da Vinci.

This device played a truly relevant role in measuring distances and was the predecessor of an immense variety of mechanisms that are currently used for measuring distances, whose creator was a Renaissance genius who created a great diversity of devices and works of art.

Capítulo 1: Introducción

En la actualidad, en la industria se utilizan todo tipo de mecanismos complejos, estos mecanismos complejos son la evolución de mecanismos sencillos que se han ido actualizando en cuanto la tecnología de la época ha permitido mejorarlos y adaptarlos llevando a distintos mecanismos basados en la misma lógica de funcionamiento que ha perdurado desde hace miles de años.

A lo largo de la historia se han dejado atrás diseños que destacan por su sencillez, herramientas que hoy en día serían inviables en la industria pero que en su día fueron grandes avances tecnológicos que permitieron el desarrollo de la humanidad alcanzando los niveles tecnológicos de la actualidad.

Muchos de estos mecanismos de la antigüedad se encuentran en museos, como el mecanismo de Antikythera (siglo I a.c.), expuesto en el Museo Arqueológico Nacional de Atenas, un mecanismo que reproduce el movimiento de la luna a lo largo del mes, sin embargo, son pocos los que han conseguido perdurar hasta la actualidad, muchos de ellos simplemente no han perdurado debido a las características de sus materiales, otros por la antigüedad de sus diseños.

Lo que ha permitido que conozcamos muchos de estos mecanismos extintos es que se han encontrado restos y de ellos se han deducido su funcionamiento o directamente muchos de ellos están datados en bibliografías de la época dando la oportunidad a las generaciones futuras de conocer su existencia.

Uno de los ingenieros más destacados de la historia que realizaba ingeniosos diseños fue Leonardo da Vinci, dejando como legado el Códice Atlántico, una colección de bocetos de sus ingeniosos diseños que ha perdurado hasta la actualidad.

Objetivos

En este trabajo de fin de grado se desea rescatar de la historia olvidada de la ingeniería un mecanismo predecesor del cuentaquilómetros actual, el odómetro de Leonardo da Vinci del Códice Atlántico, un mecanismo utilizado para la medida de distancias, utilizando la herramienta computacional SolidWorks para su simulación completa.

Alcance del trabajo

Partiendo de piezas diseñadas en SolidWorks, en este trabajo se pretende describir con detalle el funcionamiento lógico del odómetro de Leonardo da Vinci, realizar una descripción detallada de las piezas que lo componen, realizar un análisis cinemático del movimiento de sus componentes, recrear el mecanismo completo computarizado y realizar una simulación del funcionamiento de este mecanismo en la herramienta SolidWorks.

En el código Atlántico aparecen dos versiones del odómetro, para la simulación se utiliza el boceto en forma de carretilla, mientras que para explicar el funcionamiento se utiliza el otro diseño.

Capítulo 2: Estado del conocimiento. Antecedentes.

Leonardo Da Vinci

Leonardo di ser Piero da Vinci (1452-1519), el hombre más cercano al ideal del hombre del renacimiento fue un erudito en diversas ramas tanto artísticas como técnicas e incluso filosóficas. Se le considera un referente histórico en el arte de la pintura con obras tan relevantes como “La Gioconda”, “La Ultima Cena” o “El Hombre de Vitruvio” entre las más destacadas. También fue un notorio inventor que introdujo nuevos conceptos en sus inventos que se consideran muy adelantados a su época, sin embargo, no todos sus inventos llegaron a materializarse limitado por la tecnología de la época. En la Figura 1 se puede ver un retrato de Leonardo da Vinci.



Figura 1.- Retrato de Leonardo da Vinci

Legado de Leonardo da Vinci es enorme y aborda distintos campos. En el campo de la ingeniería destaca por sus diseños ingeniosos e innovadores adelantados a su época, como por ejemplo el mecanismo al que llamaba “Tornillo Volador”.

El “Tornillo Volador” de Leonardo da Vinci fue el primer diseño de un helicóptero registrado en la historia. Consiste en una hélice continua helicoidal montada sobre un eje vertical que sujeta una basa plana, el eje cerca de la base plana dispone palancas que sirven para hacerlo girar, se puede observar su boceto en la Figura 2.

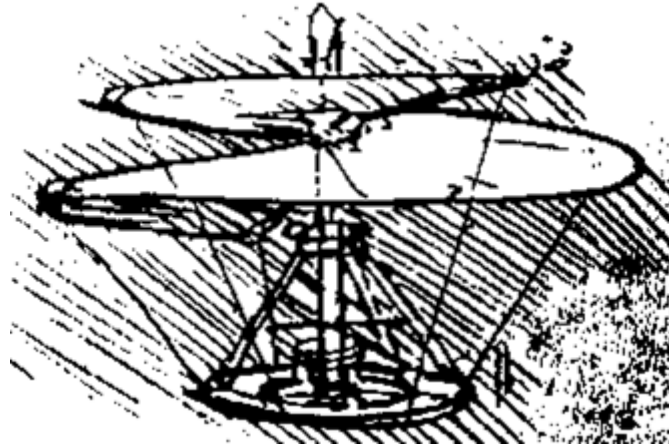


Figura 2.- "Tornillo Aéreo" de Leonardo da Vinci

Esta clase de inventos totalmente originales para la época demuestran que Leonardo da Vinci no fue solo un intelectual más, si no que es un hombre que merece ser reconocido en la historia junto con otros cuantos que hicieron a la humanidad dar un gran salto en el progreso tecnológico.

El medidor de distancias de Leonardo da Vinci

El destacado invento de Leonardo da Vinci que se rescata en este trabajo consiste en el medidor de distancias, mecanismo que no invento, sino que lo rediseño haciéndolo mucho más práctico.

El medidor de distancias, también llamado odómetro, es según la primera definición registrada un instrumento que sirve el número de pasos dados por una persona o de vueltas efectuadas por una rueda e, indirectamente, la distancia recorrida, es, por ejemplo, a lo que comúnmente se le llama cuentaquilómetros.

Es un instrumento ampliamente utilizado en la sociedad actual en diferentes variantes, pero siguiendo siempre la misma lógica, su funcionamiento básicamente consiste en registrar

el número de vueltas que da una rueda y a partir del número de vueltas y del perímetro de la rueda se puede hallar la distancia recorrida.

Es un invento simple y eficaz, cuyo inventor es considerado Arquímedes de Siracusa (siglo III a.c.), sin embargo, los diseños de esa época eran muy pesados y robustos, no fue hasta el diseño realizado por Leonardo da Vinci (siglo XV d.c.) que se obtuvo un aparato ligero capaz de medir largas distancias.

Leonardo da Vinci registraba sus bocetos e inventos en cuadernos y gracias a su gran talento con el dibujo se tratan de bocetos muy detallados. La colección de cuadernos de Leonardo da Vinci ha llegado hasta la actualidad, está formada por doce volúmenes y por 1.119 hojas, esta colección recibe el nombre de “Códice Atlántico”, actualmente está en la Biblioteca Ambrosiana (Milán, Italia), también se puede consultar en la página web específica del Códice Atlántico denominada codex-atlanticus.ambrosiana.

Existen dos diseños de Leonardo da Vinci registrados en el códice atlántico en la primera página del códice, el primero se trata de una carretilla de pequeño tamaño apoyada sobre dos ruedas con un diseño estable diseñada para largo recorrido ya que se podría acoplar a un carruaje o implementarse sobre el mismo carruaje (en este diseño se centra la simulación en SolidWorks), el segundo boceto se trata de una carretilla más compacta que la primera apoyada únicamente sobre una rueda diseñada para medio o corto recorrido movida por humanos (este segundo recibirá el nombre de medidor compacto de aquí en adelante).

Leonardo da Vinci llegó a construir estos medidores y no solo eso, sino que los utilizó en labores de medida como por ejemplo medir las calles de la ciudad de Florencia y trazar un mapeado de la ciudad.

Capítulo 3: Aplicación CAD empleada y justificación.

Para la simulación del mecanismo se ha elegido la herramienta computacional SolidWorks, un software CAD (Computer-Aided Design) muy utilizado en la industria para el diseño asistido por ordenador.

SolidWorks destaca por ser una herramienta de uso sencillo pero que a la vez tiene una gran variedad de herramientas disponibles que permiten al diseñador recrear y diseñar todo tipo de piezas complejas además de incluir módulos para su fabricación hasta la realización de simulación bajo todo tipo de cargas.

Este trabajo se centra en el uso del módulo SolidWorks Motion, un módulo destinado a la simulación dinámica de mecanismos y al análisis de movimiento de estos mecanismos.

Usando SolidWorks Motion se realiza la animación del funcionamiento del mecanismo arrojando un resultado de calidad que refleja el comportamiento dinámico del mecanismo. Con la animación se transmite el comportamiento del mecanismo sin tener que fabricarlo, dando al diseñador una visualización de su diseño.

Con SolidWorks Motion el análisis de movimiento del mecanismo permite la evaluación sin repercutir en elevados costes de ensayo y prototipo arrojando resultados fiables siendo capaz de evaluar diferentes tipos de propiedades como el material, las dimensiones y las interferencias entre elementos del mecanismo.

Se realiza la recreación y simulación en SolidWorks Motion porque es una herramienta poderosa que ayuda a los ingenieros y diseñadores a mejorar la calidad de sus diseños mecánicos, al permitir a los usuarios visualizar y analizar los movimientos de sus diseños antes de que se construyan prototipos. SolidWorks Motion ayuda a identificar y corregir problemas de diseño potenciales que podrían haber pasado desapercibidos en las fases anteriores del proceso de diseño, lo que puede conducir a un resultado más seguro, eficiente y confiable.

SolidWorks Motion

Al activar el complemento SolidWorks Motion, en el estudio de movimiento se activa la opción de análisis de movimiento, donde se pueden realizar diversos estudios sobre la simulación, además de que añade diversas opciones para realizar una simulación mucho más semejante a la realidad. En la Figura 3 se puede ver una captura de pantalla del uso de SolidWork Motion en uno de los procesos de simulación.

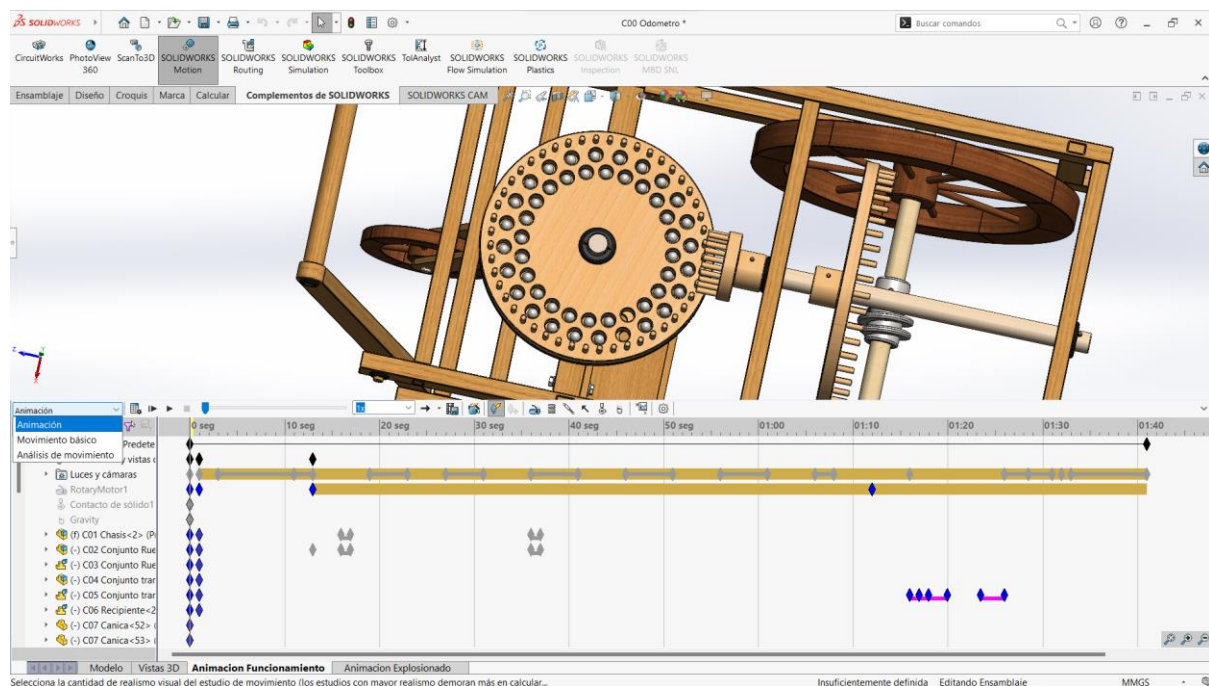


Figura 3.- SolidWorks Motion

Además del análisis de movimiento hay dos opciones más, la animación, donde se pueden recrear movimientos sencillos añadiendo motores rotativos o desplazamientos lineales, esta es una opción que no demanda mucha potencia de procesamiento. La otra opción es el movimiento básico donde se además de las funciones de la animación se añaden funciones como la simulación del contacto entre objetos o funciones de resorte entre otras. El movimiento básico y el estudio de movimiento, dependiendo de las funciones que se utilicen, requieren de una potencia de computación considerable para mecanismo de muchas piezas y muchas relaciones de contacto.

Funciones dentro de SolidWorks Motion

Contacto entre solidos

Esta función permite la simulación del contacto entre dos piezas permitiendo ajustar diversos parámetros como la fricción, el tipo de material, la rigidez, el tipo de impacto o el coeficiente de amortiguamiento entre otros parámetros, siendo realmente útil ajustar la simulación a la realidad. Esta función no se está habilitada en el módulo animación. En la Figura 4 se puede observar el dialogo para la introducción de las piezas y los parámetros a definir.

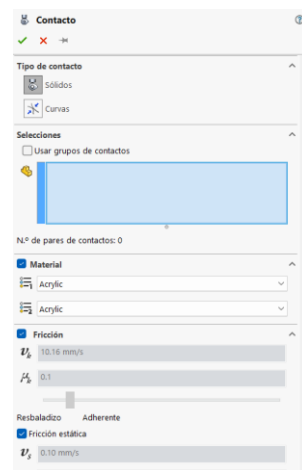


Figura 4.- Contacto entre solidos

Motor

La función motor permite la simulación de la acción de un motor sobre una pieza, el motor puede ser de tipo rotativo o de tipo lineal y se regula de forma que se puede introducir la velocidad deseada sobre la pieza. En la Figura 5 se puede observar el dialogo de esta función.

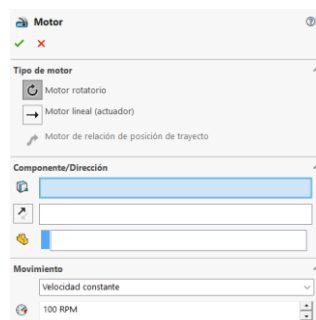


Figura 5.- Motor

Resorte

Esta función permite la simulación de un resorte en el ensamblaje dando de gran versatilidad al programa. Permite la introducción de diversos parámetros como la exponente de expresión de fuerza del resorte, la constante de resorte, la longitud libre del resorte o ajustar los parámetros de amortiguamiento. En la Figura 6 se puede observar el cuadro de dialogo.

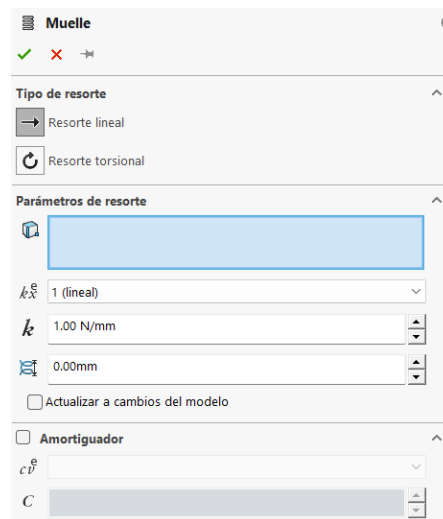


Figura 6.- Resorte

Gravedad

Esta es una función que destaca por su necesaria presencia ya determina en gran magnitud el éxito de la simulación. Esta función permite la introducción de una fuerza sobre todas las piezas del ensamblaje simulando una fuerza gravitatoria que se puede orientar según la dirección deseada y también es posible cambiar su magnitud. En la Figura 7 se puede observar el cuadro de dialogo de esta función.

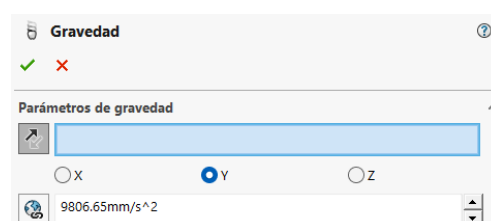


Figura 7.- Gravedad

Fuerza o torsión

Esta función permite la simulación de una fuerza de tipo lineal o de tipo torsión sobre una pieza completa o sobre una cara de una pieza. Esta función es realmente útil para la simulación de cargas muertas sobre el ensamblaje o de cargas externas como podría ser el viento. En la Figura 8 se ve el cuadro de diálogo de esta función.

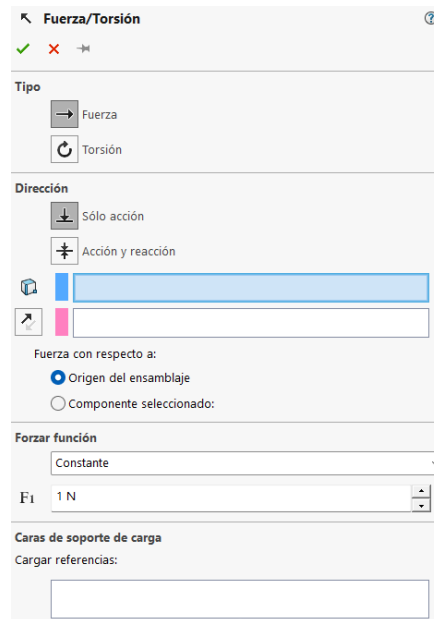


Figura 8.- Fuerza o torsión

Resultados

Esta función solo está presente en el módulo análisis de movimiento y permite la obtención de graficas de mediciones de diversos parámetros como el desplazamiento, la velocidad, la aceleración o fuerzas entre otros durante el análisis de movimiento en cualquier pieza o punto del ensamblaje. En la Figura 9 se observa el cuadro de dialogo de esta función.

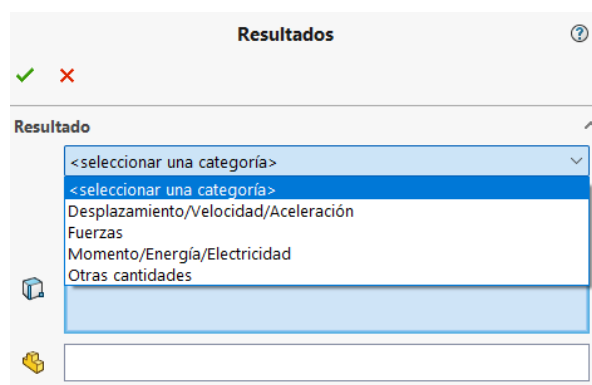


Figura 9.- función resultados

Capítulo 4: Descripción del odómetro.

Este capítulo se centra en el estudio cinemático del diseño del medidor de distancias en forma de carretilla de Leonardo da Vinci utilizando la herramienta computacional SolidWorks partiendo de los bocetos del Códice Atlántico y se va a realizar la descripción de la lógica de funcionamiento sobre el medidor compacto.

Las imágenes del Códice Atlántico están protegidas por derecho de autor, aunque se pueden observar de forma gratuita en la página web de la Biblioteca Ambrosiana antes mencionada.

En la Figura 10 se puede observar un esquema recreado a partir del boceto del Códice Atlántico del diseño del medidor compacto de distancias de Leonardo da Vinci.

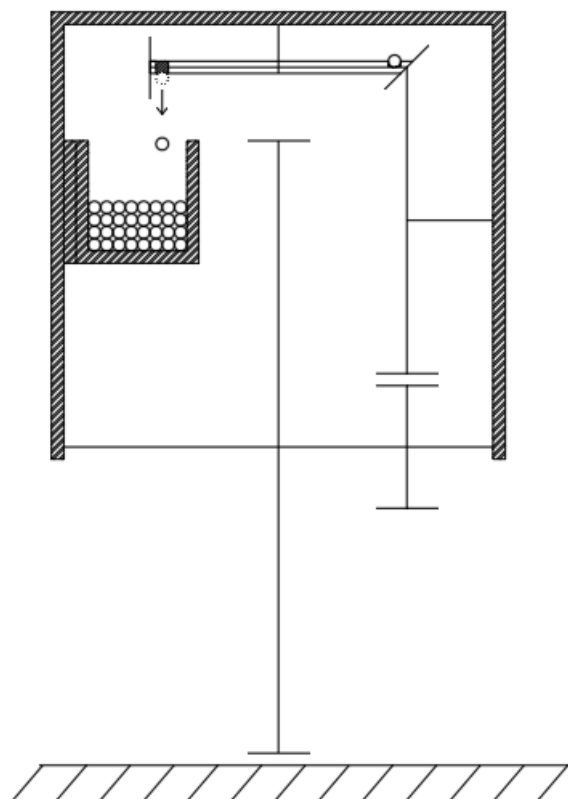


Figura 10.- Esquema del medidor de distancias de Leonardo da Vinci

Sobre el eje principal esta la rueda que se apoya sobre el suelo, al empujar la carretilla esta rueda comienza a girar. Sobre el eje de la rueda principal hay acoplada una rueda

secundaria que transmite el movimiento a una rueda intermedia vertical, que a su vez transmite el movimiento a la rueda horizontal que está suspendida en la parte superior.

La rueda horizontal está compuesta por dos partes:

1. Una rueda superior, esta rueda es la que se mueve.
2. Una rueda inferior, esta rueda permanece fija.

La parte superior de la rueda horizontal tiene cavidades a un determinado radio y distancia donde alberga un material que podrían ser canicas, piedras o cualquier otro objeto que pueda caber en el hueco.

En la Figura 11 se puede observar una vista de la rueda horizontal vista desde abajo, los dientes corresponden a la parte superior móvil mientras que la parte central con el agujero a la vista corresponde con la parte inferior que esta fija. el agujero central corresponde con el eje que sujeta la rueda.

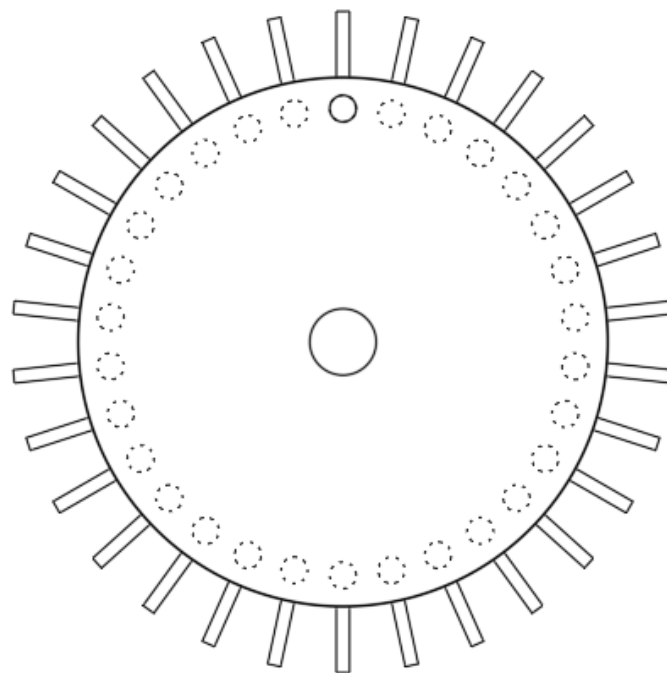


Figura 11.- Rueda horizontal

La parte inferior de la rueda horizontal que esta fija solo presenta una cavidad que está situada sobre una caja hueca que actúa como almacenamiento.

Cuando la parte superior de la rueda gira hasta situar uno de sus huecos sobre el hueco de la parte inferior fija, el objeto situado en el hueco de la parte superior móvil cae en la caja de almacenamiento.

Al recorrer una determinada distancia la rueda horizontal habrá tenido un número de vueltas proporcional al número de vueltas de la rueda principal que está en contacto con el terreno y habrá dejado caer en la caja un determinado número de objetos.

Conociendo el número de objetos y la relación de transmisión global del mecanismo se puede saber cuántas vueltas a dado la rueda principal y con el número de vueltas de la rueda principal y el perímetro de esta rueda se puede hallar la distancia recorrida.

Es una lógica de funcionamiento que no invento Leonardo da Vinci, sino que supo reinvertirla para materializarla en un mecanismo práctico y rentable.

Este tipo de mecanismo tienen una ventaja y es que permite adaptarlo a distintas distancias simplemente regulado la relación de transmisión variando el tamaño de las ruedas dentadas de las transmisiones, la parte negativa es que para distancias muy grandes perdería mucha precisión.

Como se ha dicho anteriormente, se trata de un método simple y muy eficaz que ha hecho que aún hoy en día se siga utilizando en diferentes mecanismos modernos.

Analisis cinematico del medidor compacto

Partiendo del esquema de la Figura 10 se le asigna un numero a cada rueda partiendo de la rueda en contacto con el terreno y terminando con la rueda horizontal, en la Figura 12 se puede observar la numeración.

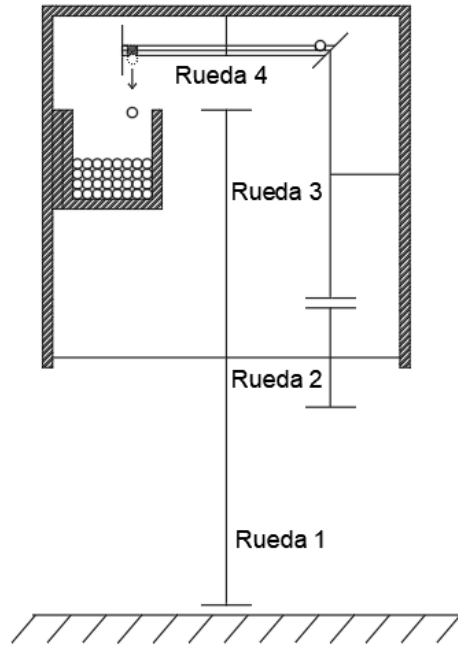


Figura 12.- numeración de las ruedas

El perímetro de un círculo es igual a dos veces el radio por el número pi (ecuación 1).

$$\text{Longitud de una circunferencia} = 2 \times \pi \times \text{radio} = \pi \times \text{diametro} \quad (1)$$

Al dar una vuelta la rueda 1 la carretilla habrá recorrido la longitud equivalente al perímetro de la rueda 1 por lo que al dar X vueltas la rueda 1 la carretilla habrá recorrido X veces la longitud del perímetro de la rueda 1 (ecuación 2).

$$\text{Distancia recorrida} = \text{numero de vueltas} \times \pi \times \text{diametro} \quad (2)$$

La rueda 2 está acoplada en el mismo eje que la rueda 1 por lo que tienen el mismo número de vueltas (ecuación 3).

$$\text{numero de vueltas 1} = \text{numero de vueltas 2} \quad (3)$$

La rueda 2 mueve la rueda 3, por lo que la distancia que recorre la rueda 2 es igual a la distancia que recorre la rueda 3

$$\text{Distancia recorrida 2} = \text{Distancia recorrida 3} \quad (4)$$

Sustituyendo la expresión de la ecuación 2 de la distancia recorrida de cada rueda en la ecuación 4 se obtiene:

$$\text{numero de vueltas 2} \times \pi \times \text{diametro 2} = \text{numero de vueltas 3} \times \pi \times \text{diametro 3} \quad (5)$$

Reorganizando la ecuación 4, se obtiene:

$$\frac{\text{numero de vueltas 2}}{\text{numero de vueltas 3}} = \frac{\text{diametro 3}}{\text{diametro 2}} \quad (6)$$

Para que dos ruedas puedan engranar la distancia desde un punto de un diente y su homólogo en el siguiente diente deben de ser iguales, a esta distancia se le conoce como paso, el paso se puede obtener como el perímetro de la rueda entre el número de dientes de la rueda, por lo que el paso de la rueda 2 debe de ser igual al paso de la rueda 3.

$$\text{paso} = \frac{\text{diametro}}{\text{numero de dientes}} \quad (7)$$

Despejando el diámetro de la ecuación 7 y sustituyendo en la ecuación 6:

$$\frac{\text{numero de vueltas 2}}{\text{numero de vueltas 3}} = \frac{\text{paso} \times \text{numero de dientes 3}}{\text{paso} \times \text{numero de dientes 2}} = \frac{\text{numero de dientes 3}}{\text{numero de dientes 2}} \quad (8)$$

Realizando el mismo análisis de forma análoga con la rueda 3 y 4

$$\frac{\text{numero de vueltas 3}}{\text{numero de vueltas 4}} = \frac{\text{numero de dientes 4}}{\text{numero de dientes 3}} \quad (9)$$

Multiplicando las ecuaciones 8 y 9 se obtiene la relación entre la rueda 1 y la 4

$$\begin{aligned} \frac{\text{numero de vueltas 3}}{\text{numero de vueltas 4}} \times \frac{\text{numero de vueltas 2}}{\text{numero de vueltas 3}} &= \\ &= \frac{\text{numero de dientes 4}}{\text{numero de dientes 3}} \times \frac{\text{numero de dientes 3}}{\text{numero de dientes 2}} \end{aligned} \quad (10)$$

Despejando de la ecuación 10 el número de vueltas de la rueda 2 (es igual al número de vueltas de la rueda 1) se obtiene este en función del número de vueltas de la rueda 4 y del número de dientes de la rueda 2 y 4 (ecuación 11).

$$\text{numero de vueltas } 1 = \text{numero de vueltas } 4 \times \frac{\text{numero de dientes } 4}{\text{numero de dientes } 2} \quad (11)$$

El material en la rueda 4 está dispuesto cada α grados, por lo que al caer uno de ello permite registrar que la rueda 4 a girado α grados por lo que el número de vueltas de la rueda 4 se puede hallar con la ecuación 12.

$$\text{numero de vueltas } 4 = \text{recuento de material} \times \frac{\alpha}{360^\circ} \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación 12 en la ecuación 11 se obtiene la relación entre el número de vueltas de la rueda 1 y el recuento del material que cae en la caja de la Figura 12.

$$\text{numero de vueltas } 1 = \text{recuento de material} \times \frac{\alpha}{360^\circ} \times \frac{\text{numero de dientes } 4}{\text{numero de dientes } 2} \quad (13)$$

Despejando el número de vueltas de la ecuación 2 y sustituyendo en la ecuación 13 se obtiene la relación de la distancia recorrida en función de recuento de material, el número de dientes y el diámetro de la rueda 1.

$$\frac{\text{Distancia recorrida}}{\pi \times \text{diámetro } 1} = \text{recuento de material} \times \frac{\alpha}{360^\circ} \times \frac{\text{numero de dientes } 4}{\text{numero de dientes } 2} \quad (14)$$

Despejando de la ecuación 14 la distancia recorrida obtenemos la relación final:

$$\begin{aligned} \text{Distancia recorrida} &= \\ &= \text{recuento de material} \times \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times \text{diámetro } 1 \times \frac{\text{numero de dientes } 4}{\text{numero de dientes } 2} \end{aligned} \quad (15)$$

Los dos subcapítulos anteriores se centran en la explicación lógica del funcionamiento del mecanismo, de aquí en adelante se utiliza el diseño del medidor en forma de carretilla para la simulación y análisis.

Componentes del medidor

El medidor se compone por treinta y nueve piezas diferentes, todas ellas hechas de madera. El medidor se divide en seis conjuntos de piezas que forman grupos que reciben una función específica en el mecanismo. Los seis conjuntos principales son:

1. Chasis.
2. Conjunto ruedas delanteras.
3. Conjunto rueda trasera.
4. Conjunto transmisión primaria.
5. Conjunto transmisión secundaria.

Se puede encontrar el plano de cada uno de los conjuntos en el anexo de planos, así como de la vista explosionada que corresponde al plano.

En la Figura 13 se puede observar una imagen explosionada del mecanismo donde se pueden observar los seis conjuntos principales (plano C00.a).

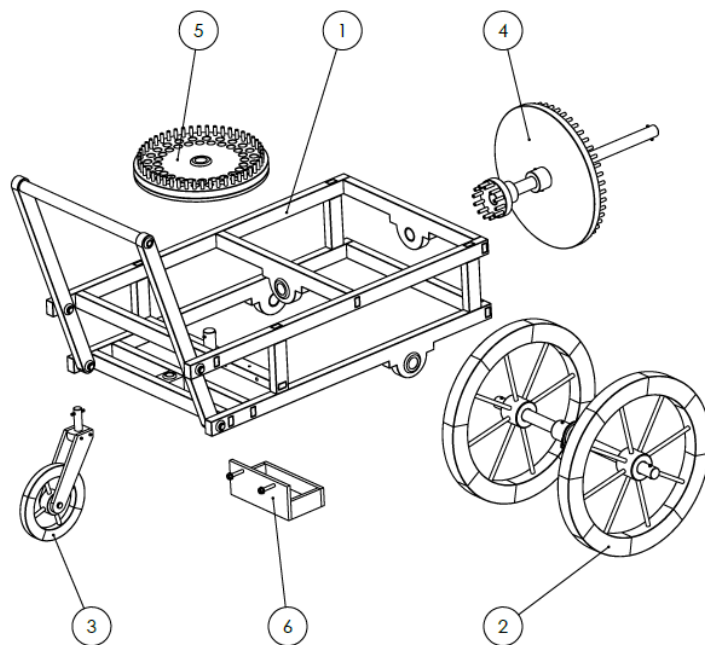


Figura 13.- Conjuntos principales que forman el mecanismo

Chasis

El chasis recibe la función de soporte de todos los elementos necesarios para la función del mecanismo, está compuesto por un total de diecisiete piezas diferentes, las cuales están numeradas en la Tabla 1.

Tabla 1.- Piezas del chasis

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Barra menor con asiento	C01_P01	2
2	Barra mayor superior	C01_P02	2
3	Barra menor	C01_P03	2
4	Barra mayor inferior con asiento	C01_P04	2
5	Barra menor trasera con ranura	C01_P06	2
6	Barra vertical	C01_P07	2
7	Barra vertical con ranura	C01_P08	2
8	Asiento rueda trasera	C01_P09	1
9	Barra menor central	C01_P05	1
10	Barra mayor asa	C01_P10	2
11	Barra menor asa	C01_P11	1
12	Cojinete 15x25	C01_P14	10
13	Bulón	C01_P12	4
14	Eje discos horizontales	C01_P13	1
15	Cojinete 30x25	C01_P15	4
16	Cojinete 20x40	C01_P16	1
17	Espiga 6x40	C02_P03	1

El chasis está compuesto por alojamientos donde se sitúan el eje delantero, el soporte de la rueda trasera, los ejes de las ruedas dentadas del mecanismo y el recipiente de bolas, además de portar el asa que recibe la fuerza motriz de todo el mecanismo.

En la Figura 14 se puede observar una imagen explosionada del chasis con todas las piezas de la Tabla 1 numeradas (plano C01).

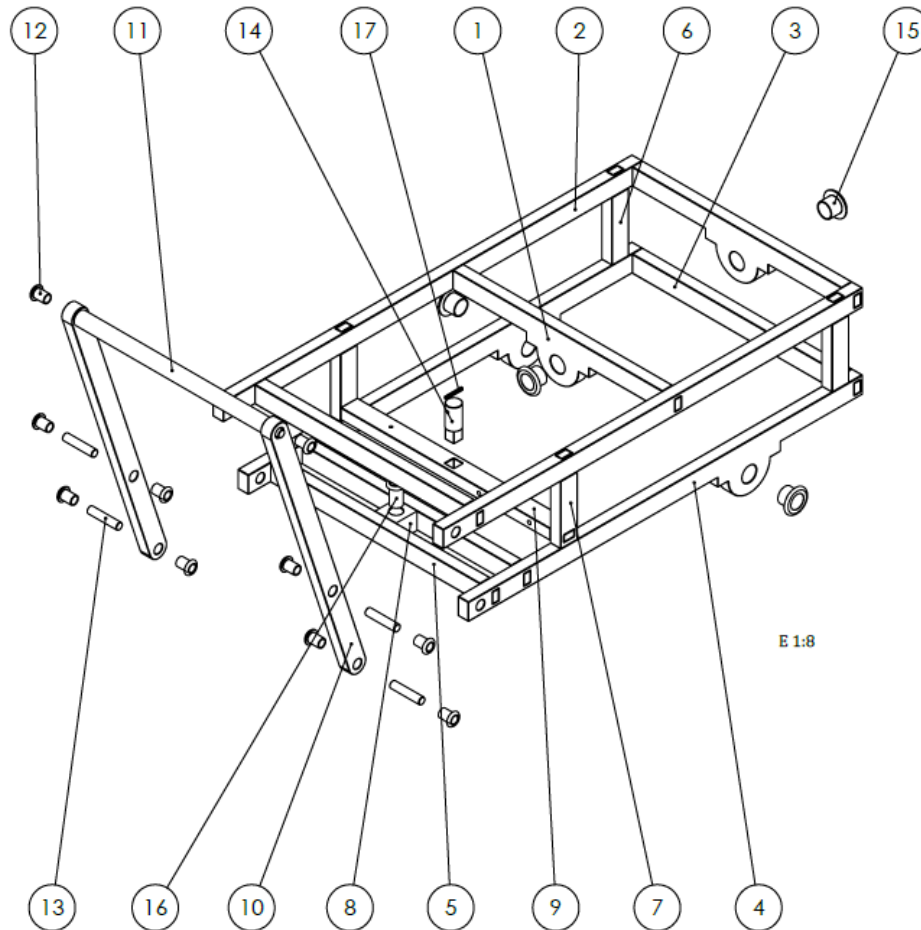


Figura 14.- Vista explosionada del chasis

Conjunto Ruedas Delanteras

El conjunto de ruedas delanteras está formado por dos ruedas que soportan el chasis y reciben la función de soportar el conjunto del mecanismo al mismo tiempo que le otorgan movilidad. Está formado por un eje que aloja dos ruedas y sobre el que va montado el chasis. En la Tabla 2 se enumeran las piezas de este conjunto.

Tabla 2.- Piezas del Conjunto Ruedas Delanteras

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Eje ruedas delanteras	C02_P01	1
2	Tornillo sin fin	C02_P02	1
3	Rueda delantera	C02_C01	2
4	Espiga 6x40	C02_P03	2
5	Espiga 6x60	C02_P04	1

En la Figura 15 se puede observar una imagen explosionada del conjunto ruedas delanteras con todas las piezas de la Tabla 2 numeradas (plano C02).

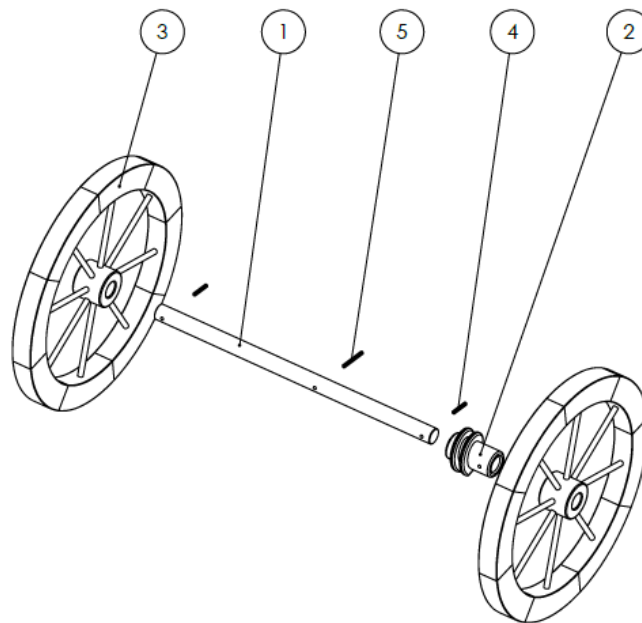


Figura 15.- Vista explosionada del Conjunto Ruedas Delanteras

Conjunto rueda trasera

El Conjunto rueda trasera está formado una base capaz de rotar unida al chasis donde se aloja un eje que soporta la rueda trasera. Este conjunto recibe la función de dar estabilidad al conjunto además de otorgarle al conjunto la capacidad de rotar fácilmente. En la Tabla 3 se enumeran las piezas de este conjunto.

Tabla 3.- Piezas del conjunto rueda trasera

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Soporte	C03_P02	1
2	Marco lateral	C03_P03	2
3	Bulón	C03_P04	1
4	Eje rueda trasera	C03_P01	1
5	Espiga 6x60	C02_P04	2
6	Rueda trasera	C03_C01	1
7	Espiga 6x40	C02_P03	1

En la Figura 16 se puede observar una imagen explosionada del conjunto rueda trasera con todas las piezas de la Tabla 3 numeradas (plano C03).

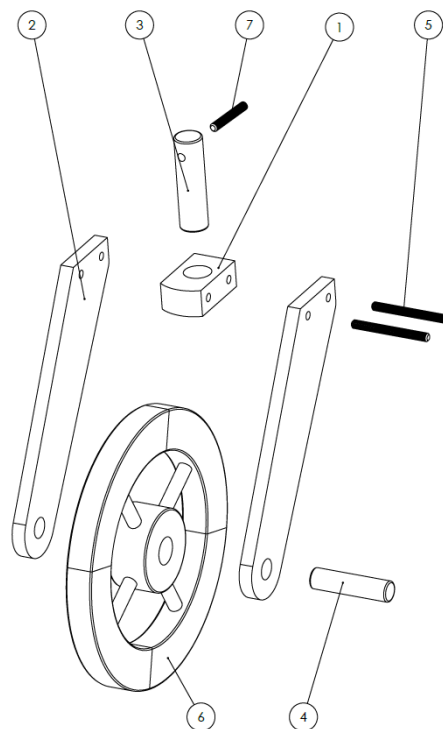


Figura 16.- Vista explosionada del conjunto rueda trasera

Conjunto transmisión primaria

El conjunto transmisión primaria está formado por un eje que soporta dos ruedas dentadas. Este conjunto recibe la función de transmitir el movimiento del conjunto ruedas delanteras al conjunto transmisión secundaria, el movimiento entra por el engranaje mayor y se transmite al siguiente conjunto a través del engranaje menor. En la Tabla 4 se enumeran las piezas de este conjunto.

Tabla 4.- Piezas del conjunto transmisión primaria

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Eje de transmisión	C04_P01	1
2	Engranaje mayor	C04_C01	1
3	Engranaje menor	C04_C02	1
4	Espiga 6x60	C02_P04	2
5	Espiga 6x40	C02_P03	1

En la Figura 17 se puede observar una imagen explosionada del conjunto rueda trasera con todas las piezas de la Tabla 4 numeradas (plano C04).

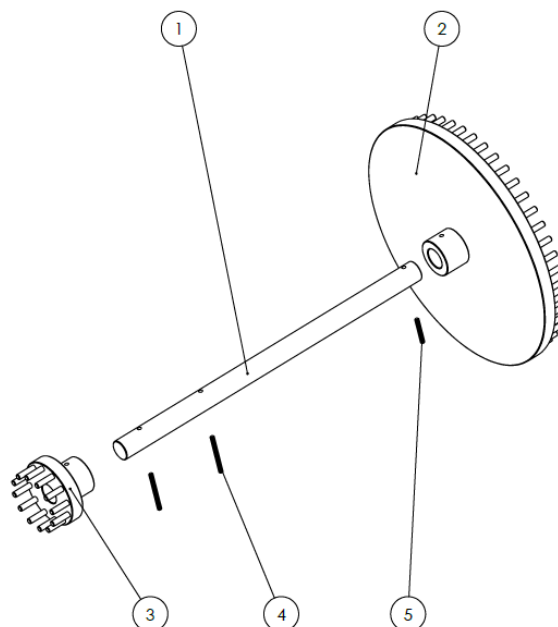


Figura 17.- Vista explosionada del conjunto transmisión primaria

Conjunto transmisión secundaria

El conjunto transmisión secundaria está formado por eje vertical que soporta una rueda dentada que posee orificios alrededor de su perímetro donde se aloja el material de registro. Este conjunto recibe la función final del mecanismo, es el encargado de dejar caer las piezas de registro en el recipiente cada intervalo de distancia recorrida. En la Tabla 5 se enumeran las piezas de este conjunto.

Tabla 5.- Piezas del conjunto transmisión secundaria

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Disco base	C05_P02	1
2	Disco engranaje mayor horizontal	C05_P01	1
3	Diente	C04_C01_P03	48
4	Cojinete 30x20	C05_P03	1
5	Espiga 6x20	C04_C01_P04	2

En la Figura 18 se puede observar una imagen explosionada del conjunto rueda trasera con todas las piezas de la Tabla 5 numeradas (plano C05).

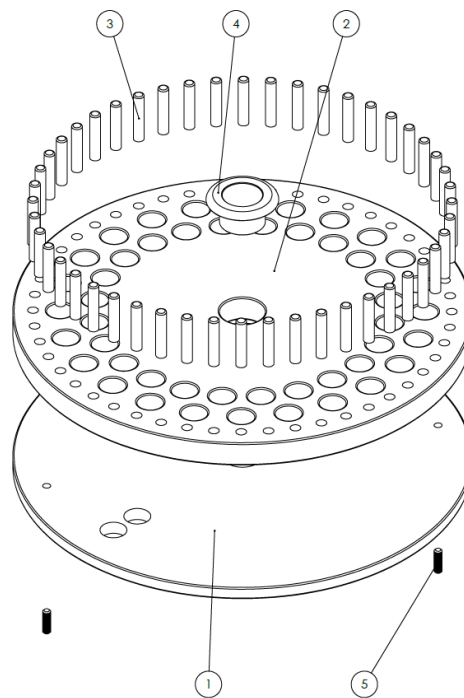


Figura 18.- Vista explosionada del conjunto transmisión secundaria

Recipiente

El recipiente está formado por una caja de madera abierta por su parte superior que está unido al chasis. La función del recipiente es almacenar las piezas de registro durante el funcionamiento del mecanismo. En la Tabla 6 se enumeran las piezas de este conjunto.

Tabla 6.- Piezas del recipiente

N.º de elemento	Nombre de la pieza	N.º plano	Cantidad
1	Chapa base	C06_P04	1
2	Chapa menor	C06_P03	2
3	Chapa mayor	C06_P02	1
4	Chapa mayor con agujeros	C06_P01	1
5	ISO 10669-8.8-N		2
6	ISO 4014-M8x60x22-N		2
7	ISO 4161-M8-N		2

En la Figura 19 se puede observar una imagen explosionada del conjunto rueda trasera con todas las piezas de la Tabla 6 numeradas (plano C06).

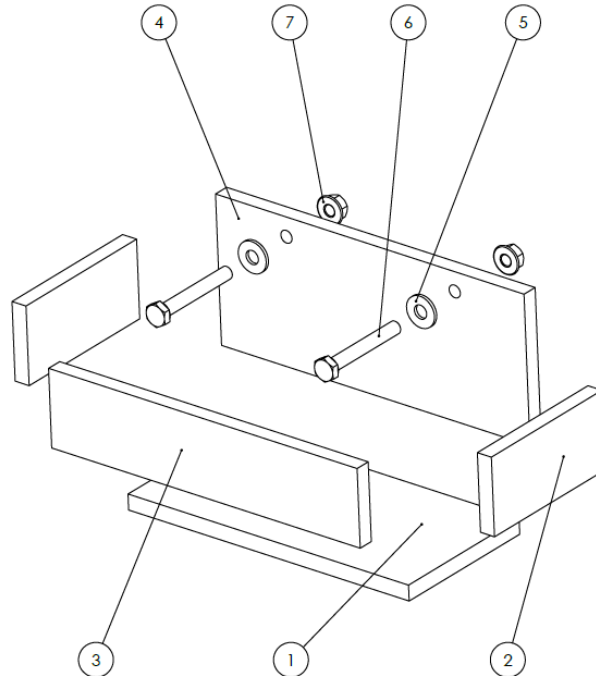


Figura 19.- Vista explosionada del recipiente

Medidor: vistas y dimensiones principales

En la Figura 20 se pueden observar las principales vistas y medidas del medidor.

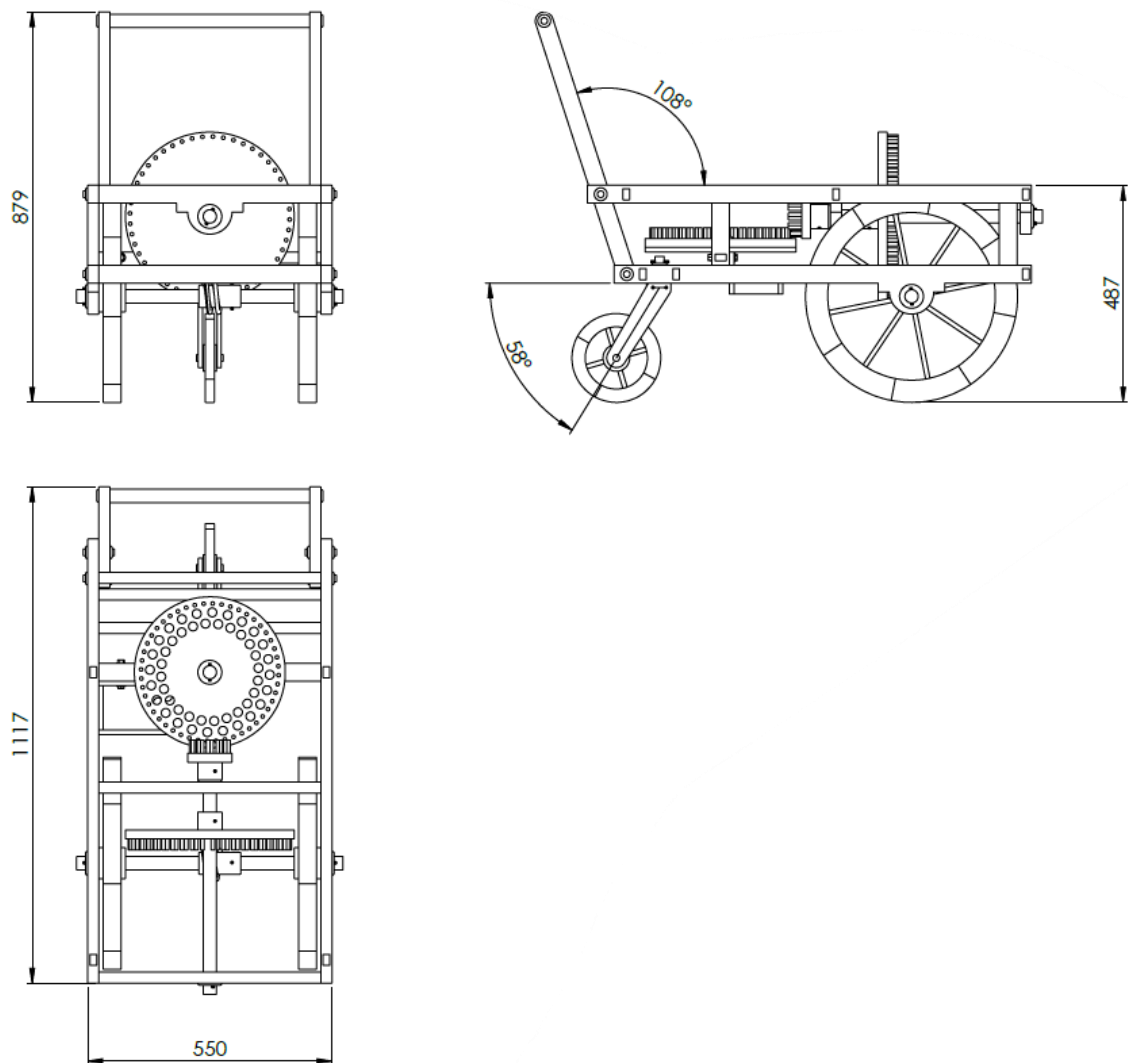


Figura 20.- Vistas y medidas principales del medidor

Material

Madera

El material principal utilizado en la época de Leonardo da Vinci fue la madera. La madera se compone de fibras de celulosa unidas con lignina, era el principal material de construcción de la época, con él se construían barcos, casas, mecanismos, etc.

La madera tiene su origen en diferentes tipos de árboles, con lo que sus características también varían según el origen de proceden de esta, sin embargo, presenta cualidades comunes en todos los tipos.

Presenta diversas cualidades que lo han hecho el material de construcción por excelencia de la época, pero también presenta diversas problemáticas que lo limitan respecto a otros materiales.

Estas son las cualidades que hacen que la madera tuviera un lugar destacado en la historia:

- Es anisótropo, es decir las características cambian según la orientación con que se midan dentro del material, en características como la resistencia o la elasticidad.
- Es ortótropo, es decir que su elasticidad depende de la dirección de deformación.
- Es higroscópico, absorbe humedad del ambiente en cantidades y de forma distintas.
- Es un material muy abundante que se puede encontrar en todas partes de del planeta en sus diversas especies.
- Es fácil de manipular pudiendo obtener diversas formar después de su procesado.
- Es mucho más ligero que los otros materiales de la época.
- Es un material que si se produce y consume de una forma ordenada es ilimitado, ya que es capaz de renovarse continuamente.

- No precisa de añadidos para tener un acabo superficial de buena estética, una propiedad que muchos materiales de la actualidad carecen teniendo que recurrir a montajes externos sobres para dotar de estética.

La madera también presenta grandes desventajas que han hecho que su uso en la actualidad haya disminuido:

- Es un material que para tener una vida útil considerable se han de aplicar en los diversos tratamientos que encarecen considerablemente su coste (barnizado).
- Para obtener la madera en necesario la tala de árboles, esto en el contexto medioambiental de la actualidad es una desventaja debido a las condices climáticas actuales.
- Su obtención resulta perjudicial el ecosistema donde residen los árboles de donde se obtiene.
- Las evoluciones tecnológicas han propiciado la viabilidad de materiales con características resistivas muy superiores.
- Es un material con características técnicas limitadas para las solicitudes de la actualidad.

A pesar de todas las desventajas la madera sigue siendo un material muy utilizado en la industria, sobre todo en la industria de la construcción, estando ya en desuso en mecanismos ya que no es capaz de alcanzar los requerimientos de resistencia que se piden para los mecanismos en la actualidad.

La madera tiene una densidad que varía notablemente entre especies, además varía según las características físicas en que esta se encuentre (húmeda o seca) pero la mayoría de las especies tienen una densidad habitual entre los 500 y los 800 Kg/m³.

Leonardo Da Vinci trabajaba con una gran variedad de maderas por lo que es difícil intuir cual utilizo en este partiendo solo del boceto.

Hierro

Otro material utilizado en el mecanismo es el hierro que fue utilizado para la fabricación del tornillo sin fin, el cual fue elaborado de hierro de la época siendo de las pocas piezas del mecanismo que no estas elaboradas con madera.

Debido a las limitaciones tecnológicas de la época, el hierro de esa época no tiene nada que ver con el de la actualidad ya que su estudio a lo largo de la historia ha permitido alcanzar niveles de desarrollo en este material hasta el punto de especificar al más mínimo detalle el porcentaje de los componentes que lo constituyen haciendo variar sus cualidades dependiendo del uso que se le vaya a dar a este.

El hierro de esa época se caracteriza por:

- Tenía muchas impurezas, un hecho que reduce considerablemente sus características mecánicas.
- Tiene una densidad mucho más alta que la madera lo que resultaba en piezas considerablemente pesadas lo que limitaba su uso en mecanismos.
- Aunque la elaboración ya tenía un considerable desarrollo seguía siendo un material difícil de trabajar debido a las altas temperaturas que requiere su tratamiento.
- Solo se le podían dar formas simples ya que es un material muy resistente y requiere de grandes presiones para darle forma incluso a altas temperaturas (aunque en estas condiciones se reduce considerablemente la presión necesaria en esa época no tenían la tecnología necesaria).
- Debido a su alta densidad y la dificultad en su conformado solo podían hacer piezas de tamaño limitado (en piezas con formas simples alcanzaban mayores tamaños)

El usar este material en su mecanismo dice mucho sobre Leonardo da Vinci en el uso de materiales, utilizados sobre todos para herramientas, de una forma novedosa.

Capítulo 5: simulación

Partiendo del ensamblaje del mecanismo, se ha realizado una simulación completa del funcionamiento de este. A continuación, se describe la ejecución de la simulación en SolidWorks Motion ya que desafortunadamente no es posible su reproducción en este informe.

Aplicación de funciones

Para que la simulación sea lo más parecida posible con la realidad, en primer lugar, se configuran diversas funciones introducidas en el capítulo 3.

En primer lugar, se aplica una fuerza gravitatoria en dirección del eje Y en sentido negativo con un valor de nueve con ocho metros por segundo al cuadrado usando la función gravedad.

En segundo lugar, se ha aplicado un motor rotativo sobre el eje principal usando la función motor.

Una de las partes más críticas de la simulación es la interacción entre sólidos y debido a que el número de sólidos que interaccionan en esta simulación son considerables esta implementación ha sido la que mayor problemática ha generado con diferencia, aumentando considerable la potencia de computación necesaria para llevar a cabo la simulación.

Para la simulación del movimiento de las canicas se ha utilizado la función contacto entre sólidos relacionando todas las canicas entre sí y entre todas las partes del ensamblaje con las que entran en contacto. Esta función se ha tenido que repetir más de una vez ya que solo con una el programa no tenía en cuenta algunos contactos.

Configuraciones de visualización

Para conseguir una visualización lo más realista posible se han activado los gráficos “Realview”, esta opción solo se puede activar si se dispone de una gráfica dedicada como por ejemplo una tarjeta gráfica nvidia. Además de esto se han ajustado diversos parámetros de

iluminación y sombras. Cabe destacar que la adición de todos estos parámetros hace que la simulación requiera de más potencia de computarización.

Escena

La escena está situada en un camino de adoquines situado en un campo de césped con un fondo azul simulando el cielo, el medidor se sitúa en el eje central del camino y para poder apreciar correctamente sus dimensiones se sitúa, amulando a un ser humano, un maniquí genérico humanoide. Esta escena intenta recrear una situación original en la que Leonardo da Vinci podría haber utilizado su invento. En la Figura 21 se puede ver la escena.



Figura 21.- Vista de la escena general

Simulación

En la escena inicial se parte de una vista general del medidor y a medida que avanza la simulación se hace rotar el mecanismo para que se puede ver desde los distintos ángulos.

A continuación se activa el movimiento del mecanismo recreando su funcionamiento y haciendo visible el recorrido que va siguiendo el línea recta, para poder observar el funcionamiento de la transmisión se hace un zoom en la transmisión primaria, para poder observar correctamente se hace que la rueda y la parte del chasis que está al frente se haga transparente dejando despejada la vista de la transmisión, en esta parte se puede ver cómo según avanza el medidor, la rueda sin fin acoplada al eje de las ruedas principales impulsa la rueda dentada de la transmisión principal, Figura 22.

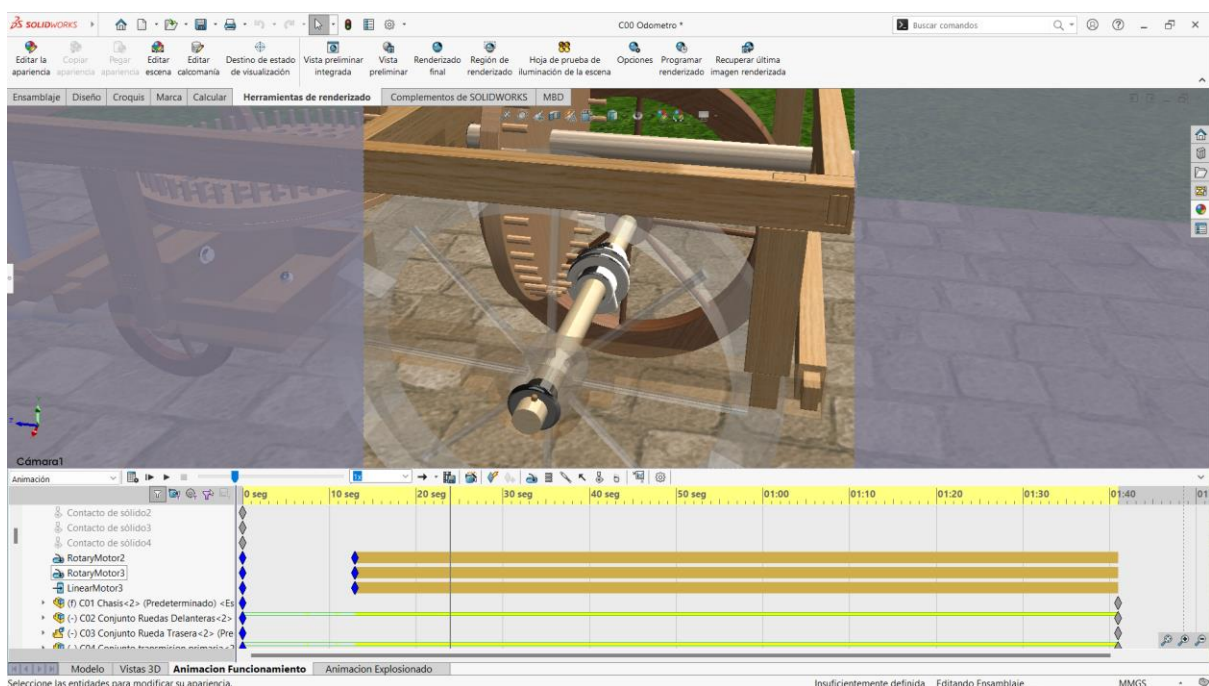


Figura 22.- animación de la transmisión primaria en SolidWorks Motion

Seguidamente se pasa a un plano donde se pueden ver las dos transmisiones en funcionamiento y a un segundo plano desde una perspectiva trasera elevada para que se puedan ver el funcionamiento de la transmisión en el conjunto según avanza el medidor.

Partiendo de la vista anterior se hace un enfoque en la transmisión secundaria para poder observar esta parte. En esta parte se puede observar como las canicas son arrastradas en los huecos donde se alojan de una forma muy realista. Pasada esta vista se pasa a un enfoque en la parte donde las canicas pueden caer al recipiente de almacenamiento. En esta parte se hace mucho énfasis en el movimiento de las canicas, haciendo que la rueda móvil y la rueda

fija se hagan totalmente transparentes para permitir la visualización de la caída de las canicas,

Figura 23.

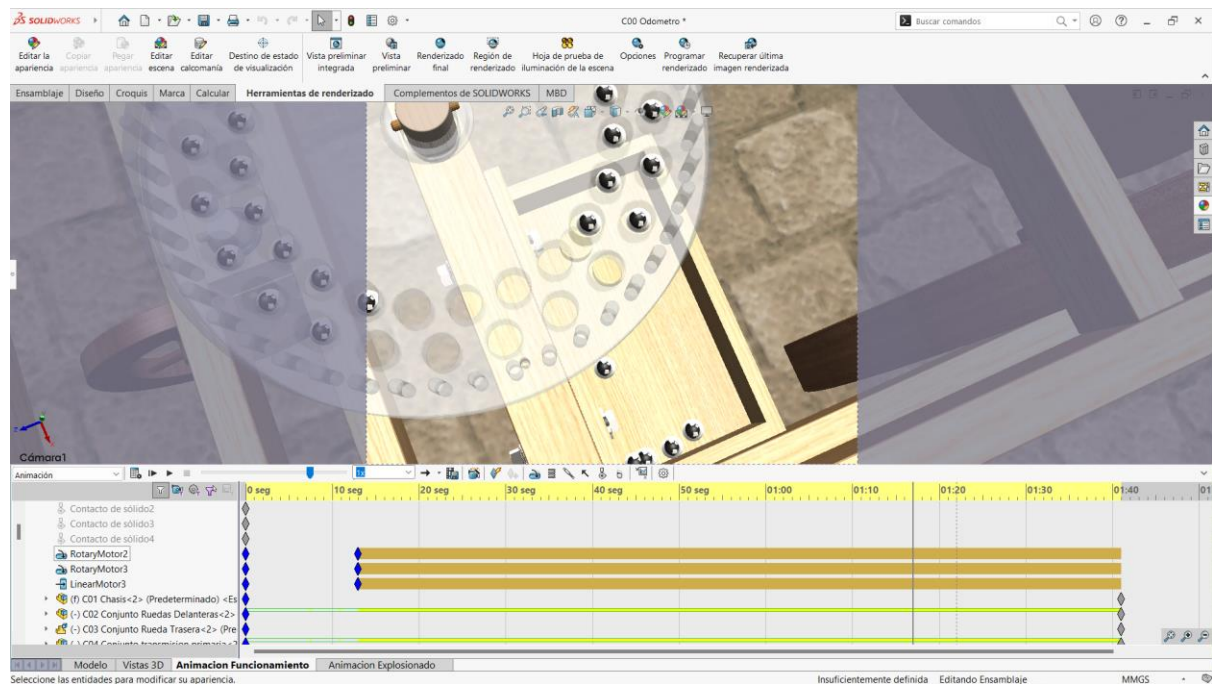


Figura 23.- animación del movimiento de las canicas en SolidWorks Motion

Habiendo visto todas las partes del mecanismo, se vuelve al plano general del inicio visualizado como el mecanismo funciona y sigue avanzando en su recorrido dando por finalizada la simulación, Figura 24.

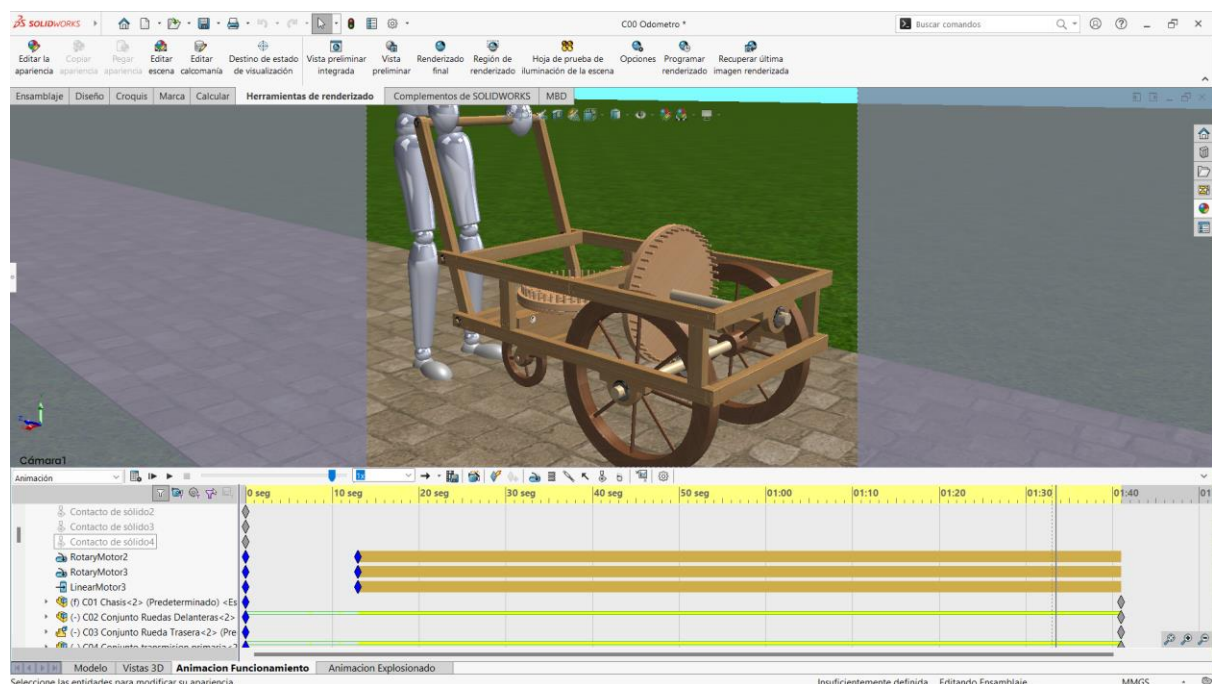


Figura 24.- animación escena final en SolidWorks Motion

Capítulo 6: Resultados alcanzados

Análisis cinemático

El mecanismo está diseñado para ser movido por el ser humano a través del asa que pertenece al chasis (Figura 25). La velocidad caminando del ser humano ordinario se encuentra entre los 4 y 6 Km/h según los centros para la prevención y control de enfermedades (CDC) dependiendo de diversos factores como la edad, constitución, altura, etc.

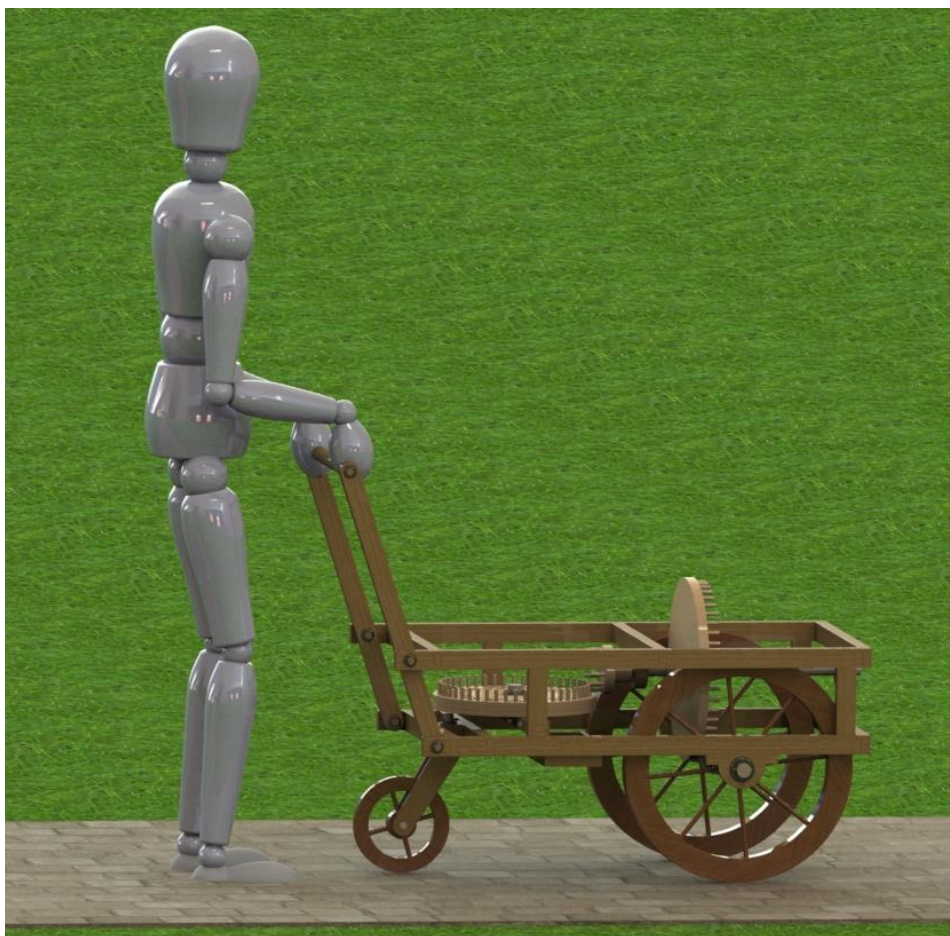


Figura 25.- Persona junto al mecanismo

Para la ejecución del análisis cinemático en SolidWorks se toma una velocidad lineal media del mecanismo de 5 Km/h, esta velocidad se traduce en velocidad angular en las ruedas del conjunto ruedas delanteras, cuyo eje es el que mueve el mecanismo.

Las ruedas delanteras tienen un diámetro de 477.47 mm, por lo que dividiendo la velocidad lineal por el radio de una rueda obtenemos su velocidad angular.

$$\frac{v}{r} = \omega \rightarrow \frac{5000 \text{ m/h}}{238.74 \times 10^{-3} \text{ m}} = 20943.29 \text{ rad/h} \quad (16)$$

$$20943.29 \text{ rad/h} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 3333.28 \text{ rev/h} \quad (17)$$

$$3333.28 \text{ rev/h} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \mathbf{55.6 \text{ rpm}} \quad (18)$$

Para el análisis en SolidWorks se aplica esta velocidad angular en la cara exterior de las ruedas a modo de fuerza motriz del mecanismo. Con esta fuerza motriz y las relaciones de posición y contacto definidas en el ensamblaje se consigue replicar el movimiento de todo el mecanismo para el análisis y la simulación.

Para el análisis se ha utilizado el complemento SolidWork Motion, en el cual se puede implementar una fuerza motriz rotatoria sobre las piezas.

Para la simulación del movimiento del mecanismo se implementa una velocidad angular en el eje de las ruedas delanteras de 55.6 rpm, velocidad calculada anteriormente.

Transmisión primaria

La transmisión primaria viene dada por un tornillo sin fin que tramite el movimiento a una rueda dentada. El tornillo sin fin se denomina rueda 1, mientras que el engranaje mayor rueda 2.

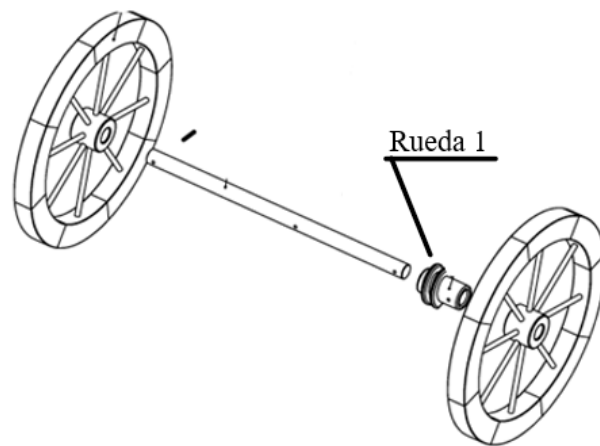


Figura 26.- Rueda 1

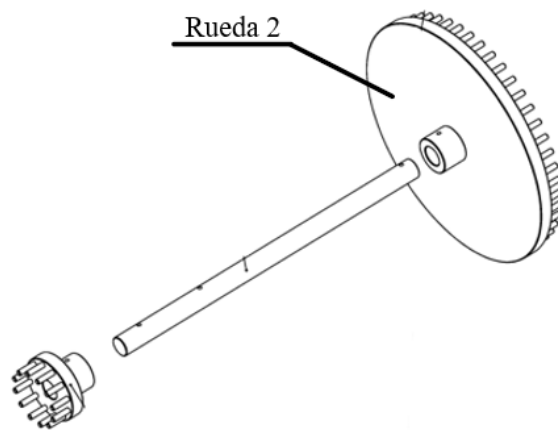


Figura 27.- Rueda 2

Dada la configuración, la relación de transmisión primaria se define como:

$$u_{12} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{48}{1} = 48 \quad (19)$$

Con la velocidad de entrada del tornillo sin fin se puede deducir la velocidad de la rueda 2.

$$u_1 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \rightarrow \omega_2 = \frac{Z_1 \cdot \omega_1}{Z_2} = \frac{1 \cdot 55.6}{48} = 1.16 \text{ rpm} \quad (20)$$

SolidWorks da el resultado del análisis en grados/seg, En la Figura 28 se observa la velocidad obtenida de la simulación de la rueda 1, W1.

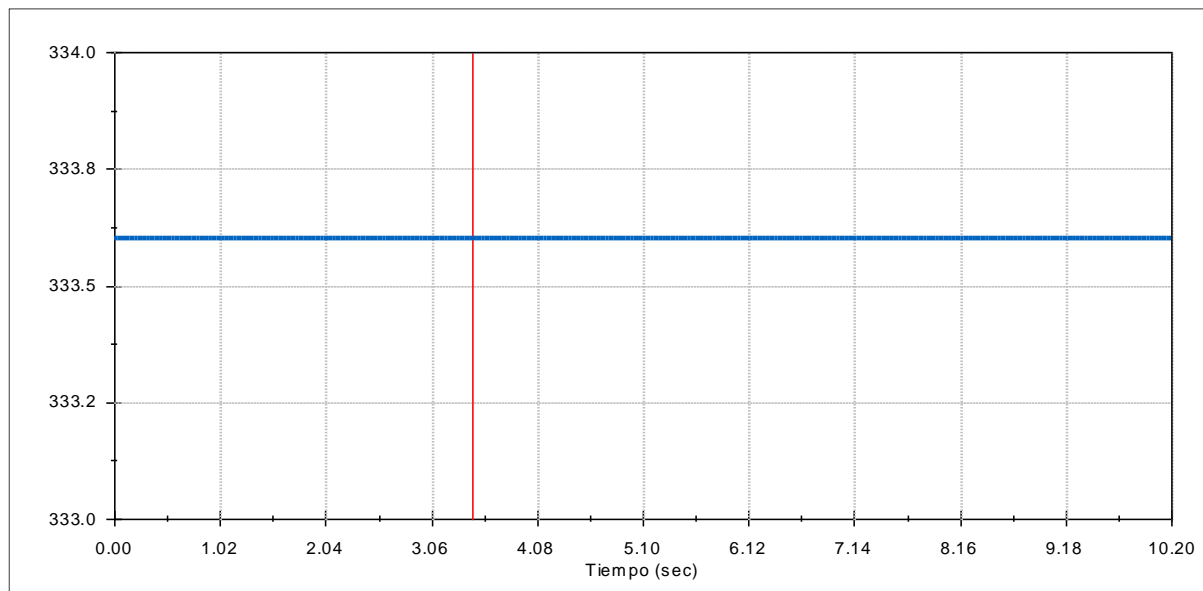


Figura 28.- W1

$$\omega_1 = 333.56 \frac{\text{deg}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ rev}}{360 \text{ deg}} = 55.6 \text{ rpm} \quad (21)$$

La velocidad angular de la rueda 2, W2, obtenida de la simulación se puede observar en la Figura 29.

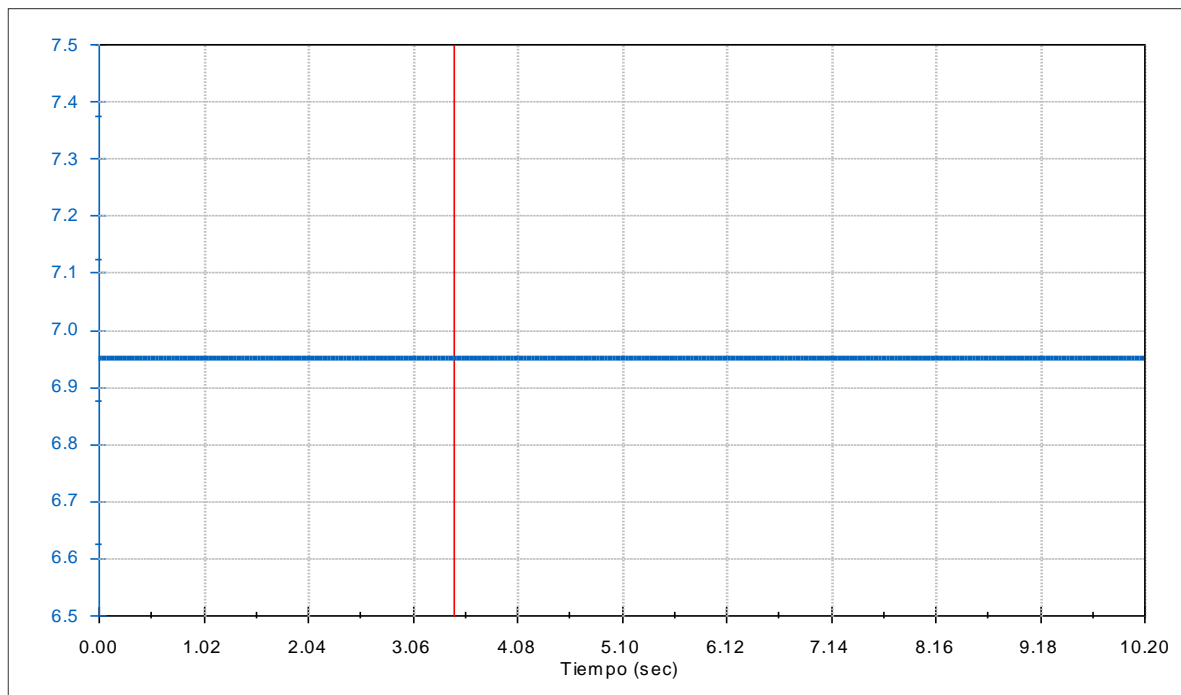


Figura 29.- W2

$$\omega_2 = 6.95 \frac{\text{deg}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ rev}}{360 \text{ deg}} = 1.16 \text{ rpm} \quad (22)$$

Este valor coincide con el calculado anteriormente de forma numerica.

Transmisión secundaria

La transmisión secundaria viene dada por una rueda acoplada al eje de la rueda 2, la cual se denominada rueda 3, que mueve una rueda acoplada al chasis denominada rueda 4, la cual tiene una parte inferior fija que alberga dos orificios.

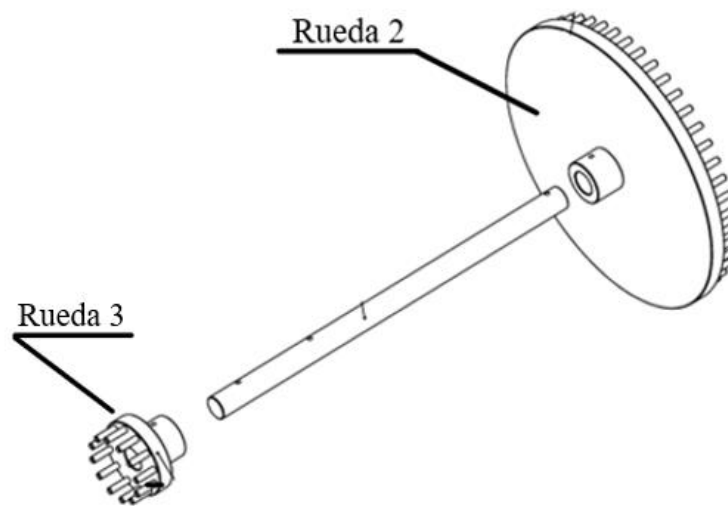


Figura 30.- Rueda 3

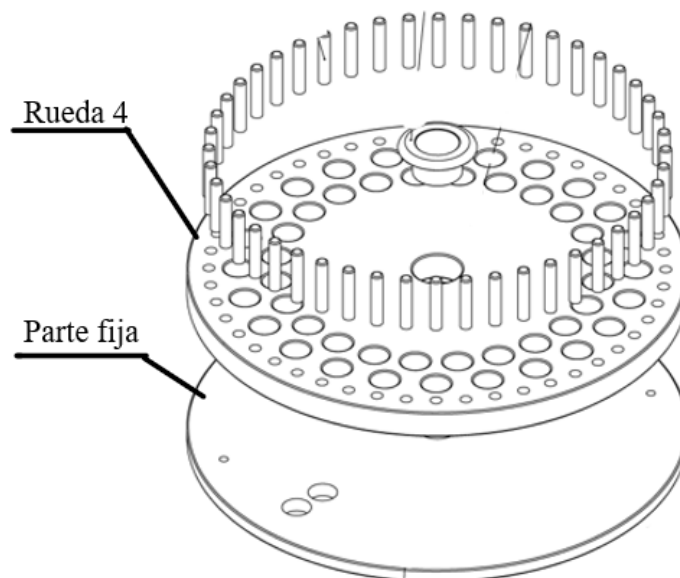


Figura 31.- Rueda 4

Dada la configuración, la relación de transmisión secundaria se define como:

$$u_{34} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{48}{12} = 4 \quad (23)$$

Con la velocidad de entrada de la rueda 3 se puede deducir la velocidad de la rueda 4.

$$u_{34} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{\omega_3}{\omega_4} \rightarrow \omega_4 = \frac{Z_3 \cdot \omega_3}{Z_4} = \frac{12 \cdot 1.16}{48} = 0.29 \text{ rpm} \quad (24)$$

SolidWorks da el resultado del análisis en grados por segundo, Obteniendo la Figura 32 de velocidad angular en la rueda 3, W3.

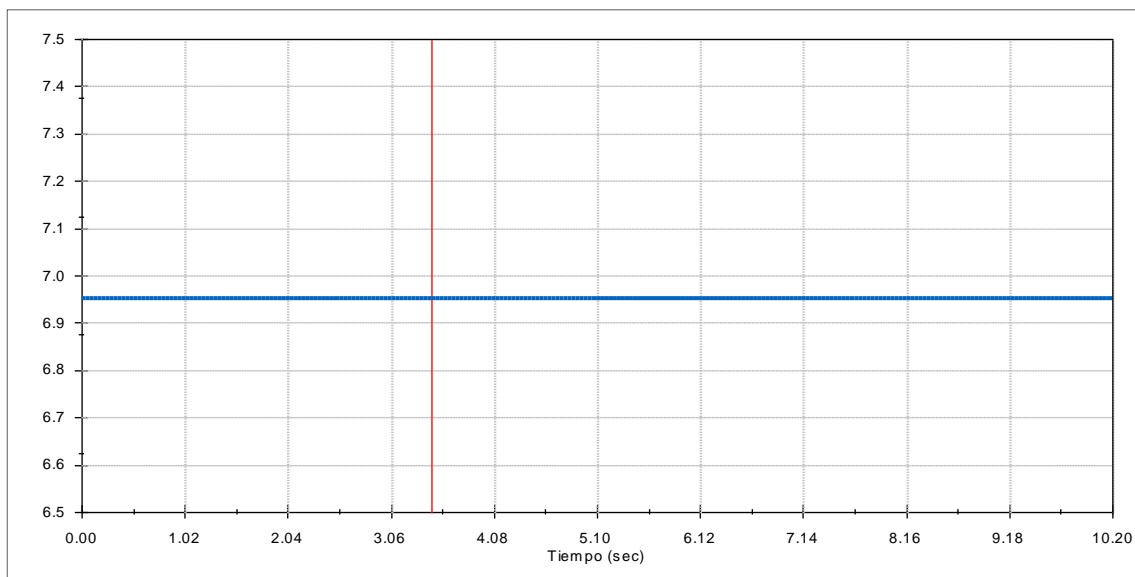


Figura 32.- W3

$$\omega_3 = 6.95 \frac{\text{deg}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ rev}}{360 \text{ deg}} = 1.16 \text{ rpm} \quad (25)$$

Se comprueba que la simulación arroja valores lógicos, ya que la velocidad de la rueda 3 y la rueda 2 han de tener la misma velocidad ya que están en el mismo eje.

La velocidad angular de la rueda 4, W4, obtenida de la simulación se puede observar en la Figura 33.

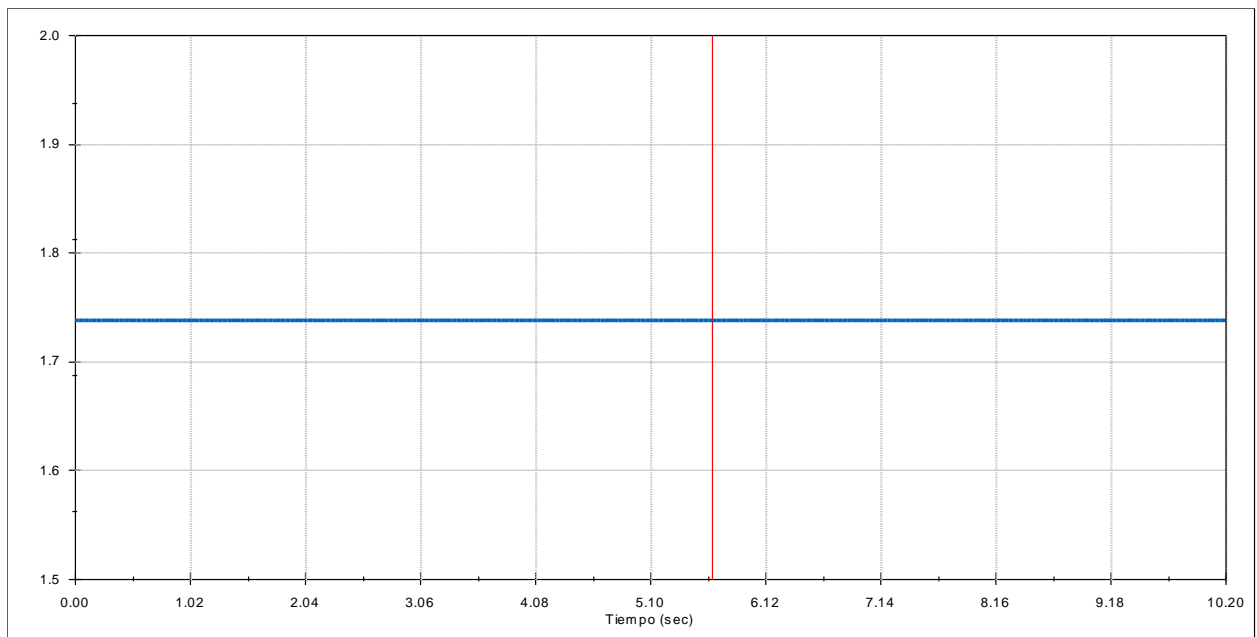


Figura 33.- W4

$$\omega_4 = 1.74 \frac{\text{deg}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ rev}}{360 \text{ deg}} = 0.29 \text{ rpm} \quad (26)$$

Este valor coincide con el calculado anteriormente de forma numerica.

Tiempo de caída del material a 5 Km/h

La rueda 4 gira a un ritmo de 0.29 rpm cuando la carretilla se empuja a una velocidad uniforme de cinco kilómetros por hora, por lo que conociendo el ángulo de los orificios podemos deducir cada cuanto tiempo va a caer un material.

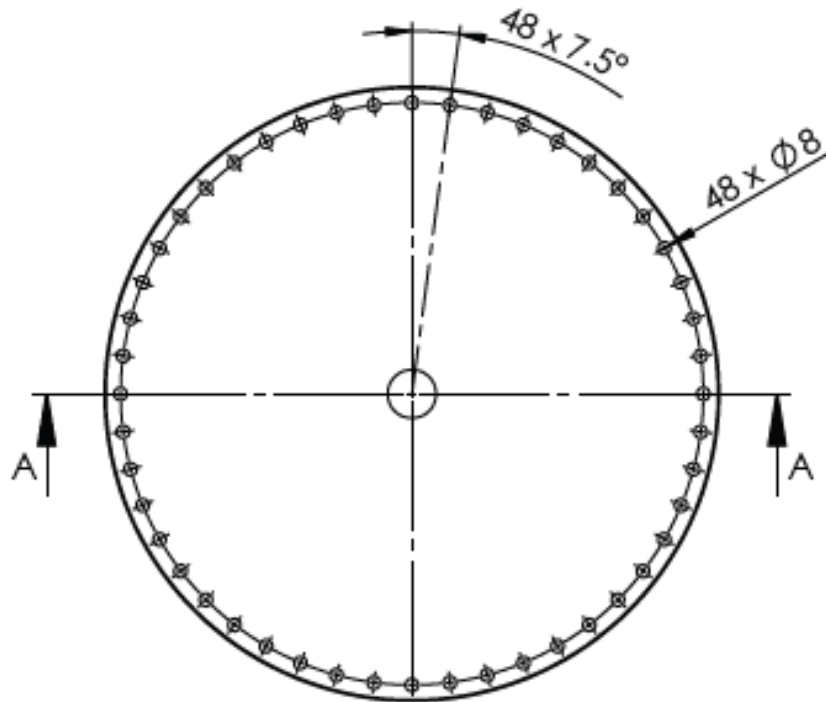


Figura 34.- Angulo de los orificios

Como se observa en la Figura 34, los orificios están repartidos en un ángulo de 7.5 grados, habiendo un total de 48.

$$0.29 \text{ rev/min} \times \frac{360 \text{ deg}}{1 \text{ rev}} = 104.4 \text{ deg/min} \quad (27)$$

$$\frac{1 \text{ material}}{7.5 \text{ deg}} \times \frac{104.4 \text{ deg}}{1 \text{ min}} = 13.92 \frac{\text{material}}{\text{min}} \quad (28)$$

En un minuto caen 13.92 piezas de material por lo que una pieza cae cada 4.31 segundos.

$$\frac{1 \text{ min}}{13.92 \text{ material}} = 0.071839 \text{ min/material} \rightarrow \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 4.31 \text{ seg/material} \quad (29)$$

Las piezas que han de caer por kilómetro son independientes de la velocidad, sin embargo la velocidad con las que caen no es así.

Para el cálculo de las piezas que han de caer cada kilómetro se van a tomar los datos obtenidos para una velocidad de cinco kilómetros por hora.

$$\frac{5 \text{ Km}}{1 \text{ hora}} \rightarrow \frac{0.2 \text{ horas}}{1 \text{ kilometro}} \rightarrow 0.2 \text{ horas} = 0.2 \times 60 \text{ min} = 12 \text{ min} \quad (30)$$

A una velocidad de cinco kilómetros por hora, un kilómetro se recorre en doce minutos.

$$\frac{13.92 \text{ piezas}}{1 \text{ min}} \times 12 \text{ min} = 197.04 \text{ piezas/kilometro} \quad (31)$$

Por lo que dada la configuración actual del ángulo de los orificios de las piezas en este mecanismo por cada kilómetro recorrido de han de contabilizar **197.04 piezas**.

Animación del medidor

La animación en SolidWork se presenta a continuación con una serie de imágenes en diferentes perspectivas del mecanismo.

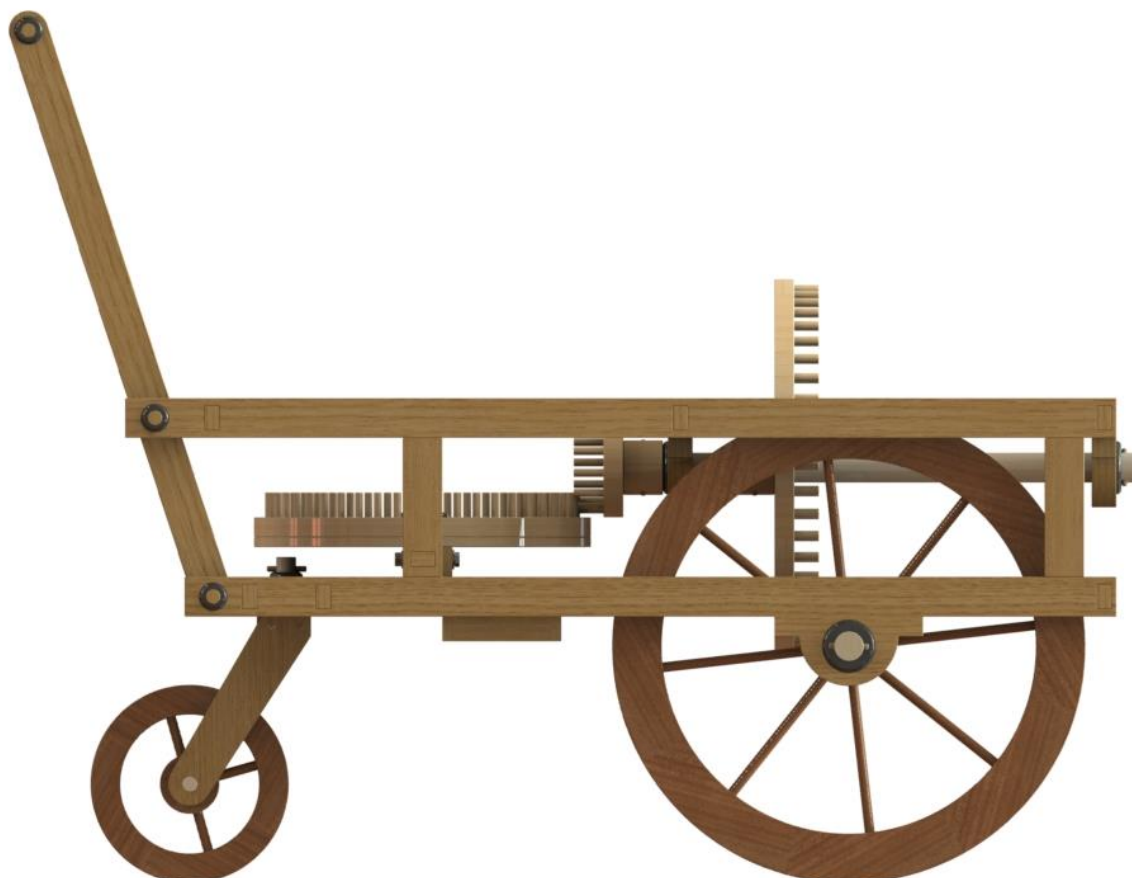


Figura 35.- vista: perfil



Figura 36.- vista: frontal

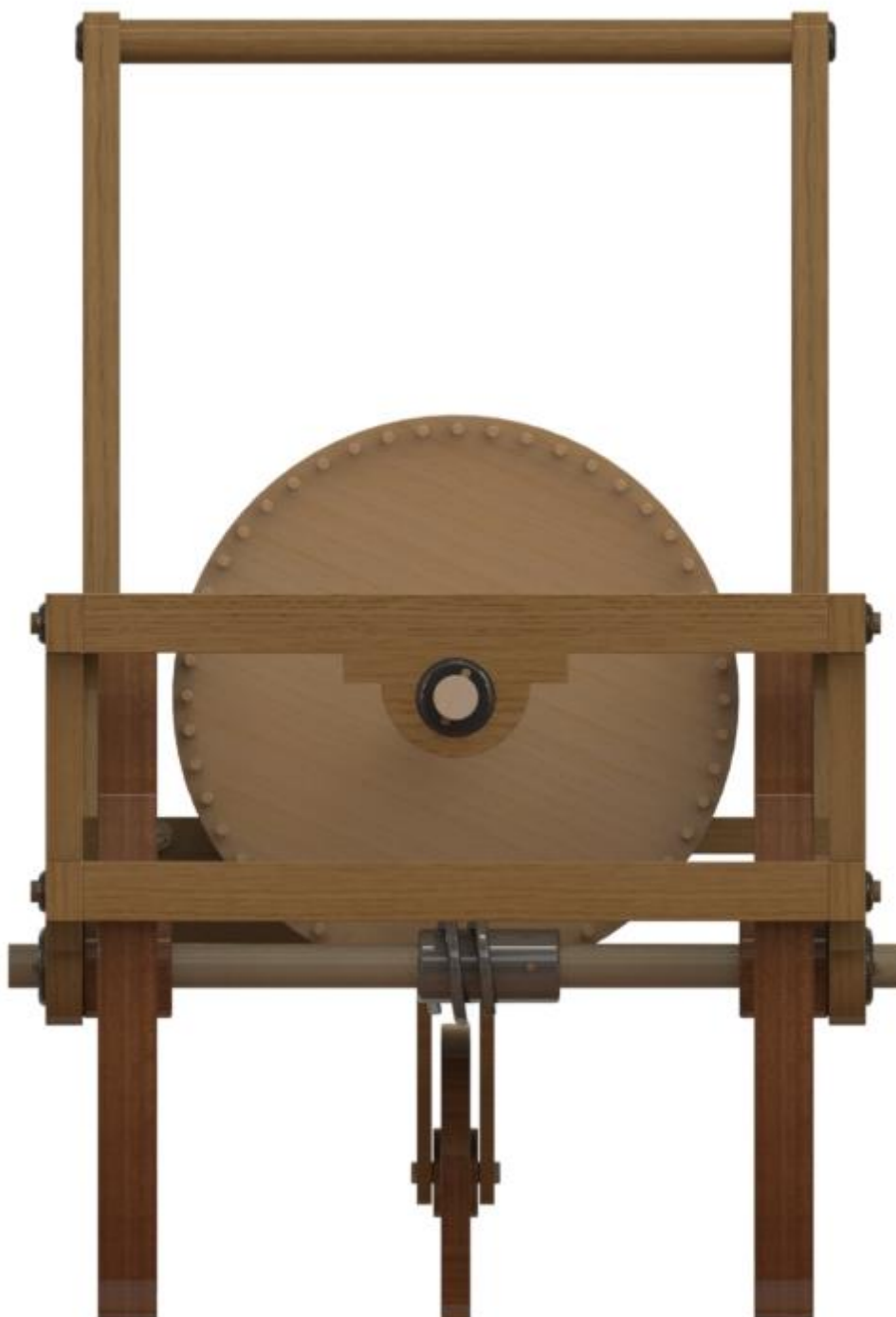


Figura 37.- vista: trasera

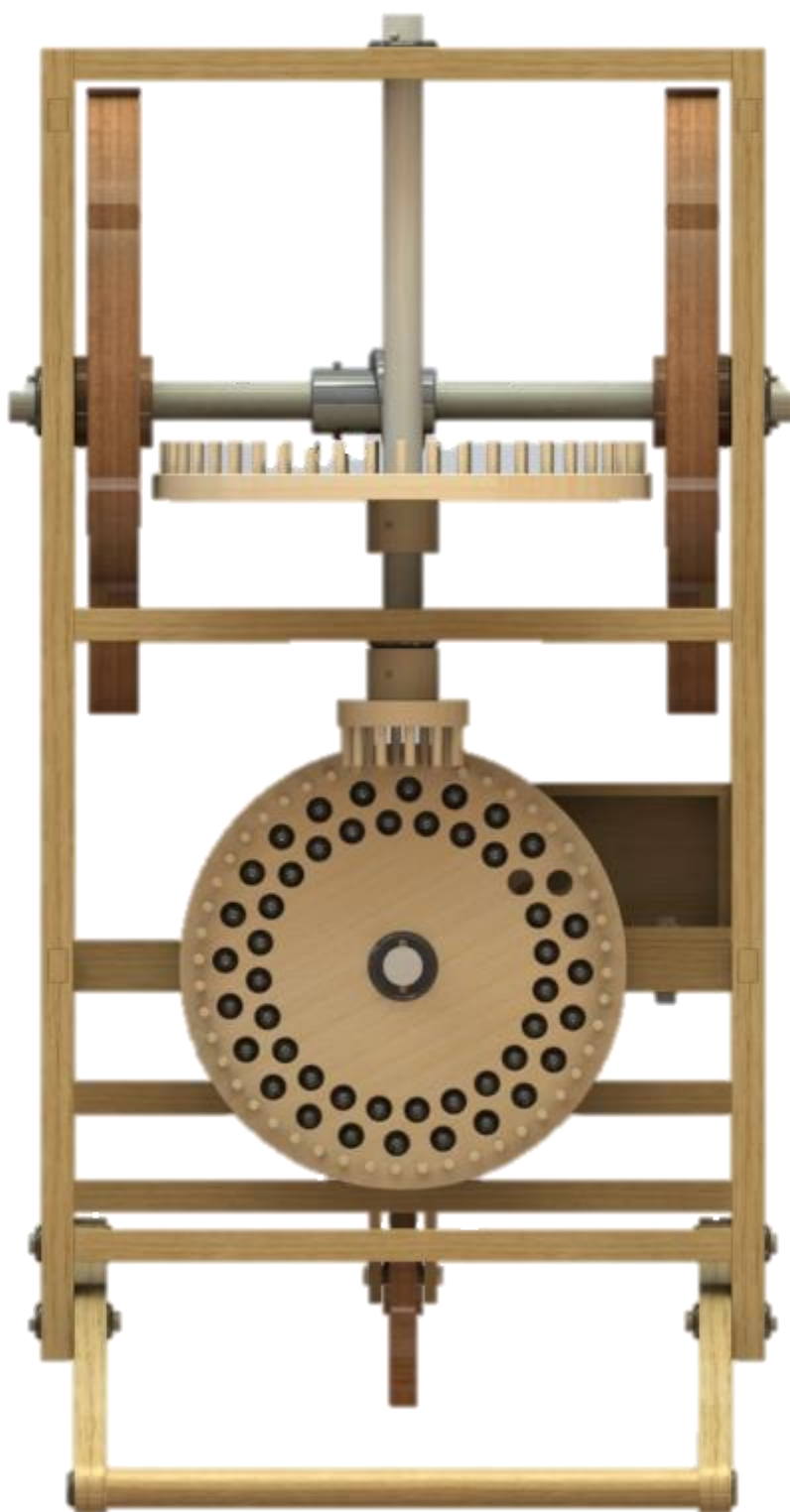


Figura 38.- vista: planta



Figura 39.- vista: isométrica

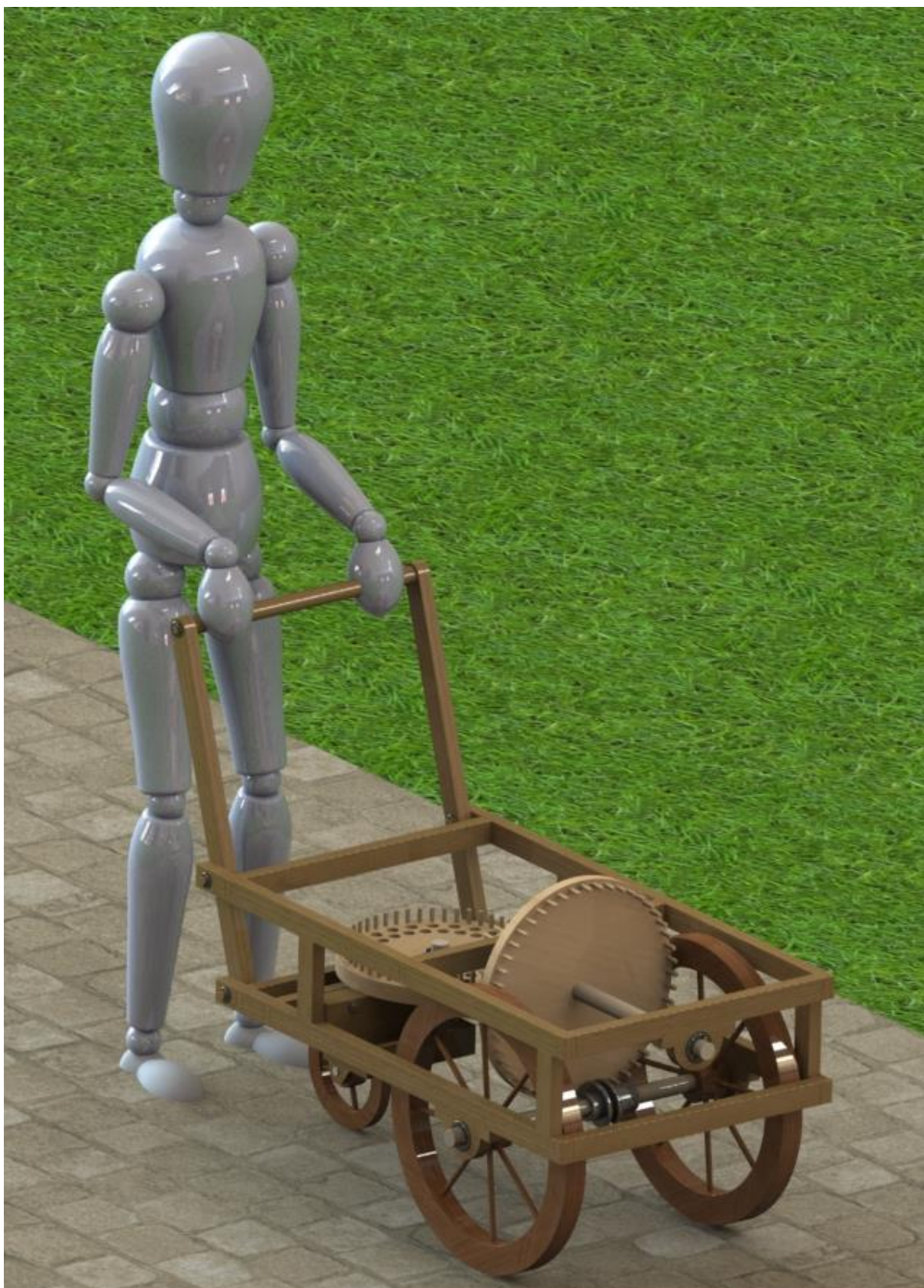


Figura 40.- vista: medidor junto a un ser humano

Capítulo 7: Conclusión

En conclusión, en este trabajo fin de grado se ha extraído un mecanismo de la historia y se ha explicado de forma lógica su forma de funcionamiento y su utilidad, además se ha simulado su movimiento con una herramienta moderna 3D de simulación, SolidWorks.

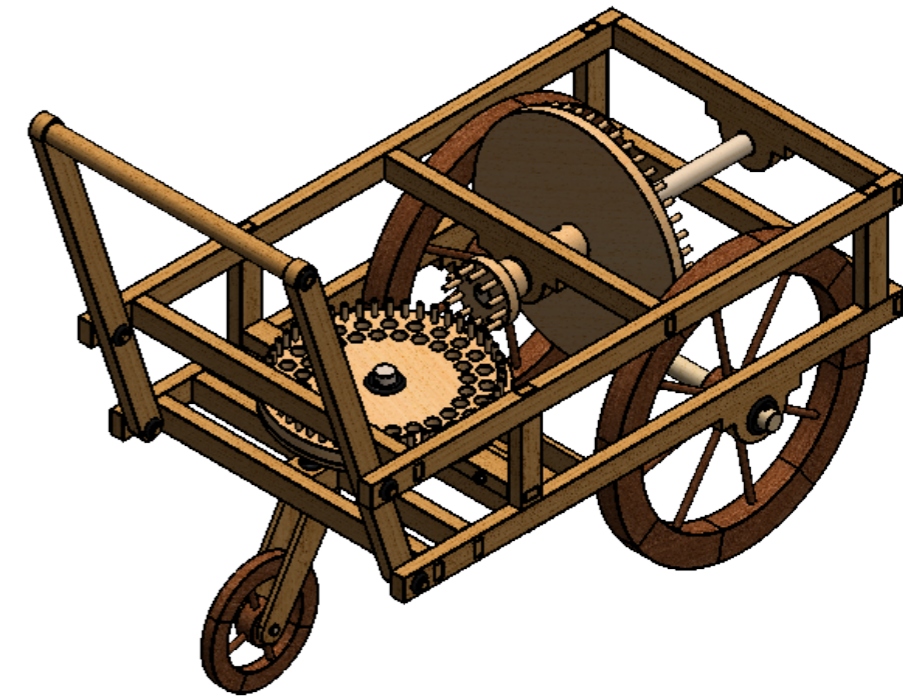
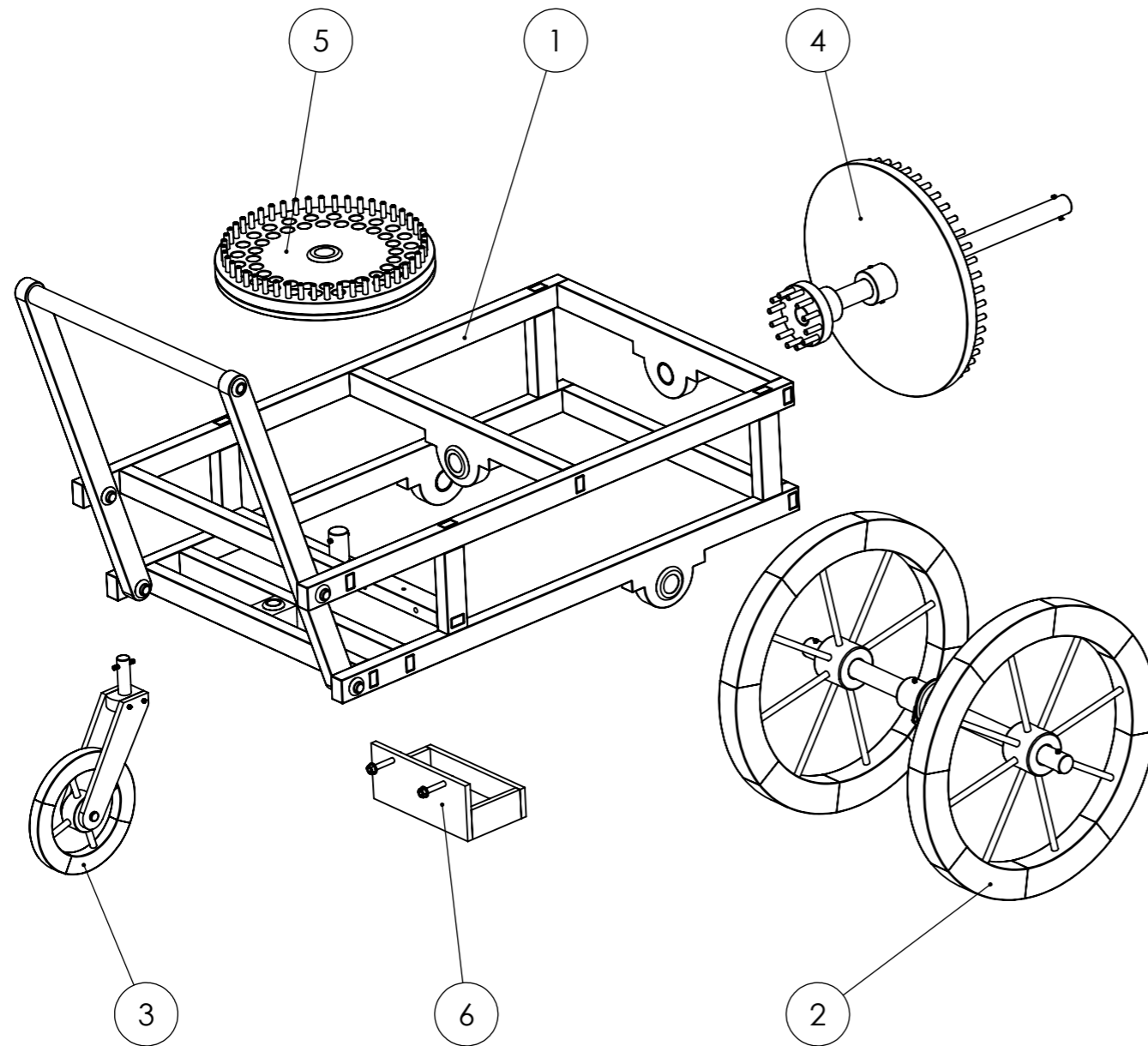
Se han descrito las piezas principales que componen este mecanismo, así como la relación de movimiento que hay entre las diferentes transmisiones que lo componen y se ha comprobado junto con el análisis realizado en la herramienta SolidWork.

De los resultados de los cálculos se deduce que este mecanismo en concreto no está diseñado para largos recorridos ya que es de tracción humana además del hecho de que por cada kilómetro recorrido hay que realizar el recuento de 197 piezas, demasiadas piezas para distancias que podamos considerar grandes de más de diez kilómetros, por lo que este mecanismo seguramente estaba destinado a la medida precisa de corta distancia de menos de medio kilómetro ya que este es capaz de albergar tan solo 48 piezas como máximo lo que da una autonomía de 243,65 metros siendo realmente preciso para la época para estas distancias.

En conclusión, final se trata de un mecanismo realmente simple, de fácil construcción y que además se introdujo de manera innovadora a los mecanismos de medición de la época en la que se inventó, el cual contaba con precisión más que notoria para la época permitiendo avanzar la tecnología y al ser humano en su progreso.

Anexo I

Planos



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Chasis	C01	1
2	Conjunto Ruedas Delanteras	C02	1
3	Conjunto Rueda Trasera	C03	1
4	Conjunto Transmisión Primaria	C04	1
5	Conjunto Transmisión Secundaria	C05	1
6	Recipiente	C06	1



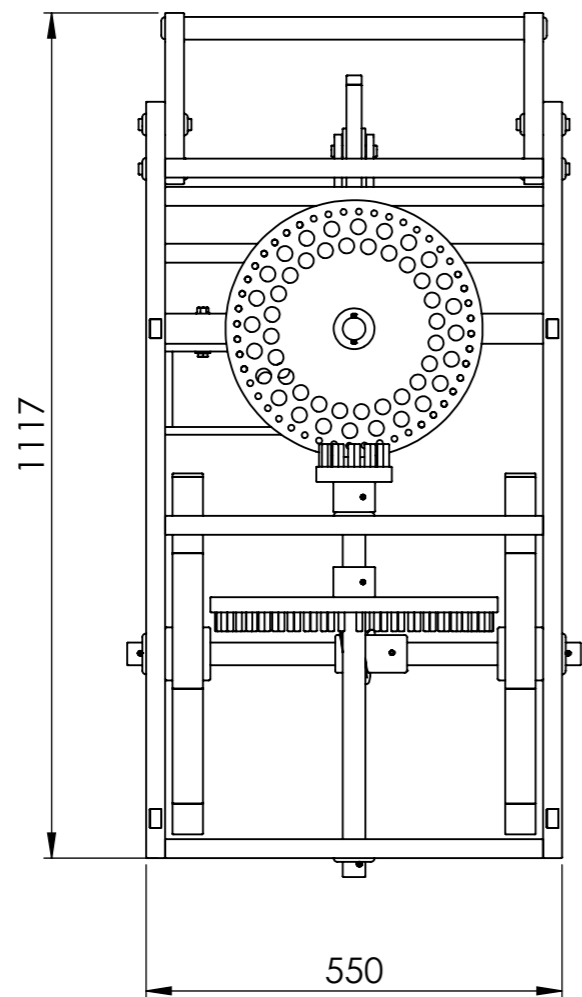
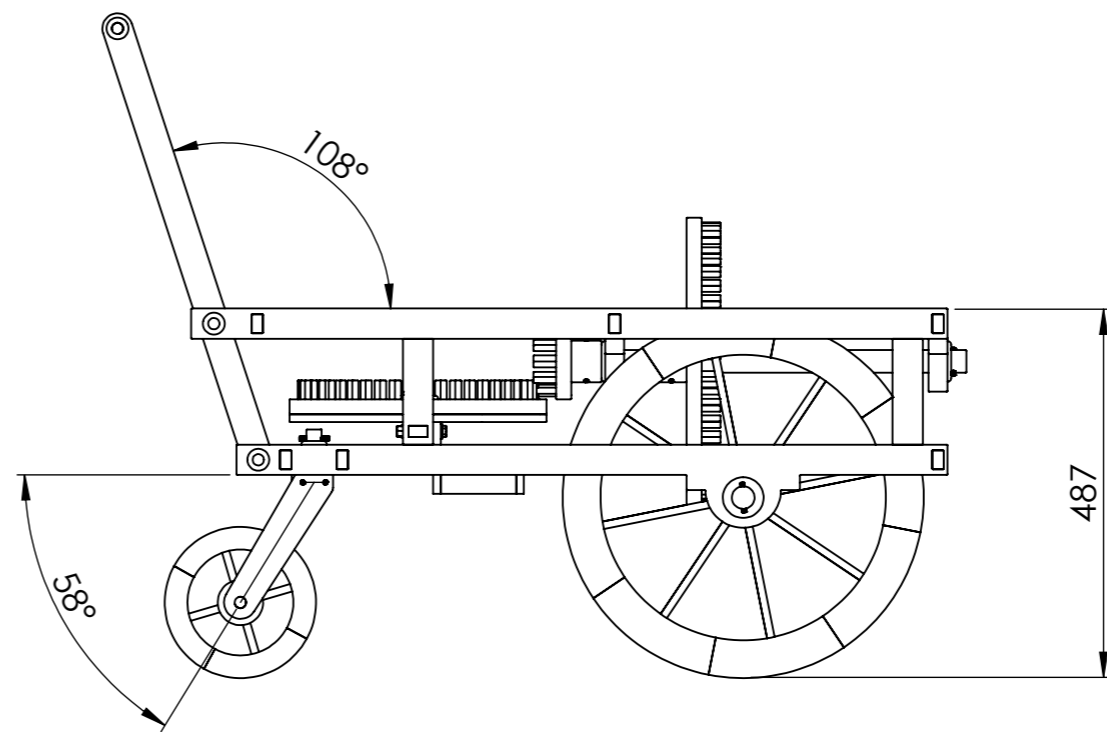
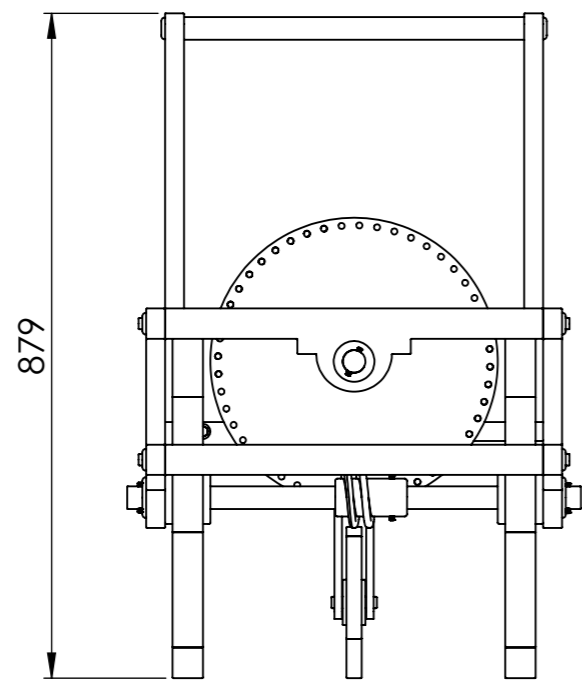
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

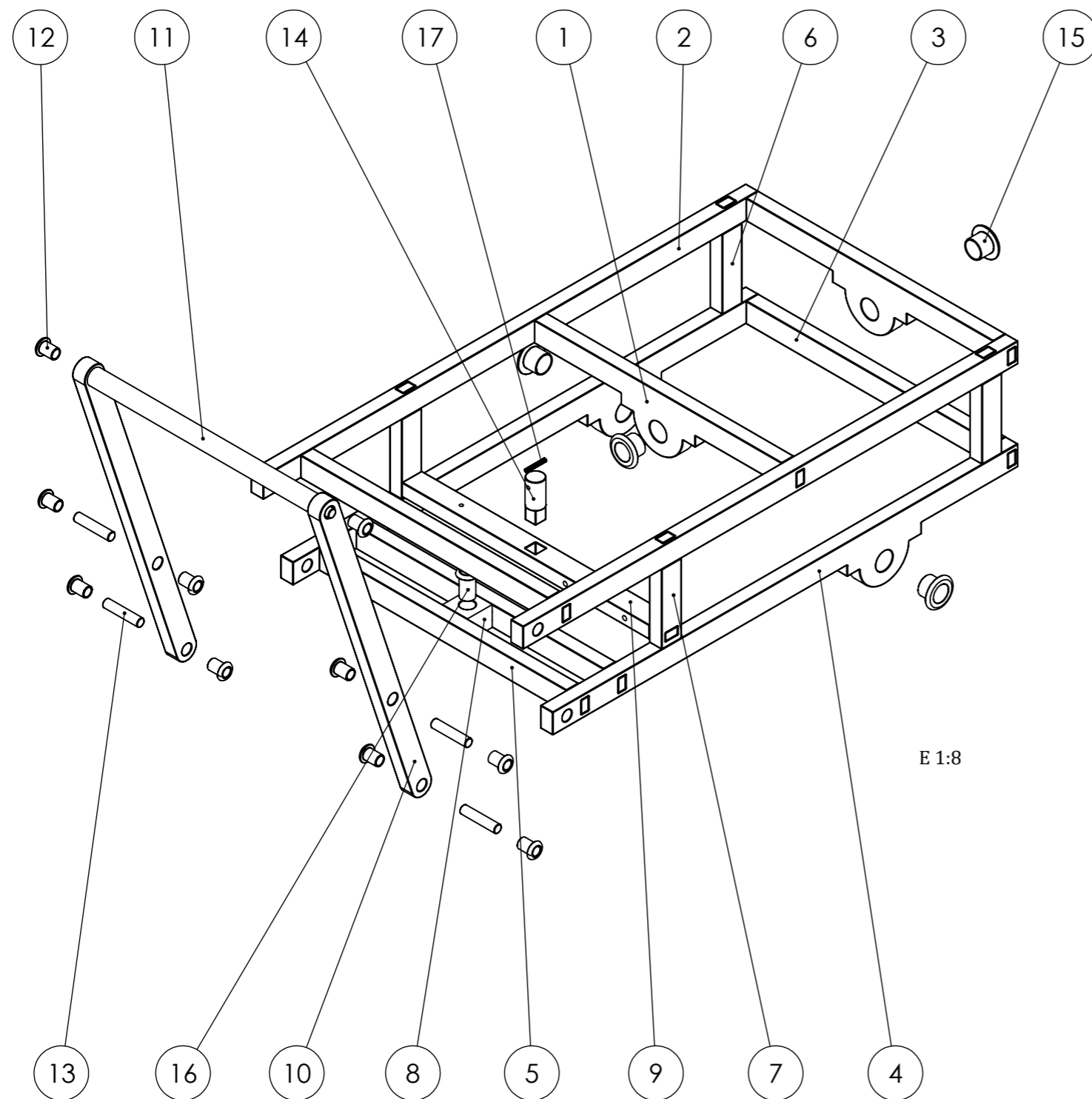
Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
Titulación	GIM	Denominación	C00.a
Fecha	15/02/2024	ODÓMETRO DE LEONARDO DA VINCI	1 de 8
Apellidos y Nombre:		Majdoubi Mansouri, Yassine	Revisión
			0

Apellidos y Nombre: Majdoubi Mansouri, Yassine

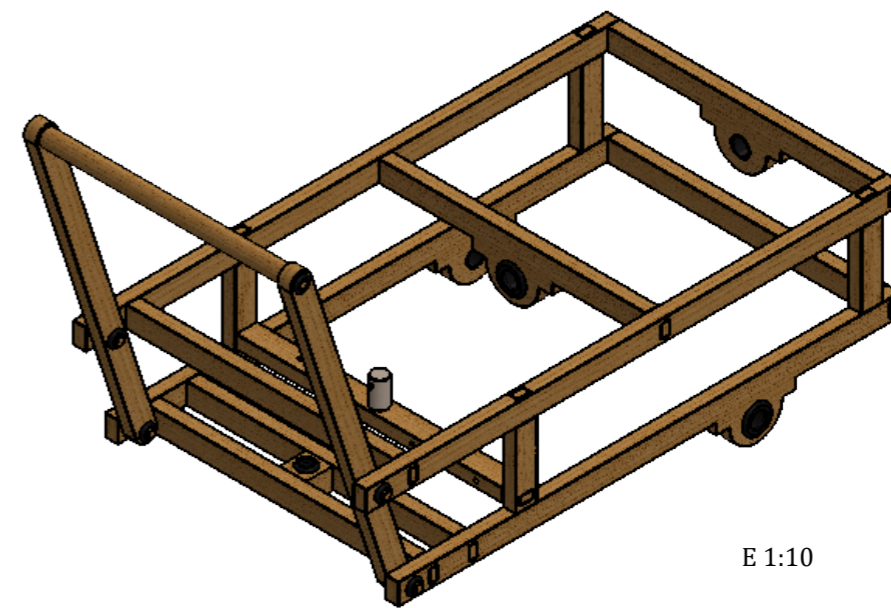
DNI: 04750061-D



		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		TRABAJO FIN DE GRADO			
				Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
Titulación	GIM	Denominación ODÓMETRO DE LEONARDO DA VINCI			C00.b	2 de 8	1:10
Fecha	15/02/2024				Revisión	0	
Apellidos y Nombre: Majdoubi Mansouri, Yassine					DNI: 04750061-D		



E 1:8



E 1:10

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Barra menor con asiento	C01_P01	2
2	Barra mayor superior	C01_P02	2
3	Barra menor	C01_P03	2
4	Barra mayor inferior con asiento	C01_P04	2
5	Barra menor trasera con ranura	C01_P06	2
6	Barra vertical	C01_P07	2
7	Barra vertical con ranura	C01_P08	2
8	Asiento rueda trasera	C01_P09	1
9	Barra menor central	C01_P05	1
10	Barra mayor asa	C01_P10	2
11	Barra menor asa	C01_P11	1
12	Cojinete 15x25	C01_P14	10
13	Bulon	C01_P12	4
14	Eje discos horizontales	C01_P13	1
15	Cojinete 30x25	C01_P15	4
16	Cojinete 20x40	C01_P16	1
17	Espiga 6x40	C02_P03	1



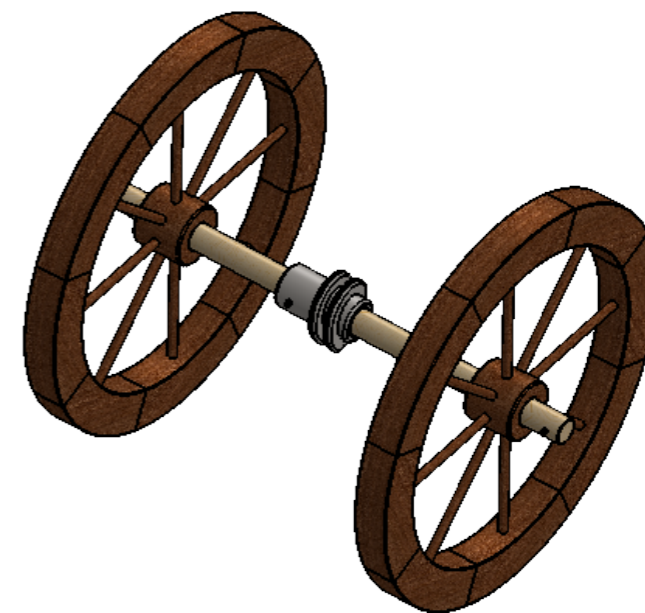
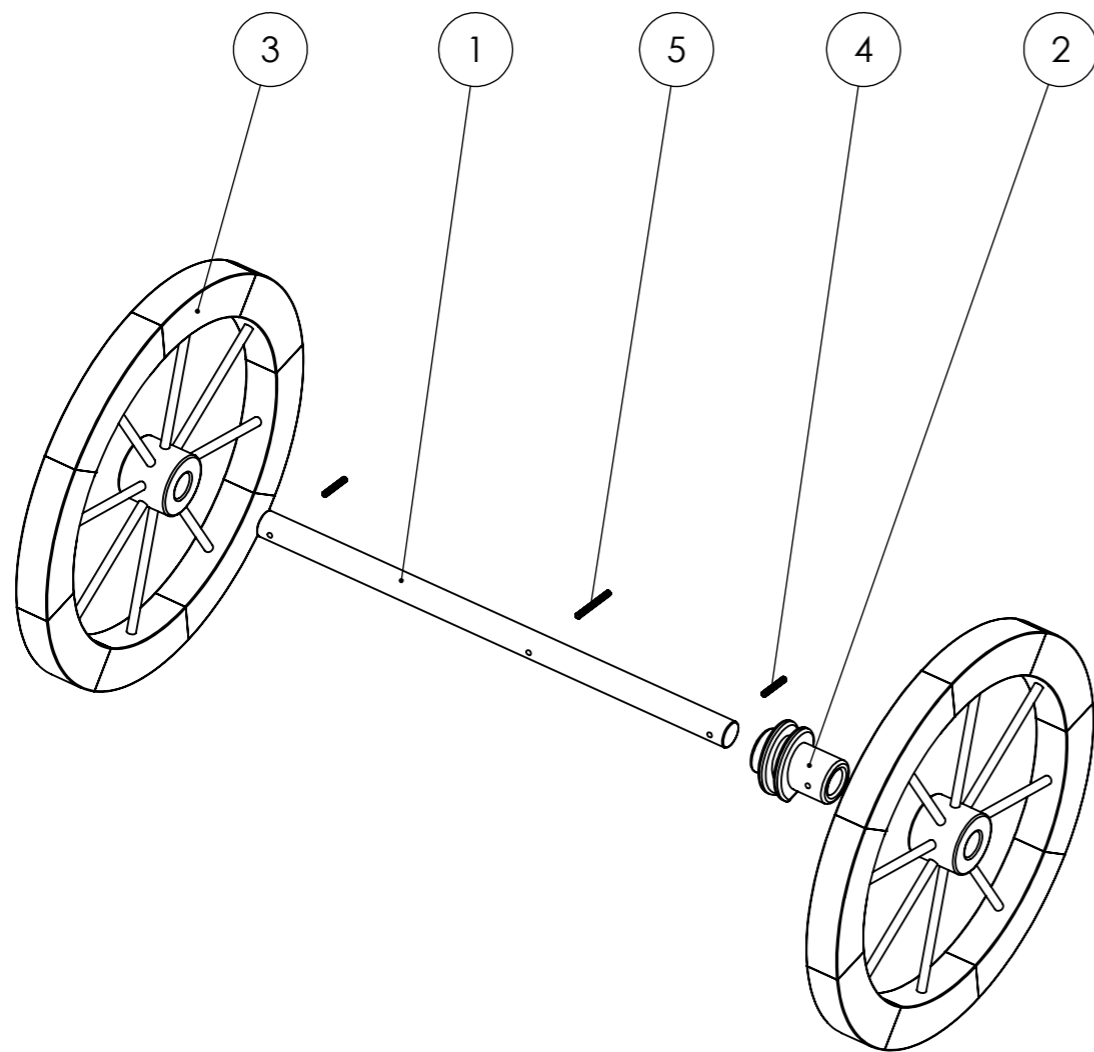
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
Titulación	GIM	Denominación	
Fecha	15/02/2024	CHASIS	
		C01	3 de 8
		Revisión	0

Apellidos y Nombre: Majdoubi Mansouri, Yassine

DNI: 04750061-D



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Eje ruedas delanteras	C02_P01	1
2	Tornillo sinfin	C02_P02	1
3	Rueda delantera	C02_C01	2
4	Espiga 6x40	C02_P03	2
5	Espiga 6x60	C02_P04	1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2023/2024

Referencia

Hoja

Escala

Titulación

GIM

Denominación

CONJUNTO RUEDAS
DELANTERAS

C02

4 de 8

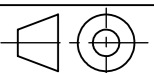
1:8

Fecha

15/02/2024

Revisión

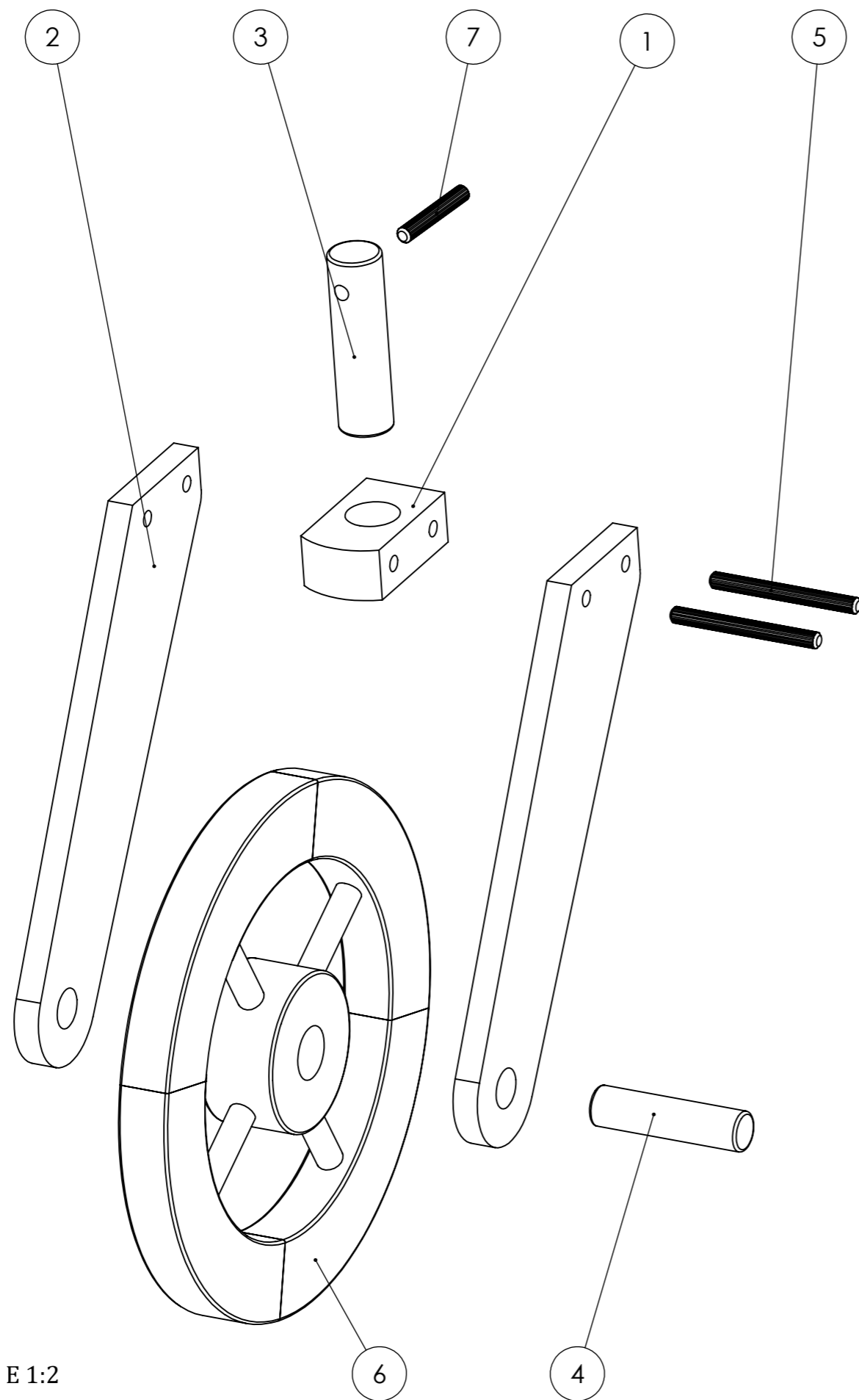
0



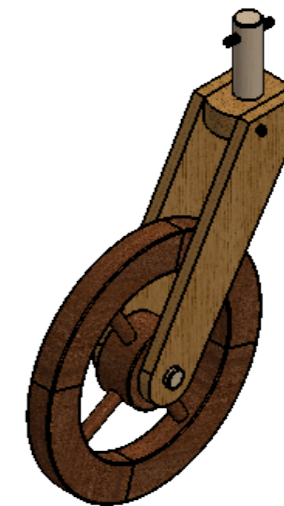
Apellidos y Nombre:

Majdoubi Mansouri, Yassine

DNI: 04750061-D



E 1:2



E 1:5

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Soporte	C03_P02	1
2	Marco lateral	C03_P03	2
3	Bulon	C03_P04	1
4	Eje rueda trasera	C03_P01	1
5	Espiga 6x60	C02_P04	2
6	Rueda trasera	C03_C01	1
7	Espiga 6x40	C02_P03	1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

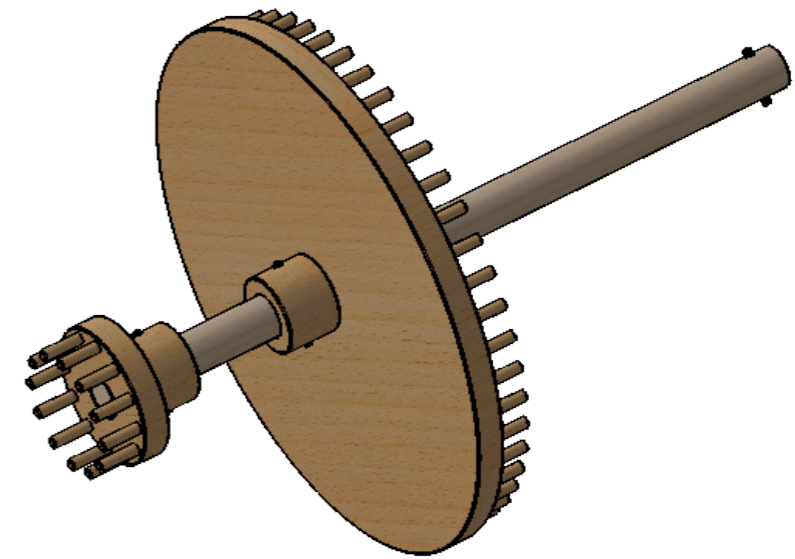
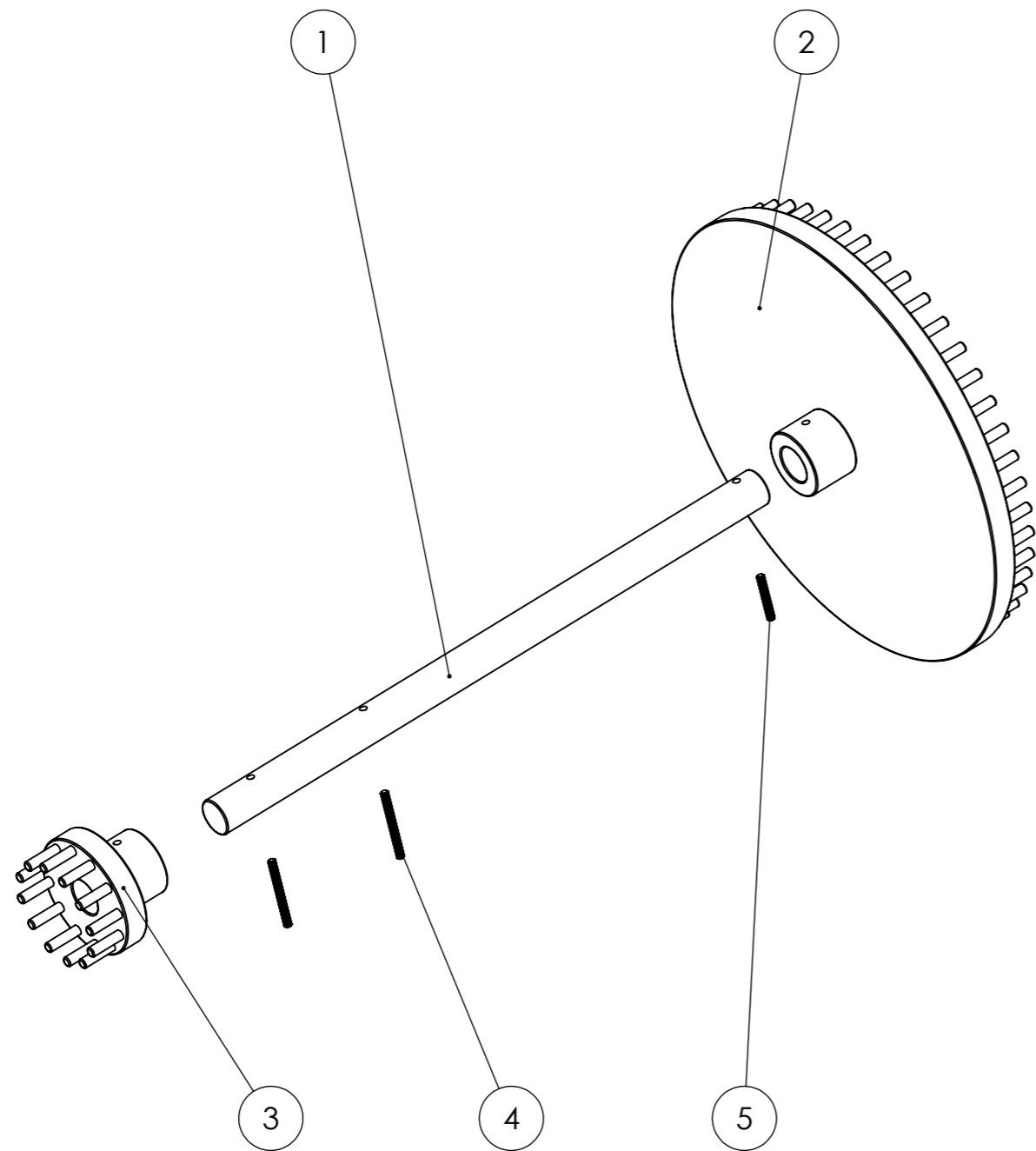
Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
-----------------	------------	------	--------

Titulación	GIM	Denominación	C03	5 de 8	VARIAS
------------	-----	--------------	-----	--------	--------


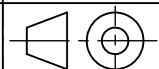
Fecha	15/02/2024	CONJUNTO RUEDA TRASERA	Revisión	0	
-------	------------	------------------------	----------	---	--

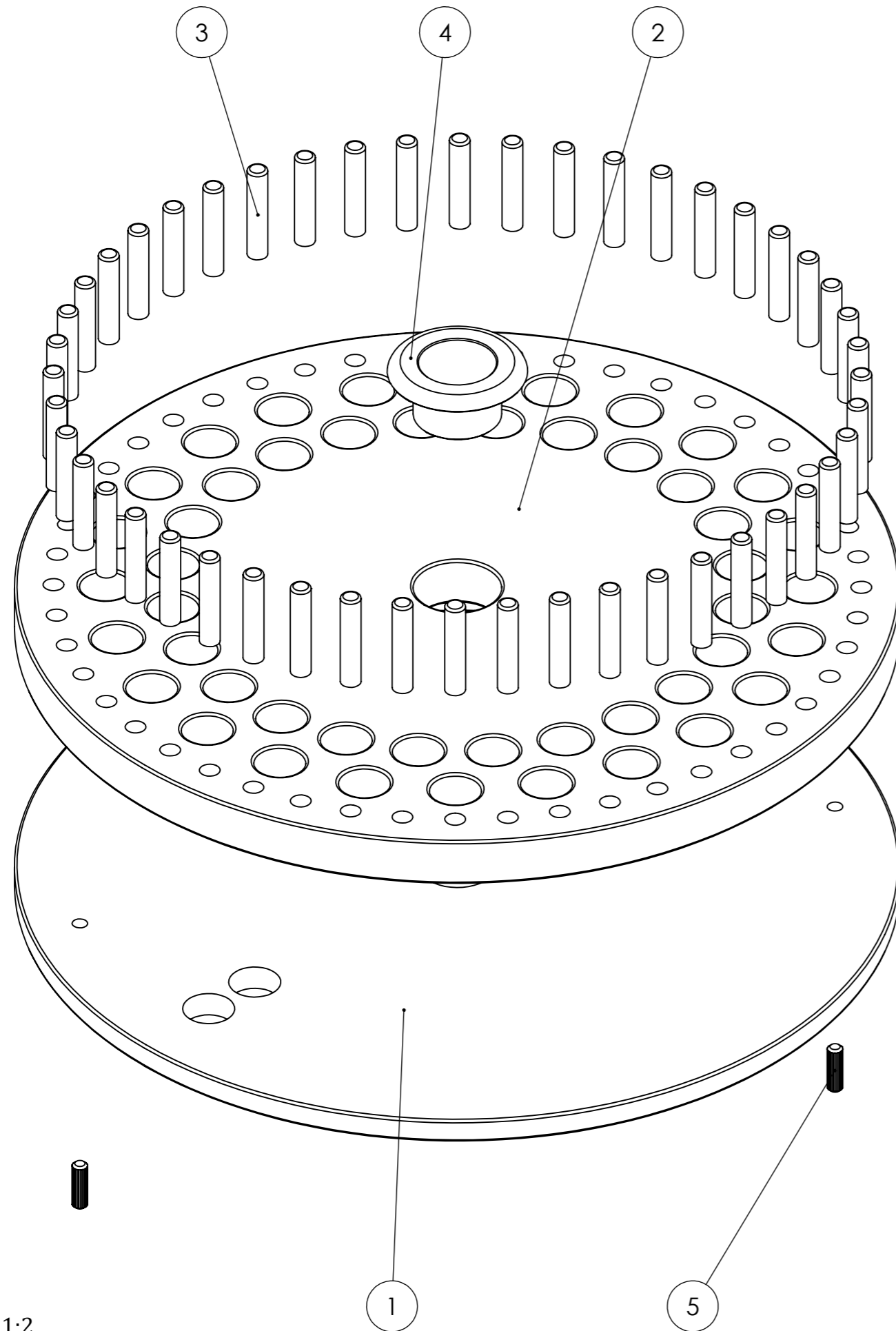
Apellidos y Nombre: Majdoubi Mansouri, Yassine

DNI: 04750061-D

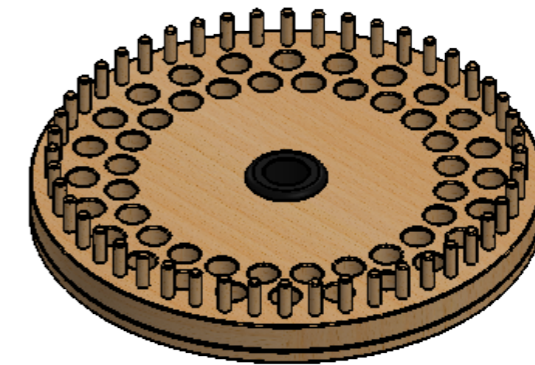


N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA /Nº PLANO	CANTIDAD
1	Eje de transmision	C04_P01	1
2	Engranaje mayor	C04_C01	1
3	Engranaje menor	C04_C02	1
4	Espiga 6x60	C02_P04	2
5	Espiga 6x40	C02_P03	1

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		TRABAJO FIN DE GRADO			
			Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
Titulación	GIM	Denominación CONJUNTO TRANSMISIÓN PRIMARIA		C04	6 de 8	1 : 5
Fecha	15/02/2024			Revisión	0	
Apellidos y Nombre:			Majdoubi Mansouri, Yassine			DNI: 04750061-D





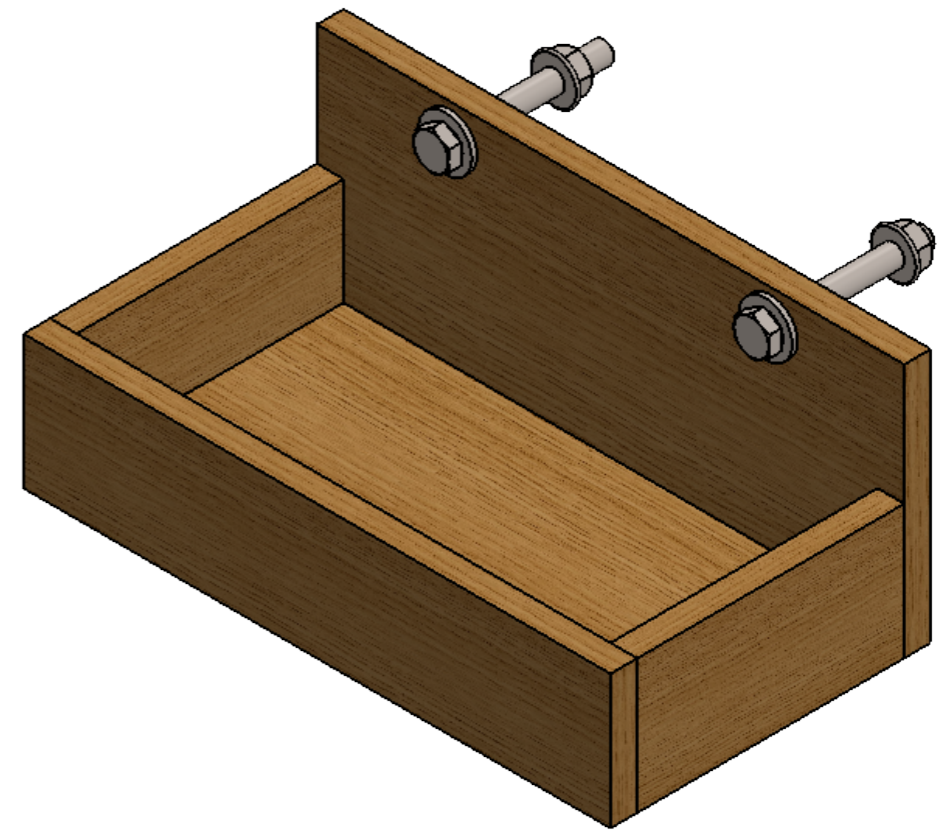
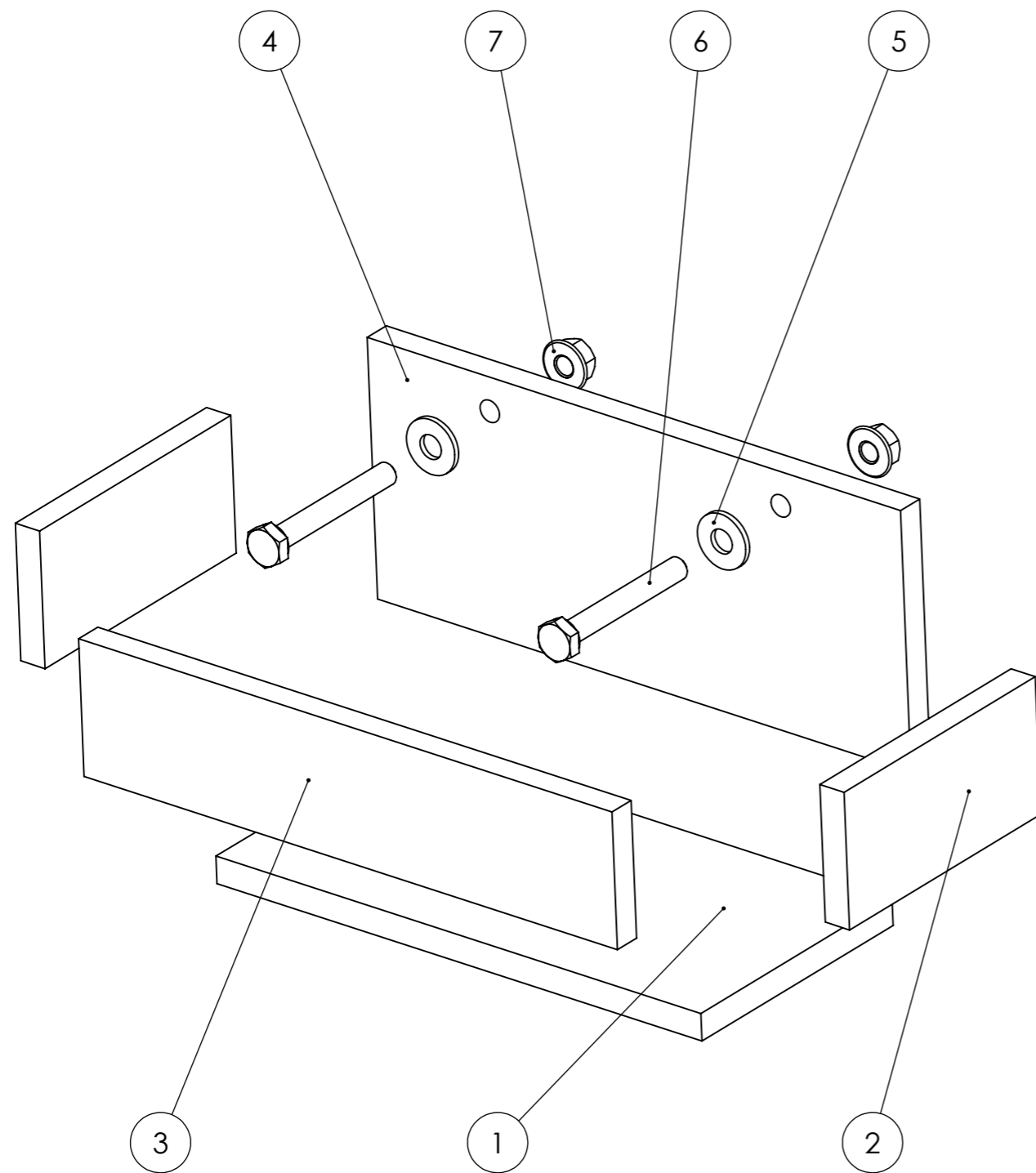
E 1:2



E 1:5

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Disco base	C05_P02	1
2	Disco engranaje mayor horizontal	C05_P01	1
3	Diente	C04_C01_P03	48
4	Cojinete 30x20	C05_P03	1
5	Espiga 6x20	C04_C01_P04	2

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	TRABAJO FIN DE GRADO				
		Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala	
Titulación	GIM	CONJUNTO TRANSMISIÓN SECUNDARIA		C05	7 de 8	VARIAS
Fecha	15/02/2024			Revisión	0	
Apellidos y Nombre:			Majdoubi Mansouri, Yassine		DNI: 04750061-D	



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NORMA / N.º PLANO	CANTIDAD
1	Chapa base	C06_P04	1
2	Chapa menor	C06_P03	2
3	Chapa mayor	C06_P02	1
4	Chapa mayor con agujeros	C06_P01	1
5	ISO 10669-8.8-N		2
6	ISO 4014 - M8 x 60 x 22-N		2
7	ISO - 4161 - M8 - N		2



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2023/2024	Referencia	Hoja	Escala
Titulación	GIM	Denominación	C06 8 de 8 1:2
Fecha	15/02/2024	Revisión	0

RECIPIENTE

Apellidos y Nombre: Majdoubi Mansouri, Yassine

DNI: 04750061-D