



Diseño y fabricación de mecanismo didáctico de accionamiento manual mediante metodología DFMA - Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S.

Camilo Acosta La Rotta

Código: 10431525162

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2023

Diseño y fabricación de mecanismo didáctico de accionamiento manual mediante metodología DFMA - Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S.

Camilo Acosta La Rotta

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director:

Ingeniero Henry Moreno Acosta

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2023

El trabajo de grado titulado Diseño y fabricación de mecanismo didáctico de accionamiento manual mediante metodología DFMA - Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S.

Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero electromecánico

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Agradecimientos

Agradezco a los docentes de la universidad Antonio Nariño y de forma especial al director del proyecto Henry Moreno Acosta por su dedicación, compromiso y conocimientos en el área de la ingeniería. Reconocer la importancia de la educación en la formación de las personas es un objetivo que la institución desea solventar, las clases, proyectos y contenidos vistos en la universidad me otorgan un pensamiento analítico con fundamentos en aspectos técnicos, matemáticos y teorías científicas, que me han permitido el surgimiento personal y me han formado como una persona con altos principios morales.

Es importante reconocer el gran compromiso de los docentes con la institución son profesores que fomentan la disciplina, la responsabilidad y exaltan el nombre de la universidad, estoy muy agradecido por contar con personas que me guiaron en esta etapa de mi vida estudiantil, muchas gracias.

RESUMEN

El proceso de diseño y fabricación de un mecanismo didáctico apoyados en metodología DFMA no existe en la empresa Tablecortes S.A.S.

En este documento se propone organizar el proceso de diseño y fabricación de un mecanismo didáctico para niños y adultos, mediante la utilización de la metodología DFMA – Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S.

Los mecanismos didácticos que son objeto de estudio en este proyecto, son denominados como “Autómatas en madera” en redes sociales como Pinterest y YouTube, tienen fabricación y presentación de tipo artesanal. Generan interés porque presentan integración de movimientos en partes o componentes de los personajes, con el objetivo de transmitir un mensaje a los observadores a través de una secuencia de movimientos coordinados.

La empresa Tablecortes S.A.S. tiene interés en desarrollar un procedimiento organizado de diseño y fabricación de estos mecanismos aprovechando los residuos de los procesos de corte de los tableros aglomerados de madera MDF, que la empresa comercializa y la metodología DFMA es una herramienta que establece una guía inicial para la sistematización de las actividades de diseño, facilita la fabricación y establece un sistema de ensamble técnico de estos mecanismos.

En el desarrollo del proyecto se identificarán y caracterizarán los movimientos de salida en los componentes de los personajes u objetos del mecanismo didáctico, se definirán y determinarán los mecanismos generadores de los movimientos de salida, para integrar y coordinar la dinámica del sistema con la finalidad de emitir un mensaje al usuario que interactúan con el dispositivo.

El proceso de diseño se apoyará en tecnología CAD y en la definición del proceso de fabricación se tendrá en cuenta la incorporación de técnicas y dispositivos de fabricación moderna como el corte láser.

PALABRAS CLAVE: CAD, Diseño, mecanismo, metodología, DFMA, MDF.

ABSTRACT

The design and manufacturing process of a teaching mechanism supported by DFMA methodology does not exist in the company Tablecortes S.A.S.

This document proposes to organize the design and manufacturing process of a teaching mechanism for children and adults, through the use of the DFMA methodology – Design for manufacturing and assembly – for the company Tablecortes S.A.S.

The didactic mechanisms that are the object of study in this project, are called “Wooden Automata” on social networks such as Pinterest and YouTube, have artisanal manufacturing and presentation. They generate interest because they present integration of movements in parts or components of the characters, with the objective of transmitting a message to observers through a sequence of coordinated movements.

The company Tablecortes S.A.S. is interested in developing an organized procedure for the design and manufacture of these mechanisms, taking advantage of the waste from the cutting processes of the MDF wood chipboards, which the company markets and the DFMA methodology is a tool that establishes an initial guide for the systematization of design activities, facilitates manufacturing and establishes a technical assembly system for these mechanisms.

In the development of the project, the exit movements will be identified and characterized in the components of the characters or objects of the didactic mechanism, the generating mechanisms of the exit movements will be defined and determined, to integrate and coordinate the dynamics of the system with the purpose of Issue a message to the user who interacts with the device.

The design process will be supported by CAD technology and the incorporation of modern manufacturing techniques and devices such as laser cutting will be taken into account in the definition of the manufacturing process.

KEYWORDS: CAD, Design, mechanism, methodology, DFMA, MDF.

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	15
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3.	JUSTIFICACIÓN.	18
1.4.	OBJETIVOS.....	18
1.4.1.	Objetivo general.	18
1.4.2.	Objetivos específicos.	19
1.5.	ALCANCE.	19
2.	ESTADO DEL ARTE.....	20
2.1.	AUTÓMATAS EN MADERA.....	20
2.3.	COMPONENTES O MÓDULOS DE UN AUTÓMATA EN MADERA.....	21
2.3.1.	Manivela de entrada.....	22
2.3.2.	Personajes	22
2.3.3.	Mecanismos individuales	22
2.3.4.	Estructura o base.....	22
2.3.5.	Escenografía.....	22
2.4.	MATERIAL MDF.....	23
3. MARCO TEÓRICO		24
3.1.	LEVA.....	24
3.1.1.	Tipo de cierre.....	25
3.1.2.	Tipo de seguidor	25
3.1.3.	Diseño del perfil de una leva.....	26
3.1.4.	Método gráfico.....	27
3.1.5.	Método analítico.....	28
3.1.6.	Análisis matemático.	30
3.2.	ENGRANE.....	35
3.2.3	Relación de velocidad.....	36
3.2.2.	Características de los engranes.....	40
3.3.	BIELA MANIVELA.....	44

3.3.1. Estudio cinemático posición biela manivela.....	45
3.4. MECANISMO DE CUATRO BARRAS.....	47
3.4.1. Ecuación de Gruebler.	50
3.4.2. Condición de Grashof.	50
3.4.4. Síntesis gráfica eslabonamiento de cuatro barras.....	53
3.4.5. Caracterización Grashof $S + L < P + Q$	55
3.5. METODOLOGIA DFMA.	57
4. DISEÑO PRELIMINAR.....	61
4.1 CONCEPTO	61
4.2. FUNCIONES DEL SISTEMA MECÁNICO.	61
4.3. REQUISITOS DE DISEÑO.....	61
4.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	62
4.5. ANÁLISIS DE TRES AUTÓMATAS EN MADERA.	62
4.5.1. Descripción autómatas 1: “Trip To The Doctor”.	64
4.5.2. Descripción autómatas 2: “The Magician And His Assistant”.....	70
4.5.3. Descripción autómatas 3: “Cute Cow”.	76
5. DISEÑO DEFINITIVO.....	83
5.1. ELABORACIÓN MODELAMIENTO Y DISEÑO CAD (SOLIDWORKS 2022).	83
5.2. ENGRANAJE DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL AUTÓMATA.	84
5.2.1. Relación de transmisión.....	85
5.3. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR MOVIMIENTO E2M3.....	87
5.3.1. Mecanismos individuales movimiento E2M3.	89
5.3.2. Dimensionamiento mecanismos E2M3.....	89
5.3.3. Perfil leva E2M3 [mm].....	89
5.3.4. Seguidor E2M3.....	92
5.3.6. Pieza unión seguidor – brazo E2M3.....	94
5.3.7. Brazo izquierdo E2M3.....	95
5.4. MECANISMOS ENCARGADOS DE GENERAR MOVIMIENTO E3M2.....	95
5.4.1. Perfil leva E3M2 [mm].....	96

5.4.2. Dimensionamiento mecanismos E3M2.....	98
5.4.3. Seguidor leva E3M2 [mm].....	99
5.4.4. Pieza unión E3 – seguidor [mm]	99
5.4.5. Brazo E3	100
5.4.6. E3 [mm].....	100
5.4. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR EL MOVIMIENTO D1M1..	101
5.4.1. Diseño de ruedas para transmitir movimiento entre ejes a 90°.....	102
5.4.2. Mecanismo cuatro barras D1M1.	104
5.4.3. Análisis algebraico posiciones eslabones cuatro barras.....	105
5.5. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR P1M5.....	109
5.6. MECANISMO E1M3.....	113
5.7. Mecanismo encargado de generar P2M3.....	116
5.7.2 Mecanismos individuales P2M3.....	116
5.7.3 Leva P2M3 [mm].....	116
5.7.4 Seguidor P2M3 [mm].....	118
5.7.5 Cuerpo P2 [mm].....	119
5.8. CORTE LÁSER	120
6. CRITERIOS METODOLOGIA DFMA APLICADOS AL DISEÑO DEL AUTOMATA.	121
CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Material MDF.	23
Tabla 2: Condiciones perfil leva en la subida.....	30
Tabla 3: Metodología DFMA	58
Tabla 4. Síntesis y clasificación movimientos autómatas en madera.....	63
Tabla 5: Análisis momentos autómata 1: “Trip to the doctor”.	65
Tabla 6: Mecanismos autómata 1: “Trip to the doctor”.	68
Tabla 7: Descripción momentos autómata 2: “The Magician And His Assistant”.....	71
Tabla 8: Mecanismos autómata 2: “The Magician And His Assistant”.	75
Tabla 9: Descripción momentos autómata 3: “Cute Cow”.....	76
Tabla 10: Mecanismos autómata 3: “Cute Cow”	80
Tabla 11: Propiedades Geométricas engranes autómata el mago y su asistente.....	86
Tabla 12: Perfil leva E2M3 [mm]	90
Tabla 13: Perfil leva E3M2 [mm].....	97
Tabla 14: Análisis algebraico eslabones mecanismo cuatro barras.....	107
Tabla 15: Posición “C3” respecto al cambio de Θ en la manivela	115
Tabla 16: Perfil leva P2M3	117
Tabla 17: Criterios de cumplimiento guía DFMA en el diseño del autómata.	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Autómata madera.....	16
Figura 2: Autómata madera componentes o módulos	21
Figura 3: Leva.....	24
Figura 4: Formas o tipos de seguidor.....	26
Figura 5: Diseño gráfico perfil leva “rb”.....	27
Figura 6: Diseño gráfico perfil leva.....	28
Figura 7: Gráfica desplazamiento seguidor	29
Figura 8: Análisis subida seguidor.....	30
Figura 9: Desplazamiento seguidor.....	34
Figura 10: Perfil leva.....	34
Figura 11: Aplicativo diseño perfiles de leva.....	35
Figura 12: Engranaje	36
Figura 13: Relación de velocidad	36
Figura 14: Tipos de engranes.....	38
Figura 15: curva Involuta	39
Figura 16: Simetría círculos dentados que engranan	39
Figura 17: Características dientes de un engrane.....	40
Figura 18: Propiedades geométricas de los engranajes	42
Figura 19: Formulas características diente de un engrane sistema métrico.....	42
Figura 20: Ángulos de presión característicos de un diente de un engrane.....	43
Figura 21: Relación entre ángulo de presión elementos engranados	44
Figura 22: Biela - manivela mecanismo	45
Figura 23: Biela - manivela	45
Figura 24: Eslabones	47
Figura 25: Notación esquemática eslabones	48
Figura 26: Cinemática eslabones grados de libertad o movilidad	49
Figura 27: Mecanismo de cuatro barras.....	50
Figura 28: Mecanismo de cuatro barras caracterización.....	52
Figura 29: Manivela balancín.....	52
Figura 30: Doble balancín.....	52
Figura 31: Doble manivela.....	53
Figura 32: Síntesis gráfica eslabonamiento cuatro barras manivela – balancín.....	55
Figura 33: Caracterización movimientos eslabonamiento cuatro barras	55
Figura 34: Mecanismo cuatro barras Grashof.....	55

Figura 35: Eslabón impulsor “s” extendido	56
Figura 36: Eslabón Q extendido balancín	56
Figura 37: Eslabón P extendido.....	56
Figura 38: Rediseño metodología DFMA Motor HUANG 1996.....	57
Figura 39: Rediseño definitivo utilización metodología DFMA	57
Figura 40: Nomenclatura descripción de movimientos	63
Figura 41: Autómata en madera titulado “Trip to the Doctor”	64
Figura 42: Momento 0	65
Figura 43: Momento 1	65
Figura 44: Momento 2	66
Figura 45: Momento 3	66
Figura 46: Momento 4	66
Figura 47: Momento 5	67
Figura 48: Momento 6	67
Figura 49: Momento 7	67
Figura 50: Mecanismos autómeta 1: “trip to the doctor”	68
Figura 51: Diagrama movimientos asociados a P1 en el dominio de las revoluciones	68
Figura 52: Diagrama movimientos asociados a P2 en el dominio de las revoluciones	69
Figura 53: Diagrama movimientos asociados a P3 en el dominio de las revoluciones	69
Figura 54: Diagrama movimientos agrupados autómeta 1	69
Figura 55: Autómata madera Titulado the Magician and his Assistant	70
Figura 56: Momento 0	71
Figura 57: Momento 1	71
Figura 58: Momento 2	72
Figura 59: Momento 3	72
Figura 60: Momento 4	72
Figura 61: Momento 5	73
Figura 62: Momento 6	73
Figura 63: Momento 7	73
Figura 64: Diagrama movimientos asociados a P1 autómeta dos en el dominio de las revoluciones	74
Figura 65: Diagrama movimientos asociados a P2 autómeta dos en el dominio de las revoluciones	74
Figura 66: Diagrama movimientos agrupados P1 y P2 autómeta 2	74
Figura 67: Mecanismos autómeta del mago	75
Figura 68: Mecanismo autómeta del mago	75
Figura 69: Autómata en madera tres titulado “Cute Cow”	76
Figura 70: Momento 0	76

Figura 71: Momento 1.....	77
Figura 72: Momento 2.....	77
Figura 73: Momento 3.....	77
Figura 74: Momento 4.....	78
Figura 75: Momento 5.....	78
Figura 76: Diagrama de movimientos asociados a P1 autómeta tres en el dominio de las revoluciones	78
Figura 77: Diagrama de movimientos asociados a P2 autómeta tres en el dominio de las revoluciones	79
Figura 78: Diagrama de movimientos asociados a P3 autómeta tres en el dominio de las revoluciones	79
Figura 79: Diagrama movimientos autómeta tres agrupados	79
Figura 80: Mecanismos autómeta 3: “Cute Cow”	80
Figura 81: Autómeta 1: “Trip to the Doctor”	80
Figura 82: Autómeta 2: “The Magician And His Assistant”	81
Figura 83: Autómeta 3: “Cute Cow”	81
Figura 84: Matriz de decisión.....	82
Figura 85: Manivela de entrada	84
Figura 86: Engranaje autómeta el mago y su asistente	84
Figura 87: Distancia entre centros C	87
Figura 88: Posición inicial E2M3 (Elemento dos movimiento de traslación vertical)	88
Figura 89: Posición final E2M3.....	88
Figura 90: Grafica perfil leva movimiento E2M3.....	91
Figura 91: Movimiento seguidor leva E2M3	91
Figura 92: Diámetro eje leva E2M3 [mm].....	91
Figura 93: Seguidor E2M3.....	92
Figura 94: primer diseño Solidworks 2022.....	93
Figura 95: Diseño aplicando metodología DFMA.....	93
Figura 96: Seguidor modificado E2M3 [mm]	94
Figura 97: Pieza unión brazo varita seguidor E2M3 [mm]	94
Figura 98: Brazo izquierdo E2M3 [mm]	95
Figura 99: Mecanismos E3M2 Posición inicial	96
Figura 100: Mecanismo E3M2 posición final.....	97
Figura 101: Grafica perfil leva E3M2.....	98
Figura 102: Desplazamiento seguidor E3M2	98
Figura 103: Seguidor leva E3M2 [mm].....	99
Figura 104: Pieza unión E3 – seguidor [mm]	99
Figura 105: Brazo E3M2 [mm]	100
Figura 106: E3 Pieza 1 lateral 4 Unidades [mm]	100

Figura 107: Mecanismo movimiento D1M1	101
Figura 108: Mecanismo movimiento D1M1 posición de cambio	102
Figura 109: Rueda 1 transmisión de giro en ejes a 90°	103
Figura 110: Rueda 2 transmisión de giro ejes a 90°	103
Figura 111: Mecanismo cuatro barras Autómata.....	104
Figura 112: Eslabón Q [mm]	105
Figura 113: Eslabón P [mm]	105
Figura 114: Análisis algebraico posición eslabones.	106
Figura 115: Piezas objeto cambiante [mm]	108
Figura 116: Pieza de colisión objeto cambiante [mm]	109
Figura 117: Piezas Rostro P1 (a) [mm]	109
Figura 118: Piezas rostro P1 (b) [mm]	110
Figura 119: Pieza rostro P1 Y sub-ensamblaje [mm]	110
Figura 120: Torso mago [mm]	111
Figura 121: Piezas “a” sub-ensamblaje guía cabeza mago [mm]	112
Figura 122: Piezas “b” Sub ensamblaje guía cabeza mago [mm]	112
Figura 123: Piezas M5 ensamblaje [mm]	113
Figura 124: Mecanismo E1M3	114
Figura 125: Biela – Manivela E1M3	114
Figura 126: Biela - Manivela	115
Figura 127: Mecanismo P2M3.....	116
Figura 128: Desplazamiento seguidor P2M3.....	117
Figura 129: Perfil leva P2M3.....	118
Figura 130: Seguidor P2M3.....	118
Figura 131: Estructura P2 “a”	119
Figura 132: Estructura P2 “b”	119

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

La metodología DFMA es una guía que tiene un enfoque en la mejora de los procedimientos en el diseño, fabricación y ensamblaje de elementos de uso diario, ha sido acogida por la industria automotriz, maquinaria agrícola, industria maderera entre otras, donde se aprovecha la construcción modular para reducción de gastos y tiempos en la producción de elementos para el consumo masivo. [1]

La construcción modular a nivel global involucra de igual manera la industria maderera, destacándose la construcción de viviendas, juguetes, muebles. Existen páginas web que ofertan este tipo de productos a nivel mundial. Un ejemplo es la página online Pinterest y YouTube donde se encuentran diferentes modelos de mecanismos denominados “Autómatas” o “Autómatas en madera”.

El diseño y construcción de estos sistemas mecánicos, no están debidamente formalizados y su fabricación es de tipo artesanal, representan aspectos cotidianos y requieren la versatilidad del artista e ingenio para coordinar los movimientos de salida en los personajes y objetos, en muchas ocasiones el diseñador desconoce términos de ingeniería pero sorprende por su capacidad de crear autómatas en madera con un sketch novedoso, organizando y definiendo los movimientos generados por los mecanismos en los personajes y objetos, lo que proporciona un gran valor al proyecto porque se desea instaurar un método que permita diseñar, fabricar y ensamblar estos sistemas mecánicos de manera eficiente, maximizando el gran potencial comercial que tiene estos elementos.

Figura 1. Autómata madera



Fuente: Contemporary autómata. Disponible en: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [2].

Figura 1 ilustra un ejemplo de mecanismo didáctico que se comercializa como un objeto lúdico o entretenimiento y además de decoración.

Existen muchos más diseños de estos mecanismos didácticos, que presentan movimientos integrados en los personajes u objetos de salida, con el objetivo de transmitir una idea o mensaje. Estos movimientos de salida integrados son generados por diferentes tipos de mecanismos generadores a partir del accionamiento de un eje que tiene la programación de la secuencia y características cinemáticas de los movimientos de salida.

En Bogotá se encuentran aproximadamente 154 establecimientos registrados en diseño y fabricación de productos en madera de acuerdo con datos del DANE. Empresas como: Nordic Iluminación SAS, Armok S.A.S, Maderformas, Moduart ofrecen soluciones modulares en el diseño y elementos en madera.

La ingeniería adquiere relevancia e importancia en el ámbito del diseño y la manufactura ya que en ambos se requiere recopilar información, la cual se clasifica en cuatro aspectos generales:

- Información geométrica y dimensional.
- Información de manufactura (materiales y procesos).
- Información de funcionalidad (partes y sistemas).
- Información de propiedades físicas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El problema principal consiste en que la información existente en redes sociales para la fabricación de “Autómatas en madera” proviene de procesos artesanales, no formales, no normalizados, que dificultan el desarrollo de una producción ordenada y eficiente.

Al carecer de información ordenada o sistematizada para diseñar y producir diferentes tipos de “autómatas en madera”, a partir de unos recursos constructivos estandarizados y modulares tipo “lego” se afectan los procesos de fabricación. Esta carencia de organización en la información perjudican los procesos de diseño y fabricación de este tipo de sistemas mecánicos. No existen planos, análisis de diseño, selección de materiales, procesos de fabricación, y ensamble.

Estos procesos de diseño y fabricación no existen aún en la empresa y este proyecto es la primera aproximación a la definición de estos. Por tal motivo se requiere organizar o sistematizar la información para facilitar el paso de una propuesta artesanal, presentada en redes sociales, a una propuesta formal con el correspondiente soporte técnico documental.

Cuando no se tiene documentación técnica y organizada se afectan los procesos de fabricación en cuanto a los tiempos, costos, cantidades, productos no conformes y falta de precisión y exactitud.

En las actividades de producción de mecanismos didácticos en los cuales no se presenta procedimientos normalizados de diseño y fabricación, se reduce significativamente las posibilidades comerciales. Además, con el desarrollo de este proyecto se pretende resolver el problema que se le presenta a la empresa Tablecortes S.A.S. de acumulación de retales de madera, como resultado de los procesos de corte de láminas de MDF. Estos retales de MDF representan aproximadamente el 5% del material comercializado, y restan espacio para almacenar material.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

Plantear y desarrollar procesos organizados de diseño y fabricación de mecanismos didácticos mediante metodología DFMA - Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S. permiten progresar a la empresa en los siguientes aspectos:

- Se facilita la fabricación porque hay control metrológico de la producción.
- Se incorporan enfoques de modularidad, escalabilidad que simplifican la elaboración y el número de piezas de un producto.
- Se generan y se utilizan plantillas, guías, herramientas y matrices que facilitan los procesos de fabricación y ensamble.

La importancia que radica en este proyecto es desarrollar procedimientos normalizados para el diseño y fabricación técnica de mecanismos para actividades recreativas para niños y adultos, con la incorporación de la metodología DFMA que ofrece muchas oportunidades de mejora en el diseño para generar procesos más eficientes al momento del ensamble, reducción de componentes, piezas más compactas, estudios técnicos para generar los movimientos de salida requeridos por el diseñador.

La simplicidad toma un papel importante en el proceso de diseño y fabricación porque se desea generar mecanismos más prácticos, reducir sustancialmente piezas innecesarias y contemplar modificaciones que permitan integrar los movimientos de salida para generar un mensaje.

1.4.OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo general.

Sistematizar el proceso de diseño y fabricación de mecanismos didácticos mediante metodología DFMA – Diseño para fabricación y ensamble – para la empresa Tablecortes S.A.S.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Definir y caracterizar los movimientos de salida de los personajes u objetos del mecanismo didáctico.
- Definir y caracterizar cuatro mecanismos generadores de los movimientos de salida.
- Integrar y coordinar al menos seis movimientos de salida.
- Elaborar el diseño y cálculos cinemáticos de los mecanismos generadores de los movimientos.
- Definir el proceso de fabricación, ensamble y puesta en funcionamiento del mecanismo didáctico teniendo en cuenta los planteamientos de la guía metodológica DFMA.
- Elaborar la documentación que soporta el diseño y la fabricación.

1.5. ALCANCE.

La empresa Tablecortes S.A.S. proporcionara el material de fabricación, producto de los residuos generados de su actividad comercializar tableros de madera aglomerada MDF.

Este proyecto fundamentalmente abarca el sistematizar la información requerida para el proceso de diseño y fabricación de un mecanismo didáctico, aplicando la metodología DFMA y avanzar en una fase inicial de implementación del diseño y la construcción física de elementos en madera por parte de la empresa Tablecortes S.A.S. El mecanismo didáctico tendrá dimensiones totales máximas de 25 cm x 25 cm x 25 cm y el material que se utilizará será madera aglomerada MDF.

2. ESTADO DEL ARTE.

La finalidad de este capítulo es presentar lo que actualmente se conoce como “autómata en madera”. Para que en capítulos posteriores se realice una selección de tres autómatas representativos de la red social YouTube o Pinterest con el objetivo principal de realizar una descripción detallada y un análisis profesional de este tipo de mecanismos didácticos.

A partir del análisis de estos autómatas en madera como un sistema mecánico, se plantea su definición, composición, funcionamiento y función.

También se establece e incorpora una terminología, se concibe una metodología para sistematizar los procesos que intervienen en la creación de estos elementos como un componente mecánico, para permitirle al lector comprender la finalidad de este proyecto, se hace referencia a conceptos que toman importancia en el desarrollo del documento, además es importante recalcar que consiste en fabricar un mecanismo didáctico, organizar los procesos de diseño y fabricación de estos autómatas que incorporan un mensaje.

2.1. AUTÓMATAS EN MADERA.

Los autómatas son dispositivos que recrean aspectos o situaciones cotidianas. Son sistemas mecánicos que se conforman de componentes o módulos donde el usuario o la persona genera la dinámica del sistema, se crean de manera artesanal y transmiten un mensaje gracias a la creatividad del artista,

El sistema denominado autómatas en madera, es ampliamente difundido en las plataformas o redes sociales por ejemplo YouTube, consiste en una serie de mecanismos conectados donde interactúan unos personajes y objetos, con la finalidad de emitir un mensaje a los observadores y requiere la interacción manual de un usuario, para dar inicio y final a la historia.

2.2. ASPECTOS ESENCIALES DE LOS AUTÓMATAS EN MADERA.

Los autómatas en madera son diseñados de forma artesanal por lo cual requieren inspiración del artista, la creación y diseño de este elemento requiere tiempo y disposición del diseñador, se programa un mensaje dependiendo de la interacción entre los mecanismos internos.

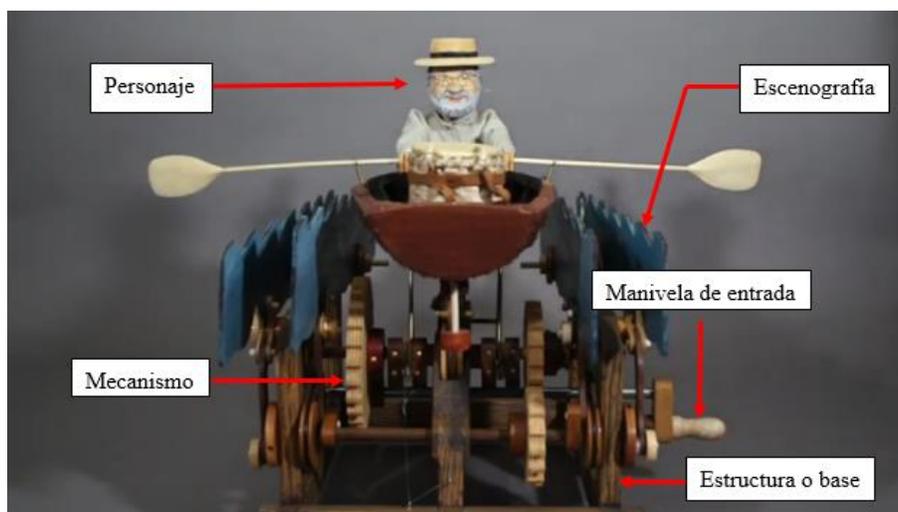
2.3. COMPONENTES O MÓDULOS DE UN AUTÓMATA EN MADERA

Los autómatas disponen de una serie de componentes o módulos que se ensamblan o articulan de manera organizada, metódica para generar una dinámica para transmitir una historia, se constituye de los siguientes componentes:

- Manivela de entrada.
- Personajes y elementos de los movimientos de salida en el escenario.
- Mecanismos individuales o específicos que generan los movimientos de salida en los personajes o elementos que conforman el escenario.
- Estructura o base.

A continuación, se ilustra los componentes o módulos de un autómata.

Figura 2: Autómata madera componentes o módulos



Fuente: “Automata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: <https://ceciliaschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/>. [3] Edición por el autor.

2.3.1. Manivela de entrada

Es el mecanismo que permite al usuario o la persona generar la dinámica para iniciar la representación de la historia que se programó o diseño en el autómata.

2.3.2. Personajes

Los personajes forman parte del escenario son importantes porque gracias a los movimientos de salida permiten ilustrar la historia a los observadores, por ende, los personajes protagonizan un suceso que no requiere diálogos, se necesitan movimientos esquematizados que garanticen la secuencia perfecta para emitir el mensaje que el diseñador quiere ilustrar.

2.3.3. Mecanismos individuales

Los mecanismos individuales o específicos son los que generan los movimientos de salida en los personajes o elementos que conforman el escenario se estudiarán y se les dedicara un capítulo completo más adelante, para resumir son los encargados de producir los movimientos de salida su disposición, ajustes y tolerancias son importantes para generar movimientos armónicos.

2.3.4. Estructura o base.

Los autómatas en madera están formados por una estructura que soporta los mecanismos en la parte inferior, y en la parte superior contiene a los personaje y objetos que hacen parte de la escenografía.

2.3.5. Escenografía.

La escenografía permite ubicar a los personajes en un espacio y crear un vínculo con los observadores. En consecuencia, se realiza un análisis de autómatas en madera para evidenciar las características de esta clase de elemento y asimismo diseñar un estudio del comportamiento de dichos elementos.

2.4. MATERIAL MDF.

Se realiza una breve descripción del material que se utilizara para la fabricación del autómeta en madera para distinguir su composición características y propiedades del MDF.

Tabla 1: Material MDF.

MATERIAL MDF		
Definición	Ventajas	desventajas
El material MDF por sus siglas en ingles indica tablero de fibras de densidad media, su composición es de aproximadamente un 85% de fibras en madera y se realiza una similitud a madera prensada pero no es una análoga correcta,	<p>Se describen a continuación aspectos que ratifican la importancia del MDF:</p> <ul style="list-style-type: none"> • que es un material muy utilizado para fabricar muebles • El precio del producto lo hace muy competitivo por consiguiente es muy comercializado. • Se logra apreciar un aspecto de madera maciza. • La textura del MDF y acabado superficial permiten realizar trabajos en este material utilizando herramientas de madera maciza o contrachapada, sin requerir una especializada. 	<p>El MDF tiene unas consideraciones importantes que desmejoran el uso de este material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poca resistencia al agua. • Es necesario que al trabajar con este material se requieren lugares abiertos, preferiblemente con uso de mascarilla, debido a los productos químicos que se utilizan para la fabricación de MDF. • No es aconsejable atornillar ni realizar perforaciones en orillas o esquinas debido al desprendimiento de material o daño, se aconseja avellanar.

Fuente: SANTANA-Madera MDF. Disponible en: <https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>. [4]. Edición autor.

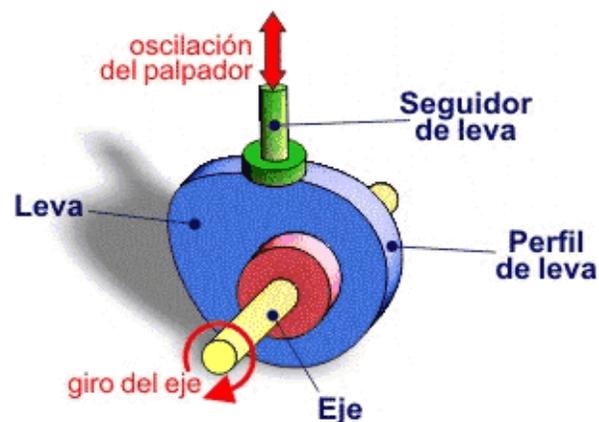
3. MARCO TEÓRICO

El diseño de los autómatas combina diferentes elementos para generar la representación de la historia, entre los componentes importantes se destacan los mecanismos como son las levas, engranajes entre otros sistemas, que permiten dar vida a diferentes temáticas con la programación y coordinación de los movimientos. A continuación se realiza un análisis cinemático de cuatro mecanismos que son esenciales y según la revisión desarrollada de documentos y paginas donde presentan los autómatas de madera, son los más utilizados para organizar los movimientos de salida de los personajes o elementos de la escenografía.

3.1. LEVA

Una leva es un dispositivo mecánico que a través de un movimiento inicial de rotación proporciona un movimiento de salida específico en el seguidor y permite a través del perfil de la leva temporizar o sincronizar el movimiento de salida, por lo cual es un dispositivo mecánico útil. [5]

Figura 3: Leva



Fuente: MecanESO – Mecanismos. Disponible en: <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/index.htm>.

[6].

El objetivo primordial de este mecanismo es la transformación de movimiento, mediante el direccionamiento del giro del eje, es este documento se centra en el diseño de la leva y

especialmente en el perfil de la misma, que debe cumplir con unas características necesarias para generar el trayecto que debe acompañar al seguidor.

Consideraciones importantes en el diseño de una leva:

- Tipo de movimiento en el seguidor.
- Tipo de cierre.
- Tipo de seguidor.
- Tipo de movimiento del seguidor.

Según el movimiento determinado para el seguidor puede tener tres variaciones, puede ser un modelo de seguidor rotatorio, oscilante o de traslación, dependiendo de las necesidades en el movimiento de salida que se desea generar.

3.1.1. Tipo de cierre

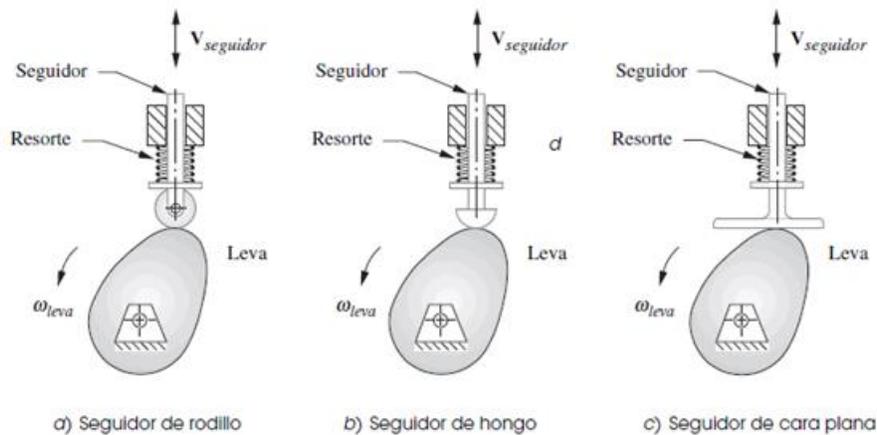
Las levas se identifican con dos tipos de cierre uno el cierre de fuerza que se caracteriza por mantener en contacto físico la leva y el seguidor y en muchas ocasiones se utiliza un resorte para garantizar el contacto entre los dos elementos, y el otro tipo de cierre es de forma donde se diseña una geometría conveniente que facilita que el seguidor acompañe el giro de la leva y se mantenga fijo en el recorrido sin perder contacto. [5]

3.1.2. Tipo de seguidor

Aunque en el análisis de diseño del perfil se centra en la leva los estudios y dinámica del mecanismo se realiza referente al movimiento del seguidor durante el giro de la leva, se describen tres modelos de seguidor usados con más frecuencia.

- Seguidor de rodillo.
- Seguidor de Hongo.
- Seguidor de cara plana.

Figura 4: Formas o tipos de seguidor



Fuente: R. L. Norton. Disponible en: Diseño de maquinaria [5].

3.1.3. Diseño del perfil de una leva.

El análisis del mecanismo leva- seguidor consiste en generar el perfil de la leva donde estará apoyado el seguidor, de acuerdo al desplazamiento deseado o requerido por el sistema mecánico, en este documento se especificará tres alternativas de movimiento para generar el comportamiento que se desea en el seguidor, los movimientos se clasificarán en movimiento de subida, bajada o detenimiento. Para aclarar los detenimientos en ningún momento es imposible el desplazamiento del seguidor, sino que a través de una geometría de la leva se garantiza que el seguidor se mantenga en posición fija durante cierto instante de tiempo para facilitar así la ejecución de una labor.

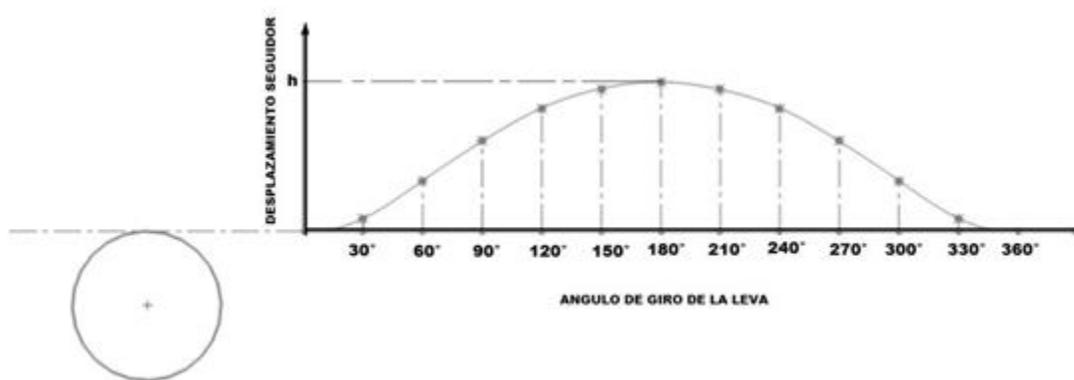
Se estudiarán dos métodos de diseño de levas, el primer planteamiento es el diseño por el método gráfico, y el segundo es el método analítico. Las dos modalidades se analizan en el presente archivo y el método escogido por el diseñador dependerá de la complejidad del movimiento deseado en la salida y tiempo que requerirá para caracterizar la posición del seguidor en un determinado giro del eje al cual esté conectado la leva, la parte analítica necesitará cálculos adicionales para respaldar el desplazamiento del seguidor.

3.1.4. Método gráfico.

Se ordenan en una secuencia lógica los pasos a seguir en el método gráfico. Inicialmente se debe concebir el desplazamiento del seguidor en un plano donde se especifique la altura máxima a la cual se desplazará el seguidor y el recorrido que realizará durante 360° , fraccionar el desplazamiento del seguidor y según la cantidad de divisiones se lograra un perfil de la leva más exacto y acorde al diagrama.

Se traza un círculo de radio base (r_b) según las especificaciones del diseñador como lo ilustra la Figura 5.

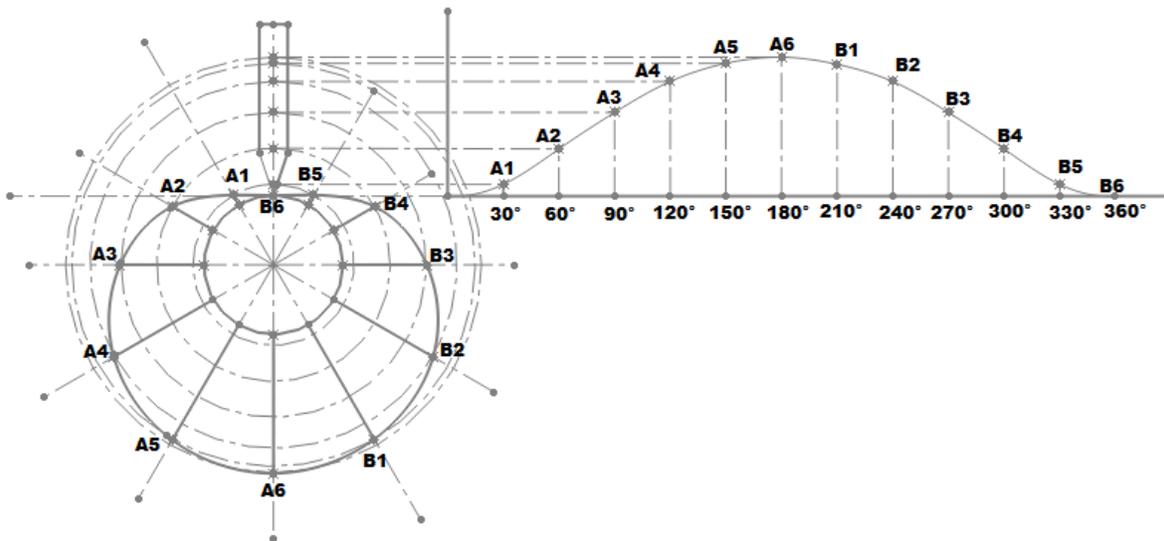
Figura 5: Diseño gráfico perfil leva “ r_b ”.



Fuente: Autor.

Se grafica el seguidor en su posición inicial en el punto cero de la gráfica de desplazamiento del seguidor, se segmenta el círculo de radio “ r_b ” en ángulos de 30° como también está dividido la gráfica de posicionamiento del seguidor durante un ángulo determinado, en la imagen para un ángulo de 30° en la posición “A1” hay una altura en la que se desplazó el seguidor por lo cual esa distancia se traslada al eje del seguidor y por medio de un compás se genera una circunferencia partiendo del punto central de la circunferencia de radio “ r_b ”, en el punto donde se entrecruzan la división de 30° de la circunferencia de radio “ r_b ” y el círculo que se está trazando con el compás se crea un punto de intercepción y al repetir la secuencia para cada punto proporciona el contorno de la leva.

Figura 6: Diseño gráfico perfil leva.



Fuente: Autor.

3.1.5. Método analítico.

En el método analítico consiste en generar el perfil de la leva determinando una ecuación característica, calculando una fórmula matemática que suavizan el contorno de la leva y permite transiciones más uniformes en el contacto de la leva y seguidor, para evitar posibles imprevistos en la ejecución del desplazamiento y el contacto entre a leva y el seguidor.

Se tomó como guía para el método analítico el análisis de funciones polinomiales que es el más versátil y no tiene limitaciones al momento de implementarse para el estudio de un detenimiento simple o doble y tiene muchas aplicaciones que benefician al diseñador por su gran adaptación al abordar un diseño.

Notación

t = tiempo en segundos.

θ = ángulo del árbol de levas en grados o radianes.

β = ángulo en el cual se segmento el estudio de desplazamiento del seguidor en el cual hay una variación por ejemplo una subida, bajada o detenimiento.

s o S = Desplazamiento del seguidor.

h = Altura o amplitud a la cual se desea que llegue el seguidor.

rb = radio de circulo primario o base en unidades de longitud.

a = aceleración seguidor unidades $\frac{\text{longitud}}{s^2}$

v = velocidad del seguidor $\frac{\text{longitud}}{s}$

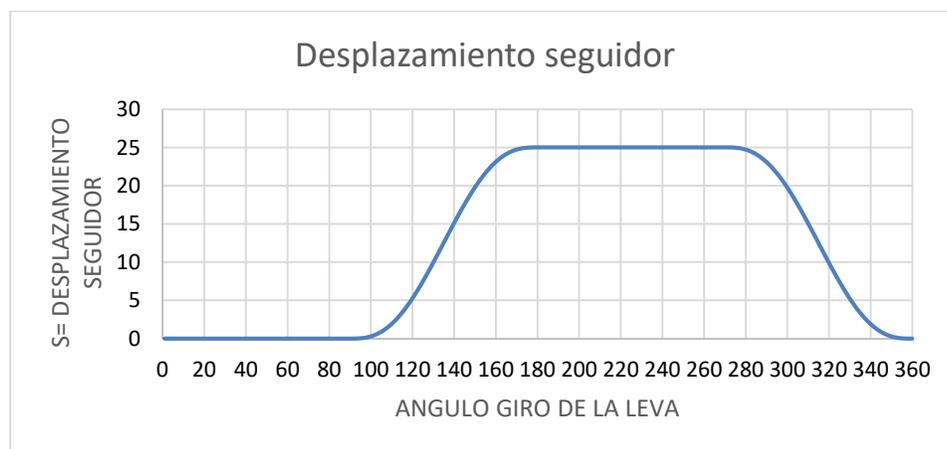
Forma general de la función polinomial

$$s = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + \dots + C_nX^n$$

Se realizara el análisis para una leva en donde el seguidor alcance una altura h de 25 mm con un análisis a 90° durante los 360° de gira la leva es decir θ .

Es importante evidenciar el movimiento del seguidor porque como se mencionó con anterioridad pude haber una subida bajada o detenimiento en este caso el análisis se centra en una leva con un doble detenimiento como se observa en la gráfica.

Figura 7: Gráfica desplazamiento seguidor



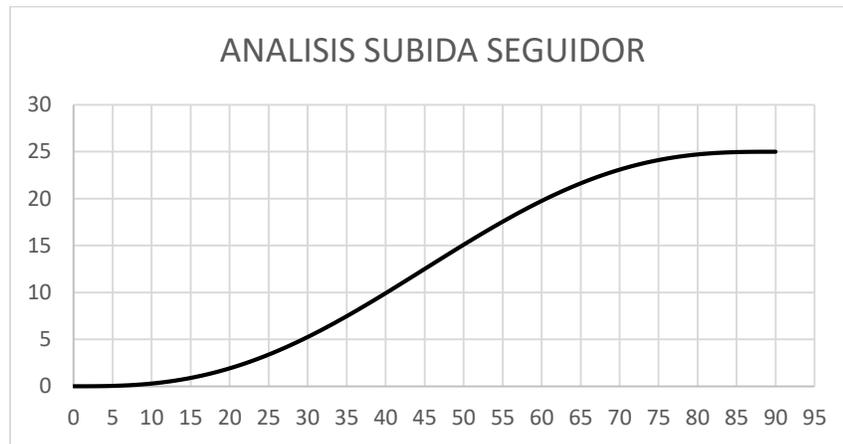
Fuente: Autor.

Se genera esta gráfica para detallar el movimiento del seguidor y se efectúa el estudio en secciones de 90° el cual se denominará β , como se observa en la imagen hay un detenimiento durante 90° de giro de la leva con una subida que transcurre en 90° de nuevo un detenimiento en 90° y un descenso o bajada en los restantes 90° de giro de la leva.

Como en los detenimientos no es necesario realizar un estudio ya que es un valor constante se enfocará el análisis en la subida y bajada.

3.1.6. Análisis matemático.

Figura 8: Análisis subida seguidor.



Fuente: Autor.

Distinción de las condiciones de frontera que denominaran k y que ayudan a definir el grado del polinomio

Tabla 2: Condiciones perfil leva en la subida

Punto de frontera $\theta = 0$	Punto de frontera $\theta = 90^\circ$
$a = 0$	$a = 0$
$v = 0$	$v = 0$
$s = 0$	$s = h = 25 \text{ mm}$

Fuente: Autor

Para determinar el orden del polinomio se enumeran las condiciones de frontera las cuales son seis, donde:

n: Orden del polinomio.

k= Número de condiciones de frontera en este caso seis.

$n = k-1$, entonces $n = 6 - 1 = 5$

$$s = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + C_5X^5$$

La X se reemplaza por el argumento $\frac{\theta}{\beta}$ que es el ángulo normalizado.

Ecuación resultante

$$s = h * \left[C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

Condición uno $a = 0$; $\theta = 0$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$0 = \frac{h}{\beta^2} [2C_2]$$

$$C_2 = 0$$

Condición dos: $v = 0$; $\theta = 0$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$0 = \frac{1}{\beta} [C_1]$$

$$C_1 = 0$$

Condición tres $s = 0$; $\theta = \beta$

$$s = h * \left[C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$C_0 = 0$$

Condición cuatro: $a = 0$; $\theta = \beta$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$0 = [6C_3 + 12C_4 + 20C_5]$$

Condición cinco: $v = 0$; $\theta = \beta$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$0 = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right] \quad C_1 = C_2 = 0$$

$$0 = [3C_3 + 4C_4 + 5C_5]$$

$$s = h; \theta = \beta$$

$$h = C_3 + C_4 + C_5$$

Ecuaciones resultantes

$$C_0 = C_1 = C_2 = 0$$

$$0 = [6C_3 + 12C_4 + 20C_5]$$

$$0 = [3C_3 + 4C_4 + 5C_5]$$

$$h = C_3 + C_4 + C_5$$

hallando las incógnitas por factorización:

$$C_3 = h - C_4 - C_5$$

$$\begin{array}{r} 0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5 \\ -0 = 2 * [3C_3 + 4C_4 + 5C_5] \\ \hline 0 = \quad 4C_4 + 10C_5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -3h = -3C_3 - 3C_4 - 3C_5 \\ 0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5 \\ \hline 0 = \quad C_4 + 2C_5 \end{array}$$

$$0 = 4(-3h - 2C_5) + 10C_5$$

$$0 = -12h - 8C_5 + 10C_5$$

$$0 = -12h + 2C_5$$

$$C_5 = \frac{12}{2}h$$

$$C_5 = 6h$$

$$C_3 = h - C_4 - C_5$$

$$C_3 = h - (-15h) - 6h$$

$$C_3 = 10h$$

$$C_4 = -3h - 2C_5$$

$$C_4 = -3h - 2 * 6h$$

$$C_4 = -15h$$

La ecuación resultante para el análisis de la subida es:

$$s = h * \left[C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$s = h * \left[C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$s = h * \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

Se realiza el mismo procedimiento para estudiar el comportamiento en la bajada.

Grado del polinomio para el descenso es igual es de cinco

$$s = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + C_5X^5$$

$$s = h * \left[C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

Condición uno $a = 0$ y $\theta = 0$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$C_2 = 0$$

Condición dos $v = 0$ y $\theta = 0$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$C_1 = 0$$

Condición tres $s = h$ y $\theta = 0$

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5$$

$$h = C_0$$

Condición cuatro $a = 0$ y $\theta = 90^\circ = \beta$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$

$$0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5$$

Condición cinco $v = 0$ y $\theta = 90^\circ = \beta$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5$$

Condición seis $s = 0$ y $\theta = 90^\circ = \beta$

$$h = C_0$$

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5$$

$$0 = h + C_3 + C_4 + C_5$$

Las ecuaciones resultantes son:

$$h = C_0$$

$$C_1 = C_2 = 0$$

$$0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5$$

$$0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5$$

$$0 = h + C_3 + C_4 + C_5$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones los valores de las incógnitas son:

$$C_5 = -6h \quad C_4 = 15h \quad C_3 = -10h$$

La ecuación resultante para el desplazamiento de bajada es:

$$h = C_0$$

$$s = h * \left[C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

$$s = h * \left[1 - 10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

Con las ecuaciones resultantes se genera una serie de datos que se incluyen en Excel para obtener un gráfico aproximado del perfil de la leva, al igual que el desplazamiento del seguidor.

Como ejemplo para validar las ecuaciones se desea una leva que permita que el seguidor alcance una altura de 25 mm con un radio base (r_b) igual a 25 mm con un doble detenimiento y se segmentara el estudio del desplazamiento de seguidor en ángulos de 90° , el movimiento descrito por el seguidor es el que se muestra a continuación en el gráfico.

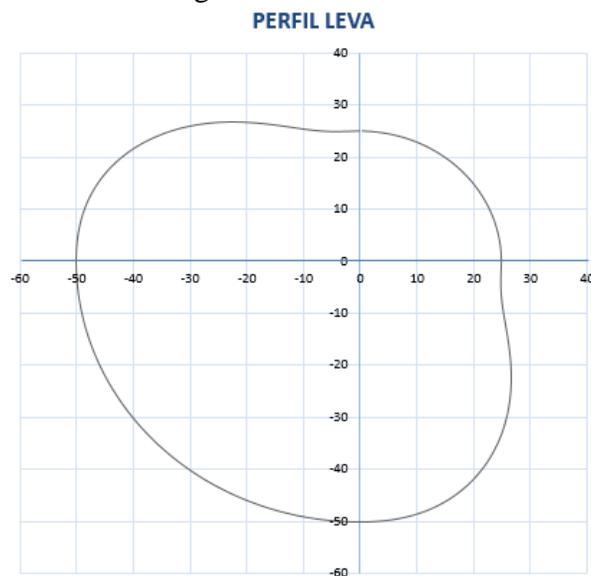
Figura 9: Desplazamiento seguidor



Fuente: Autor.

Para este tipo de comportamiento del seguidor se generó el siguiente perfil de la leva.

Figura 10: Perfil leva

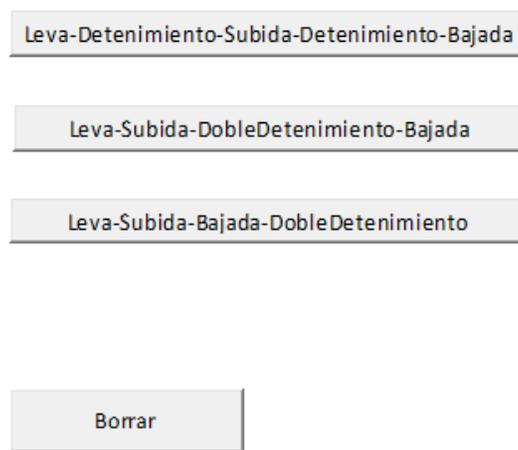


Fuente: Autor.

Para agilizar los cálculos y la obtención de un perfil de una leva se construyó un sencillo sistema en programación VBA en Excel, que permite iterar de forma sencilla y generar tres perfiles de levas con doble detenimiento.

Consiste en un lenguaje en VBA con la utilización de varios ciclos for que permiten calcular y diseñar un perfil de una leva, como datos que se deben ingresar por el usuario son la longitud del radio base, la altura que dese alcanzar por el seguidor.

Figura 11: Aplicativo diseño perfiles de leva.



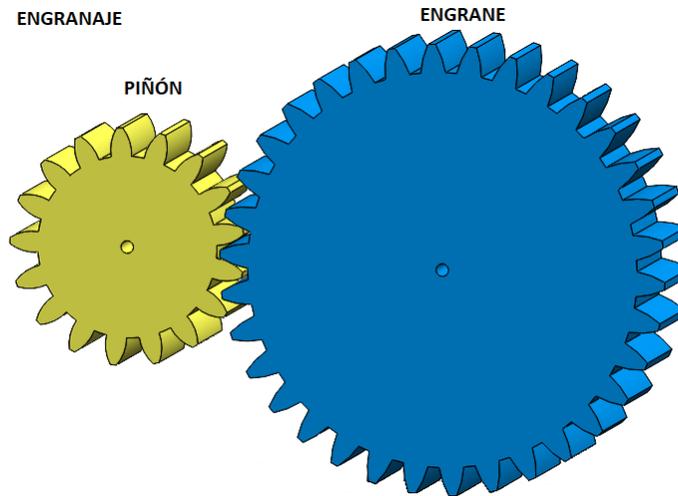
Fuente: Autor.

En el archivo se especifican tres tipos de levas que se diseñan con el aplicativo, en el cual se grafica el desplazamiento del seguidor y también el perfil de la leva.

3.2. ENGRANE.

Los engranes son mecanismos por excelencia encargados de transmitir potencia y transferir movimiento, se fundamentan en dos elementos móviles uno es el engrane conductor o motriz que se diseña para acoplarse con un alto nivel de precisión a un engranaje conducido y la importancia que tiene este tipo de mecanismo se utiliza para producir cambios de velocidad o transformar la dirección de giro de un eje a otro eje, la rueda más pequeña se denomina piñón y la de mayor tamaño se designa como engrane. [7]

Figura 12: Engranaje

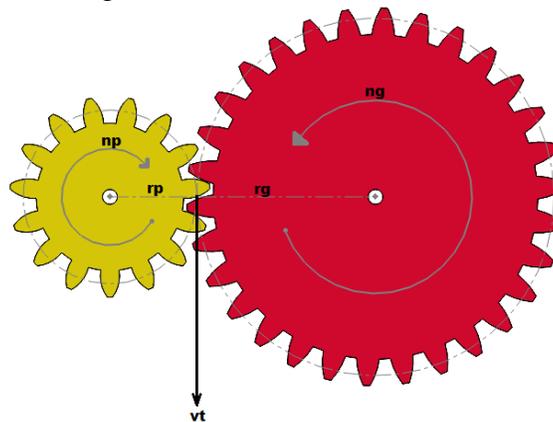


Fuente: Autor.

3.2.3 Relación de velocidad.

Para diseñar un engrane se requiere seguir unos criterios que están normalizados y estandarizados por asociaciones especialistas en el diseño de estos elementos, por lo cual es necesario hablar de temas puntuales y desarrollar un análisis descriptivo preliminar que permita crear un engrane ideal, que cumpla con todas las especificaciones necesarias, para tomar decisiones acordes a las necesidades o requerimientos de una máquina, por este motivo se especificara términos como el de relación de velocidad (VR)

Figura 13: Relación de velocidad



Fuente: Autor.

Como se observa en la de relación de velocidad (VR)

Figura 13 el acople entre en piñón y el engrane genera un reductor de velocidad que a su vez se comporta como un multiplicador de torque, en este caso se asume dos ruedas con un diámetro de paso uniforme, donde el piñón es el elemento de entrada y el engrane el elemento de salida generan un movimiento de rotación armónico, se enfocara el análisis en los diámetros circulares o denominados de paso. Al girar el piñón representado como n_p o ω_p genera una velocidad tangencial que es común para los dos elementos y hay un punto coincidente entre los dos diámetros de paso del conductor y el conducido.

$$v_t = n_p * r_p$$

$$v_t = n_g * r_g$$

$$n_g * r_g = n_p * r_p$$

$$n_g = n_p * \left(\frac{r_p}{r_g}\right)$$

Al girar el piñón como objeto motriz a una velocidad angular alta, la relación de radios entre el piñón y el engrane en la ecuación planteada da un número menor que la unidad y el resultado obtenido explica como este sistema genera una reducción de velocidad por la diferencia de longitudes de radios entre las dos piezas en contacto.

Hay diferentes maneras de especificar la relación de velocidad, la más utilizada es la que emplea el diámetro de paso, se describe a continuación las posibles ecuaciones para hallar la relación de velocidad.

$$VR = \frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{n_p}{n_g} = \frac{r_g}{r_p} = \frac{D_g}{D_p} = \frac{N_g}{N_p}$$

N: Número de dientes.

D: Diámetro de paso.

r: radio.

n: Número de revoluciones.

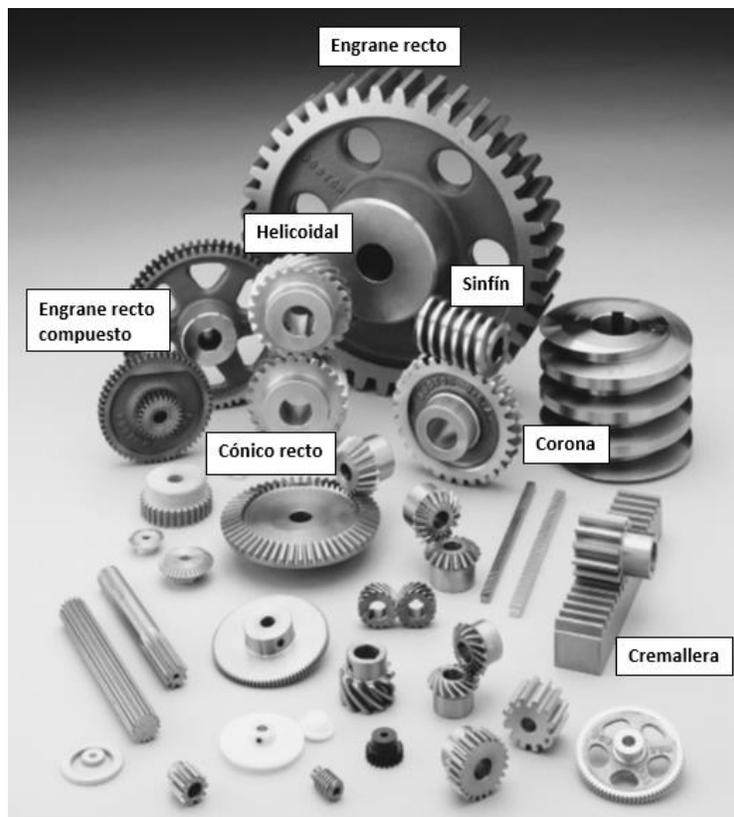
ω : Velocidad angular.

p: piñón.

g: Engrane.

por su versatilidad el engrane es un mecanismo muy utilizado, tiene muchas aplicaciones en equipos o maquinaria por sus cualidades de reducir o aumentar la velocidad o multiplicador de torque, sus beneficios son altamente valorados en la industria, debido a la capacidad de integrarse fácilmente a un sistema mecánico y se encuentra una diversidad de estilos de engranes con variaciones en las distintas geometrías de los dientes por lo cual se realiza una referencia sencilla donde se especifican los tipos de engranes según la Figura 14.

Figura 14: Tipos de engranes

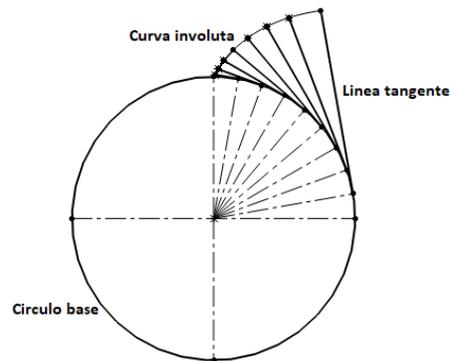


Fuente: Robert. L Mott Diseño de elementos de máquinas [7].

Como se puede observar hay muchas variaciones en los dientes de los engranes y características físicas, pero en este documento solo se centrará en el estudio del engrane de diente recto debido a que su diseño se puede integrar muy fácilmente en los sistemas mecánicos denominados autómatas en madera, y además permite realizar variaciones de velocidad de un eje a otro para generar un movimiento de salida específico.

El perfil típico en que se diseña un diente de un engrane recto cumple con un tipo de curva geométrica que se denomina involuta o envolvente que cumple con la característica de producir una velocidad angular constante, los dos elementos engranan y giran simultáneamente al tiempo que se articulan los dientes, el movimiento es uniforme evitando posibles vibraciones, ruidos y oscilaciones. La envolvente se origina desde el círculo base y su forma se dibuja generando líneas tangentes en el contorno del círculo, al entrar el piñón y el engrane en contacto se observa que se produce una tangente común para ambos círculos base en la cual se evidencia que se crea un punto de contacto que no cambiará así los dos elementos estén girando.

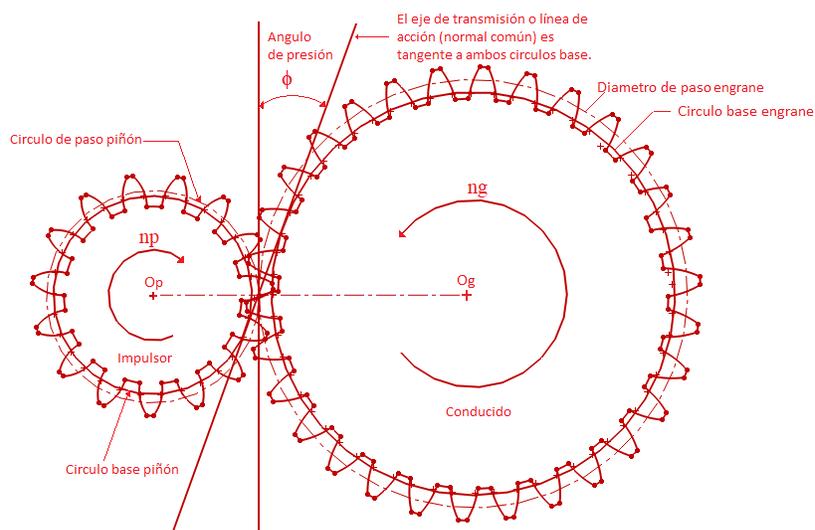
Figura 15: curva Involuta
Forma gráfica de una curva involuta



Fuente: Autor.

Figura 16: Simetría círculos dentados que engranan

Simetría de círculos dentados que engranan.

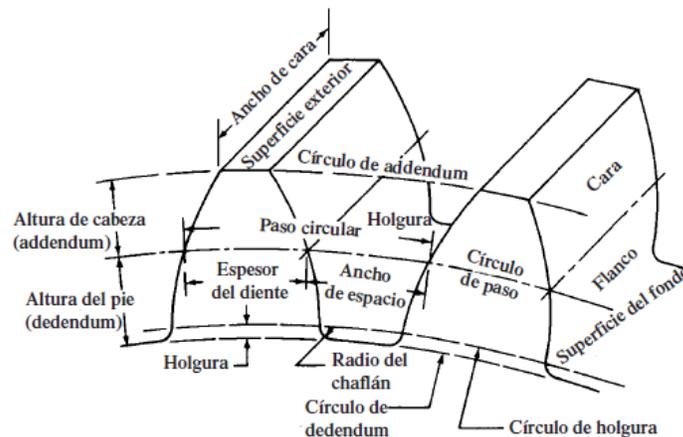


Fuente: Autor.

La Figura 16 se dimensiona las dos piezas engranadas donde se observa una línea de acción tangente al círculo base del engrane y al círculo base del piñón, esta simetría permite el acople perfecto entre las dos piezas dentadas evitando interferencias, ya sea para transmitir un movimiento de un eje giratorio a otro o para incrementar o disminuir la velocidad.

3.2.2. Características de los engranes.

Figura 17: Características dientes de un engrane
Características de los dientes de engrane



Fuente: Robert. L Mott. Disponible en: Diseño de elementos de máquinas [7].

Se realiza un análisis descriptivo de las partes que componen un diente de un engrane recto, y cuyos parámetros están normalizados por la entidad AGMA (Asociación estadounidense de fabricantes de engranes), según la directriz, el número de dientes se tomara con la letra N y a continuación se presentan las ecuaciones para determinar cada una de las especificaciones de un diente de engrane recto como se observa en la Figura 17.

Como se puede examinar y es importante resaltar al engranar los dos componentes el más pequeño denominado piñón (p) con su respectivo engrane (g) se generan dos círculos de paso también denominados diámetros de paso, caracterizados por una línea discontinua simbolizados como D_p si es piñón o D_g si es el engrane, la ubicación de esta circunferencia esta en algún lugar al interior de la altura del diente.

Paso circular (p)

Es la distancia entre puntos correspondientes entre dientes adyacentes [7].

$$p = \frac{\pi D}{N}$$

Esta ecuación determina un principio fundamental de los engranes que dispone que los dos engranes cuando engranan deben tener el mismo paso circular, modulo o su correspondiente paso diametral, es decir el mismo tipo de diente, no solamente el paso sino también el ángulo de presión que se estudiara más adelante.

Paso diametral (pd):

Es el sistema de paso más utilizado en Estados Unidos, que es igual número de dientes por pulgada de diámetro paso [7].

$$Pd = \frac{Ng}{Dg} = \frac{Np}{Dp}$$

Según los perfiles de dientes de los engranes rectos y su tamaño se ha determinado que pasos diametrales pequeños en número, el diente es grande denominados comúnmente en los libros paso grueso, mientras que pasos diametrales grandes los dientes son de tamaño pequeño.

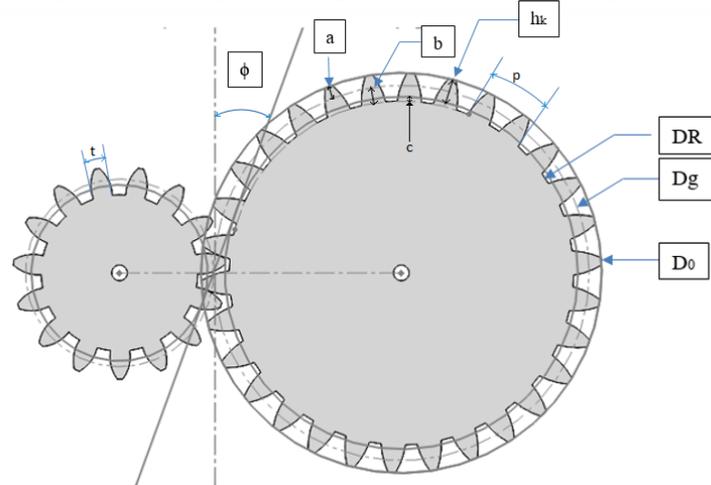
Módulo métrico:

En el SI, unidad de longitud el milímetro, denominado modulo (m).

$$m = \frac{Dg}{Ng} = \frac{Dp}{Np}$$

Muchas de las propiedades se deben calcular para obtener un diseño exacto del tamaño de los dientes y conocer las especificaciones propuestas por AGMA para satisfacer y completar el diseño de los engranes, se ilustra los parámetros y las indicaciones propuesta por la asociación de fabricantes de engranes para deducir e indicar las partes que componen un engrane o el mecanismo compuesto por varias ruedas dentadas consideradas engranaje.

Figura 18: Propiedades geométricas de los engranajes



Fuente: Autor.

Para que dos piezas dentadas encajen se definen a continuación las demás propiedades que debe cumplir un diente, y se toma normas de AGMA para garantizar el diseño y el comportamiento al iniciar un contacto entre engranes.

Addendum o altura de cabeza (a): Distancia radial desde el círculo de paso hasta el diámetro exterior o donde finaliza el diente [7].

Dedendum o altura del pie (b): Distancia radial desde el círculo de raíz (DR) hasta el círculo de paso [7].

Holgura (c): Es la distancia de separación al momento de acoplar dos dientes fines prácticos para lubricación [7].

$$c = b - a$$

Figura 19: Formulas características diente de un engrane sistema métrico

Fórmulas para características de dientes de engranes, para un ángulo de presión de 20°

Propiedad	Símbolo	Involuta de 20° , profundidad total		Sistema de módulo métrico
		Paso grueso ($P_d < 20$)	Paso fino ($P_d \geq 20$)	
Addendum	a	$1/P_d$	$1/P_d$	$1.00m$
Dedendum	b	$1.25/P_d$	$1.200/P_d + 0.002$	$1.25m$
Clearance	c	$0.25/P_d$	$0.200/P_d + 0.002$	$0.25m$

Fuente: Robert. L Mott. Disponible en: Diseño de elementos de máquinas [7]. Edición autor.

Diámetro exterior: $D_o = D + 2a$

$$D_o = \frac{N}{Pd} + 2 \frac{1}{Pd} = \frac{N + 2}{Pd}$$

En el sistema métrico $D_o = mN + 2m = m(N + 2)$

Diámetro de raíz: $D_R = D - 2b$

Altura total (ht): $ht = a + b$

Profundidad de trabajo (hk): $hk = a + a = 2a$

$$ht = hk + c$$

Espesor del diente (t): $t = \frac{p}{2} = \frac{\pi}{2Pd}$

Distancia entre centros (C): $C = \frac{D_g}{2} + \frac{D_p}{2} = \frac{D_g + D_p}{2}$

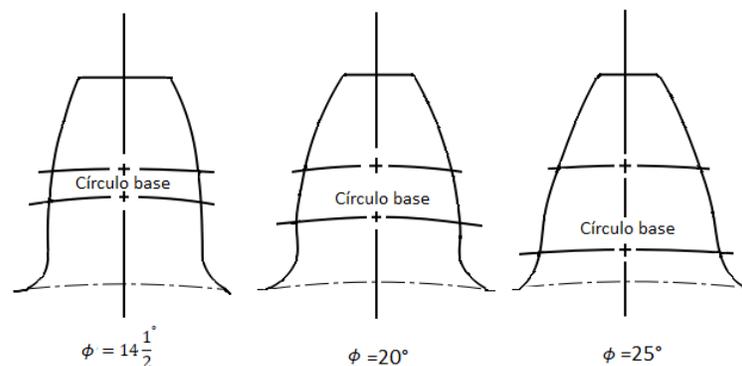
$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{Ng}{Pd} + \frac{Np}{Pd} \right] = \frac{Ng + Np}{2Pd}$$

$$C = \frac{D_g + D_p}{2} = \frac{mNg + mNp}{2} = \frac{m(Ng + Np)}{2}$$

Angulo de presión (ϕ): El ángulo de presión es el que se genera a partir de la tangente que cruza los círculos base de los dos elementos engranados, al mismo tiempo que se genera una recta en el punto de contacto de los diámetros de paso. Existen tres variaciones del ángulo de presión, pero la más recomendada y utilizada es de presión a 20° porque cuenta con tablas establecidas por AGMA para evaluar varios diseños.

Figura 20: Ángulos de presión característicos de un diente de un engrane

Dientes curva involuta a diferentes ángulos de presión



Fuente: Robert. L Mott. Disponible en: Diseño de elementos de máquinas [7]. Edición autor.

Una observación importante es que el diámetro del círculo base se puede calcular como:

$$D_b = D \cos \phi$$

Los fabricantes de engranes proponen unos estándares para el diseño conveniente de los engranes entre ellos la validación de tablas o curvas de graficas donde se permite al usuario tomar decisiones confiables y viables al momento de diseñar un par de engranes, entre una de las consideraciones importantes está el número de dientes que se deben escoger o seleccionar para el piñón, para reducir la interferencia entre dientes y producir una relación de velocidad máxima.

Figura 21: Relación entre ángulo de presión elementos engranados

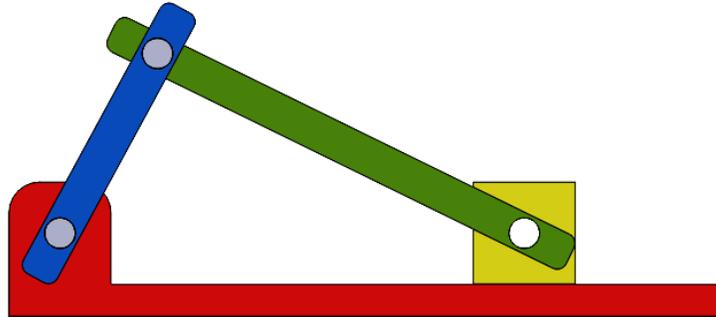
Para un piñón de 20°, profundidad total, engranado con un engrane	
Número de dientes del piñón	Número máximo de dientes del engrane
17	1309
16	101
15	45
14	26
13	16

Fuente: Robert. L Mott. Disponible en: Diseño de elementos de máquinas [7].

3.3. BIELA MANIVELA.

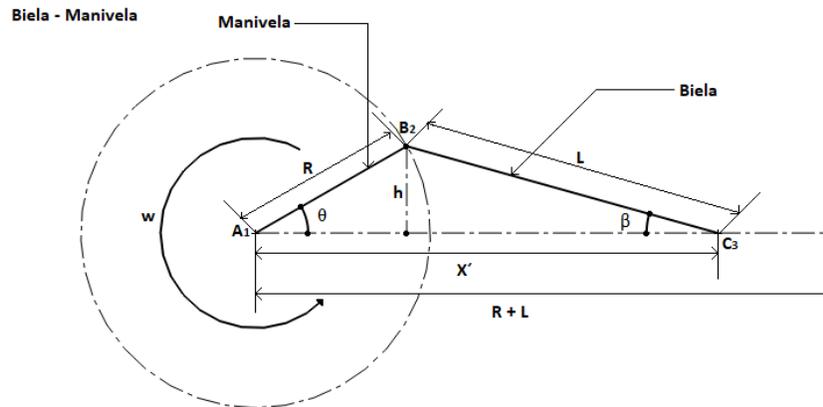
El mecanismo biela manivela permite transformar un movimiento lineal alternativo en un movimiento circular o viceversa, es una unión entre dos componentes, una pieza denominada biela y otra manivela que con su sujeción permite modificar el tipo de movimiento, una aplicación actual de este dispositivo es el utilizado en los motores.

Figura 22: Biela - manivela mecanismo



Fuente: Autor

Figura 23: Biela - manivela



Fuente: Autor

3.3.1. Estudio cinemático posición biela manivela.

Una descripción sencilla del movimiento derivado de la unión de las dos componentes, es que la manivela de radio R , fija en un punto A_1 realiza una rotación designada como w , con un cambio de posición θ , a su vez la biela unida por un punto de contacto B_2 a la manivela se ve forzada a producir un cambio de posición β y subsecuentemente se origina una translación del punto C_3 de forma lineal nombrado X' .

Análisis desplazamiento lineal X' en función de θ

Según las propiedades trigonométricas, se define las siguientes ecuaciones

La distancia total es $R + L$

El cambio de posición lineal en cualquier instante de tiempo X'

$$x' = R \cos \theta + L \cos \beta \text{ Ecuación 1}$$

Como R y L tienen en común la magnitud h

$$h = R \operatorname{sen} \theta = L \operatorname{sen} \beta$$

Despejando el $\operatorname{sen}(\beta)$ tenemos que

$$\operatorname{sen} \beta = \frac{R}{L} \operatorname{sen} \theta$$

Identidad trigonométrica

$$\cos \beta = \pm \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \theta}$$

Reemplazando en la ecuación uno:

$$x' = R \cos \theta + L \left(\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \operatorname{sen}^2 \theta} \right)$$

Factorizando

$$x' = R \cos \theta + \sqrt{L^2 - R^2 \operatorname{sen}^2 \theta}$$

La ecuación resultante permite encontrar la posición exacta del punto denominado C3 respecto al cambio de posición de θ .

Para concluir cuando $\theta = 0$

$\cos(0)=1$ quedaría R y el $\operatorname{sen}(0)=0$ dando como resultado $X' = R + L$ evidenciando que la ecuación resultante es correcta otro ejemplo es cuando:

$$\theta = \frac{\pi}{2}$$

Se obtiene $X' = \sqrt{L^2 + R^2}$

Cuando $\theta = \pi$

$$X' = -R + L$$

3.4. MECANISMO DE CUATRO BARRAS

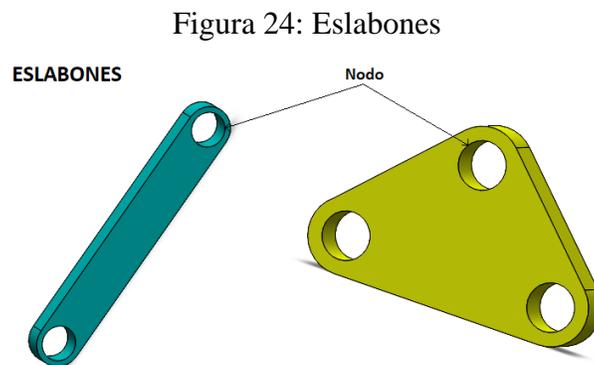
El mecanismo de cuatro barras es un dispositivo que por su simplicidad y facilidad al momento de ensamblar, permite generar un movimiento establecido por el diseñador, para resolver un problema en un proyecto mecánico, al iniciar con el estudio de este componente es necesario abordar conceptos como eslabonamientos, que se define como grados de libertad o movilidad, síntesis gráfica y criterios científicos necesarios para crear este tipo de mecanismos.

Se hace referencia a temas como:

Cadena cinemática: es un conjunto de eslabones unidos que producen un movimiento controlado.

Eslabón: Cuerpo rígido que posee un número mínimo de dos nodos, los cuales son puntos de unión entre eslabones.

Junta: Es la conexión entre dos o más eslabones.



Fuente: Autor.

Dependiendo el número de nodos los eslabones se catalogan como binario, ternario o cuaternario.

El análisis del mecanismo de cuatro barras se realiza en dos dimensiones porque se torna dispendioso el análisis en tres dimensiones, es importante esclarecer que se debe estudiar los eslabonamientos en dos dimensiones y centralizarse en aspectos definidos en dos dimensiones porque es la base para comprender la estructura de un eslabonamiento en tres dimensiones, por lo

cual es indispensable describir los grados de libertad o movilidad del mecanismo, que consiste en caracterizar y definir la posición de los eslabones en cualquier instante de tiempo respecto a un marco de referencia y también poder catalogar el número de entradas necesarias para producir un movimiento de salida predecible.

Para identificar los grados de libertad o movilidad de un conjunto de eslabones se requiere hablar de los tipos de movimientos los cuales se clasifican como:

Rotación pura: el cuerpo posee un punto de rotación que lo mantiene fijo a un marco de referencia.

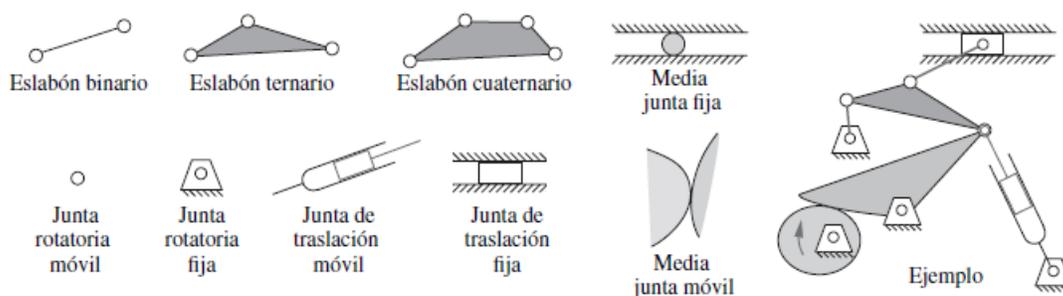
Traslación pura: todos los puntos del cuerpo describen trayectorias paralelas (curvilíneas o rectilíneas).

Movimiento complejo: combinación simultánea de rotación y traslación.

Para formalizar este tipo de mecanismos se requiere diagramas cinemático claros y simples, que permitan distinguir los eslabones y juntas en el gráfico. y a su vez, identificar los posibles movimientos que puede suscitar de la unión entre eslabones de rotación o traslación.

Figura 25: Notación esquemática eslabones

Notación esquemática cadena cinemática

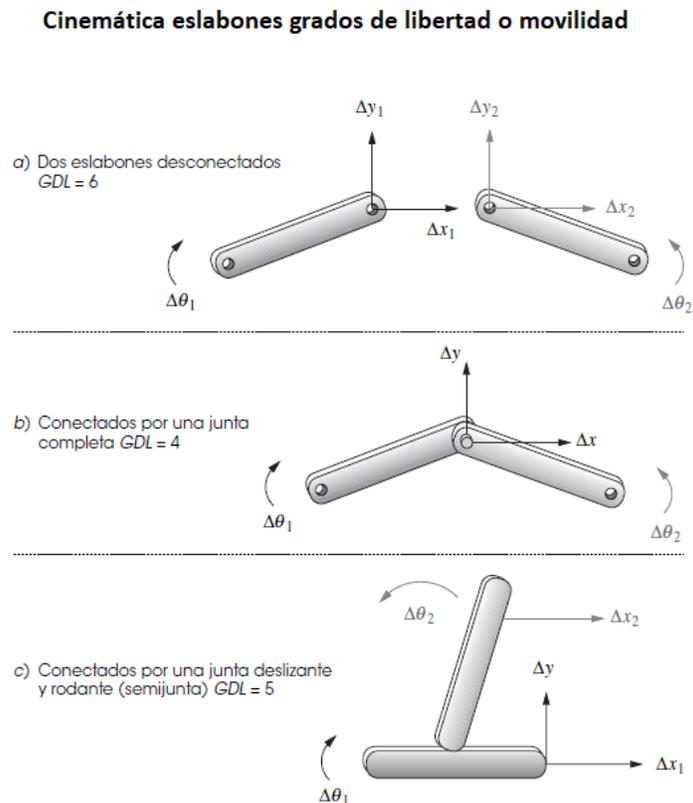


Fuente: Robert. L Norton. Disponible en: Diseño de maquinaria [5].

Para describir los grados de libertad o movilidad en una cadena cinemática se debe considerar el número de eslabones como de juntas y la correlación entre los elementos, por lo cual

se describe la condición de Gruebler donde señala que cualquier eslabón en un plano tiene tres grados de libertad y al partir de esta afirmación se deduce las posibles configuraciones entre eslabones y el tipo de junta.

Figura 26: Cinemática eslabones grados de libertad o movilidad



Fuente: Robert. L Norton. Disponible en: Diseño de maquinaria [5].

Es imperioso aclarar que J representa el número de juntas completas, pero existen semijuntas que permite rodamiento como deslizamiento por lo cual se alteran los grados de libertad en un mecanismo y se realizan varias modificación a la ecuación de Gruebler, por consiguiente solo se referencia la ecuación representativa de Gruebler necesaria para calcular los grados de movilidad con sus respectivas correcciones, es importante indicar que las semijuntas cuentan como $1/2$ porque solo eliminan un grado de libertad.

3.4.1. Ecuación de Gruebler.

$$M = 3(L - 1) - 2J_1 - J_2$$

Donde:

M = grados de libertad o movilidad.

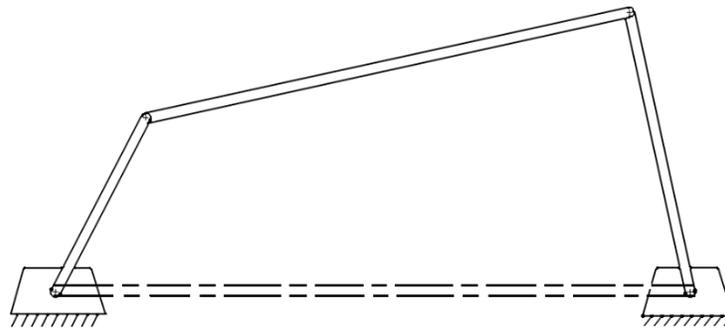
L = número de eslabones.

J_1 = número de juntas un grado de libertad (completas)

J_2 = número de juntas dos grados de libertad (semijuntas).

Una nota importantísima es que juntas múltiples se consideran como el número de eslabones menos uno.

Figura 27: Mecanismo de cuatro barras.



Fuente: Autor.

Para concretar términos se definirá una manivela como un eslabón que realiza una revolución completa y esta pivotada a la bancada, un balancín que tiene rotación oscilatoria y esta alternando su movimiento respecto a la bancada, un acoplador o biela que tiene un movimiento complejo y la bancada es un eslabón fijo inmóvil.

3.4.2. Condición de Grashof.

Como se puede observar el eslabonamiento de cuatro barras es el mecanismo articulado más sencillo y es de exaltar su gran facilidad para ensamblar y la variedad de movimientos ingeniosos que permite ejecutar y controlar, se genera una salida admisible a una acción

especificada que puede ser definida por el diseñador, la condición de Grashof indica la función realizada por cada uno de los eslabones apoyándose en las longitudes de los eslabones.

La condición sugiere:

$$S + L \leq P + Q$$

S = longitud del eslabón más corto.

L = longitud del eslabón más largo.

P = Longitud del eslabón biela.

Q = Longitud del otro eslabón restante.

Al validar esta representación o lo postulado por Grashof, se está interpretando que solo es necesario conocer las longitudes de los eslabones y no se hace referencia a que estén ensamblados, lo cual no interfiere ni altera la condición de Grashof, lo único que podría inferir es en las posibles variaciones en la unión entre eslabones, que generan un movimiento determinado como por ejemplo:

Movimiento de clase 1

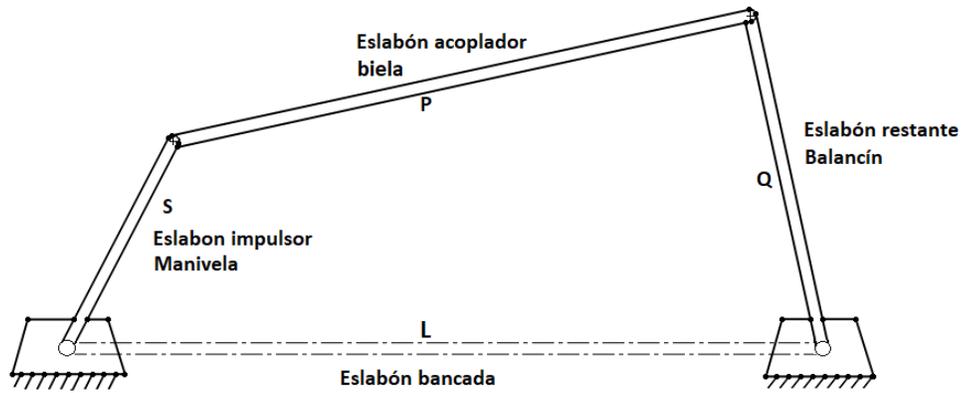
$$S + L < P + Q$$

En esta suposición se pueden obtener cuatro posibles mecanismos de eslabonamientos de Grashof las cuales son:

- Si se fija un eslabón adyacente al más corto S en este caso como lo señala en la ilustración denominados L o P se obtendrá una manivela balancín en dos disposiciones.
- Si se fija el opuesto al más corto en este caso Q se obtendrá doble balancín.
- si se fija el eslabón más corto S se genera una doble manivela.

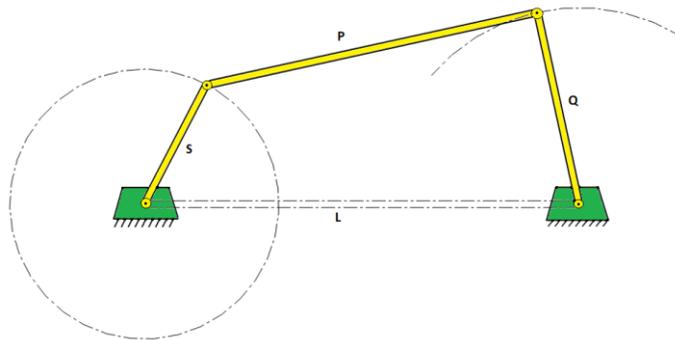
Figura 28: Mecanismo de cuatro barras caracterización.

Mecanismo cuatro barras caracterización



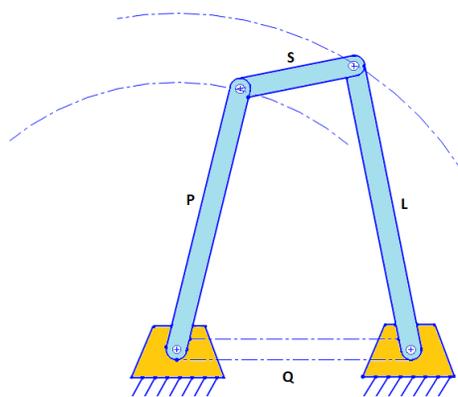
Fuente: Autor.

Figura 29: Manivela balancín.



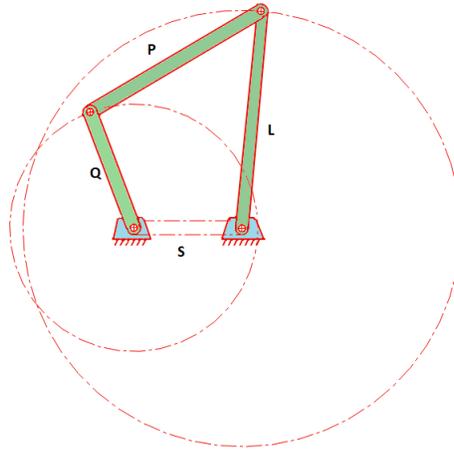
Fuente: Autor.

Figura 30: Doble balancín



Fuente: Autor.

Figura 31: Doble manivela



Fuente: Autor.

La cadena cinemática de cuatro barras tiene otras variaciones de movimientos las cuales son de diferentes clases como:

Clase 2

$$S + L > P + Q$$

Todas las configuraciones son balancines triples.

Clase 3

$$S + L = P + Q$$

Es un caso especial de Grashof y los eslabones tendrán un comportamiento de doble – manivela o manivela – balancín, pero se crearán momentos donde se generan puntos de cambio, es impredecible determinar el movimiento ocasionado por la unión entre eslabones en esos puntos indeterminados.

3.4.4. Síntesis gráfica eslabonamiento de cuatro barras.

Se describe a continuación como realizar una representación gráfica de un eslabonamiento de cuatro barras y suministrar una idea básica de la implementación de este mecanismo en la

solución de un problema determinado, la realización de este tipo de diagramas no tiene complejidad y permite al diseñador realizar innovaciones en la unión entre eslabones.

Se diseña un eslabonamiento de cuatro barras de Grashof manivela balancín con un ángulo de oscilación de 40° con el eslabón impulsor a velocidad constante

Se describe los procedimientos a seguir propuestos por el libro de diseño de maquinaria de Norton cuarta edición

Se dibuja el eslabón de salida que efectúa un movimiento de balancín en su posición inicial, se fija en un punto apropiado en este caso O y se rota un ángulo definido por el diseñador definido como θ , a hora bien después de tener representadas las dos probables ubicaciones del eslabón se procede en sus extremos a extender una línea discontinua en ambas direcciones, entonces se elige un punto a conveniencia para el dibujante en este ejemplo se eligió el punto nombrado como A sobre la línea proyectada, asimismo genere una circunferencia cuyo diámetro es la distancia entre el eslabón en su posición inicial y final, para finalizar el ejercicio se determina la longitud de los eslabones los cuales están representados en la gráfica como:

Eslabón impulsor de longitud del punto A al B.

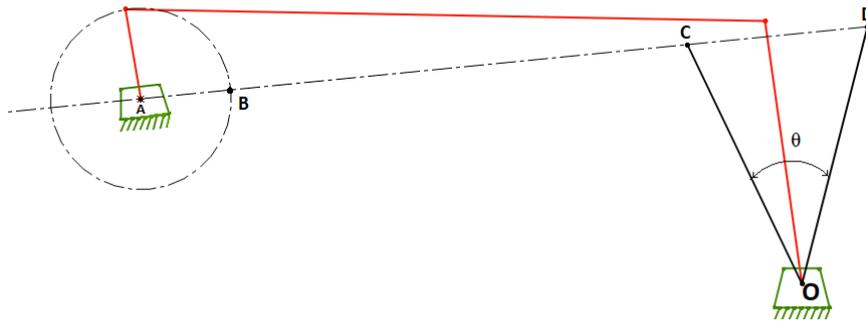
El eslabón de bancada que es la distancia entre el punto A al O.

El eslabón acoplador que es la distancia entre el punto B al D.

El eslabón restante CO o DO que efectúa el movimiento oscilante, en este caso es con el que se inicia el problema y es conocido por el diseñador.

Observe la imagen para determinar el procedimiento descrito con anterioridad.

Figura 32: Síntesis gráfica eslabonamiento cuatro barras manivela – balancín.

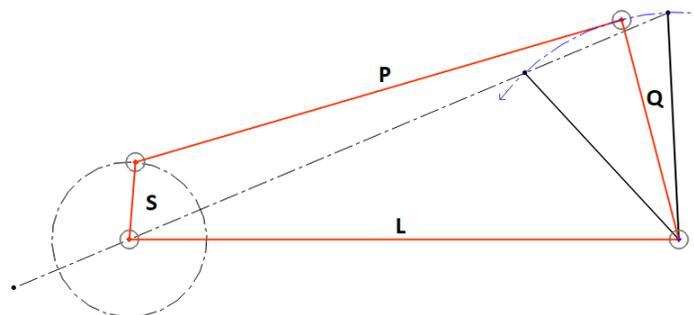


Fuente: Autor.

3.4.5. Caracterización Grashof $S + L < P + Q$

Figura 33: Caracterización movimientos eslabonamiento cuatro barras

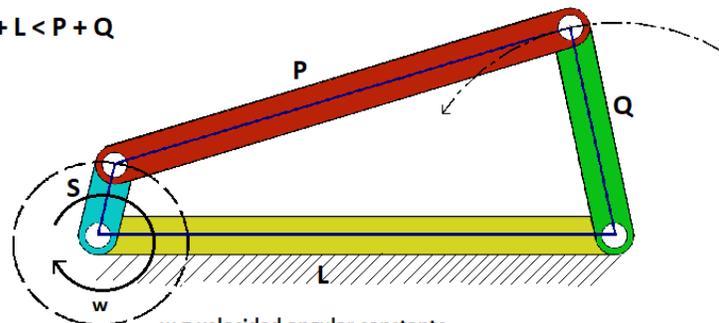
Mecanismo de cuatro barras $S + L < P + Q$



Fuente: Autor.

Figura 34: Mecanismo cuatro barras Grashof

$S + L < P + Q$



w = velocidad angular constante.

L = Eslabón bancada

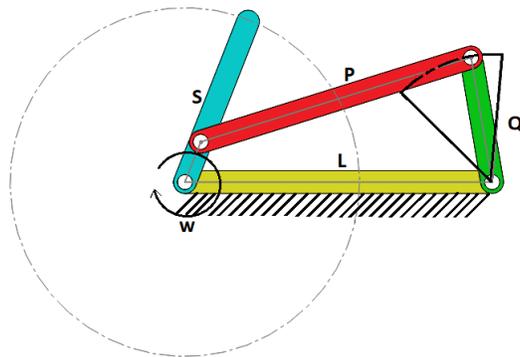
S = Eslabón impulsor movimiento balancín.

P = Eslabón acoplador.

Q = Eslabón restante movimiento balancín.

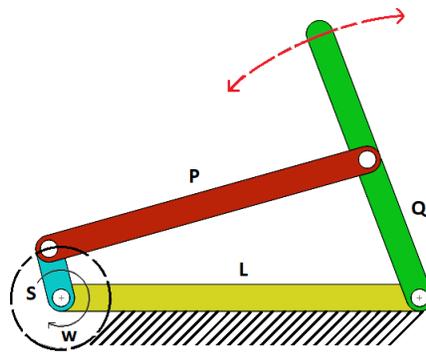
Fuente: Autor.

Figura 35: Eslabón impulsor "s" extendido



Fuente: Autor.

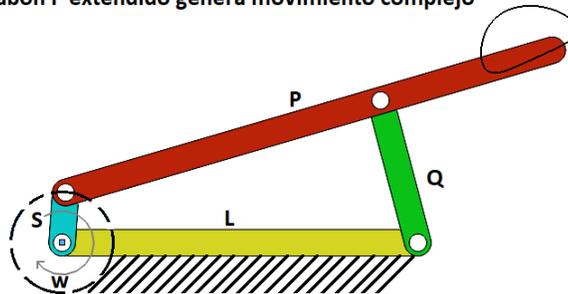
Figura 36: Eslabón Q extendido balancín



Fuente: Autor.

Figura 37: Eslabón P extendido

Eslabón P extendido genera movimiento complejo



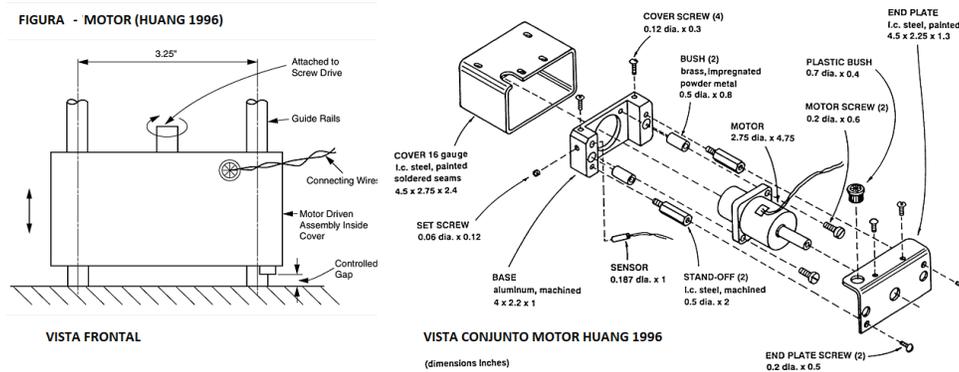
Fuente: Autor.

3.5. METODOLOGIA DFMA.

La metodología de diseño para la fabricación y ensamble dispone de unas directrices específicas para optimizar los procesos en la elaboración de un producto, valida aspectos como ciclo de vida del producto, materiales, producción ingenieril, selección de procesos, diseños, ajustes, accesibilidad, fabricación y montaje entre otros aspectos.

La multinacional estadounidense FORD empezó la fabricación de los elementos que componen los automóviles con la metodología propuesta. Se acoplo a la productividad del método DFMA. A continuación, se ilustra un rediseño de un conjunto motor donde se evidencia la reducción notable de componentes sin afectar la funcionalidad del dispositivo.

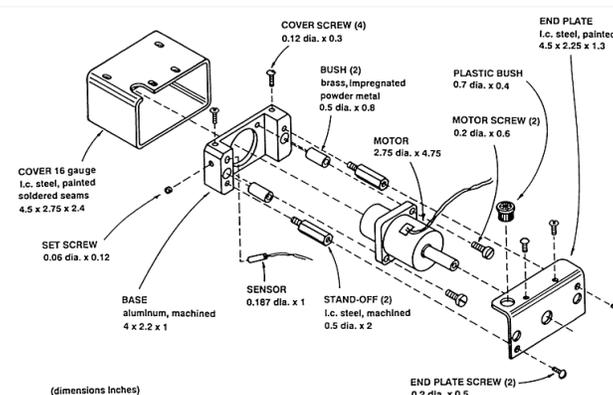
Figura 38: Rediseño metodología DFMA Motor HUANG 1996



Fuente: Desing for X. Disponible en: <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.uan.edu.co/content/book/9780071547673/chapter/chapter10>. [8].

Figura 39: Rediseño definitivo utilización metodología DFMA

Figura2 vista ampliada motor (Huang 1996).



Fuente: Desing for X. Disponible en: <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.uan.edu.co/content/book/9780071547673/chapter/chapter10>. [8].

En la Figura 39 se evidencia la reducción de piezas aproximadamente del (79%) en la composición de la unidad del diseño inicial con 19 elementos y el rediseño propuesto con 4 componentes, verificando el ahorro en tiempo de ensamble, costos y reducción en los procesos de producción [3]

Tabla 3: Metodología DFMA

Método	Procedimiento
1. Implicaciones en el diseño al emplear la metodología DFMA	Mejorar sustancialmente los procesos de diseño y desarrollo de un producto.
	Reducir costos en la fabricación.
	Reducir los costes en la fabricación entre un 30 y 40%
	Concepto de modelos de modularización.
2.Ingeniería concurrente	Diseño conceptual y detalle del producto
	Se tiene en consideración aspectos como el ciclo de vida del producto, el recurso humano que colaboran en tarea de asesoramiento y de toma de decisiones y los recursos materiales. donde se integran las nuevas herramientas
3.Desarrollo del producto	Respetar las funciones esenciales del producto.
3.1 Definición del producto	Especificaciones del producto, documento explícito de las características, requerimientos y deseos.
	Desarrollo de un producto que surge de una necesidad o una oportunidad que tiene diversos orígenes.
3.2 Concepto	Para el proceso de diseño, se debe iniciar con un concepto que se establece mediante conocimientos, criterios técnicos y económicos, para determinar formas y dimensiones de las distintas piezas y componentes las cuales se articulan de manera que aseguran el cumplimiento de una determinada función.
	El diseño conceptual inicia de las especificaciones y genera una solución en inicio aceptable Utilizar la creatividad Generar soluciones a un problema en concreto,
3.3 Diseño de materialización	A partir de un concepto, se establecen unas etapas de diseño para identificar: <ul style="list-style-type: none"> • los requerimientos limitadores. • Prestaciones exigidas. • Dimensiones exteriores. • Exigencias ergonómicas • Incidencias ambientales. • Requerimientos de mantenimiento. • Limitaciones de coste.
3.4 Etapa de diseño de detalle	Completar la determinación de las piezas y componentes
	Determinar las geometrías y los materiales.
	Determinar los acabados, recubrimientos, implantación de cables determinación de lubricantes y otros fluidos.
	Crear una codificación para generar una lista de piezas y componentes.
	Simplificar las soluciones, disminuir la complejidad de los sistemas, disminuir el número y tipos de elementos de unión.
	Revisión del proyecto cumplimiento de todas las funciones verificación de los distintos elementos y sistemas estén debidamente dimensionados y aseguren las distintas funciones de movilidad.
	Revisar que el producto sea fabricable, evitar formas incompatibles estudiar y mejorar las secuencias de montaje incorporar elementos de referenciación.
Generar la documentación necesaria, manuales.	

Método	Procedimiento
4. Arquitectura de producto y modularidad	La arquitectura de un sistema se crea durante las primeras etapas de diseño y eventualmente se adapta o modifica en etapas posteriores si el cambio es ventajoso por lo cual es de carácter de intencionalidad constructiva.
	Reutilización de conocimiento en el diseño teniendo en cuenta pautas, manuales de ingeniería y el Know-how de una empresa.
	Personalización en la fabricación.
	Configuraciones de variantes en el montaje.
	Adaptación después de la fabricación.
	Los productos modulares están organizados en una estructura de varios bloques constructivos orientados a ordenar e implementar las distintas funciones y facilitar las operaciones de composición del producto con un mínimo de interfaces posibles.
5. Fabricación	Cumplir las funciones facilidad en la fabricación, utilización de productos semielaborados, o componentes de mercado.
	Automatizar la fabricación y minorar las labores que han sido destinadas y confiadas a las habilidades humanas empleando: <ul style="list-style-type: none"> • Componentes con simetría. • Ordenación de piezas. • Paletización. • Cadena de montaje integrados.
	Tecnología de grupos consiste en identificar y agrupar las piezas que presenten similitudes en familias de piezas, para facilitar las tareas de fabricación, y las de diseño.
	Como indicación importante es que según acabados y tolerancias requeridas en la fabricación de una pieza se requiere de herramientas más precisas, operarios con más entrenamiento y habilidad lo cual aumenta substancialmente los costes de producción.
6. Montaje	El montaje es de carácter integrador por excelencia que establece la forma de los componentes y detecta los defectos de concepción de un producto y de fabricación de sus piezas.
	El montaje de un producto o de una máquina está relacionado tanto con la productividad y disminución de costes, como la funcionalidad y la calidad.
	Recomendaciones para el diseño en relación con el montaje: <ul style="list-style-type: none"> • Estructurar en módulos. • Disminuir la complejidad. • Establecer un elemento de base. • Limitar las direcciones del montaje. • Facilitar la composición. • Simplificar las uniones.
	Realizar las respectivas evaluaciones y revisión del montaje para intervenir en los aspectos que podrían mejorarse en el diseño del producto o máquina.
7. Preconformados	Los productos que se desarrollan desde cero ocasionan que las tareas para emprender el proyecto consuman tiempo, recurso humano y materiales, debido a este impase en la creación de los productos se incluyen un número creciente de componentes del mercado.
	Las ventajas competitivas al adquirir elementos ya elaborados son: <ul style="list-style-type: none"> • Coste del componente ajustado al mercado. • Fiabilidad garantizada. • Suministro al alcance. • Las mejoras del componente recaen sobre el proveedor. • Se minimiza el número de componentes. • Se facilita la concepción y la fabricación.

Método	Procedimiento
8 uniones fijas	<p>Hay diferentes tipos de unión, se recomienda utilizar la que más simplifique el montaje y cumpla con las características importantes al momento de unir las dos piezas y los requerimientos deseados en la sujeción entre elementos.</p> <p>Fundamentos importantes en la unión entre componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sujeción/ Resistencia. • Seguridad. • Desmontabilidad. • Deformaciones inducidas. • Referenciación. • Resistencia a la temperatura. • Resistencia al ataque químico. • Estanqueidad. • Mantenimiento de la fuerza con el uso. • Aspecto estético. • Espacio necesario. • Preparación previa. • Costes.
9. Uniones móviles.	<p>Las uniones móviles son la conexión entre dos partes de una maquina o determinadas estructuras resistentes, que permite el movimiento.</p> <p>Al precisar un elemento un tipo de movimiento es necesario validar el patrón de contacto ya sea deslizante o de rodadura.</p>

Fuente: Fundación Prodintec – Diseño para fabricación y ensamblaje –Disponible en <http://www.prodintec.es/es/>.
Edición autor [1]

4. DISEÑO PRELIMINAR

4.1 CONCEPTO

Se selecciona un autómatas al cual previamente se le realiza un análisis de movimientos y el objetivo principal es fabricarlo en madera para reducir el material sobrante del recorte de tableros MDF de la empresa Tablecortes S.A.S, que cumpla con unas dimensiones aproximadas de 25 cm x 25 cm x 25 cm y el mensaje que transmita a los observadores tenga un sentido coherente una programación de movimientos muy detallada, lo más importante es que incluya los mecanismos estudiados con anterioridad. Se plantean una serie de procedimientos organizados para alcanzar diseños eficientes de este tipo de sistemas mecánicos, que son creados de manera artesanal y no hay documentación o un sistema metodológico que permita replicar este tipo de mecanismos.

4.2. FUNCIONES DEL SISTEMA MECÁNICO.

- Que cumpla una Programación mecánica.
- Integrar de manera simultánea los movimientos de los personajes y objetos.
- Difundir o transmitir un mensaje coherente a los observadores.
- Garantizar los movimientos entre las piezas móviles o articuladas.

4.3. REQUISITOS DE DISEÑO.

- Definir y caracterizar los movimientos de salida de los personajes y objetos del mecanismo didáctico.
- Fabricación en madera de los componentes del autómatas.
- Diseño de un autómatas con un grado de libertad.
- El usuario dará inicio a la dinámica del autómatas al hacer girar la manivela,
- Se emplearán métodos prácticos para generar los mecanismos.
- Integrar mínimo seis movimientos de salida.
- La estructura o base se diseñará para facilitar el montaje de los mecanismos.
- Se emplearán mecanismos de leva-seguidor, engrane, biela manivela y cuatro barras.

- Se garantizará la secuencia de los movimientos
- Se analizarán aspectos cinemáticos únicamente.
- Definir el proceso de fabricación y ensamble.
- Utilización de equipos de fabricación moderna corte láser.
- Elaborar la documentación que soporta el diseño y la fabricación.

4.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se establecen estos criterios para evaluar el sistema mecánico.

- Modelamiento y diseño en CAD (Solidworks 2022).
- La fabricación en madera impide posibles lesiones, no debe contener elementos filosos o puntiagudos apto para niños y adultos.
- Se reutilizará los recortes o residuos de madera aglomerada MDF, con el fin de reducir costos y aprovechar recursos.
- Se establecerán unas dimensiones específicas para generar el sistema mecánico.
- Garantizar el ensamble.
- Implementación metodología DFMA.

Opciones de diseño para fabricación de un autómata en madera.

4.5. ANÁLISIS DE TRES AUTÓMATAS EN MADERA.

Para caracterizar cada movimiento de salida en los personajes y objetos se realiza un análisis apoyado en la revisión de las redes sociales como YouTube y Pinterest de estos elementos didácticos, para observar, detallar e identificar los movimientos.

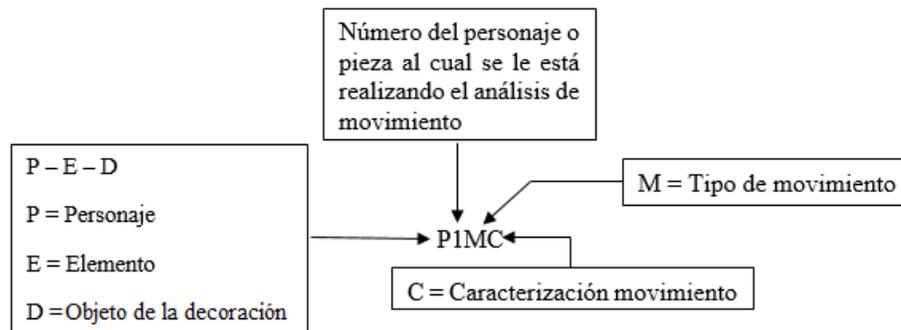
Se crean unas siglas cuya finalidad es:

- Identificar a los personajes.
- Caracterizar los movimientos del personaje o de una pieza de la escenografía.
- Diferenciar el tipo de movimiento.

- Determinar la posición de un objeto respecto a un marco de referencia.

A continuación, se explican y se definen las siglas utilizadas en la Figura 40.

Figura 40: Nomenclatura descripción de movimientos



Fuente: Autor

Se designa “P” al personaje, “D” al objeto de la decoración o “E” al elemento que hace parte del personaje que relaciona una parte del cuerpo o un objeto que este sosteniendo, al cual se le atribuye un movimiento específico y se le realiza un estudio de movimiento, se acompañará de un número para identificar los protagonistas o piezas de la historia para referenciar y no generar confusión al momento de nombrar o analizar el componente.

M = Tipo de movimiento en este caso se establecen tres tipos estandarizados los cuales son. Rotacional = R, de Traslación = T y complejo = j que es una combinación de los dos movimientos de rotación y traslación.

C = Caracterización movimiento: es decir si es restringido = R o si es alternativo = A

Tabla 4. Síntesis y clasificación movimientos autómatas en madera.

DESIGNACIÓN MOVIMIENTOS								
Ítem	Nombre	Disposición		Tipo de movimiento		Sentido de giro		Nomenclatura
		Horizontal	Vertical	Entrada	Salida	Horario	anti horario	
1	Movimiento de entrada		X	X		X	X	ME
2	Rotación restringida		X		X	X	X	M1

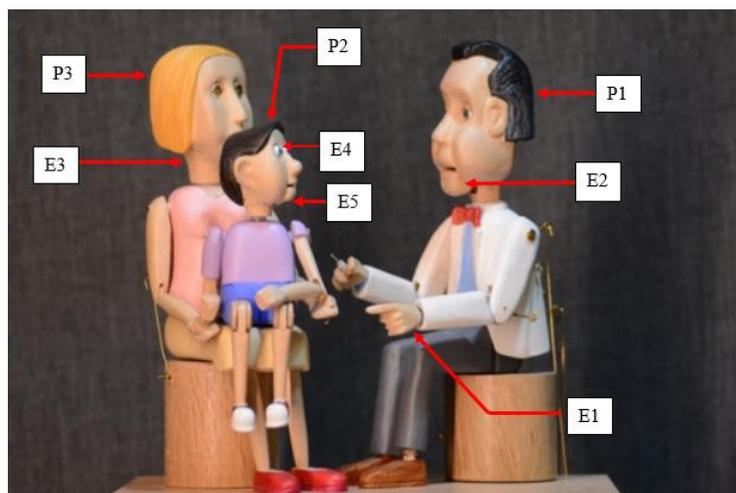
DESIGNACIÓN MOVIMIENTOS								
Ítem	Nombre	Disposición		Tipo de movimiento		Sentido de giro		Nomenclatura
		Horizontal	Vertical	Entrada	Salida	Horario	anti horario	
3	Rotación alternativa		X		X	Oscilante		M2
4	Traslación		X		X	No aplica		M3
5	Rotación restringida	X			X	X	X	M4
6	Rotación alternativa	X			X	Oscilante		M5
7	Traslación	X			X	No aplica		M6
8	Complejo	X	X		X	No aplica		M7

Fuente: Autor

Se establecerá “P” al personaje, al realizar la descripción del movimiento, para identificar al protagonista acompañado de un número y solo se hará referencia a este término cuando se trata de un movimiento correspondiente al personaje por ejemplo movimiento de la cabeza o tronco, cuando sea una extremidad se referenciará como “E” acompañado del número para reconocer el objeto al cual se le realizara una descripción de su posición inicial y final.

4.5.1. Descripción automática 1: “Trip To The Doctor”.

Figura 41: Autómata en madera titulado “Trip to the Doctor”

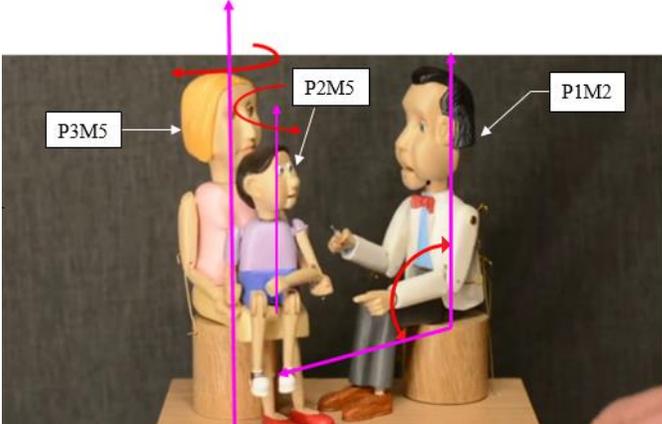


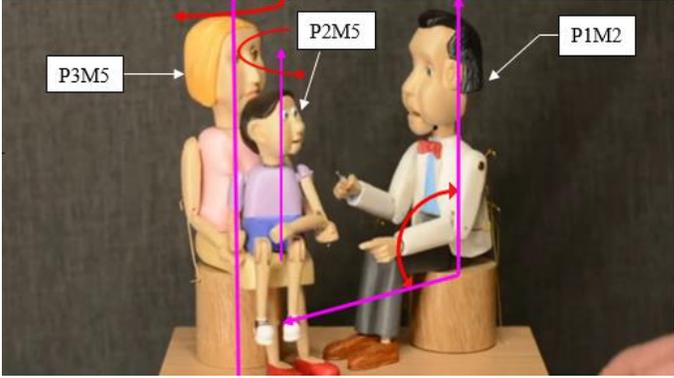
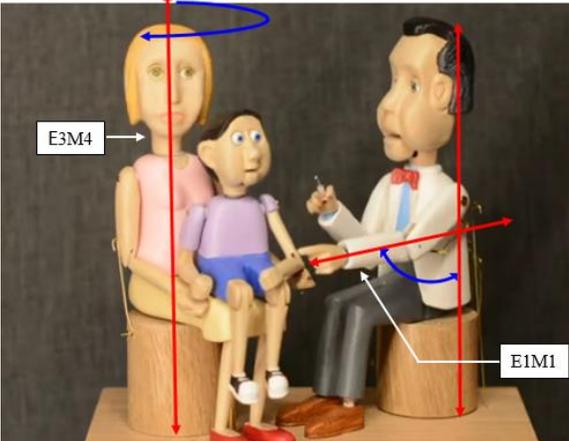
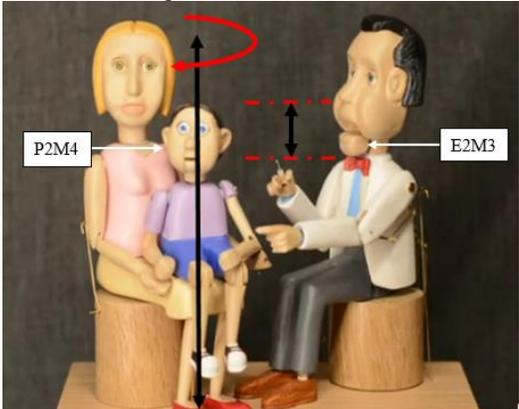
Fuente: Contemporary autómata. Disponible en: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [2]. Edición autor.

Este autómata de la Figura 41, llamado viaje al doctor traducción en español, Se detalla en la imagen la escenografía y personajes.

el personaje uno que tiene características de un doctor sostiene una jeringa para inyectar al paciente en este caso identificado como un niño apoyado en las piernas de una tercera figura que se asume como la madre o personaje tres, se observa que no le agradan las inyecciones al menor, debido a este inconveniente el doctor se ve obligado a distraer al niño para aplicarle la inyección.

Tabla 5: Análisis momentos autómata 1: “Trip to the doctor”.

Número	Posición	Descripción
0	<p data-bbox="651 716 894 747">Posición</p> <p data-bbox="651 753 894 785">Figura 42: Momento 0</p>  <p data-bbox="451 1247 1094 1304">Fuente: Contemporary autómata. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 858 1403 1192">Posición inicial Se procede a describir los movimientos de salida, se requiere un movimiento de entrada denominado ME rotacional en sentido horario.</p>
1	<p data-bbox="651 1335 894 1367">Figura 43: Momento 1</p>  <p data-bbox="448 1803 1094 1860">Fuente: Contemporary autómata. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 1356 1403 1839">P1M2 (Personaje uno movimiento rotación restringida vertical) P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal) P3M5 (Personaje tres rotación alternativa horizontal)</p>

Número	Posición	Descripción
2	<p data-bbox="651 285 894 310">Figura 44: Momento 2</p>  <p data-bbox="451 758 1092 814">Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1227 310 1403 457">P1M2 (Personaje uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1227 464 1403 611">P2M5 (Personaje dos rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1227 617 1403 764">P3M5 (Personaje tres rotación alternativa horizontal)</p>
3	<p data-bbox="651 821 894 846">Figura 45: Momento 3</p>  <p data-bbox="451 1314 1092 1377">Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1227 936 1403 1083">E1M1 (Extremidad uno Rotación restringida vertical)</p> <p data-bbox="1227 1110 1403 1257">E3M4 (Elemento tres rotación restringida horizontal)</p>
4	<p data-bbox="651 1383 894 1409">Figura 46: Momento 4</p>  <p data-bbox="451 1818 1092 1883">Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1227 1440 1403 1503">ME (Manivela de entrada)</p> <p data-bbox="1227 1509 1403 1656">P2M4 (Personaje dos rotaciones restringidas horizontales)</p> <p data-bbox="1227 1663 1403 1768">E2M3 (Elemento dos traslaciones verticales)</p>

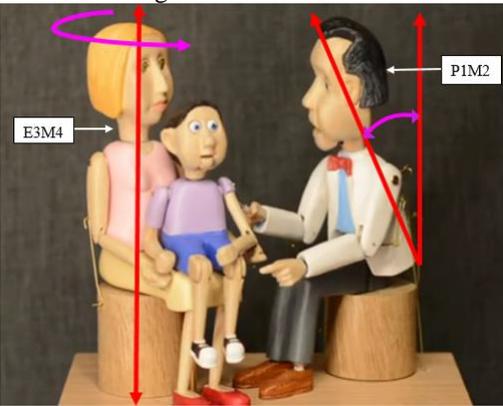
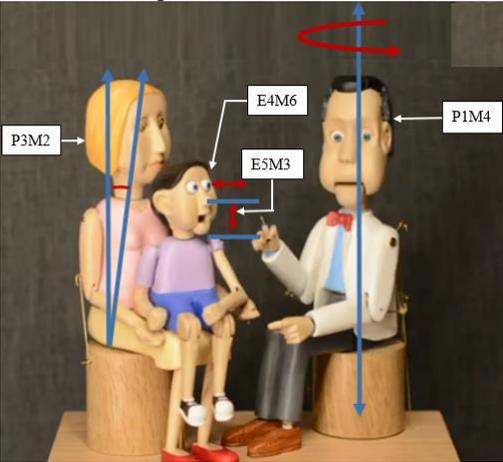
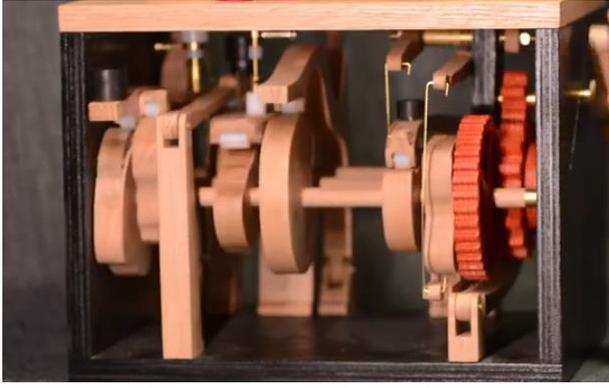
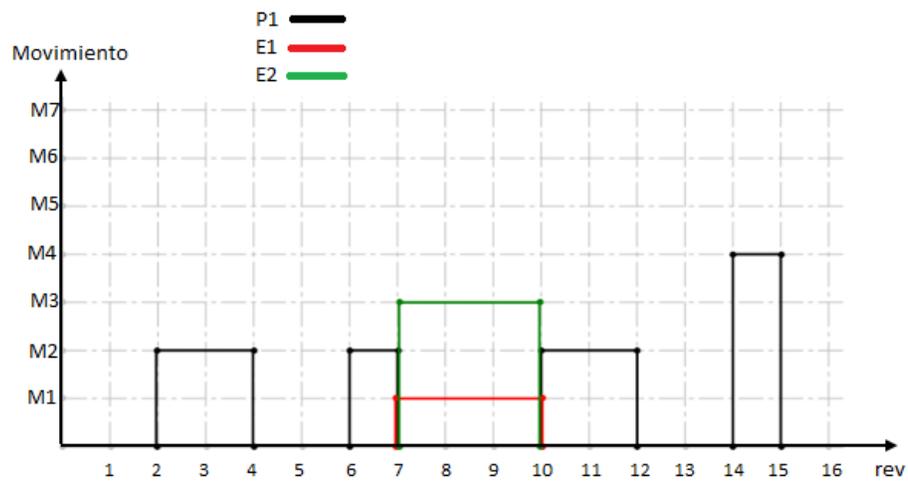
Número	Posición	Descripción
5	<p data-bbox="651 285 894 310">Figura 47: Momento 5</p>  <p data-bbox="516 716 1094 772">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1230 363 1393 726">ME (Manivela de entrada) P1M2 (Personaje uno rotación alternativa vertical) E3M4 (Elemento tres rotaciones restringidas verticales)</p>
6	<p data-bbox="651 810 894 835">Figura 48: Momento 6</p>  <p data-bbox="451 1297 1094 1354">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1230 779 1393 1354">P1M4 (Personaje uno rotación restringida horizontal) P3M2 (Personaje tres rotación-alternativa horizontal) E4M6 (Elemento cuatro traslación-horizontal) E5M3 (Elemento cinco- traslación vertical)</p>
7	<p data-bbox="651 1388 894 1413">Figura 49: Momento 7</p>  <p data-bbox="451 1822 1094 1879">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1230 1591 1393 1682">Retorna el sistema a su posición inicial.</p>

Tabla 6: Mecanismos autómeta 1: “Trip to the doctor”.

Mecanismos autómeta 1: “Trip to the doctor”.		Figura 50: Mecanismos autómeta 1: “trip to the doctor”
Engranés	X	 <p>Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2]. Edición autor.</p>
Levas	X	
Guías para acoplarse con las levas	X	
Ruedas con elementos de unión	X	

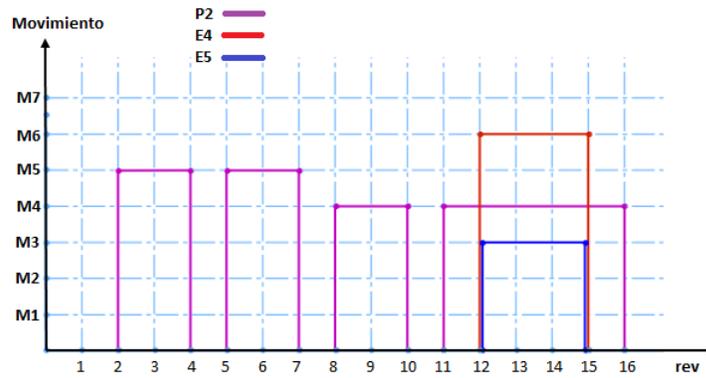
Fuente: Autor.

Figura 51: Diagrama movimientos asociados a P1 en el dominio de las revoluciones



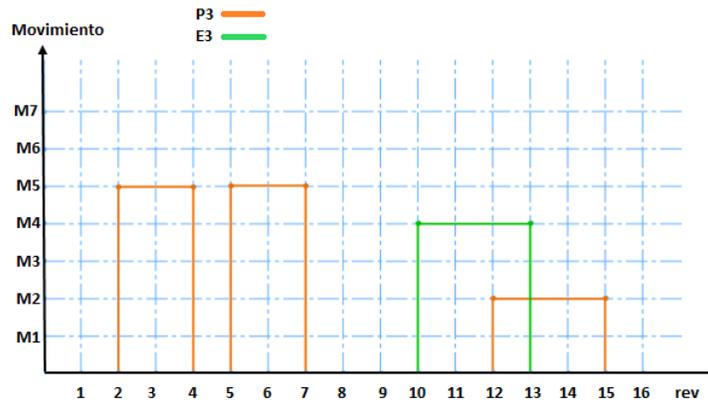
Fuente: Autor

Figura 52: Diagrama movimientos asociados a P2 en el dominio de las revoluciones



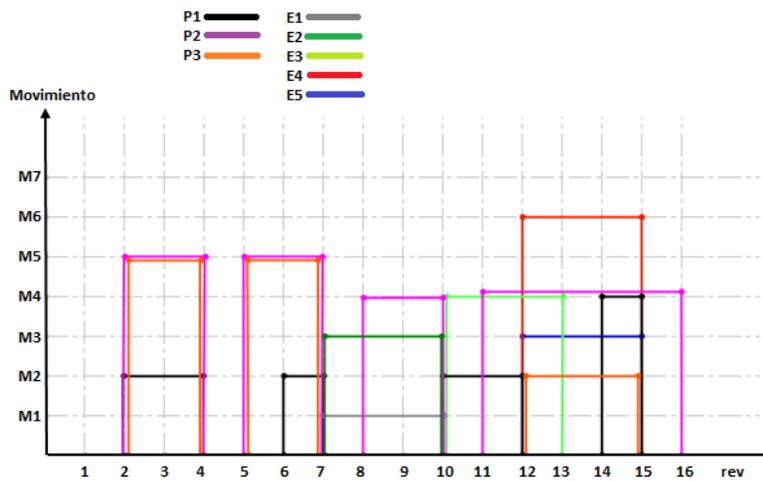
Fuente: Autor.

Figura 53: Diagrama movimientos asociados a P3 en el dominio de las revoluciones



Fuente: Autor.

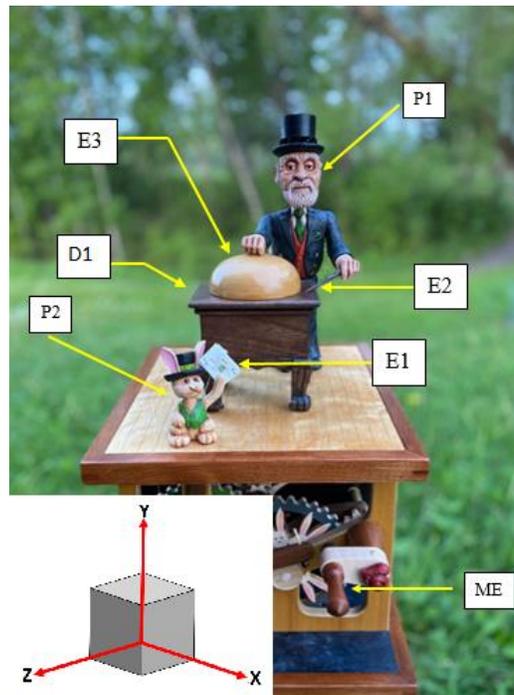
Figura 54: Diagrama movimientos agrupados autómatas 1



Fuente: Autor

4.5.2. Descripción autómeta 2: “The Magician And His Assistant”

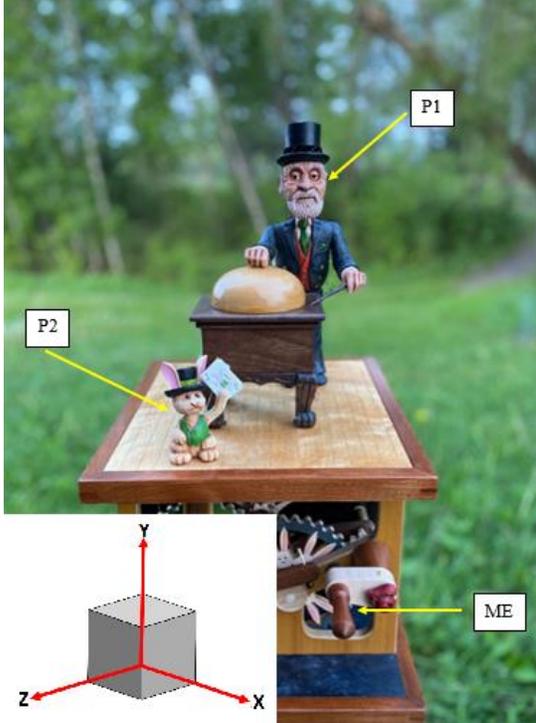
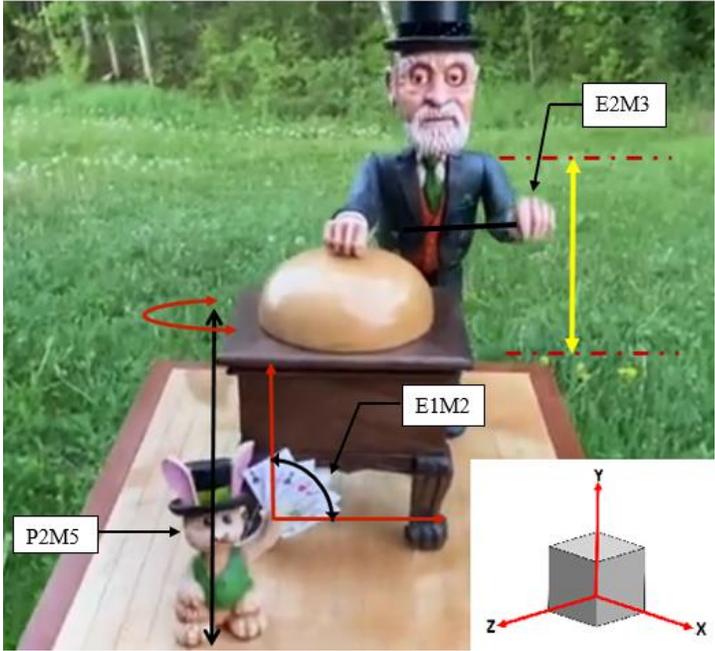
Figura 55: Autómata madera Titulado the Magician and his Assistant

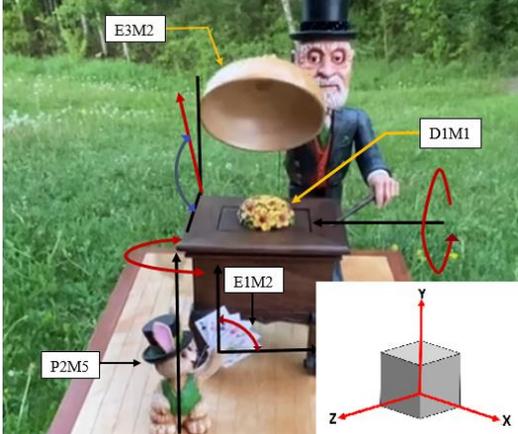
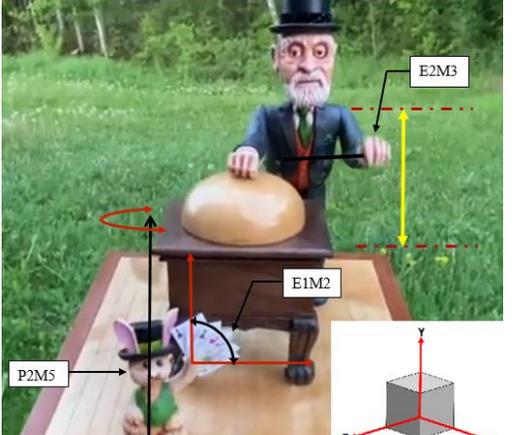
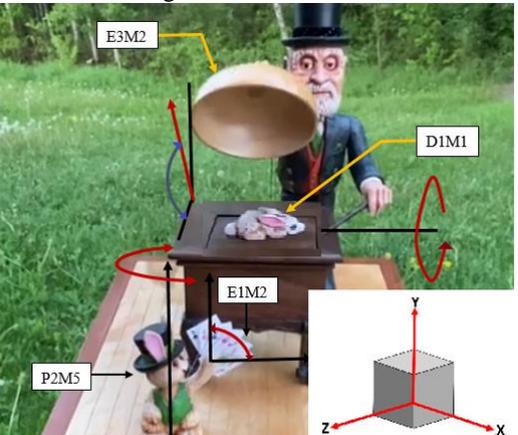


Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: <https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/>. [3]. Edición autor.

El autómeta denominado el mago y su asistente Figura 55, permite ilustrar a un mago que en compañía de su asistente realizan un truco de magia, el protagonista se dispone a revelar el objeto escondido en una tapa mientras el colaborador tiene unas carta en sus manos, después de agitar tres veces la barita mágica y destapar la tapa se encuentran un ramillete de flores, procede a tapar las flores y agitar su varita de nuevo, al levantar la tapa muestra un conejo, no conforme con lo que ha hecho vuelve a tapar el conejo con la tapa y agita su varita por última vez y al alzar la tapa aparece un rostro de un leopardo, asustado el mago inmediatamente se apresura a cerrar la tapa.

Tabla 7: Descripción momentos autómeta 2: “The Magician And His Assistant”.

Número	Posición	Descripción
0	<p data-bbox="623 323 862 352">Figura 56: Momento 0</p>  <p data-bbox="492 1079 1182 1136">Fuente: “Autómata-C.Schiller”. Disponible en: https://ceciliaschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 564 1458 894">Posición inicial del sistema El inicio de la dinámica se establece con un movimiento rotacional sobre la manivela de entrada, el giro es en sentido de las manecillas del reloj, denominado ME.</p>
1	<p data-bbox="623 1142 862 1171">Figura 57: Momento 1</p>  <p data-bbox="298 1822 1182 1879">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliaschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 1346 1458 1646">ME (Manivela de entrada) E2M3 (Elemento dos-traslación vertical) P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal) E1M2 (Elemento uno-rotación alternativa vertical)</p>

Número	Posición	Descripción
2	<p data-bbox="623 289 862 317">Figura 58: Momento 2</p>  <p data-bbox="412 758 1175 814">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 310 1455 394">P2M5 Personaje dos-rotación alternativa horizontal</p> <p data-bbox="1224 401 1455 485">E1M2 Elemento una rotación alternativa vertical.</p> <p data-bbox="1224 491 1455 575">D1M1 Mecanismo oculto en el interior de la mesa,</p> <p data-bbox="1224 581 1455 665">Decoración uno rotación restringida vertical</p> <p data-bbox="1224 672 1455 756">E3M2 Elemento tres-rotación alternativa vertical</p>
3	<p data-bbox="623 823 862 850">Figura 59: Momento 3</p>  <p data-bbox="412 1312 1175 1369">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 957 1455 1014">E2M3 (Elemento dos-traslación vertical)</p> <p data-bbox="1224 1020 1455 1104">P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1224 1110 1455 1194">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical)</p>
4	<p data-bbox="623 1369 862 1396">Figura 60: Momento 4</p>  <p data-bbox="412 1850 1175 1906">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1224 1411 1455 1495">P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1224 1501 1455 1585">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1224 1591 1455 1675">D1M1 Mecanismo oculto en el interior de la mesa,</p> <p data-bbox="1224 1682 1455 1766">decoración uno rotación restringida vertical.</p> <p data-bbox="1224 1772 1455 1856">E3M2 (Elemento tres rotación alternativa vertical)</p>

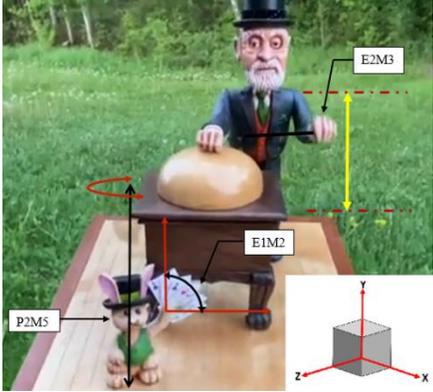
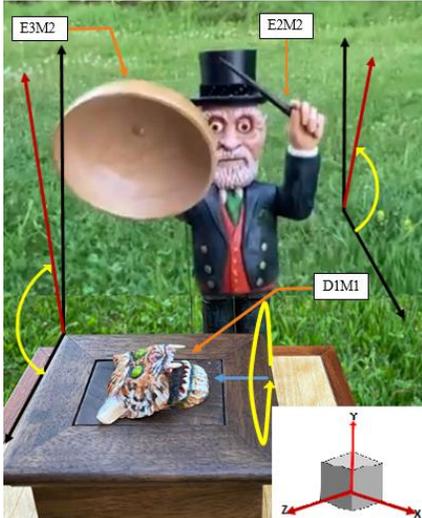
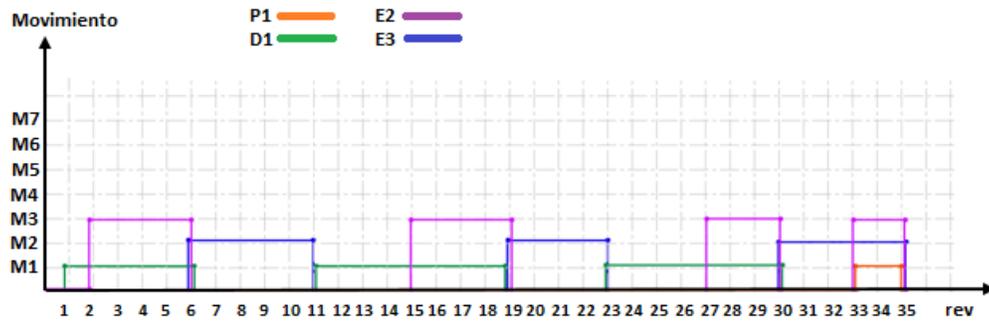
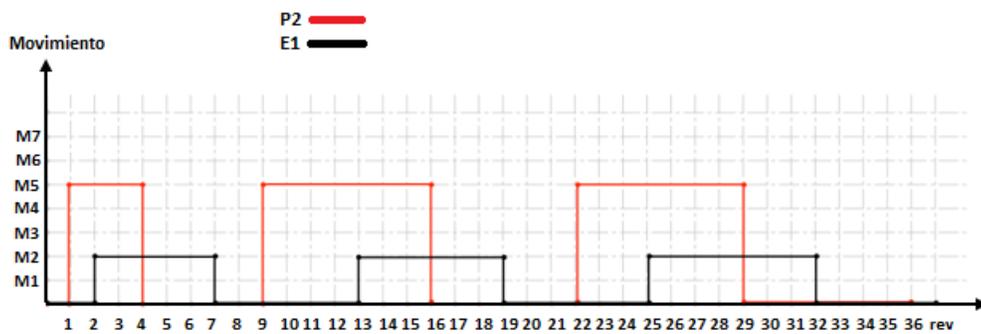
Número	Posición	Descripción
5	<p data-bbox="623 285 867 306">Figura 61: Momento 5</p>  <p data-bbox="298 709 1175 768">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1211 373 1481 464">P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1211 464 1481 554">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1211 554 1481 617">E2M3 (Elemento dos-traslación vertical)</p>
6	<p data-bbox="623 779 867 800">Figura 62: Momento 6</p>  <p data-bbox="298 1325 1175 1388">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3]. Edición autor.</p>	<p data-bbox="1211 789 1481 879">P1M1 (Personaje uno rotación restringida vertical)</p> <p data-bbox="1211 879 1481 970">P2M5 (Personaje dos-rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1211 970 1481 1060">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa horizontal)</p> <p data-bbox="1211 1060 1481 1184">D1M1 Mecanismo oculto en el interior de la mesa, rotación restringida vertical</p> <p data-bbox="1211 1184 1481 1274">E2M2 (Elemento dos-rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1211 1274 1481 1367">E3M2 (Elemento tres rotación alternativa vertical)</p>
7	<p data-bbox="623 1398 867 1419">Figura 63: Momento 7</p>  <p data-bbox="380 1839 1094 1896">Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3].</p>	<p data-bbox="1211 1619 1481 1671">Retorna el sistema a su posición inicial</p>

Figura 64: Diagrama movimientos asociados a P1 autómeta dos en el dominio de las revoluciones



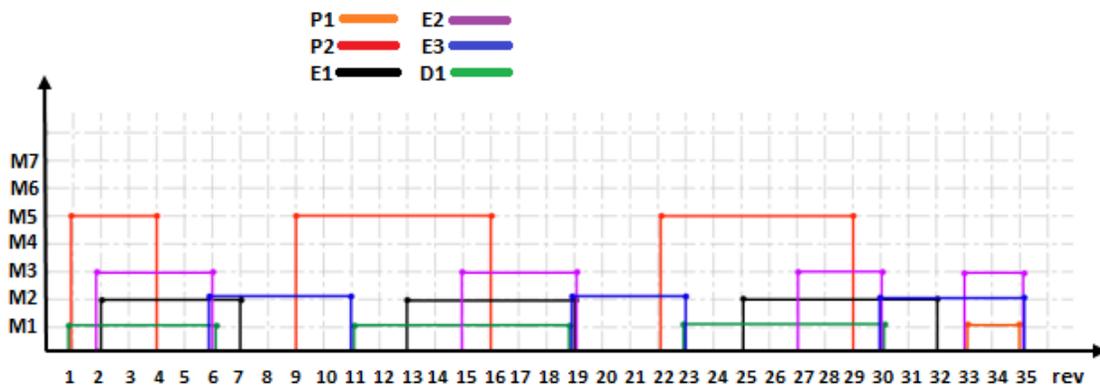
Fuente: Autor

Figura 65: Diagrama movimientos asociados a P2 autómeta dos en el dominio de las revoluciones



Fuente: Autor

Figura 66: Diagrama movimientos agrupados P1 y P2 autómeta 2



Fuente: Autor.

Figura 66 se muestra todos los movimientos superpuestos correspondientes al autómata dos, permite evidenciar que la presentación es compleja, se observa el nivel de dificultad desde la dinámica de autómata que se suman varios movimientos y el gráfico permite ver que no es una situación sencilla generar una secuencia lógica.

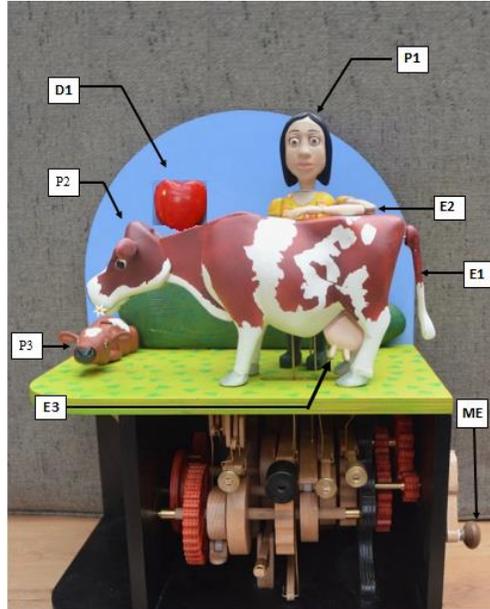
Tabla 8: Mecanismos autómata 2: “The Magician And His Assistant”.

Mecanismo utilizados autómata 2: “The Magician And His Assistant”.		
Engranajes	x	<p>Figura 67: Mecanismos autómata del mago</p>  <p>Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliaschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3].</p>
Levas	x	
Guías para acoplarse con las levas	x	
Cruz de malta	x	
Un mecanismo que se acopla a un elemento en forma de cadena.	x	<p>Figura 68: Mecanismo autómata del mago</p>  <p>Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: https://ceciliaschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/. [3].</p>

Fuente: Autor.

4.5.3. Descripción autómeta 3: “Cute Cow”.

Figura 69: Autómata en madera tres titulado “Cute Cow”

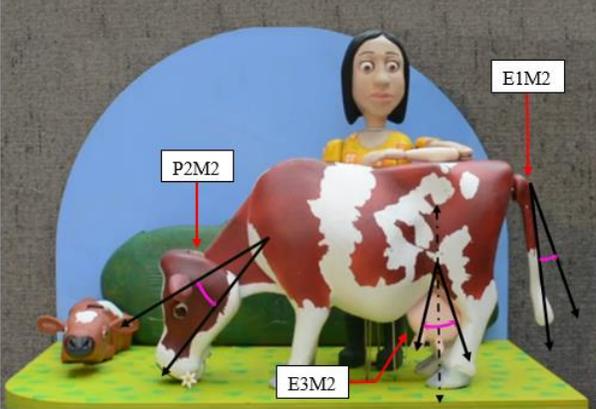
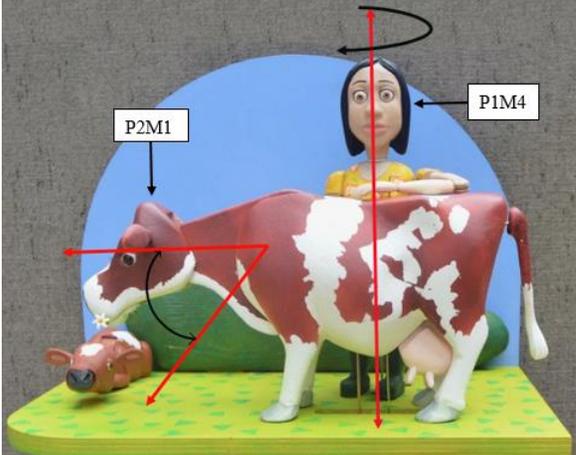
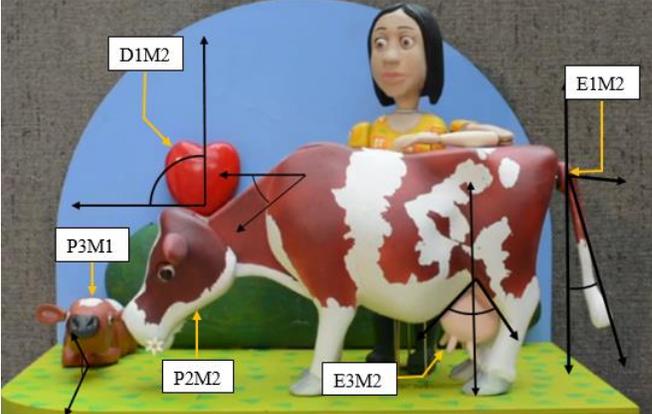


Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [2].

Su traducción en español indica linda vaca, presenta la historia de una vaca que en compañía de su propietaria intenta alimentar a su cría que se encuentra al costado inferior, al observar su dueña la demostración de afecto a la cría, ella también le manifiesta su amor al animal.

Tabla 9: Descripción momentos autómeta 3: “Cute Cow”.

Número	Posición	Descripción
0	<p>Figura 70: Momento 0</p>  <p>Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].</p>	<p>Posición inicial del sistema.</p> <p>Se requiere un movimiento de entrada ME para iniciar la dinámica del mecanismo.</p>

Número	Posición	Descripción
1	<p data-bbox="623 298 863 321">Figura 71: Momento 1</p>  <p data-bbox="423 737 1062 793">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].Edición autor.</p>	<p data-bbox="1195 333 1386 390">ME (Manivela de entrada)</p> <p data-bbox="1170 426 1409 512">P2M2 (Personaje dos-rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1170 548 1409 634">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1187 669 1393 756">E4M2 (Elemento cuatro- rotación alternativa vertical)</p>
2	<p data-bbox="623 835 863 858">Figura 72: Momento 2</p>  <p data-bbox="423 1325 1062 1381">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].Edición autor.</p>	<p data-bbox="1170 1005 1409 1092">P1M4 (Personaje uno rotación restringida horizontal)</p> <p data-bbox="1170 1127 1409 1213">P2M1 (Personaje dos-rotación restringida vertical)</p>
3	<p data-bbox="623 1398 863 1421">Figura 73: Momento 3</p>  <p data-bbox="423 1841 1062 1898">Fuente: Contemporary automática. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].Edición autor.</p>	<p data-bbox="1170 1425 1409 1512">E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1170 1526 1409 1612">E3M2 (Elemento tres-rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1170 1627 1409 1713">D1M2 (Decoración uno rotación alternativa vertical)</p> <p data-bbox="1170 1728 1409 1814">P2M2 (Personaje dos-rotación alternativa local)</p> <p data-bbox="1170 1829 1409 1915">P3M1 (Personaje tres rotación restringida vertical)</p>

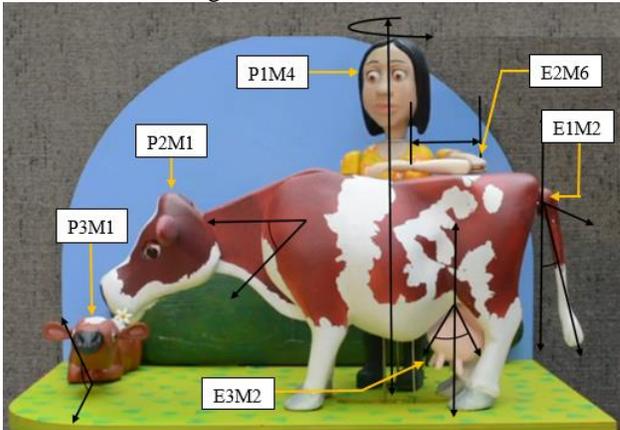
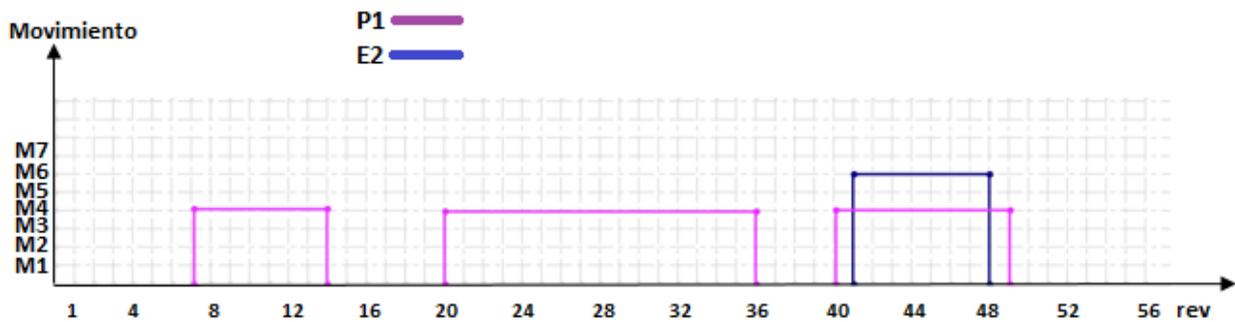
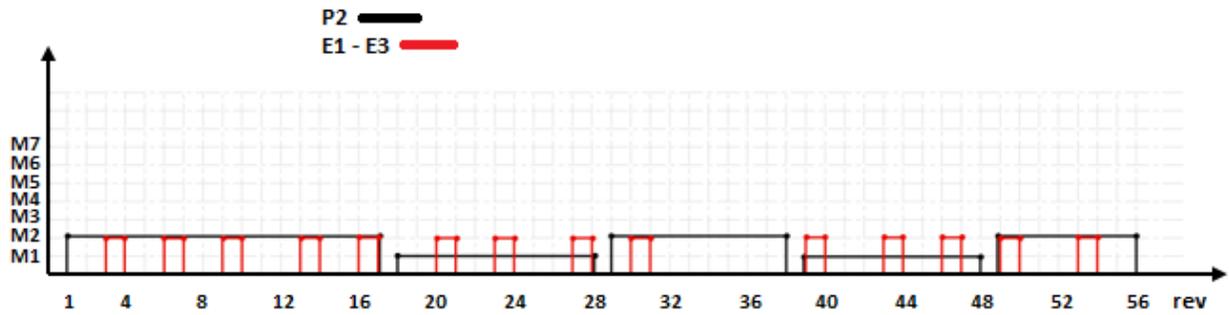
Número	Posición	Descripción
4	<p>Figura 74: Momento 4</p>  <p>Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].Edición autor.</p>	<p>P1M4 (Personaje uno rotación restringida horizontal) P2M1 (Personaje dos rotación restringida vertical) P3M1 (Personaje tres rotación restringida vertical) E1M2 (Elemento uno rotación alternativa vertical) E2M6 (Elemento dos traslación horizontal) E3M2 (Elemento tres rotación alternativa vertical)</p>
5	<p>Figura 75: Momento 5</p>  <p>Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].</p>	<p>El autómeta en madera, retorna a su posición inicial</p>

Figura 76: Diagrama de movimientos asociados a P1 autómeta tres en el dominio de las revoluciones



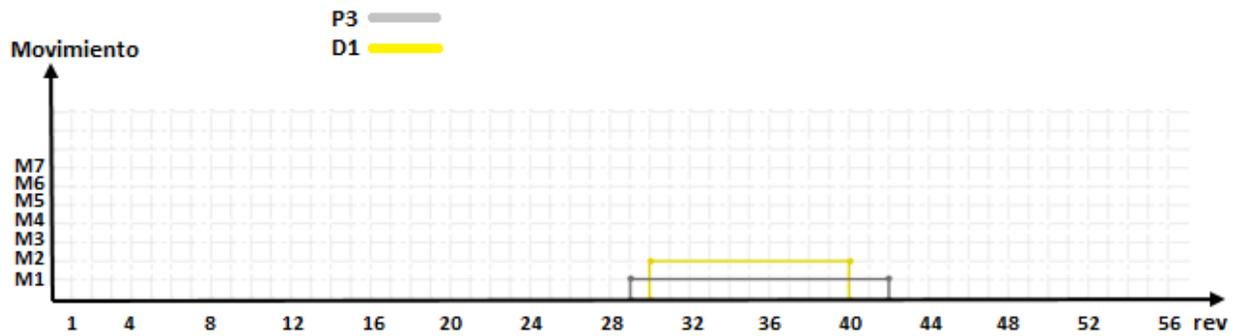
Fuente: Autor

Figura 77: Diagrama de movimientos asociados a P2 automática tres en el dominio de las revoluciones



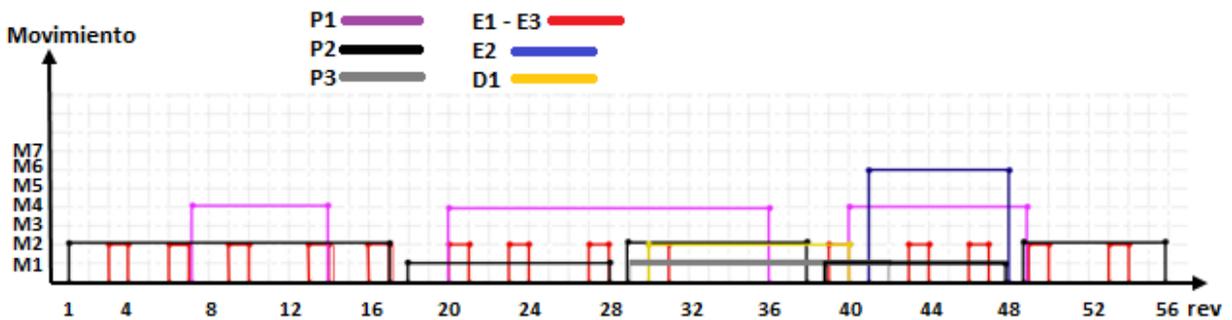
Fuente: Autor.

Figura 78: Diagrama de movimientos asociados a P3 automática tres en el dominio de las revoluciones



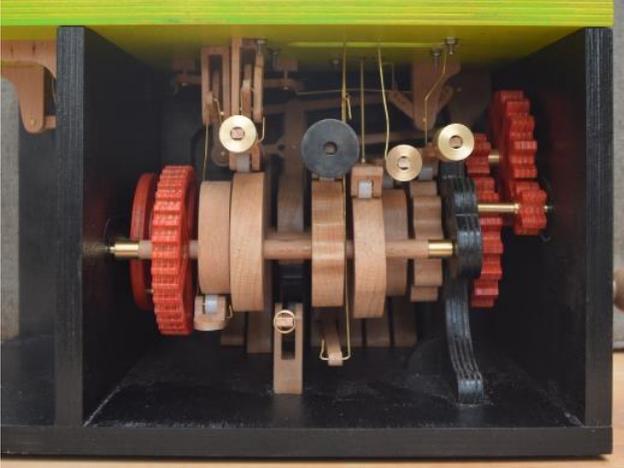
Fuente: Autor.

Figura 79: Diagrama movimientos automática tres agrupados



Fuente: Autor.

Tabla 10: Mecanismos autómeta 3: “Cute Cow”

Mecanismo utilizados		
Engranés	x	<p>Figura 80: Mecanismos autómeta 3: “Cute Cow”</p>  <p>Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/. [2].</p>
Levas - seguidor	x	

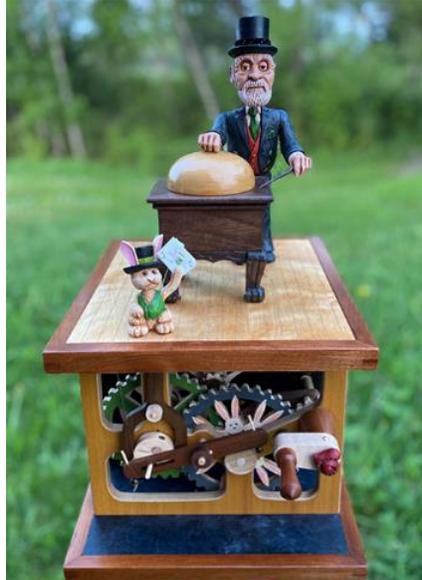
4.6 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN PARA FABRICACIÓN DE UN AUTÓMETA.

Figura 81: Autómeta 1: “Trip to the Doctor”



Fuente: Contemporary autómeta. Disponible en: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [2].

Figura 82: Autómata 2: “The Magician And His Assistant”



Fuente: “Autómata Wood Whimsy Wonder”. Disponible en: <https://ceciliashiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/>. [3].

Figura 83: Autómata 3: “Cute Cow”



Fuente: Contemporary autómata. Disponible en: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [2].

En la Figura 84 se establecen unos criterios de selección para determinar si un autómata cumple con los requisitos necesarios para iniciar el proceso de fabricación, se validan aspectos como los movimientos totales generados a la salida en los personajes y objetos, el número de personajes que requiere para personificar la historia, revoluciones totales que son necesarias en la representación del sketch, la programación mecánica, indispensable para crear un comportamiento específico en los mecanismos al momento de transmitir los movimientos a los personajes y objetos para ilustrar el suceso, la dinámica del sistema garantiza la armonía, integración, cadencia y secuencia de un cambio de movimiento a otro, la representación de la historia debe contener un mensaje bien elaborado que permita atraer la atención de diferentes usuarios y genere un vínculo, una enseñanza o divierta.

Figura 84: Matriz de decisión

	Movimientos de salida	Numero de personajes	Revoluciones totales	Programación mecánica	Dinámica del sistema	Representación historia	Mecanismos utilizados	Rango
Factor de ponderación	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	1
Automata N° 1	9 0.9	7 0.7	8 0.8	9 1.8	9 0.9	6 1.2	5 1	7.3
Automata N° 2	9 0.9	6 0.6	7 0.7	9 1.8	9 0.9	10 2	9 1.8	8.7
Automata N° 3	9 0.9	7 0.7	4 0.4	9 1.8	9 0.9	4 0.8	4 0.8	6.3

Fuente: Autor

Se realiza la evaluación de los tres sistemas mecánicos, se validan aspectos a considerar para el diseño y fabricación de un autómata de madera, conforme a la calificación se selecciona el autómata número dos cuya puntuación es de 8.7 de las especificaciones necesarias para optar por este proyecto, los autómatas restantes, aunque cumplen con ciertas características no son considerados debido a los valores obtenidos.

5. DISEÑO DIFINITIVO

De acuerdo con lo planteado anteriormente se aborda el diseño del autómatas del mago y el asistente que cumple con los requisitos estipulados en la matriz de decisión, para documentar un proceso de diseño apoyado en la guía metodológica DFMA que permita organizar y sistematizar los procesos de fabricación y ensamble de los catalogados autómatas en madera en las redes sociales.

La creación del sistema mecánico pretende caracterizar y ejemplarizar el proceso de diseño y elaboración de este tipo de objetos y crear un procedimiento o guía inicial que permita fabricar cualquier autómatas en madera que cumpla con las condiciones necesarias formalizadas en capítulos anteriores y temas desglosados en este proyecto.

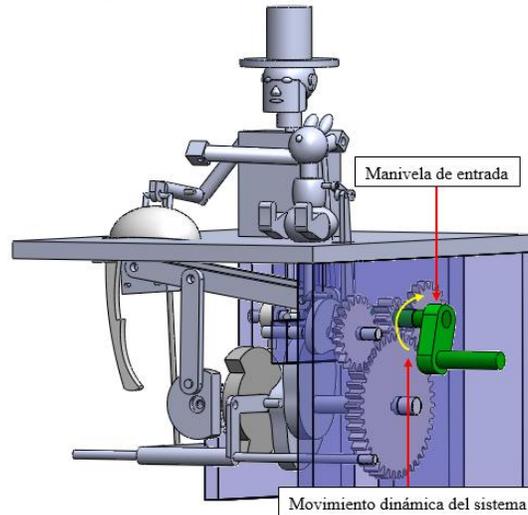
5.1. ELABORACIÓN MODELAMIENTO Y DISEÑO CAD (SOLIDWORKS 2022).

Se realiza un diseño en software SolidWorks 2022 utilizando herramientas para generar los mecanismos de manera pertinente que tengan una geometría funcional, en este proyecto se busca segregar cada uno de los componentes que hacen parte del sistema mecánico, validar relaciones de posición entre piezas, describir como se generan los movimientos, realizar los cálculos cinemáticos necesarios para dimensionar los elementos y evitar interferencias o bloqueos entre los componentes.

Se crea una pared inicial donde están soportados los componentes y ejes que transmitirán los movimientos.

El primer componente importante es la manivela de entrada, que contiene una pieza ensamblada para ser sujeta por el usuario que a su vez es el encargado de generar la dinámica del sistema.

Figura 85: Manivela de entrada

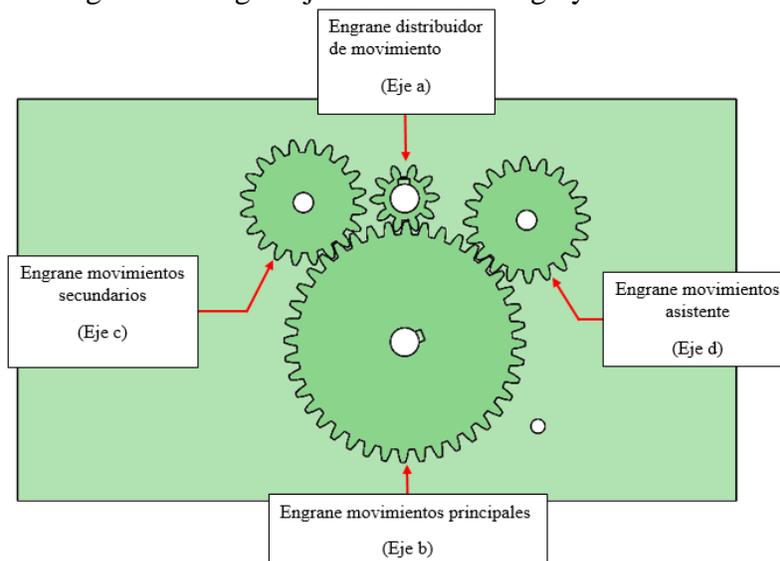


Fuente: Autor

5.2. ENGRANAJE DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL AUTÓMATA.

Para generar la dinámica del sistema y que cumplan con el objetivo de crear una secuencia ordenada en los movimientos de salida en los personajes y objetos se diseñan cuatro engranes cuyo propósito es reducir la velocidad y transmitir el movimiento de la manivela de un eje a otro, se explicaran sus características geométricas, relación de transmisión y la forma de trasferir el movimiento.

Figura 86: Engranaje automático el mago y su asistente



Fuente: Autor.

Como el objetivo principal es generar todos los componentes mecánicos de una manera eficiente para reducir los tiempos en el diseño, con el interés de que cualquier persona que no cuente con los conocimientos matemáticos o específicos para el diseño de mecanismos pueda crear o replicar un autómeta en madera, se diseñan los engranes por medio de la herramienta de Toolbox de Solidworks 2022, al generar los engranes como requisito inicial se debe seleccionar las unidades en las cuales se desea trabajar en este caso y para este proyecto se elige en el sistema métrico, el programa requiere unos lineamientos como abrir la carpeta nombrada transmisión de potencia y escoger el tipo de engrane que se desea crear, para darle continuidad al documento se eligen los engranes de dientes rectos, Solidworks exige ingresar unos datos particulares y los más importantes al momento de generar un engrane de diente recto son el modulo, número de dientes, ancho de cara y el diámetro del eje, por consiguiente como se desea realizar el autómeta del mago y su asistente se escoge un módulo de 2 porque da un tamaño de diente de paso grueso de aproximadamente 4.5 mm considerando que el material para la fabricación de este elemento es en madera y cumple con las necesidades de espacio, no es un diente de dimensiones exageradas.

5.2.1. Relación de transmisión.

Como se designó en la Figura 86 cada eje tiene su respectivo engrane encargado de transferir el movimiento a un componente para generar una secuencia coordinada del autómeta en madera, por consiguiente se realiza un análisis matemático de la relación de transmisión de cada engrane.

$$RT_{a/b} = \frac{Nb}{Na} = \frac{40}{10} = 4$$

El resultado obtenido indica que por cada 4 revoluciones de “a” corresponden a 1 revolución de “b”

$$RT_{a/d} = \frac{Nb}{Na} * \frac{Nd}{Nb} = \frac{20}{10} = 2$$

El resultado obtenido sugiere que por 2 revoluciones de “a” corresponden a 1 de “d”

$$RT_{a/c} = RT_{a/d}$$

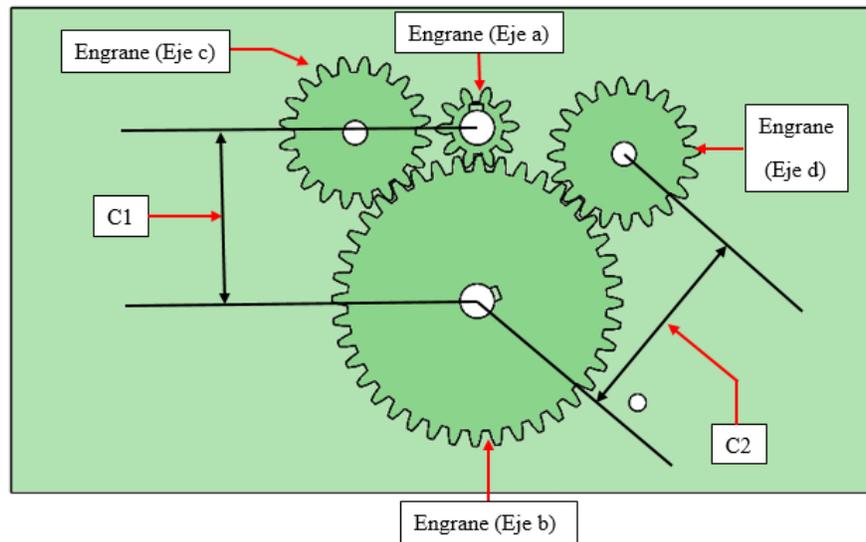
El engrane distribuidor o del eje “a”, es un piñón que entrega el movimiento a los correspondientes engranes, es el que está unido al eje de la manivela de entrada, tiene la potestad de iniciar y dar continuidad a la representación de la historia programada en el autómeta de madera, el engrane de los movimientos principales o eje “b” es el encargado de transmitir el movimiento para los mecanismos más importantes responsable de generar una secuencia lógica en el desarrollo de la dinámica del sistema. El engrane secundario es el que controla la rotación de la cabeza del mago y también está ensamblado el seguidor encargado de producir el E2M3 (Elemento dos movimiento de traslación en la vertical) en el autómeta y el engrane movimientos asistente o eje “d” como su nombre lo indica tiene asignado todos los movimientos del asistente o denominado personaje 2 “P2”.

Tabla 11: Propiedades Geométricas engranes autómeta el mago y su asistente.

PROPIEDADES GEOMETRICAS ENGRANES [mm]			
Característica	Engrane primario o distribuidor de movimiento	Engrane eje principal movimiento	Engrane eje secundario = Engrane eje asistente
Módulo	2	2	2
Paso circular (p)	6.283	6.283	6.283
Angulo de presión (ϕ)	20°	20°	20°
Número de dientes (N)	10	40	20
Addendum (a)	2	2	2
Dedendum (b)	2.5	2.5	2.5
Clearance (c)	0.5	0.5	0.5
Espesor diente (t)	π	π	π
Profundidad de trabajo (hk)	4	4	4
Diámetro exterior (D_o)	24	84	44
Círculo de paso (D)	20	80	40
Diámetro de raíz (DR)	17	77	37
Diámetro círculo base (D_b)	18.794	75.175	37.588
Tamaño eje	10	10	7

Fuente: Autor.

Figura 87: Distancia entre centros C



Fuente: Autor

C1 hace referencia a la distancia entre centros del eje "a" respecto al eje "b" su cálculo permite evidenciar el espacio y disposición de los engranes en el ensamblaje, para validar ajustes y tolerancias entre los componentes.

$$C1 = \frac{(N_g + N_p) * m}{2} = \frac{(40 + 10) * 2}{2} = 50mm$$

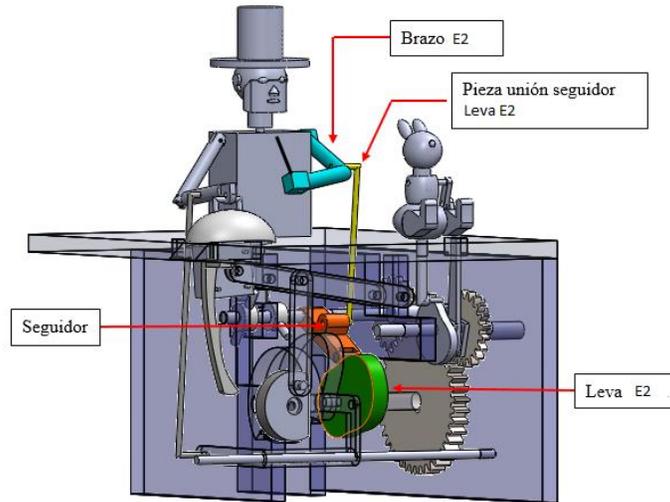
$$C2 = \frac{(40 + 20) * 2}{2} = 60mm$$

$$C3 = \text{Distancia entre centros del eje "c" al "b"} = 60mm = C2$$

5.3. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR MOVIMIENTO E2M3

Como se especificó con anterioridad E2M3 es el movimiento catalogado como el elemento dos con una traslación en la vertical, se referencia E2 al cambio de posición del brazo izquierdo o varita del P1 (Personaje uno) el mago.

Figura 88: Posición inicial E2M3 (Elemento dos movimiento de traslación vertical)

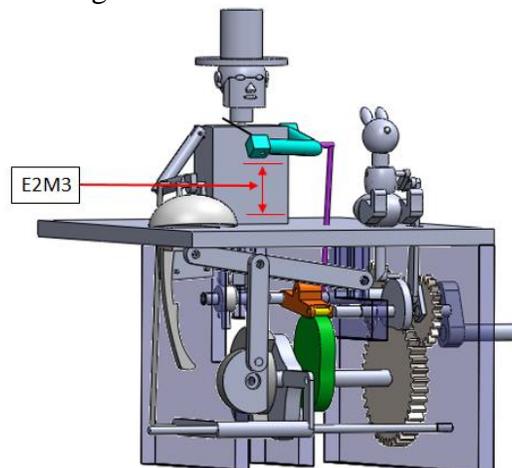


Fuente: Autor.

El mecanismo encargado de generar el M3 en el brazo E2 es de leva seguidor, para facilitar el cambio de movimiento rotacional a uno de traslación, el perfil de la leva se creó para cumplir con las siguientes características, que durante el recorrido del seguidor en 360° solamente se genere una subida en 90° y un descenso en 90° y el restante es decir 180° un detenimiento es decir no hay alteraciones en la circunferencia de radio base que se definió en el perfil de la leva.

La leva está unida al engrane de movimientos principales denominado eje "b", el seguidor tiene una forma particular que le permite de una forma eficaz transmitir el movimiento al brazo y poder mover la varita.

Figura 89: Posición final E2M3



Fuente: Autor

5.3.1. Mecanismos individuales movimiento E2M3.

Se describe matemáticamente y se realiza un análisis cinemático de los mecanismos utilizados para generar este movimiento del brazo que sostiene E2M3 (elemento dos movimiento de traslación en la vertical).

5.3.2. Dimensionamiento mecanismos E2M3.

A continuación, se dimensionan los mecanismos que participan en la generación del E2M3, para determinar sus propiedades geométricas.

5.3.3. Perfil leva E2M3 [mm]

El perfil de leva que se diseñó a través del aplicativo que se mencionó en el capítulo tres, es un sistema que se desarrolló en Visual Basic aplicado a Excel que permite generar tres tipos específicos de levas, es una manera sencilla de entrelazar el Excel con el software de diseño SolidWorks, la finalidad es que crea un perfil de leva ingresando dos datos como son el radio del círculo base que es la circunferencia inicial donde se comienza a definir el perfil de la leva y la altura que se desea alcanzar en el seguidor como se indicó en el estudio de las levas el perfil que se genera es basado en el estudio del movimiento del seguidor, la programación es un ciclo Ford con operaciones entre filas y columnas, se establece la ecuación para determinar el comportamiento del seguidor en la subida y en la bajada, se obtiene un polinomio de orden cinco donde se asumen condiciones de frontera tanto en el acenso y descenso, este método de análisis polinomial es versátil y permite interactuar en el Excel para crear los tres tipos de levas necesarias para generar el movimiento de salida necesario en el personaje y objeto.

Ecuación matemática para el desplazamiento de subida.

$$s = h * \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

Ecuación matemática para el desplazamiento de bajada.

$$s = h * \left[1 - 10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

Con los datos obtenidos se realiza un ajuste para conseguir los radios respecto a los ejes X y Y del perfil de la leva según su variación del ángulo de giro del eje con la siguiente ecuación.

$$RX = (Rb + s) * \text{sen}(\theta)$$

$$RY = (Rb + s) * \text{cos}(\theta)$$

Donde:

RX = radio de giro con respecto al eje X

RY= radio de giro con respecto a Y

Rb= radio del círculo base.

s = desplazamiento del seguidor

θ = ángulo del árbol de levas.

Los resultados obtenidos para el perfil de la leva E2M3 mediante las ecuaciones planteadas son:

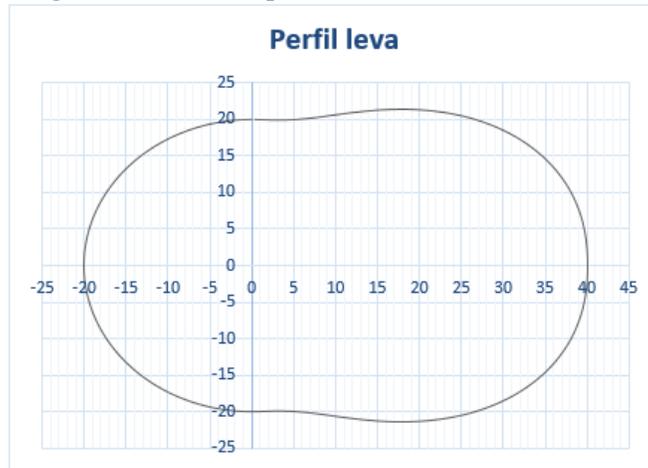
Tabla 12: Perfil leva E2M3 [mm]

θ	s	Rx	Ry
0°	0	0	20
30°	4.20	12.10	20.96
60°	15.80	31.01	17.90
90°	20.00	40.00	0.00
120°	15.80	31.01	-17.90
150°	4.20	12.10	-20.96
180°	0	0	-20
210°	0	-10.00	-17.32
240°	0	-17.32	-10.00
270°	0	-20	0
300°	0	-17.32	10.00
330°	0	-10.00	17.32
360°	0	0	20

Fuente: Autor

La Tabla 12 presenta los datos más representativos del diseño del perfil de la leva para el movimiento E2M3, pero para el diseño detallado en SolidWorks se requiere todos los datos obtenidos del análisis del perfil de la leva según la variación del ángulo θ , por tal motivo se adjuntarán las tablas con toda la información en los anexos.

Figura 90: Grafica perfil leva movimiento E2M3



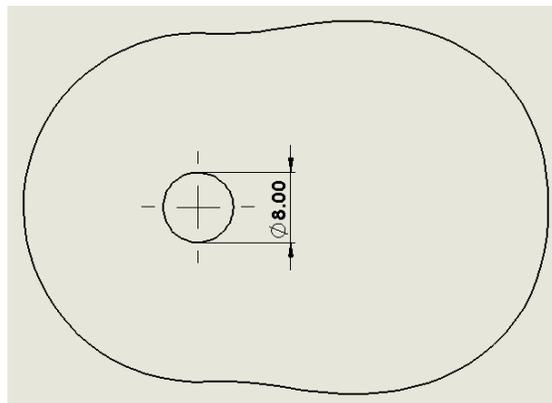
Fuente: Autor

Figura 91: Movimiento seguidor leva E2M3



Fuente: Autor

Figura 92: Diámetro eje leva E2M3 [mm]

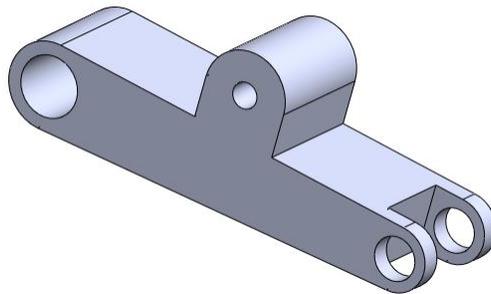


Fuente: Autor

5.3.4. Seguidor E2M3.

El seguidor que se creó para seguir el desplazamiento predefinido en el perfil de la leva tiene un punto de unión en el eje “c” que produce una oscilación, y con una pieza permite trasladar ese movimiento al brazo donde está sujeta E2.

Figura 93: Seguidor E2M3

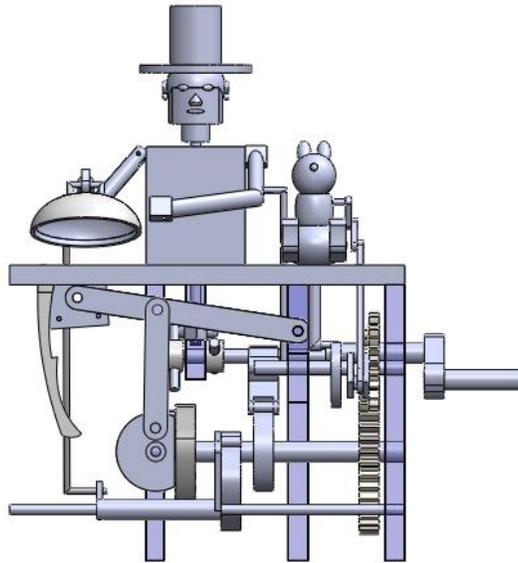


Fuente: Autor.

Debido a la complejidad de varias piezas y ensamblajes que se dificultan por dimensiones y tamaños de los elementos, surge una contradicción del objetivo de la metodología DFMA que es en primera medida pensar en todos los aspectos que se requieren para facilitar el diseño y la fabricación, se realizan varias modificaciones al diseño preliminar realizado en el Software de diseño SolidWorks 2022 se establece los siguientes criterios.

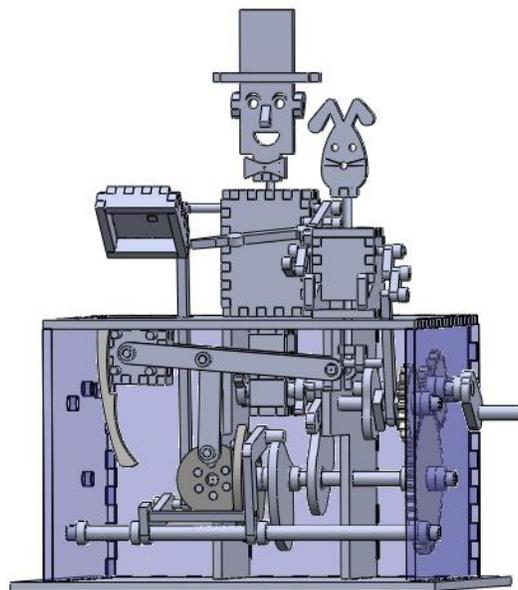
- El espesor máximo de las piezas del ensamblaje definitivo para corte láser es de 5 mm.
- Todos los componentes se deben unir, ajustar o tener unas viñetas o algún elemento que permita la unión entre piezas de manera eficiente.
- Los ejes deben ser de un solo tamaño por temas de comodidad y según investigaciones realizadas en empresas que comercializan productos en madera, venden ejes en madera de 8 mm y de 4.5 mm en material cedro o pino que ofrecen mas resistencia y con el objetivo de ajustar todas las piezas a estos diámetros gracias a que el producto es altamente comercializado.
- Se establecen geometrías para corte láser, se cambian las piezas que no se pueden crear en dos dimensiones o tienen una forma compleja de cortar.

Figura 94: primer diseño Solidworks 2022



Fuente: Autor.

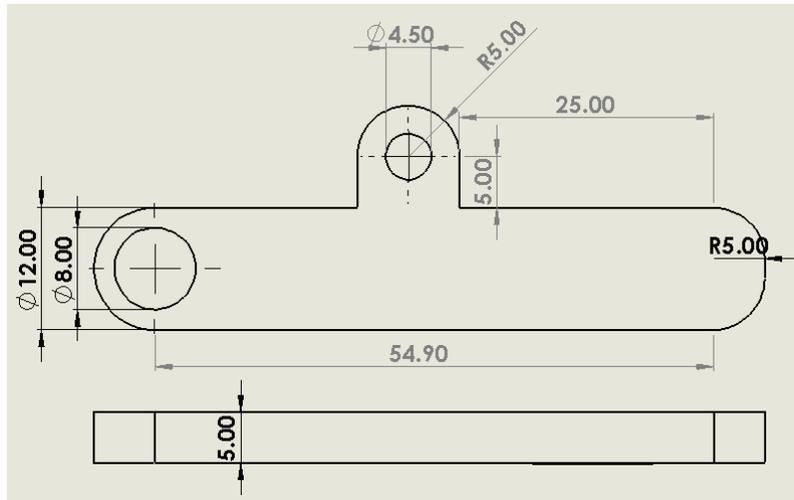
Figura 95: Diseño aplicando metodología DFMA



Fuente: Autor.

5.3.5. Seguidor modificado E2M3 [mm].

Figura 96: Seguidor modificado E2M3 [mm]



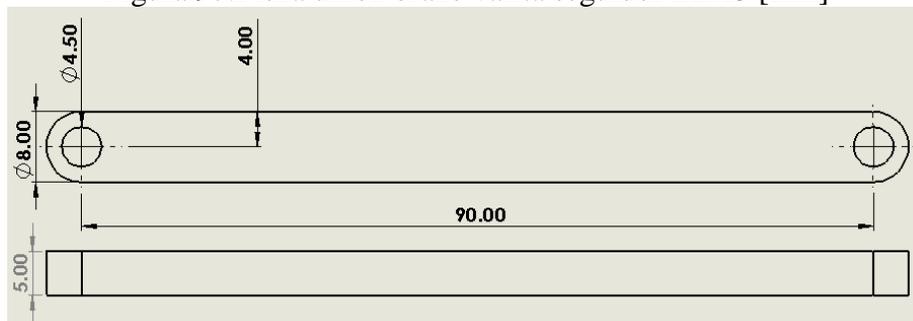
Fuente: Autor

Como se puede observar en la Figura 96 se realiza modificaciones al seguidor E2M3 como se aclaró con anterioridad, se optimizó el diseño creando componentes que faciliten su elaboración a través de técnicas modernas de fabricación el sistema utilizado es corte láser.

5.3.6. Pieza unión seguidor – brazo E2M3.

Componente que permite trasladar el movimiento del seguidor E2M3.

Figura 97: Pieza unión brazo varita seguidor E2M3 [mm]

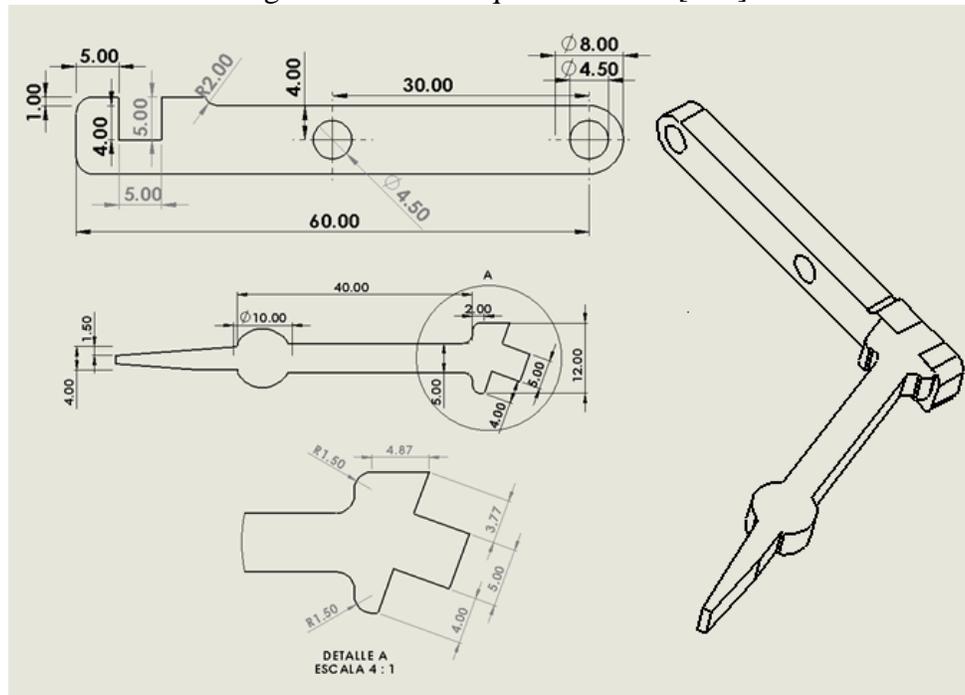


Fuente: Autor

5.3.7. Brazo izquierdo E2M3.

Para crear el brazo que realiza el movimiento de la varita se crea a partir de un concepto sencillo y práctico para generar el movimiento M3, con una rotación en el punto que se puede identificar como un hombro.

Figura 98: Brazo izquierdo E2M3 [mm]



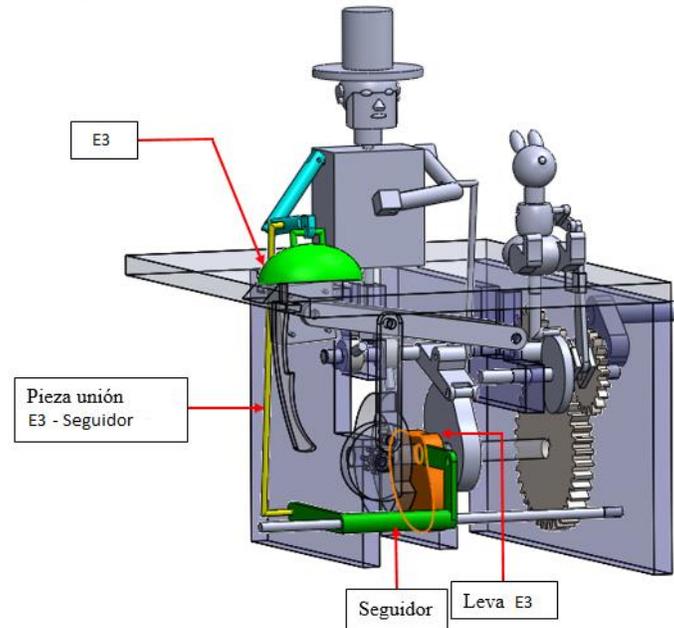
Fuente: Autor

5.4. MECANISMOS ENCARGADOS DE GENERAR MOVIMIENTO E3M2.

E3M2 es el movimiento referenciado como elemento tres que genera un movimiento de rotación alternativa en la vertical se representa este tipo de movimiento de P1 (personaje uno) en el brazo del mago que sostiene la tapa.

El mecanismo encargado de originar el E3M2 es de leva seguidor porque permite nuevamente realizar el cambio de movimiento de tipo rotacional a traslacional, para efectuar el cambio de posición se crea este nuevo perfil de leva gracias al aplicativo diseñado en el capítulo tres se ingresan los datos correspondientes en este caso la altura máxima que se desea en el seguidor es de 30 mm y el radio base del círculo primario es de 20 mm.

Figura 99: Mecanismos E3M2 Posición inicial



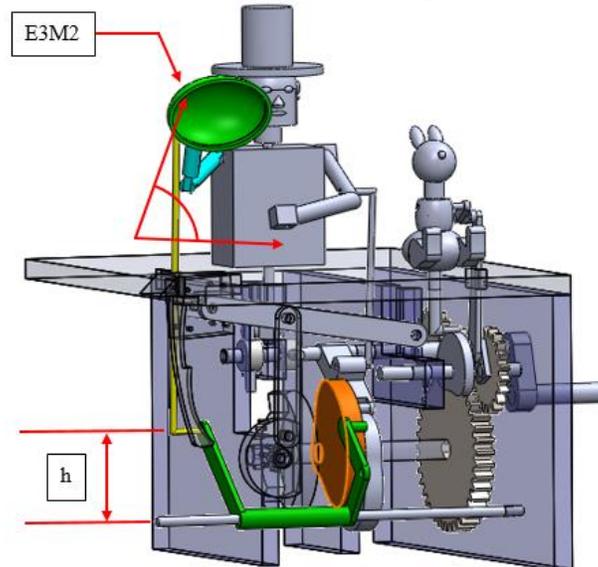
Fuente: Autor

5.4.1. Perfil leva E3M2 [mm].

El perfil de la leva se diseñó a través del aplicativo de Visual Basic aplicado a Excel, se crea una leva que cumpla las siguientes características en el desplazamiento del seguidor, no realice cambio de elevación durante 90° es decir que se mantenga en la distancia establecida en el radio base de la leva definido en $r_b = 20$ mm, después de transcurrido los 90° genera un ascenso hasta la altura especificada en el seguidor de 30 mm durante otros 90° de giro del eje “b” definido como la variación de Θ , durante 90° , se establece que el seguidor tenga un detenimiento en la altura “h” definida por el usuario y los restantes 90° genera un descenso a la altura de radio base. se le realiza un ajuste al perfil de la leva con la herramienta de equidistanciar entidades para reducir 10 mm las dimensiones de la leva, para ajustar la pieza, debido a temas de espacio en el ensamblaje definitivo, pero continúa realizando las funciones para la cual fue diseñada.

Las ecuaciones planteadas en el capítulo tres y en el diseño de E2M3 son las mismas para determinar y calcular el perfil de la leva por consiguiente se presenta una tabla con los datos más relevantes en el perfil de la leva y como se indicó previamente se anexa los archivos de perfiles de leva para generar la pieza en SolidWorks.

Figura 100: Mecanismo E3M2 posición final



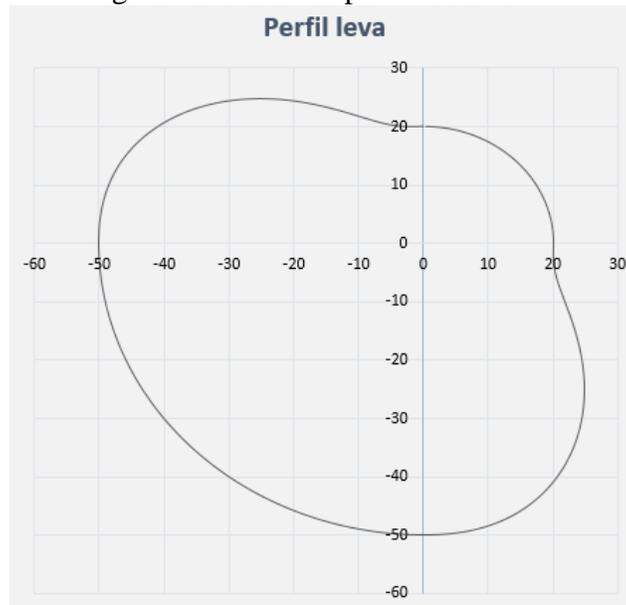
Fuente: Autor.

Tabla 13: Perfil leva E3M2 [mm]

θ	s	Rx	Ry
0°	0	0	20
30°	0	10	17.32
60°	0	17.32	10
90°	0	20	0
120°	6.30	22.77	-13.15
150°	23.70	21.85	-37.85
180°	30	0	-50
210°	30	-25.00	-43.30
240°	30	-43.30	-25.00
270°	30	-50	0
300°	23.70	-37.85	21.85
330°	6.30	-13.15	22.77
360°	0	0	20

Fuente: Autor.

Figura 101: Grafica perfil leva E3M2



Fuente: Autor.

Figura 102: Desplazamiento seguidor E3M2



Fuente: Autor.

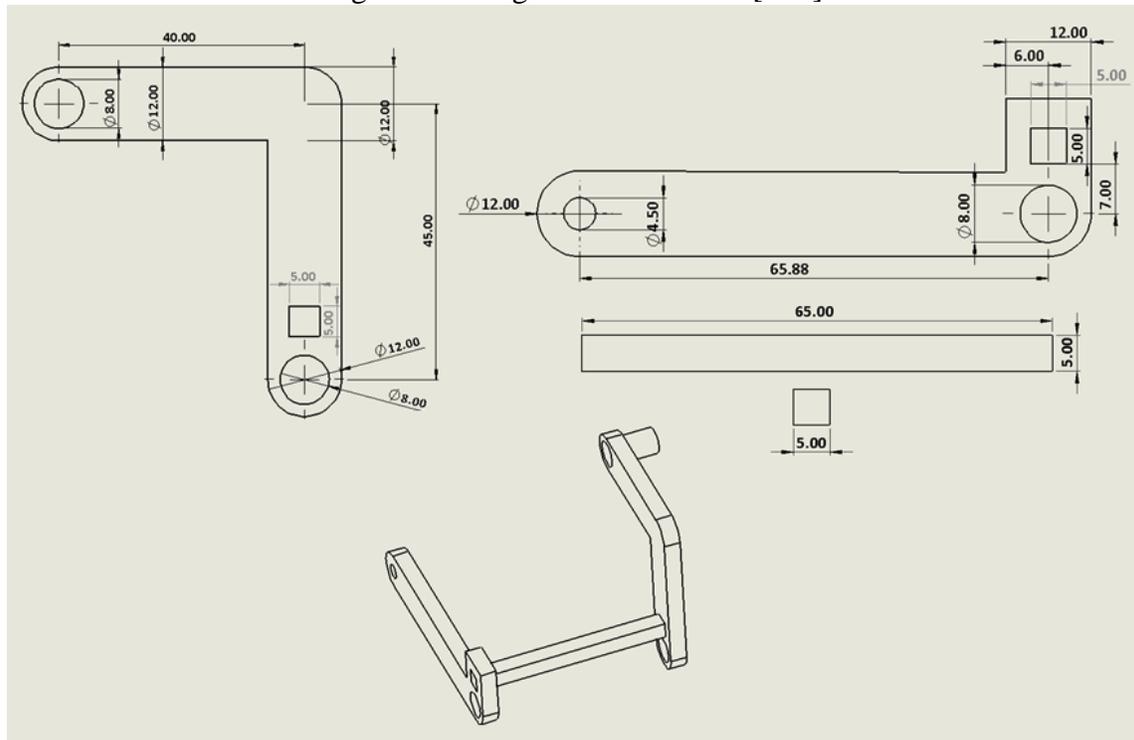
5.4.2. Dimensionamiento mecanismos E3M2.

Para realizar el movimiento E3M2 (Elemento tres con rotación alternativa en la vertical) se propone una serie de piezas con unas geometrías determinadas, que cumplen con las expectativas para mover el objeto identificado como E3 para revelar el objeto cambiante en el truco de magia.

5.4.3. Seguidor leva E3M2 [mm].

Para crear el seguidor E3M2 se dividió la pieza definitiva en secciones para facilitar el corte láser y que cumpla con la función principal de transmitir el movimiento grabado en el perfil de la leva para trasmitirlo a E3.

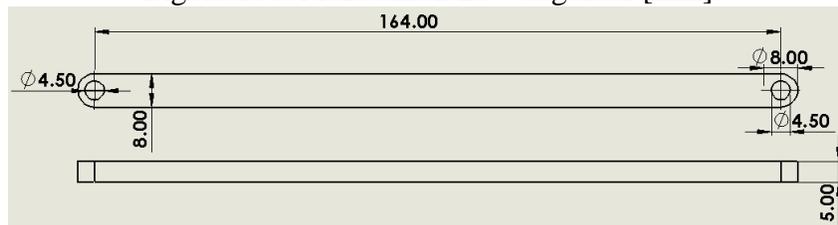
Figura 103: Seguidor leva E3M2 [mm]



Fuente: Autor.

5.4.4. Pieza unión E3 – seguidor [mm]

Figura 104: Pieza unión E3 – seguidor [mm]

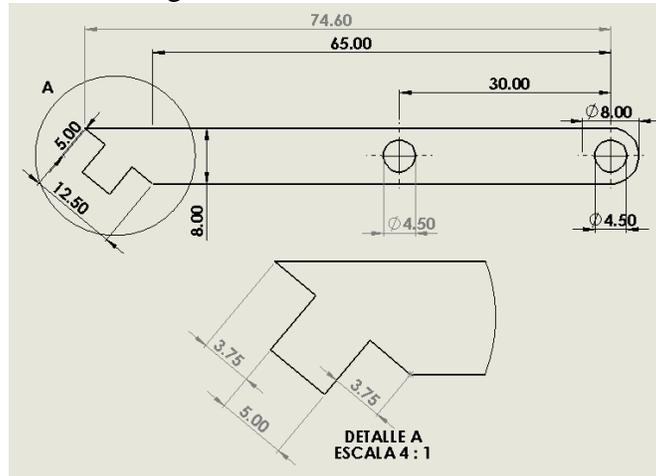


Fuente: Autor

5.4.5. Brazo E3

El brazo que sostiene a E3, consiste en unos elementos que realizan un M2 (rotación alternativa en la vertical) sobre un punto de rotación del cuerpo de P1, se crea el brazo con una unión fija que permite exhibir el objeto cambiante en el truco de magia.

Figura 105: Brazo E3M2 [mm]

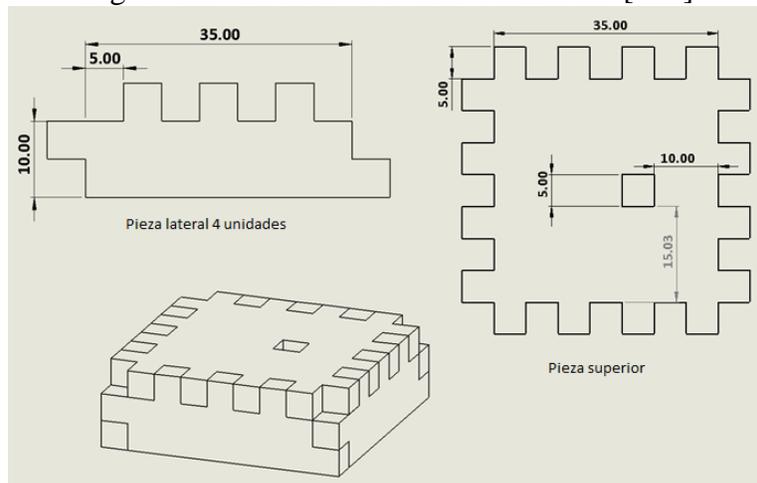


Fuente: Autor.

5.4.6. E3 [mm].

E3 hace referencia a la tapa que sostiene P1, el objetivo principal es ocultar el objeto cambiante en el truco de magia, se crea de manera singular para que se pueda obtener a través de corte láser.

Figura 106: E3 Pieza 1 lateral 4 Unidades [mm]

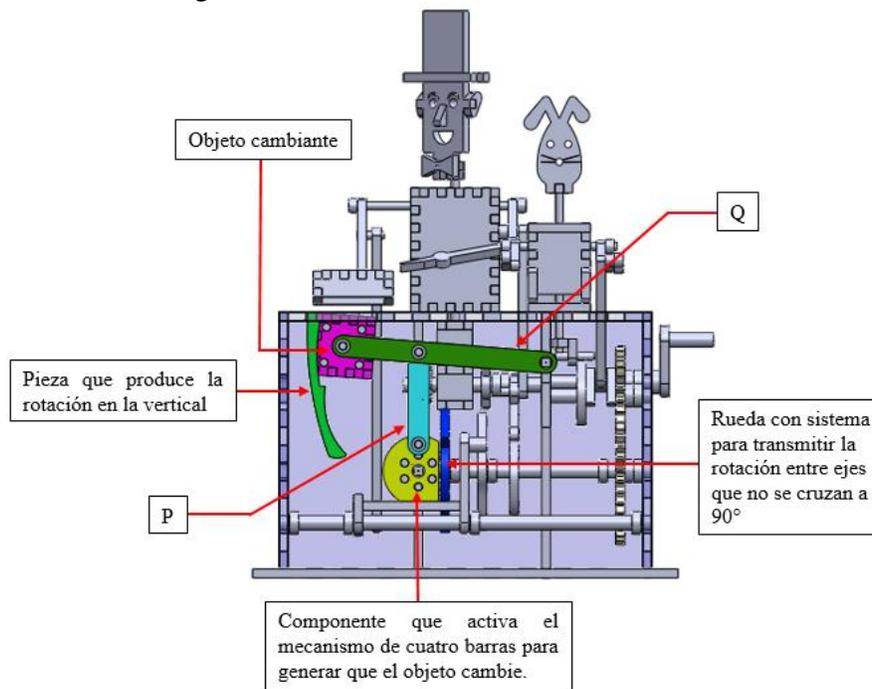


Fuente: Autor

5.4. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR EL MOVIMIENTO D1M1.

Como se explicó en el análisis de movimientos D1M1 en este caso hace referencia al objeto cambiante en el truco de magia, se encuentra oculto en el interior del sistema mecánico, se definió e investigó muchas variantes en el diseño pero se validó un ensamblaje que cumple con las características necesarias para crear este tipo de movimiento, D1 es un objeto de la decoración y M1 es un movimiento de rotación vertical restringido, este mecanismo está formado por un mecanismo de cuatro barras en una doble configuración, que debe cumplir con la condición de Grashoft, está compuesto de siete piezas que son esenciales para obtener D1M1, los eslabones del mecanismo de cuatro barras se diseñaron para que sus longitudes se acoplaran al ensamblaje definitivo, las juntas o uniones entre eslabones se catalogan con cierre de forma, se ilustra y se explica las piezas que intervienen para realizar D1M1.

Figura 107: Mecanismo movimiento D1M1

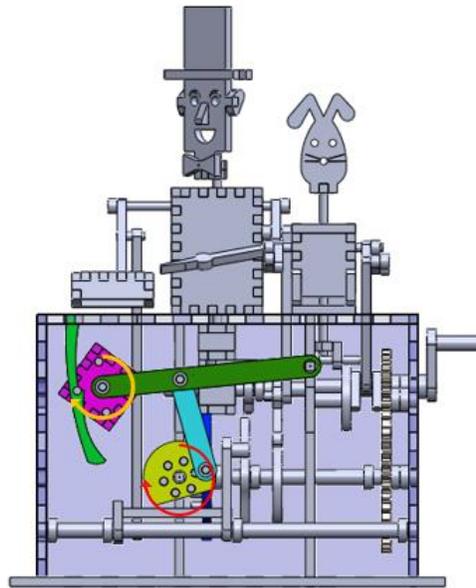


Fuente: Autor.

El mecanismo que genera el movimiento D1M1 se creó por secciones debido a la complejidad del mismo, se escogió un modelo de dos ruedas con un sistema para conducir la rotación entre ejes a 90° como se ilustra en la Figura 107 del mecanismo encargado de generar D1M1.

En la Figura 108 se logra evidenciar que se recibe el impulso motriz del engrane de 40 dientes o eje “b”, con la finalidad de garantizar la secuencia lógica de los movimientos, se presentan las piezas y además se explica cómo se obtiene el movimiento para lograr que el objeto cambie.

Figura 108: Mecanismo movimiento D1M1 posición de cambio

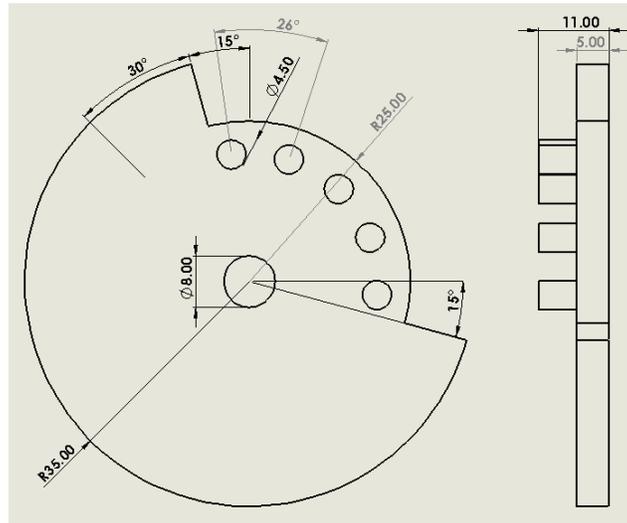


Fuente: Autor.

5.4.1. Diseño de ruedas para transmitir movimiento entre ejes a 90°.

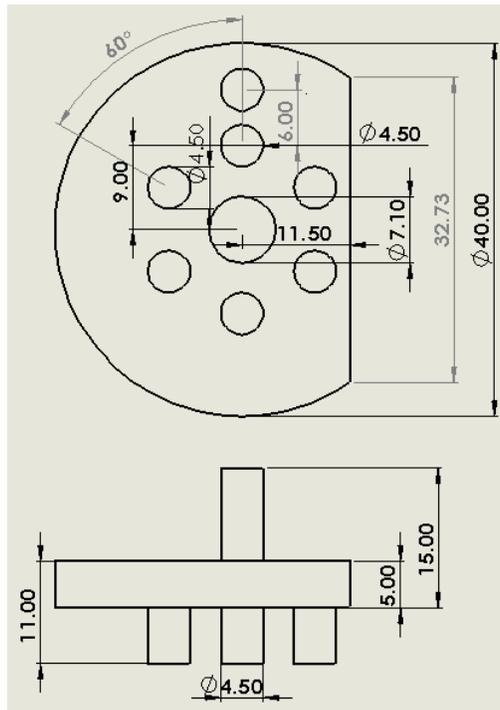
Se generan dos ruedas con la finalidad de transmitir la rotación entre ejes que no se cruzan a 90° la primera pieza está formada por la siguiente geometría según Figura 109 tiene una abertura de 120° que permite a la pieza que activa el mecanismo de cuatro barras generar un giro en el instante en que los elementos que sobresalen de las dos piezas hacen contacto en una disposición a 90° grados una con respecto a la otra y de manera progresiva generan el movimiento y a la vez la variación de rotación entre ejes facilita el trabajo del mecanismo de cuatro barras.

Figura 109: Rueda 1 transmisión de giro en ejes a 90°



Fuente: Autor

Figura 110: Rueda 2 transmisión de giro ejes a 90°

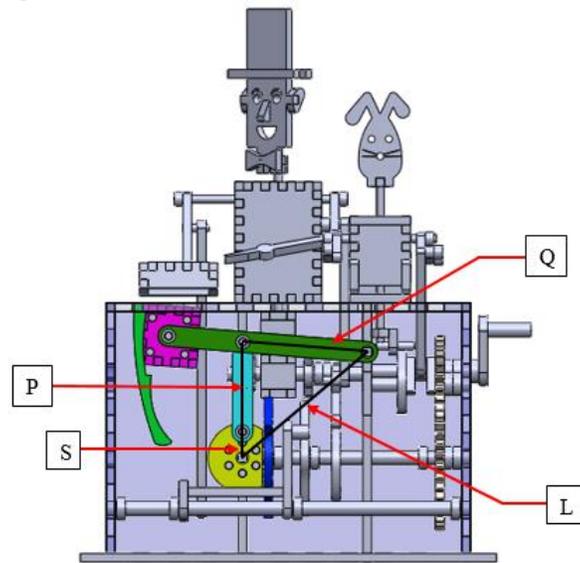


Fuente: Autor.

5.4.2. Mecanismo cuatro barras D1M1.

El mecanismo de cuatro barras que cumple con la condición de Grashoft tiene una disposición que le permite transferir el movimiento generado de las ruedas al objeto cambiante, está configuración logra articular las piezas y posibilita la modificación del objeto en el elemento que gira cambiando su posición para observar otra cara de la pieza que propicia una ilusión de truco de magia.

Figura 111: Mecanismo cuatro barras Automata



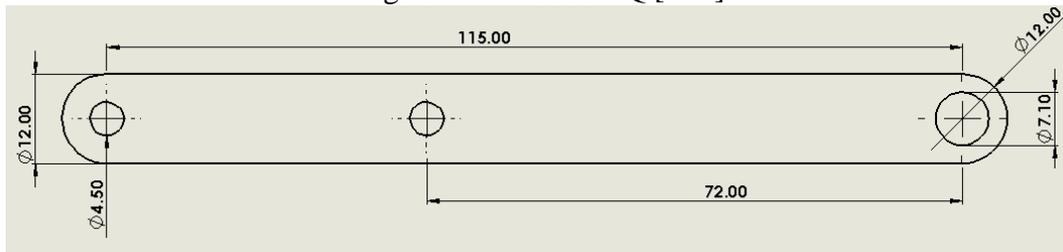
Fuente: Autor.

Como se designó con anterioridad y para identificar el mecanismo de cuatro barras se asignó:

- S = Eslabón corto.
- L = Eslabón largo.
- P = Eslabón biela que cumple la función de acoplador.
- Q = Eslabón restante balancín.

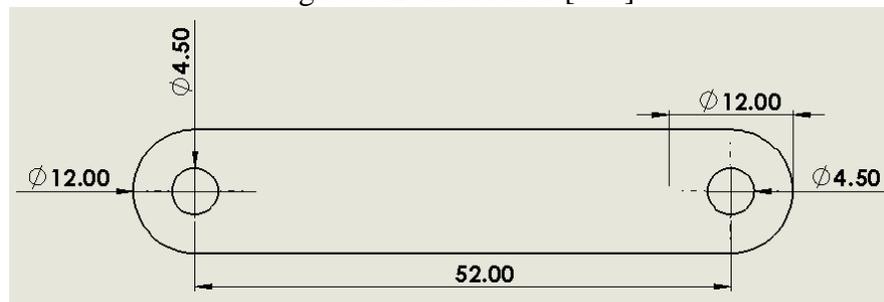
Como se logra distinguir el eslabón “Q” su longitud se extiende para mantener el movimiento de balancín, aclarando que no se incrementa la distancia de la unión entre juntas, sino que se crea una sección adicional para extender la posición donde va a llegar el objeto cambiante justo donde queda la caja ocultando la pieza que varia y dar una percepción de truco de magia.

Figura 112: Eslabón Q [mm]



Fuente: Autor.

Figura 113: Eslabón P [mm]



Fuente: Autor.

Para verificar la condición de Grashof, se toman las medidas de las juntas que unen los eslabones en el autómatá diseñado en Solidworks 2022, con la herramienta medir del aplicativo obteniendo:

$S = 15 \text{ mm}$; $L = 94.49 \text{ mm}$; $P = 52 \text{ mm}$; $Q = 72 \text{ mm}$

Requerimiento $S + L < P + Q$

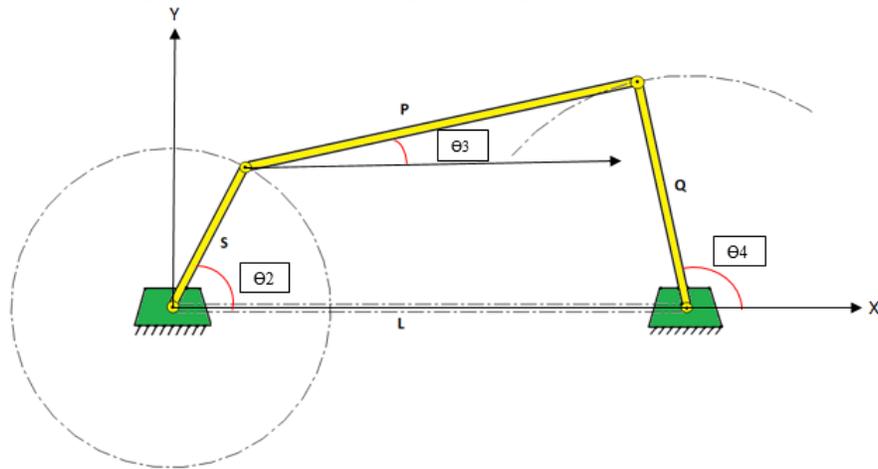
$15 \text{ mm} + 94.49 \text{ mm} < 52 \text{ mm} + 72 \text{ mm}$

$109.49 \text{ mm} < 124 \text{ mm}$

Cumple con la restricción para generar un movimiento de manivela balancín.

5.4.3. Análisis algebraico posiciones eslabones cuatro barras.

Figura 114: Análisis algebraico posición eslabones.



Fuente: Autor.

Se realiza un estudio geométrico de los eslabones del mecanismo de cuatro barras que se relacionan en la imagen Figura 114 para caracterizar el movimiento del eslabón biela "P". y el cálculo matemático de la variación de los ángulos que interfieren en la conformación del mecanismo de cuatro barras en este caso θ_2 , θ_3 y θ_4 .

El eslabón "S" que se denomina el más corto de longitud se puede expresar matemáticamente como:

$$S_x = (S)\cos\theta_2$$

$$S_y = (S)\sin\theta_2$$

Las coordenadas del punto "P" se obtienen por medio de la siguiente fórmula.

$$P^2 = (P_x - S_x)^2 + (P_y - S_y)^2$$

Coordenadas de "Q"

$$Q^2 = (P_x - L)^2 + P_y^2$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$P^2 = (P_x - S_x)^2 + (P_y - S_y)^2$$

$$P^2 = P_x^2 - 2P_x S_x + S_x^2 + P_y^2 - 2P_y S_y + S_y^2$$

Restando $P^2 - Q^2$ Se obtiene

$$P^2 - Q^2 = P_x^2 - 2P_x S_x + S_x^2 + P_y^2 - 2P_y S_y + S_y^2 - P_x^2 + 2P_x L - L^2 - P_y^2$$

$$P^2 - Q^2 + L^2 = -2P_x S_x + S_x^2 + S_y^2 - 2P_y S_y + 2P_x L$$

$$P^2 - Q^2 + L^2 = -2P_x S_x + S^2 \cos^2 \theta_2 + S^2 \sin^2 \theta_2 - 2P_y S_y + 2P_x L$$

$$P^2 - Q^2 + L^2 = -2PxSx + S^2 - 2PySy + 2PxL$$

Multiplicando por -1 toda la ecuación

$$-P^2 + Q^2 - L^2 = 2PxSx - S^2 + 2PySy - 2PxL$$

$$S^2 - P^2 + Q^2 - L^2 = 2Px(Sx - L) + 2PySy$$

$$Px = \frac{S^2 - P^2 + Q^2 - L^2}{2(Sx - L)} - \frac{2PySy}{2(Sx - L)} \text{ Ecuación 1}$$

Teniendo en cuenta la ecuación 1 resultante, se procede a simplificar y encontrar una terminología con el objetivo de abreviar la expresión matemática para “Px”.

$$a = \frac{S^2 - P^2 + Q^2 - L^2}{2(Sx - L)}$$

$$b = \frac{Sy^2}{(Sx - L)^2} + 1$$

$$c = (L - a)^2 - Q^2$$

$$d = \frac{2Sy(L - a)}{Sx - L}$$

Las expresiones obtenidas permiten calcular la ecuación para simbolizar la expresión para encontrar el valor de “Py”.

$$Py = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4ab}}{2a}$$

$$\theta 3 = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{Py - Sy}{Px - Sx} \right)$$

$$\theta 4 = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{Py}{Px - L} \right)$$

Tabla 14: Análisis algebraico eslabones mecanismo cuatro barras

$\theta 2$	Sx	Sy	P ² [mm]	Q ² [mm]	Px	Py	$\theta 3$	$\theta 4$
30	2.31	-14.82	3828.13	6308.13	43.56	-60.94	-48.20	50.11
60	-14.29	-4.57	2880.31	5360.31	30.07	-34.79	-34.26	28.37
90	-6.72	13.41	2245.66	4725.66	28.29	-18.53	-42.37	15.63
120	12.21	8.71	2273.79	4753.79	34.27	-33.57	-62.45	29.14
150	10.49	-10.72	3572.65	6052.65	44.67	-59.76	-55.12	50.18
180	-8.98	-12.02	3339.86	5819.86	35.72	-48.65	-39.33	39.62
210	-13.26	7.02	2478.03	4958.03	27.47	-21.60	-35.09	17.87
240	4.89	14.18	2127.10	4607.10	30.95	-23.87	-55.59	20.59

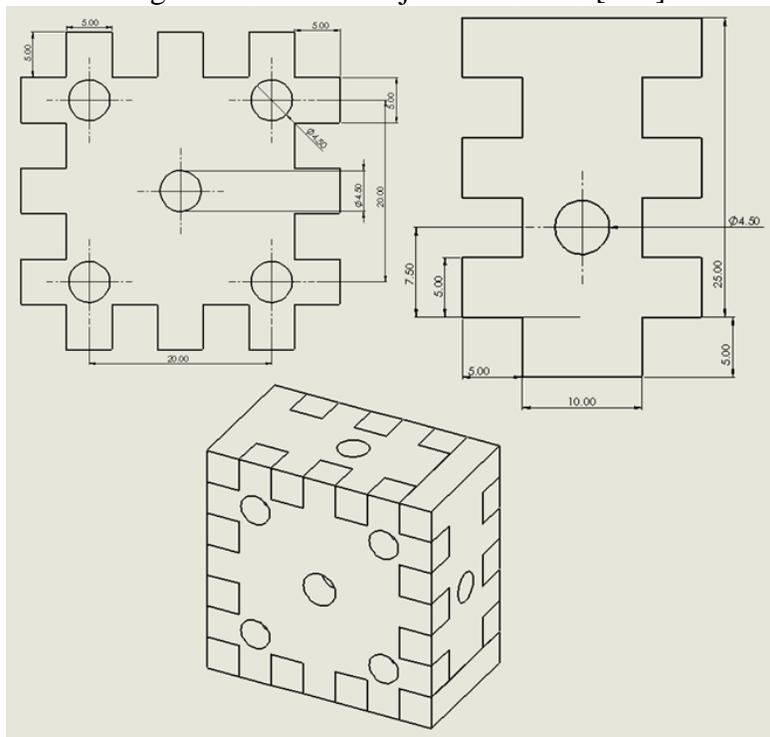
$\Theta 2$	S_x	S_y	$P^2[\text{mm}]$	$Q^2[\text{mm}]$	P_x	P_y	$\Theta 3$	$\Theta 4$
270	14.77	-2.64	2886.14	5366.14	40.68	-49.70	-61.16	42.73
300	-0.33	-15.00	3775.23	6255.23	42.20	-59.34	-46.19	48.61
330	-14.87	-1.99	2775.48	5255.48	29.02	-31.13	-33.59	25.43
360	-4.26	14.38	2195.75	4675.75	28.76	-18.86	-45.20	16.01

Fuente: Autor

El objeto cambiante se activa a través del mecanismo de cuatro barras, y su accionamiento es un sistema ingenioso que incorpora dos componentes que permiten el cambio del objeto cambiante y presentar una ilusión de un truco de magia.

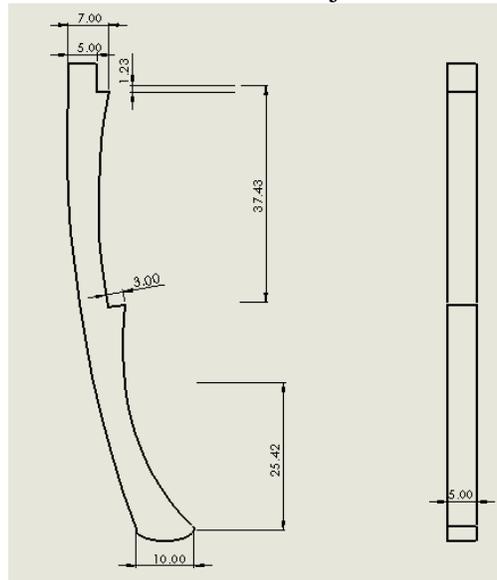
El elemento que se denomina objeto cambiante es una pieza con una geometría de caja que se le adicionan unos ejes que en el momento del accionamiento del autómatas se crea una colisión entre dos piezas deliberadamente para provocar que el objeto cambie de posición y revelar la nueva pieza que se encuentra en una de las caras superiores del elemento, por consiguiente se presentan las dos piezas que generan la variación.

Figura 115: Piezas objeto cambiante [mm]



Fuente: Autor

Figura 116: Pieza de colisión objeto cambiante [mm]

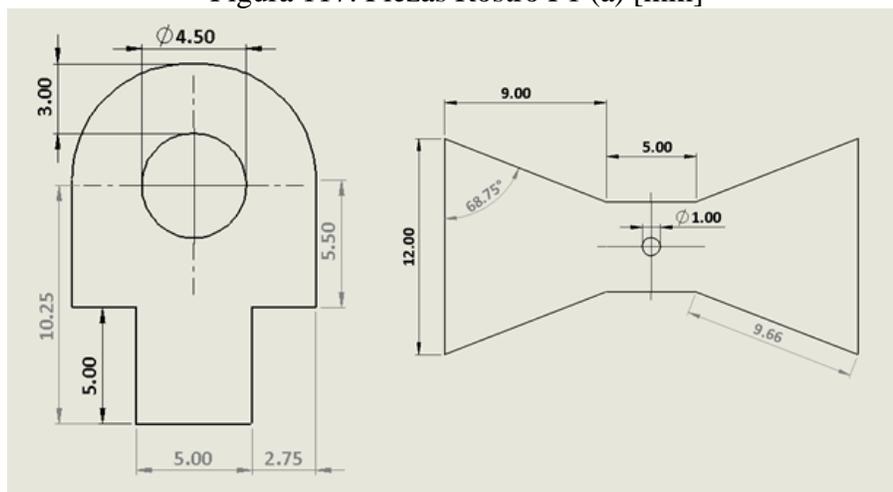


Fuente: Autor

5.5. MECANISMO ENCARGADO DE GENERAR P1M5.

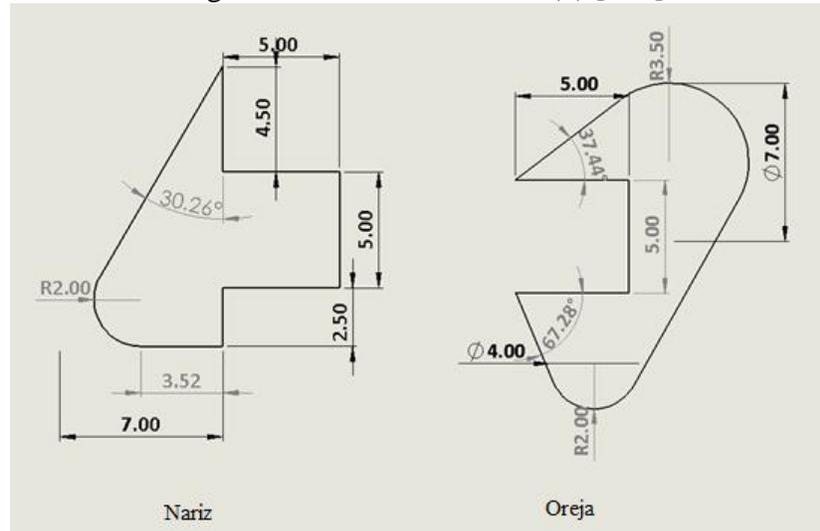
Para garantizar el movimiento de “P1” personaje uno identificado como el mago, se crea un mecanismo para generar M5 (Rotación alternativa sobre la horizontal), se dispone de una serie de piezas que unidas permiten de forma útil transmitir el movimiento a la cabeza del mago, a continuación se describe todos los componentes que interviene en la transmisión de M5.

Figura 117: Piezas Rostro P1 (a) [mm]



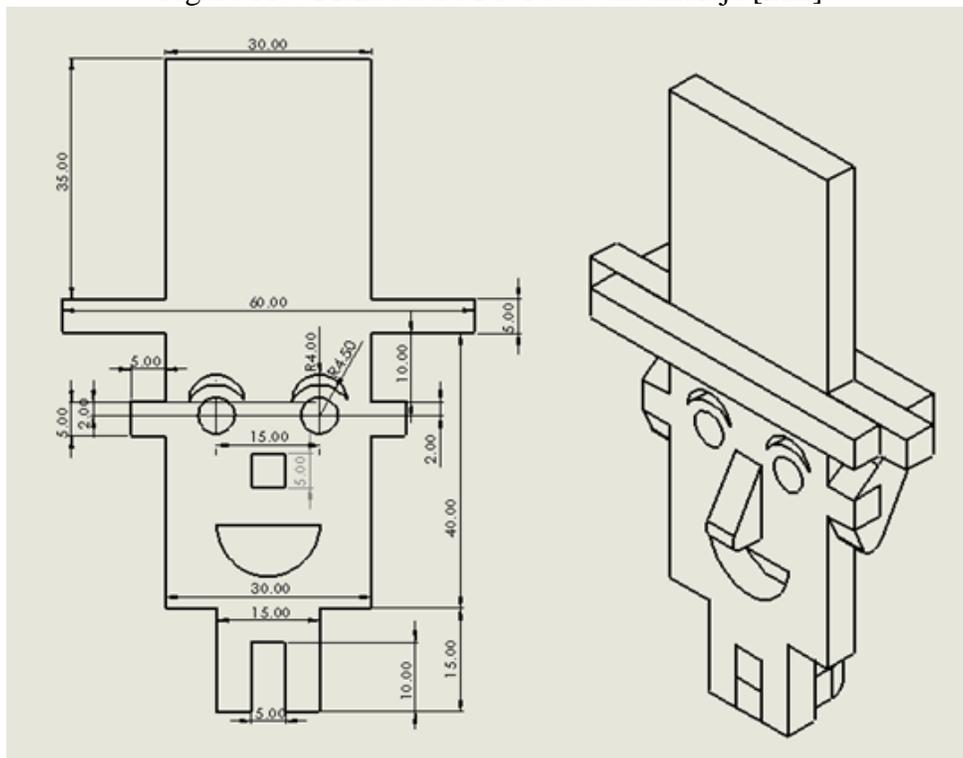
Fuente: Autor.

Figura 118: Piezas rostro P1 (b) [mm]



Fuente: Autor

Figura 119: Pieza rostro P1 Y sub-ensamblaje [mm]



Fuente: Autor.

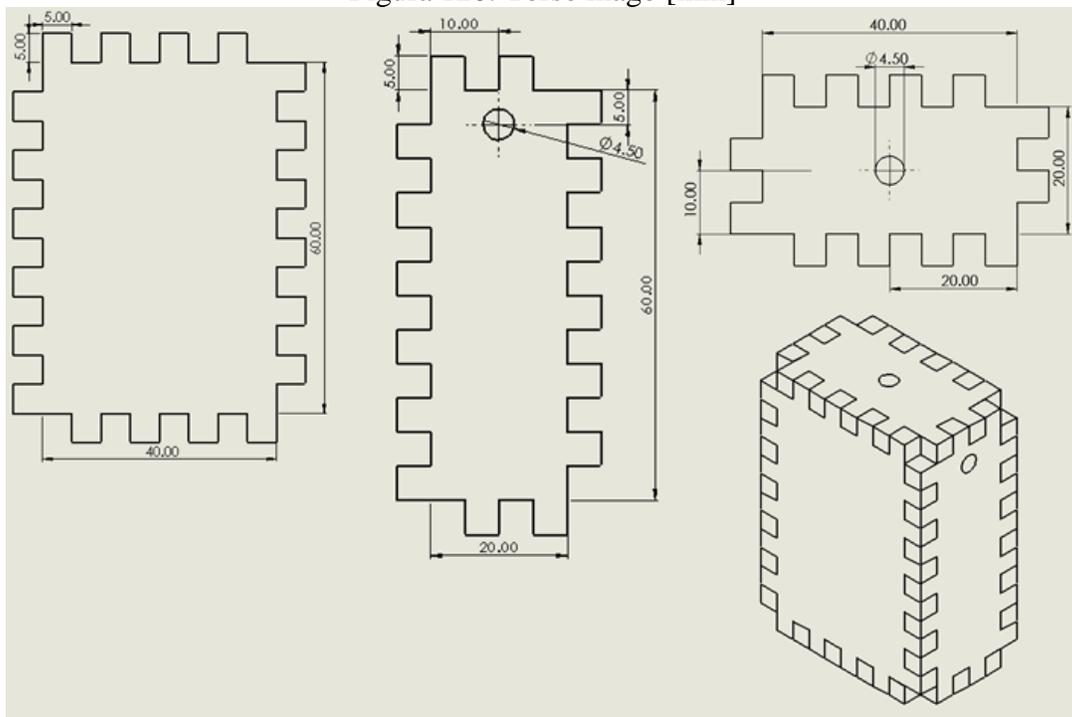
El rostro de P1 se diseñó por elementos que se sub-ensamblan para facilitar el proceso de corte, se definen geometrías que se adaptan fácilmente, permiten acoplarse y además garantizan

uniones permanentes entre las piezas que componen el rostro, como se indicó inicialmente todos los componentes tiene espesor de 5 mm.

Para generar M5 se crean varias piezas que se conectan para transmitir el movimiento a través del eje “c”, a su vez los objetos tienen una simetría que al entrar en contacto con los elementos que componen la cabeza del mago generan la rotación alternativa sobre la horizontal.

Para garantizar el uso de equipos modernos para la fabricación y corte de madera MDF, el torso del mago se crea por secciones una estructura modular para facilitar su ensamble, se dispone de aristas o elementos de unión que permiten entrelazar las piezas.

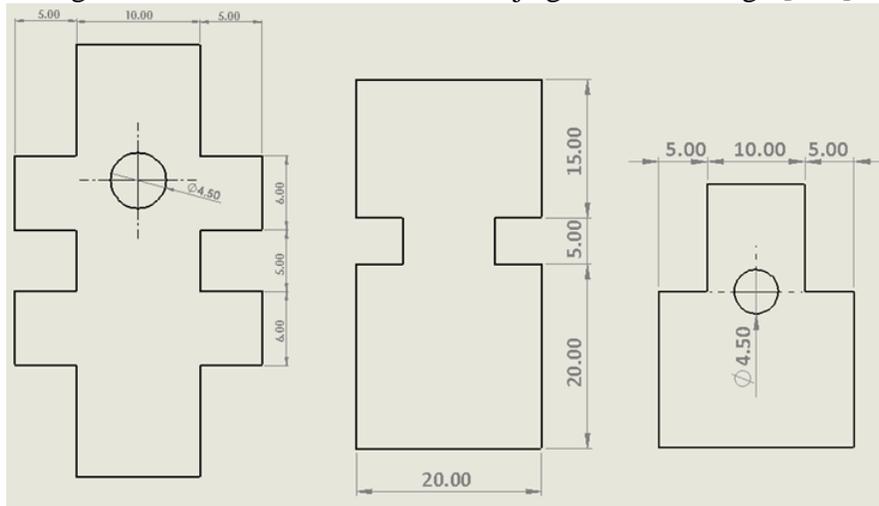
Figura 120: Torso mago [mm]



Fuente: Autor.

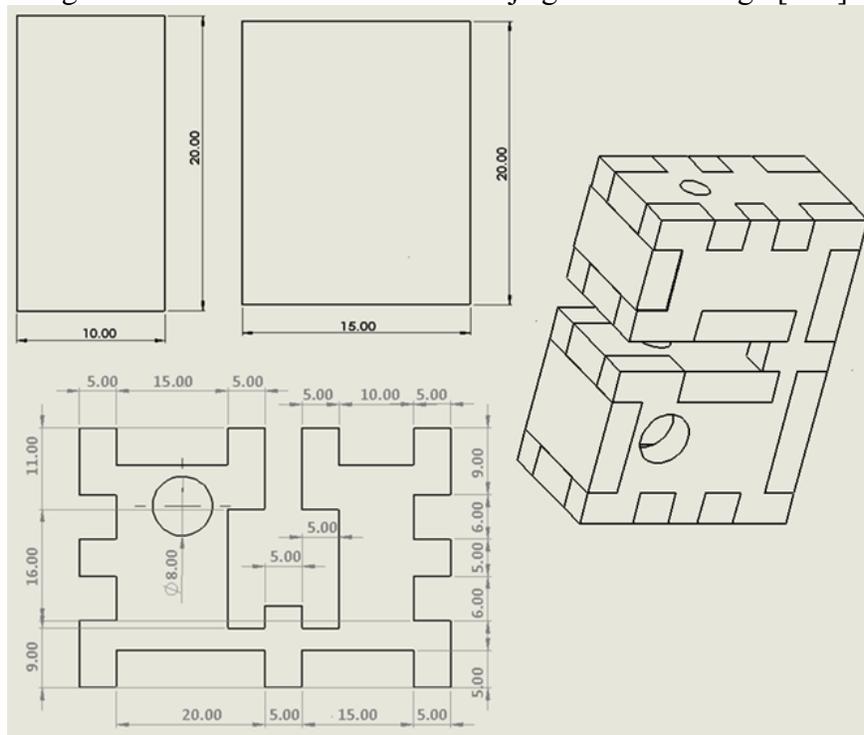
Se crea una guía que permita direccionar la cabeza del mago, soportar toda la estructura de la cabeza y se mantiene el mismo estilo de diseño que sea armable y las piezas con unas secciones específicas para facilitar el ensamblaje.

Figura 121: Piezas “a” sub-ensamblaje guía cabeza mago [mm]



Fuente: Autor

Figura 122: Piezas “b” Sub ensamblaje guía cabeza mago [mm]



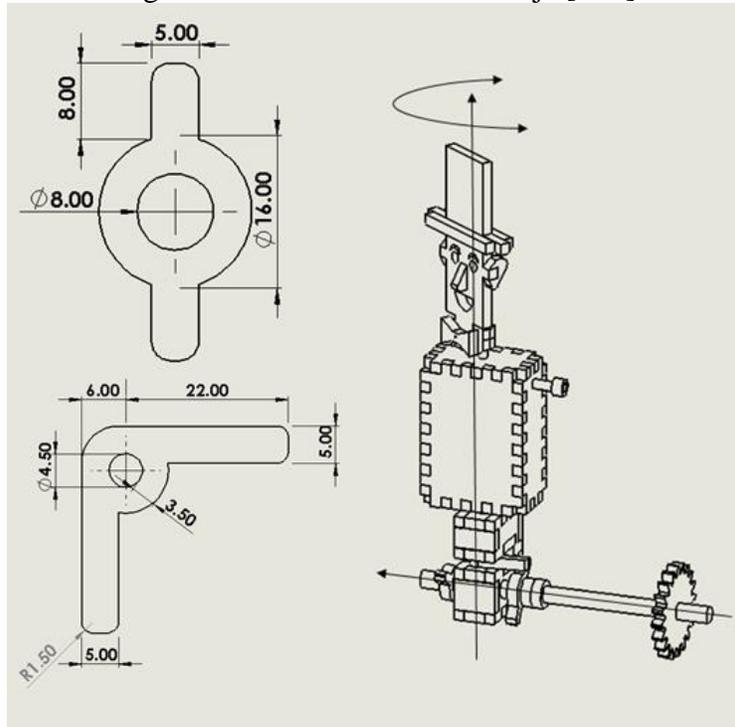
Fuente: Autor.

El sistema de giro de la cabeza del mago M5, cumple unas características que se ilustran en la

Figura 123, el movimiento es transmitido por el engrane del eje “c”, para generar el movimiento se crean varias piezas pero las dos principales son las que garantizan M5 (Movimiento

de rotación alternativa horizontal), es un dispositivo sencillo que al momento de generar un contacto entre las dos piezas que tienen unas varas que sobresalen en una disposición de 180° que está sujeta al eje “c” y la otra a 90° unida a la guía de giro de la cabeza de P1, al tener fricción permiten una rotación de 90° del rostro de P1 de forma oscilante.

Figura 123: Piezas M5 ensamble [mm]



Fuente: Autor.

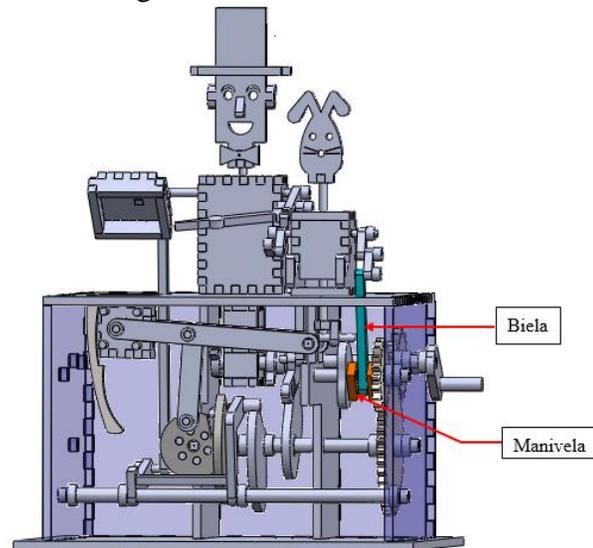
5.6. MECANISMO E1M3.

Para el estudio de E1M3 al cual hace referencia como E1 que indica al elemento uno en este caso el brazo del conejo y M3 el tipo de movimiento de traslación en la vertical, para caracterizar este desplazamiento de E1 se diseñó un mecanismo de Biela – Manivela el cual transforma el movimiento rotacional del eje “d” en traslación.

5.6.1. Mecanismos individuales E1M3.

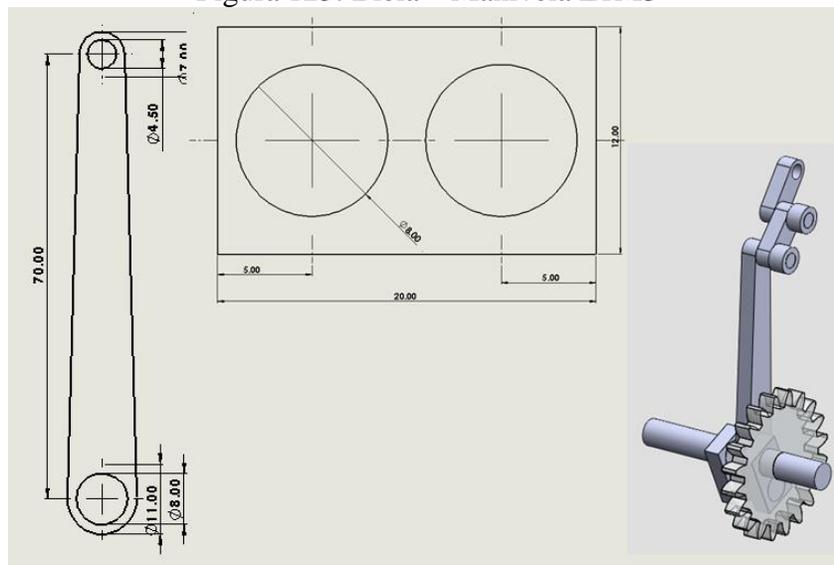
Se describe su aspecto geométrico todas las piezas estan unidas al eje “d”, se dimensionan cumpliendo el requerimiento más importante que es fabricación en corte láser.

Figura 124: Mecanismo E1M3



Fuente: Autor

Figura 125: Biela – Manivela E1M3



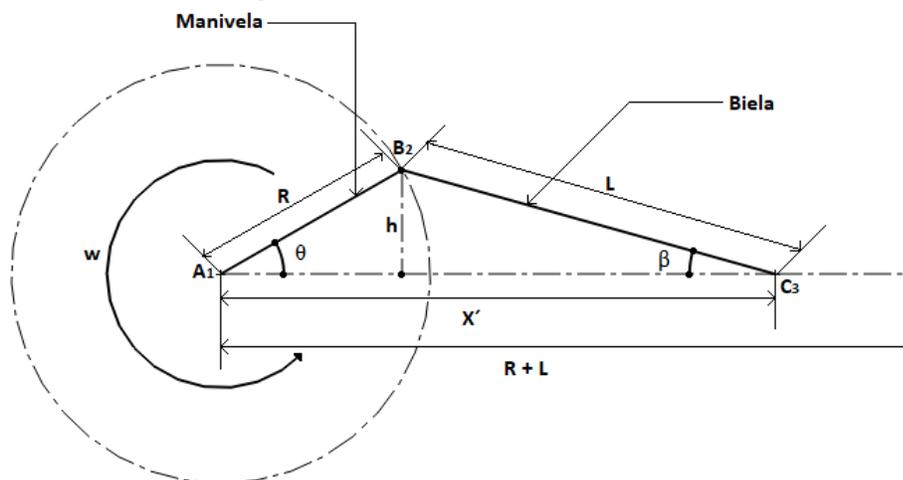
Fuente: Autor.

5.6.2. Análisis cinemático posición biela manivela.

A partir de la ecuación obtenida en el análisis cinemático en el capítulo tres, se logra determinar la posición exacta de “E1” respecto al cambio de posición de θ .

$$x' = R \cos\theta + \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2\theta}$$

Figura 126: Biela - Manivela



Fuente: Autor.

Según la disposición del autómeta

$R = 10 \text{ mm}$; $L = 70 \text{ mm}$

Tabla 15: Posición “C3” respecto al cambio de θ en la manivela

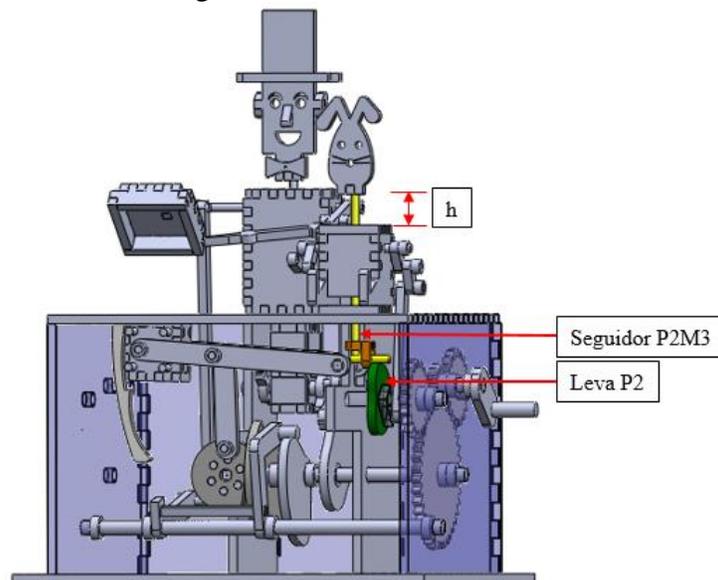
θ	x'
0	80
30	78.48
60	74.46
90	69.28
120	64.46
150	61.16
180	60
210	61.16
240	64.46
270	69.28
300	74.46
330	78.48
360	80

Fuente: Autor.

5.7. Mecanismo encargado de generar P2M3.

“P2” hace referencia al personaje dos y M3 al movimiento de traslación vertical, al desplazar P2 en este caso referenciando la cabeza del conejo en la vertical, se propone un sistema leva seguidor por sus aplicaciones y la integración mecánica que proporciona este tipo de mecanismo, se establece un diseño que de manera óptima permite convertir el movimiento rotacional en vertical.

Figura 127: Mecanismo P2M3



Fuente: Autor.

5.7.2 Mecanismos individuales P2M3.

Para detallar los componentes que intervienen en la creación de P2M3 se realiza una descripción de los elementos que interactúan para formar el movimiento característico.

5.7.3 Leva P2M3 [mm].

El movimiento es proporcionado por el eje “d” a través de su engrane, al eje está unida la leva que tiene un perfil diseñado para que durante el giro en los 360° cumpla con las siguientes

especificaciones, durante los primeros 90° la leva tenga un cambio de “rb” (radio base) que designo igual a 10 mm, también se determinó que la acenso y descenso del seguidor sea de 10 mm según los datos ingresados en el aplicativo de diseño del perfil de una leva en VBA (Visual Basic aplicado a Excel), el perfil de la leva se crea para generar un doble detenimiento en la altura máxima definida en el seguidor es decir durante 180° de giro del eje “d” se mantiene el seguidor en el nivel establecido por el diseñador para lograr simbolizar el movimiento M3.

Tabla 16: Perfil leva P2M3

Θ	s	Rx	Ry
0°	0	0	10
30°	2.10	6.05	10.48
60°	7.90	15.50	8.95
90°	10	20	0
120°	10	17.32	-10
150°	10	10	-17.32
180°	10	0	-20
210°	10	-10	-17.32
240°	10	-17.32	-10
270°	10	-20	0
300°	7.90	-15.50	8.95
330°	2.10	-6.05	10.48
360°	0	0	10

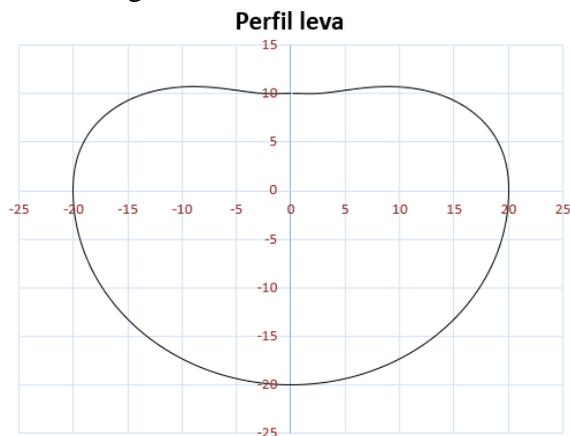
Fuente: Autor.

Figura 128: Desplazamiento seguidor P2M3



Fuente: Autor

Figura 129: Perfil leva P2M3

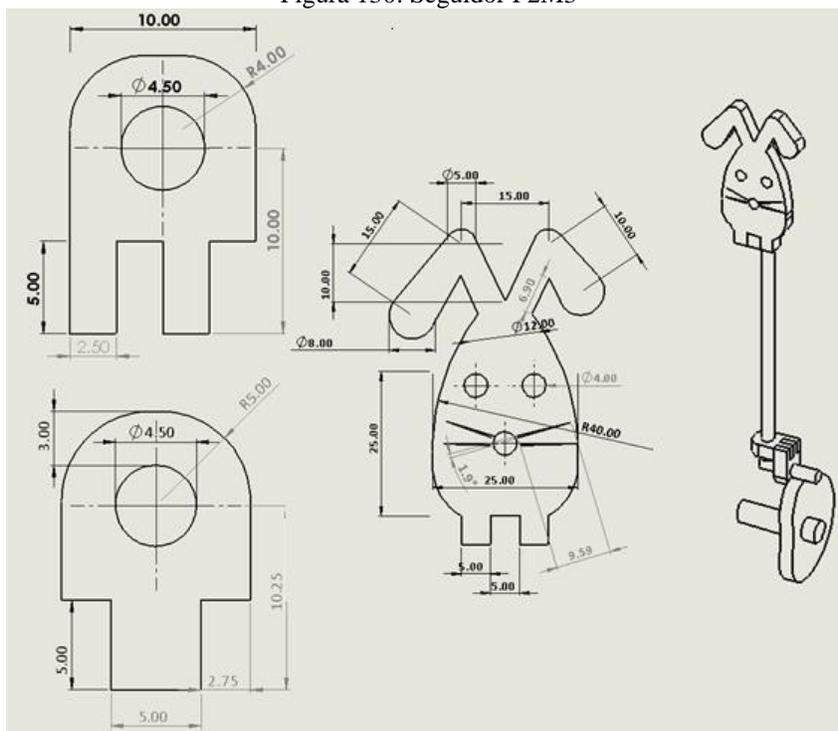


Fuente: Autor.

5.7.4 Seguidor P2M3 [mm].

El seguidor propuesto para P2M3, es un diseño versátil que crea un acople entre la cabeza del conejo y la pieza que genera el contacto con el perfil de la leva, el objetivo principal es acoplar y transmitir el movimiento de forma eficiente corroborando el espacio disponible en el autómeta.

Figura 130: Seguidor P2M3

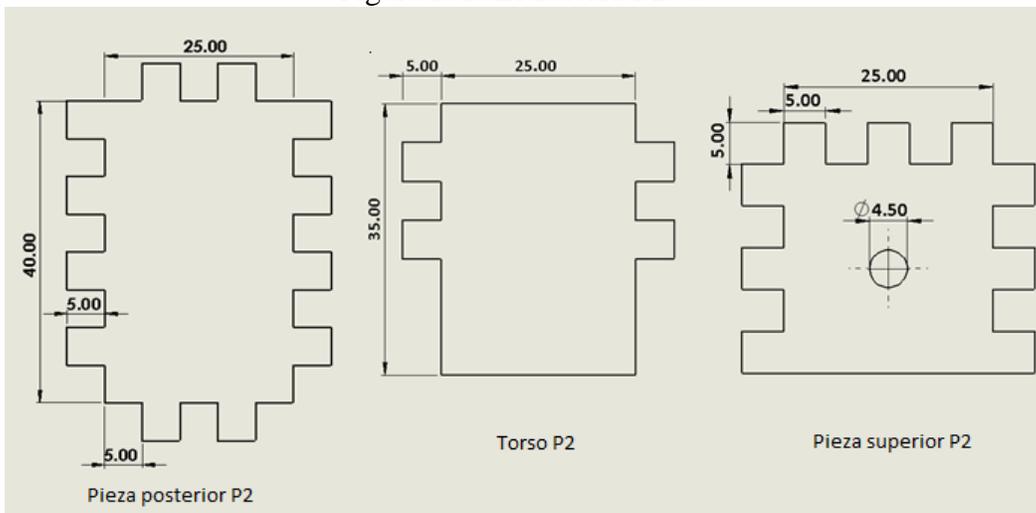


Fuente: Autor.

5.7.5 Cuerpo P2 [mm].

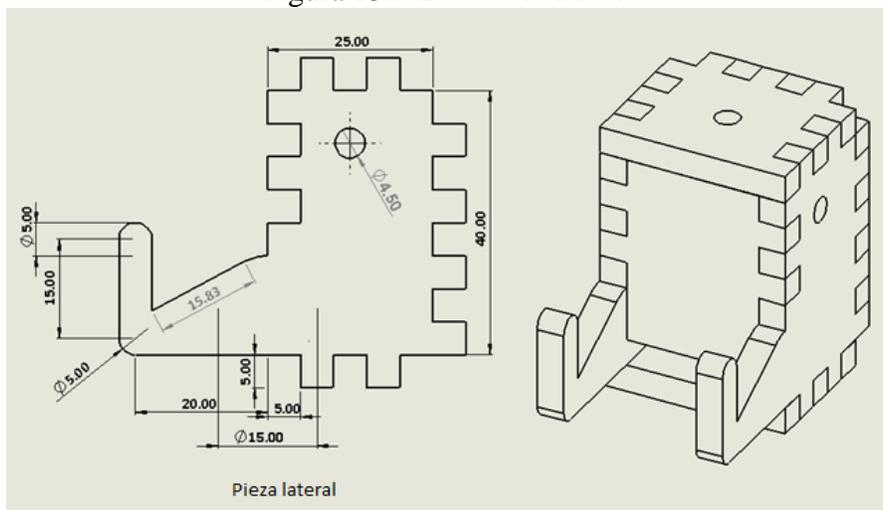
La estructura de P2 se dimensiona con elementos salientes que permiten el ensamblaje y limitan el desajuste entre las piezas, se desarrolló un sistema que agiliza el ensamblaje y además reduce los posibles errores de unión entre componentes debido a la geometría.

Figura 131: Estructura P2 “a”



Fuente: Autor.

Figura 132: Estructura P2 “b”



Fuente: Autor.

5.8. CORTE LÁSER

En este proyecto se considera pertinente la fabricación en corte láser, se diseñó el sistema mecánico en SolidWorks 2022 con el objetivo de utilizar equipos de manufactura modernos, para obtener las piezas se realizan varios procedimientos que se detallan a continuación:

- Se validan empresas que realizan corte laser y las especificaciones de la maquinaria, después de indagar se evidencia que el equipo que se desea utilizar para ejecutar la tarea de corte, trabaja máximo con espesor de 12 mm con todo tipo de madera, las dimensiones de operación del sistema son de 100 X 80 cm y que reconoce un formato digital DXF (Drawing Exchange Format), Ilustreitor o Coredraw.
- Se deben generar planos de corte donde solo se presenta la vista de techo o superior, no se requiere cotas ni atributos adicionales es decir solo se debe ilustrar las líneas de corte.
- En el software de diseño SolidWorks 2022 se definió un grosor de línea en los planos de corte de 0.18 mm.
- La escala de las figuras es de 1:1 para presentar la pieza en magnitud real.
- Se debe acomodar las piezas en área establecida del equipo de corte, para ajustar el tamaño de la lámina o tablero de MDF y los planos para reducir lo máximo posible el desperdicio de material.

6. CRITERIOS METODOLOGIA DFMA APLICADOS AL DISEÑO DEL AUTOMATA.

En este capítulo se valida el cumplimiento de la metodológica DFMA Diseño para fabricación y ensamble, en el diseño propuesto del autómatas del mago y su asistente, se consideran aspectos que la guía establece y el enfoque que se utilizó en materializar y fabricar el sistema mecánico. En consecuencia se desarrolla una tabla que resume todos los aspectos tenidos en cuenta en la generación del proyecto.

Tabla 17: Criterios de cumplimiento guía DFMA en el diseño del autómatas.

METODO	PROCEDIMIENTO
1. Implicaciones en el diseño al emplear la metodología DFMA	<p>Al utilizar la guía metodológica DFMA en el diseño y fabricación del autómatas en madera se logra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se consideran recortes de madera MDF de espesor 5mm. • Se establecen piezas de fácil producción en corte láser. • Se reducen las limitaciones de piezas de difícil diseño y fabricación, no se crean elementos particulares se unifican en objetos que se repiten para obtener un ensamblaje más eficiente. • se consideran aspectos funcionales y de diseño en el autómatas para simplificar y facilitar su fabricación. • Se validan aspectos de geometrías de las piezas y modularidad.
2. Ingeniería concurrente	<p>La Fabricación de autómatas en madera se restringe en la utilización de herramientas modernas en este caso el uso de corte láser, con la finalidad de facilitar la elaboración de estos elementos y el objetivo principal es la reutilización de recortes de madera, sobrantes de la actividad comercial de la empresa Tablecortes S.A.S.</p>
3. Desarrollo del producto	<p>Se caracteriza un diagrama de momentos del sistema mecánico, conocido como autómatas en madera, se valida la programación mecánica, manteniendo el concepto del diseño preliminar, se establece una nomenclatura para el análisis de los movimientos generados por los mecanismos individuales y realizados por los personajes y objetos en la escenografía.</p>
3.1 Definición del producto	<p>El producto es altamente comercializable no se encuentra una producción formal de este tipo de elementos a nivel nacional, la capacidad de elaboración es a pedido no hay documentación técnica de la elaboración de este tipo de elementos.</p>
3.2 Concepto	<ul style="list-style-type: none"> • Se crea un diseño inicial que cumpla con la programación mecánica, que los movimientos sean coordinados y la dinámica del sistema permita emitir un mensaje que capte la atención de los usuarios. • Se estudia los autómatas fabricados de manera artesanal se revisan documentos y sitios web. • Se establece una simbología para simplificar el análisis de movimientos. • Se desarrollan simulaciones de mecanismos ya fabricados. • Se realizan mejoras sustanciales en tiempos de diseño y fabricación • El diseño se apoya en el software CAD (SolidWorks) para generar geometrías de las piezas de forma rápida y eficiente de los sistemas mecánicos. • Se emplean variantes en el montaje para agilizar la elaboración del objeto. • Se garantiza que los mecanismos estarán unidos a un eje en común para facilitar el ensamblaje
3.3 Diseño de materialización	<p>En el diseño de materialización se creó un matriz de selección que permite validar uno criterios limitadores en tres propuestas para fabricación de un autómatas, se designa un sistema para describir cualquier autómatas y poder realizar un análisis detallado y</p>

METODO	PROCEDIMIENTO
	caracterizar los movimientos en los personajes y objetos con el fin de simplificar su elaboración, la utilización de MDF reduce los sobrantes de los recortes de madera de la empresa Tablecortes S.A.S, como una forma de contribuir con el cuidado del medio ambiente,
3.4 Etapa diseño de detalle	Se establece unas herramientas para generar los mecanismos individuales de forma rápida y sencilla, el autómatas se diseña en el software de diseño SolidWorks para que cumpla con los requerimientos funcionales, se documenta los aspectos esenciales para generar un diseño y fabricación formalizada y técnica de este tipo de elementos, se consideran aspectos geométricos y temas cinemáticos no se consideran esfuerzos ni deformaciones en el material debido a que el material es MDF y las fuerzas que interviene en el mecanismo son mínimas.
4. Arquitectura de producto y modularidad	Para el diseño se emplean los conocimientos adquiridos por los artesanos en la construcción de autómatas en madera reutilizando ideas novedosas que se pueden replicar de manera más eficiente para diseñar y fabricar un autómatas, Todas las piezas tienen un espesor de 5mm para producir a escala todos los componentes, utilizando el corte láser, se crea una arista de 5mm en las piezas con el objetivo de generar uniones precisas sin desajustes entre componentes y facilitar sustancialmente el proceso de ensamble.
5.Fabricación	Se crean componentes con simetría, piezas que facilitan su ensamblaje, se utilizan subsistemas para ordenar las piezas y generar sub ensamblajes que permiten identificar los elementos que hacen parte del autómatas en madera. Se utilizan componentes del mercado en este caso particular los ejes en madera de cedro, son comercializados por varias empresas con el objetivo de emplear cedro redondo de 4.5 mm y de 8 mm para unificar todos los ejes del autómatas en el diseño de SolidWorks para reducir los tiempos en la fabricación y ensamble. Para originar un cambio decisivo en la fabricación y ensamble se reduce las labores destinadas y confiadas a la habilidad humana todos los componentes se conciben para utilización de técnicas modernas de fabricación y cuentan con elementos que sobresalen que simplifican el ensamblaje.
6. Montaje	Se integran los sistemas de movimiento del autómatas de madera en un ensamblaje definitivo, las piezas se diseñaron con el objetivo de disminuir su complejidad, se limita la dirección del montaje se crean ejes que soportara los mecanismos generadores de movimiento y se transfiere de manera organizada los movimientos a los personajes o elementos de escenografía. El ensamblaje cumple con varios criterios y especificaciones que le permiten al usuario generar el montaje del autómatas de manera práctica.

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

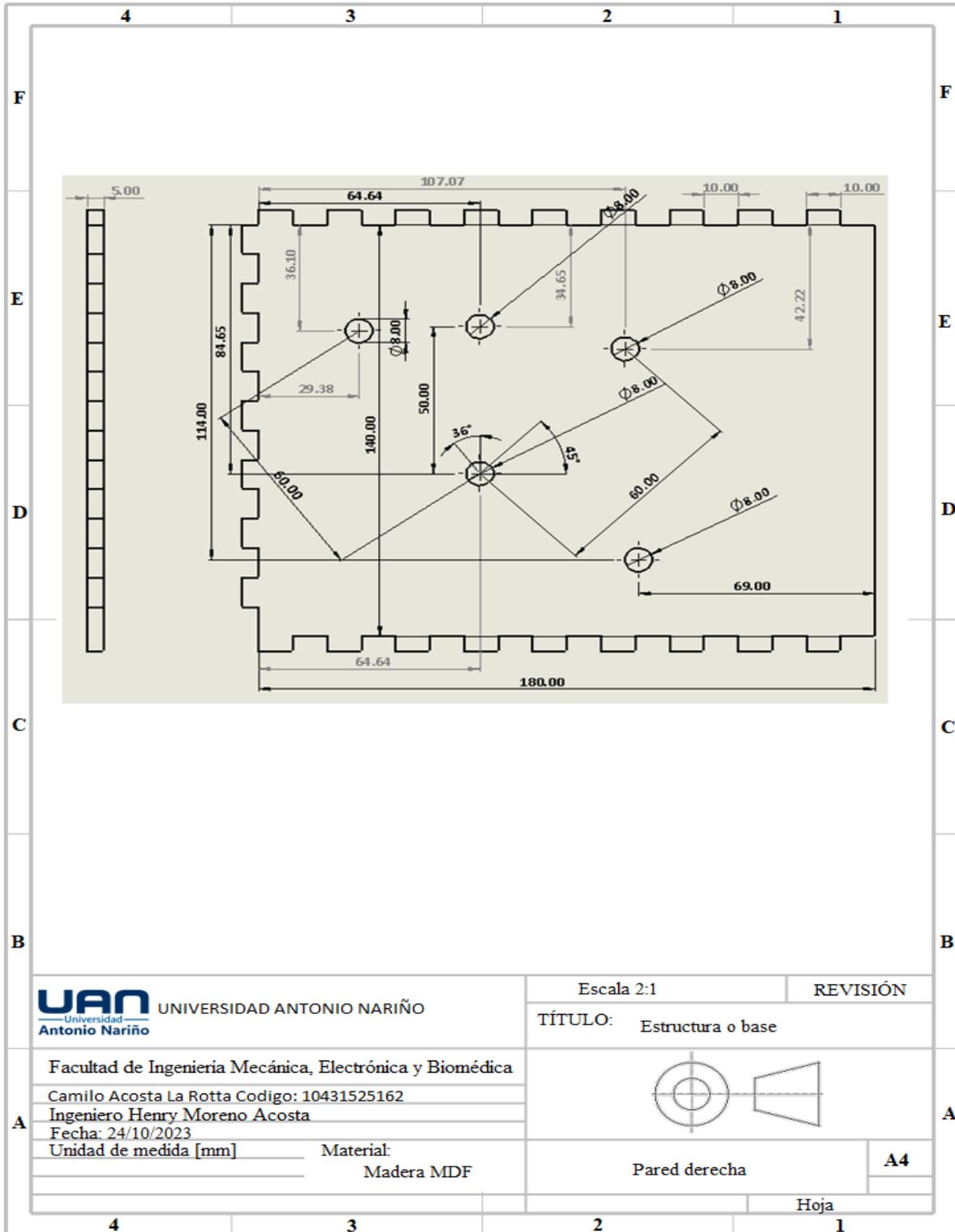
- Se establece una nomenclatura para analizar los movimientos de los denominados autómatas en madera en las redes sociales como Pinterest o YouTube.
- Para facilitar el análisis de los movimientos de los personajes y objetos del autómata en madera se crea una simbología para distinguir el tipo de movimiento y identificar el elemento o personaje que está realizando un cambio de posición.
- En el desarrollo del proyecto se enfatiza en cuatro mecanismos para generar los movimientos de salida en los personajes y objetos, los cuales son: Leva seguidor, biela manivela, engrane y mecanismo de cuatro barras, debido a que son mecanismos muy útiles para crear un movimiento según las especificaciones del diseño en el autómata.
- Se realiza un análisis cinemático de los mecanismos que participan en la dinámica del sistema, se plantean ecuaciones donde se valida el cambio de posición, por consiguiente, se evalúan desplazamientos lineales o angulares y las dimensiones del mecanismo, no se calculan velocidades ni aceleraciones porque son funciones que varían según la intervención del usuario en el elemento de entrada en este caso particular la manivela.
- Se diseña un autómata con la utilización del software de diseño SolidWorks 2022 que cumple con los requerimientos establecidos en los objetivos del documento, como parámetro inicial cuenta con seis movimientos de salida en los personajes y objetos con la finalidad de emitir un mensaje coherente a los observadores y se replica el autómata numero 2 titulado “The Magician And His Assistant” para presentar un sistema organizado de diseño y fabricación de este tipo de objetos.
- Se establece una propuesta inicial para diseñar mecanismos didácticos para la empresa Tablecortes S.A.S con la implementación de la guía metodológica DFMA “Diseño para fabricación y ensamblaje”.
- Al crear procesos organizados o modulares en la fabricación del mecanismo didáctico, se obtuvieron pautas para simplificar el diseño, facilitar la fabricación, reducir sustancialmente los tiempos y costos en la creación del sistema mecánico, considerando varios aspectos formalizados en la guía metodológica DFMA.

- Se crean las piezas con geometrías sencillas y convenientes, que cumplan unos criterios para facilitar la fabricación y el ensamblaje, se diseñan con un espesor de 5 mm para generar todos los componentes en dos dimensiones y corte láser.
- Al diseñar las piezas que componen el autómatas de madera se ideó una superficie saliente o arista que permite el ensamblaje entre elementos, reduciendo tiempos en la fabricación y no requiere personal calificado.
- En el documento se consideraron varios aspectos para generar los mecanismos de forma pertinente que cumplan con las funciones específicas del diseño y que el usuario o persona sin conocimientos en el área de la ingeniería pueda replicar a partir de aplicativos o software.
- Mediante la guía metodológica DFMA diseño para fabricación y ensamblaje se logró definir los procesos de fabricación, ensamble y puesta en funcionamiento del mecanismo didáctico y fue posible documentar un procedimiento para sistematizar y organizar todos los temas técnicos concernientes desde etapas preliminares de diseño y ensamble hasta la obtención del autómatas en madera.
- El software SolidWorks 2022 permitió obtener y simular el diseño definitivo y realizar varias modificaciones en el archivo debido a la dificultad de obtención de piezas con geometrías únicas o particulares para fabricación en corte láser y además proporciona herramientas de múltiples aplicaciones para generar el sistema mecánico y posibilita realizar mejoras y cambios requeridos en el autómatas en madera.

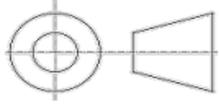
BIBLIOGRAFÍA

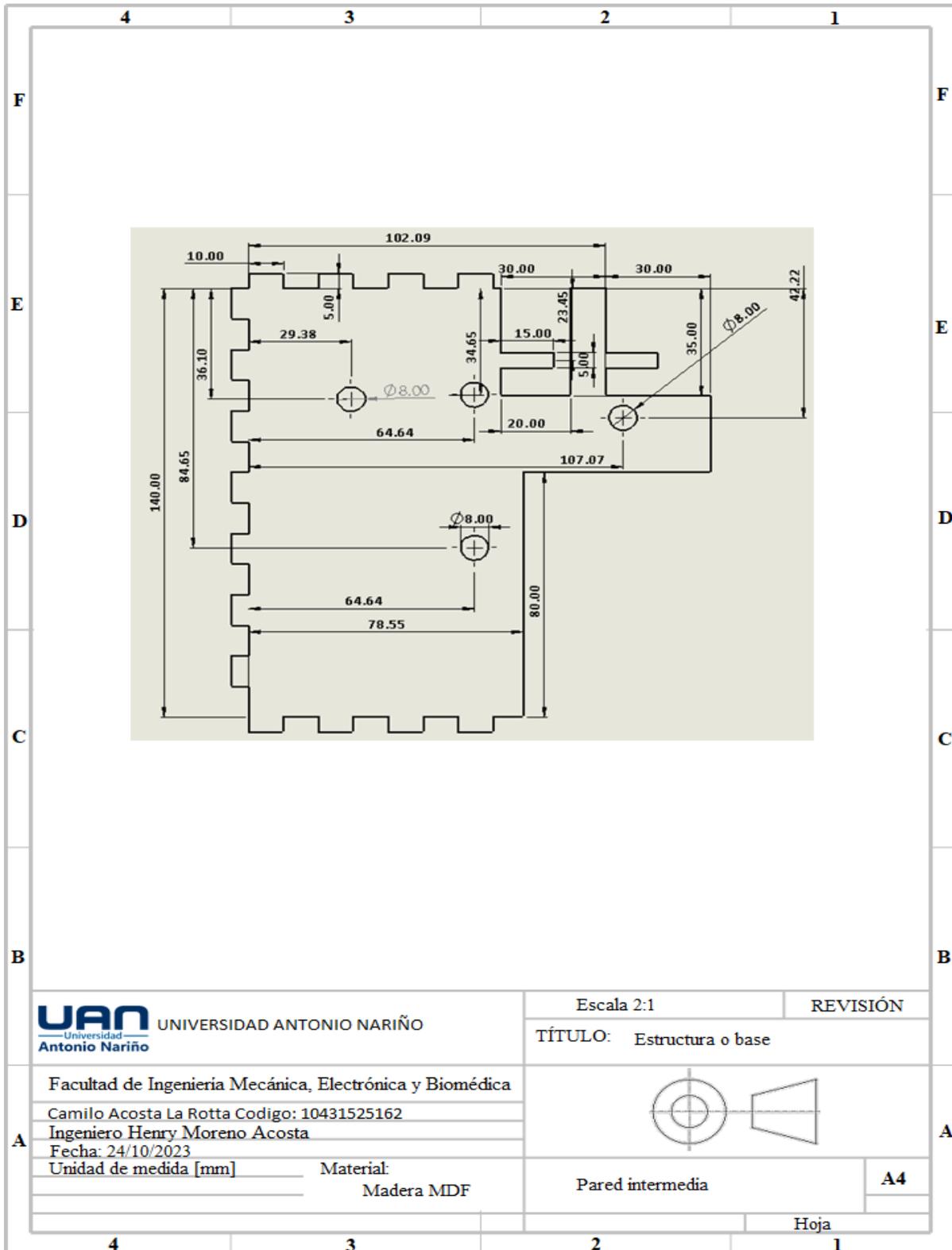
- [1] Fundación prodintec., «DFMA - Design for manufacturing and assembly,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.prodintec.es/es/>. [Último acceso: 11 8 2023].
- [2] P. Lowndes, «Contemporary automata,» [En línea]. Available: <https://www.lowbot.co.uk/page1/page-5/>. [Último acceso: 16 Septiembre 2023].
- [3] C. Schiller, «Automata Wood Whimsy Wonder,» 2023. [En línea]. Available: <https://cecilienschiller.com/product/rowing-across-the-big-lake/>. [Último acceso: 16 Septiembre 2023].
- [4] Alejandro, «SANTANA,» [En línea]. Available: <https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>. [Último acceso: 11 10 2023].
- [5] R. L. Norton, Diseño de maquinaria, México, D.F.: McGraw-Hill, 2009.
- [6] Cejarosu, «MecanESO,» 2005. [En línea]. Available: <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/index.htm>. [Último acceso: 16 Septiembre 2023].
- [7] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: Pearson educación, 2006.
- [8] K. Yang, y S. Basem, «“Design for X.” Chap. 10 in Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.,» 15 9 2023. [En línea]. Available: <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.uan.edu.co/content/book/9780071547673/chapter/chapter10>.

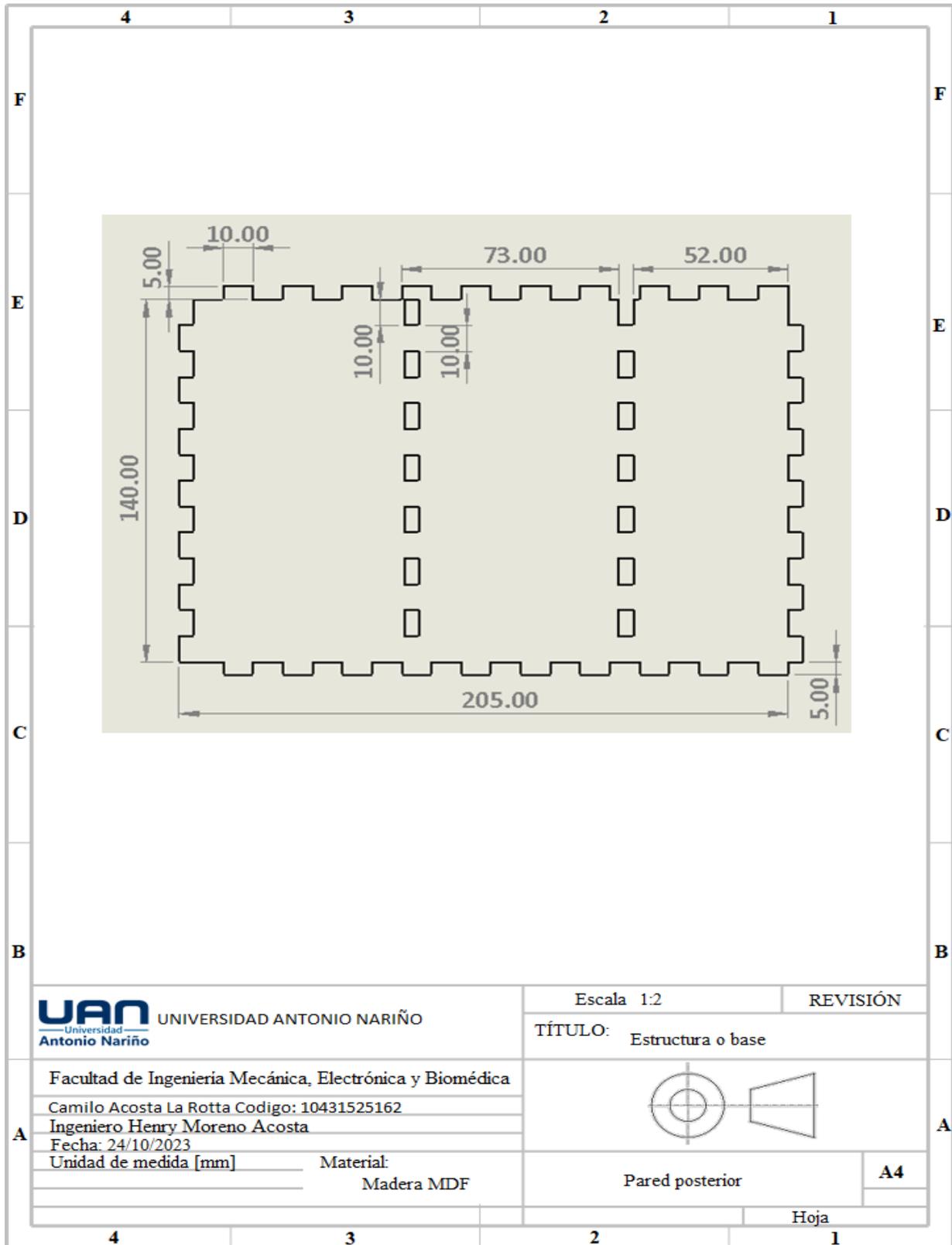
ANEXOS



UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
 Universidad Antonio Nariño
 Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
 Camilo Acosta La Rotta Código: 10431525162
 Ingeniero Henry Moreno Acosta
 Fecha: 24/10/2023
 Unidad de medida [mm] Material:
 Madera MDF

Escala 2:1 REVISIÓN
 TÍTULO: Estructura o base

 Pared derecha **A4**
 Hoja





UAN
Universidad
Antonio Nariño

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Escala 1:2

REVISIÓN

TÍTULO: Estructura o base

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Camilo Acosta La Rotta Código: 10431525162

Ingeniero Henry Moreno Acosta

Fecha: 24/10/2023

Unidad de medida [mm]

Material:

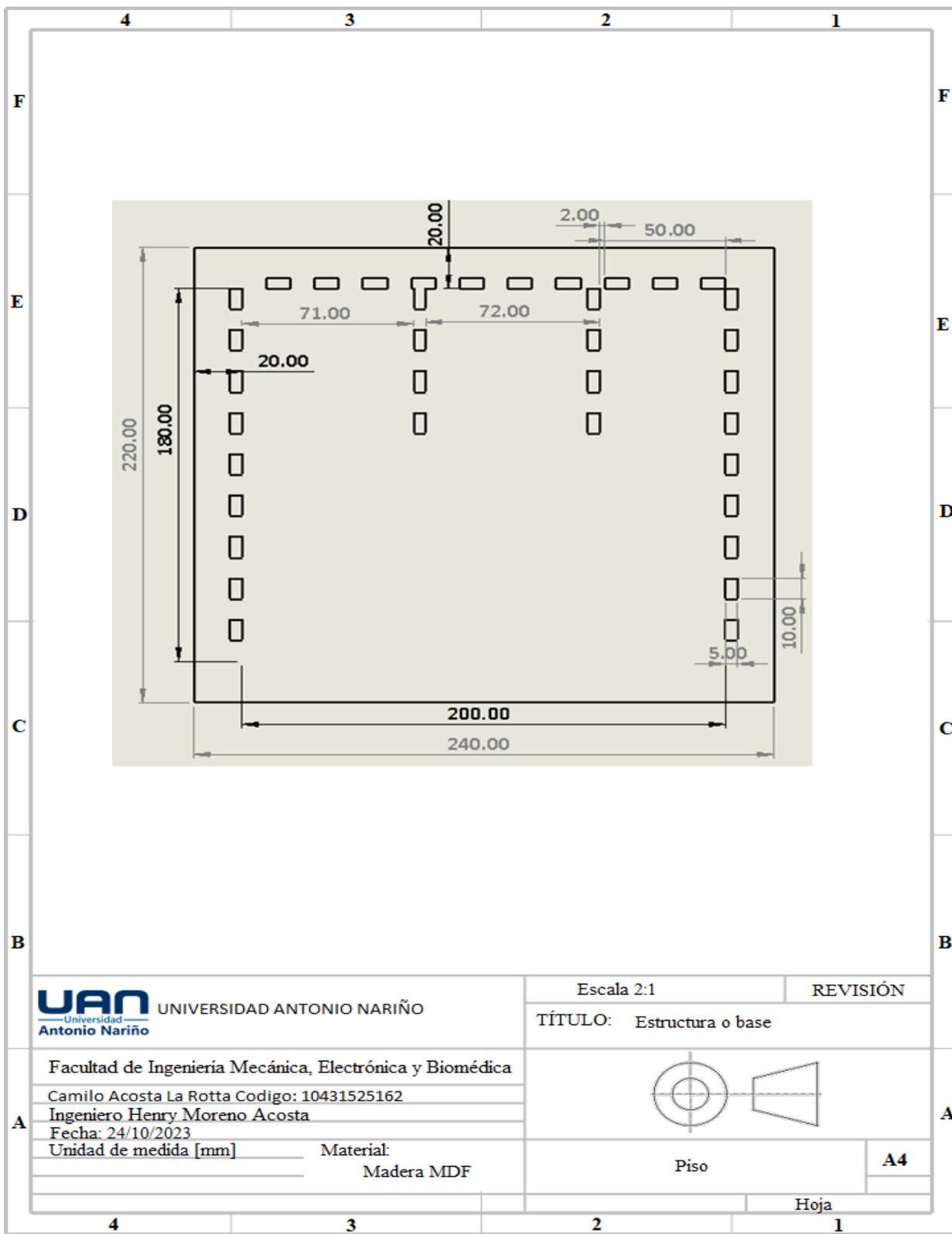
Madera MDF



Pared posterior

A4

Hoja



UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
 Universidad Antonio Nariño

Escala 2:1

REVISIÓN

TÍTULO: Estructura o base

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Camilo Acosta La Rotta Código: 10431525162

Ingeniero Henry Moreno Acosta

Fecha: 24/10/2023

Unidad de medida [mm]

Material:

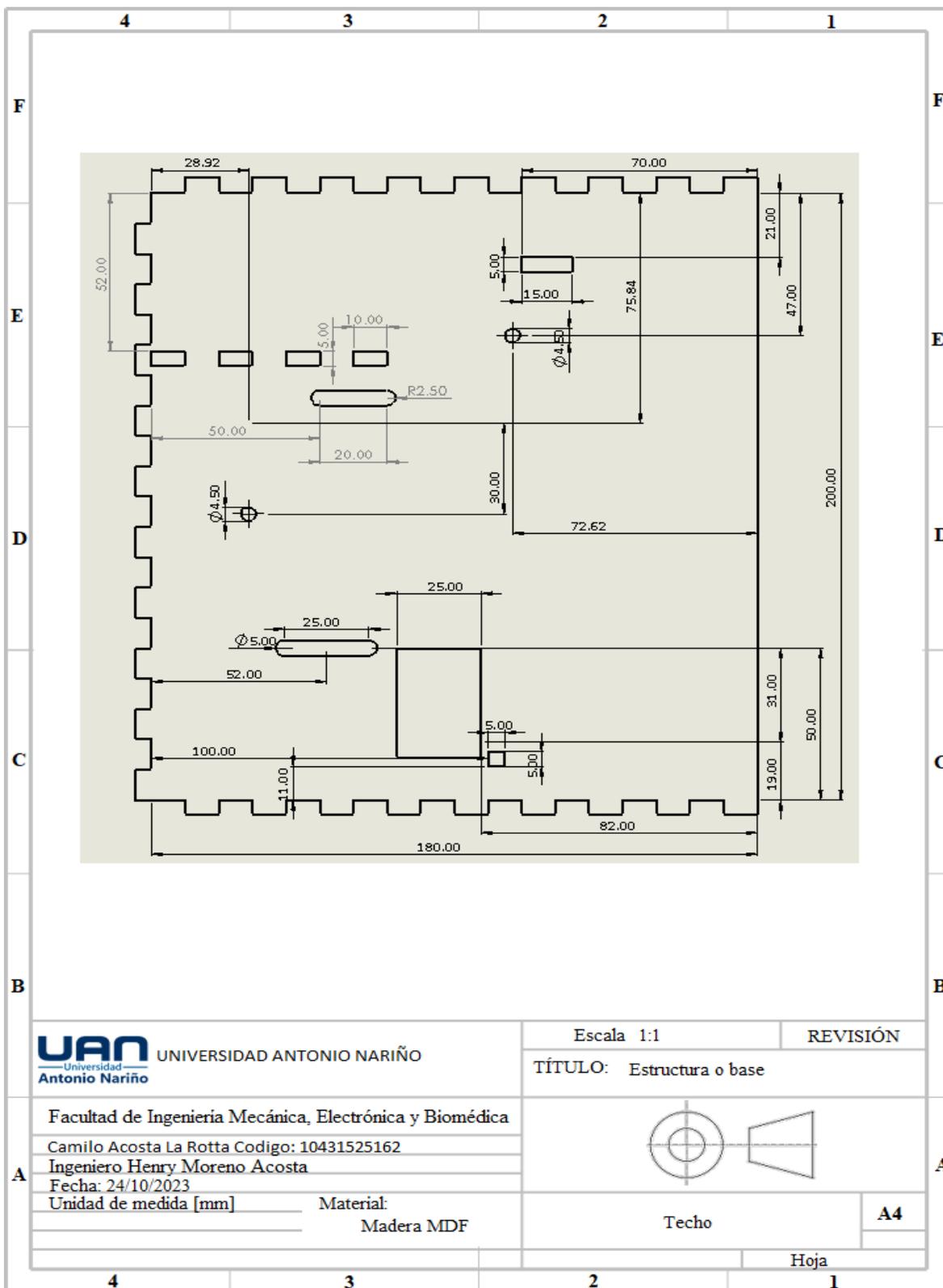
Madera MDF



Piso

A4

Hoja

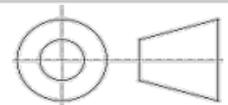


UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
 —Universidad—
 Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
 Camilo Acosta La Rotta Código: 10431525162
 Ingeniero Henry Moreno Acosta
 Fecha: 24/10/2023
 Unidad de medida [mm] Material:
 Madera MDF

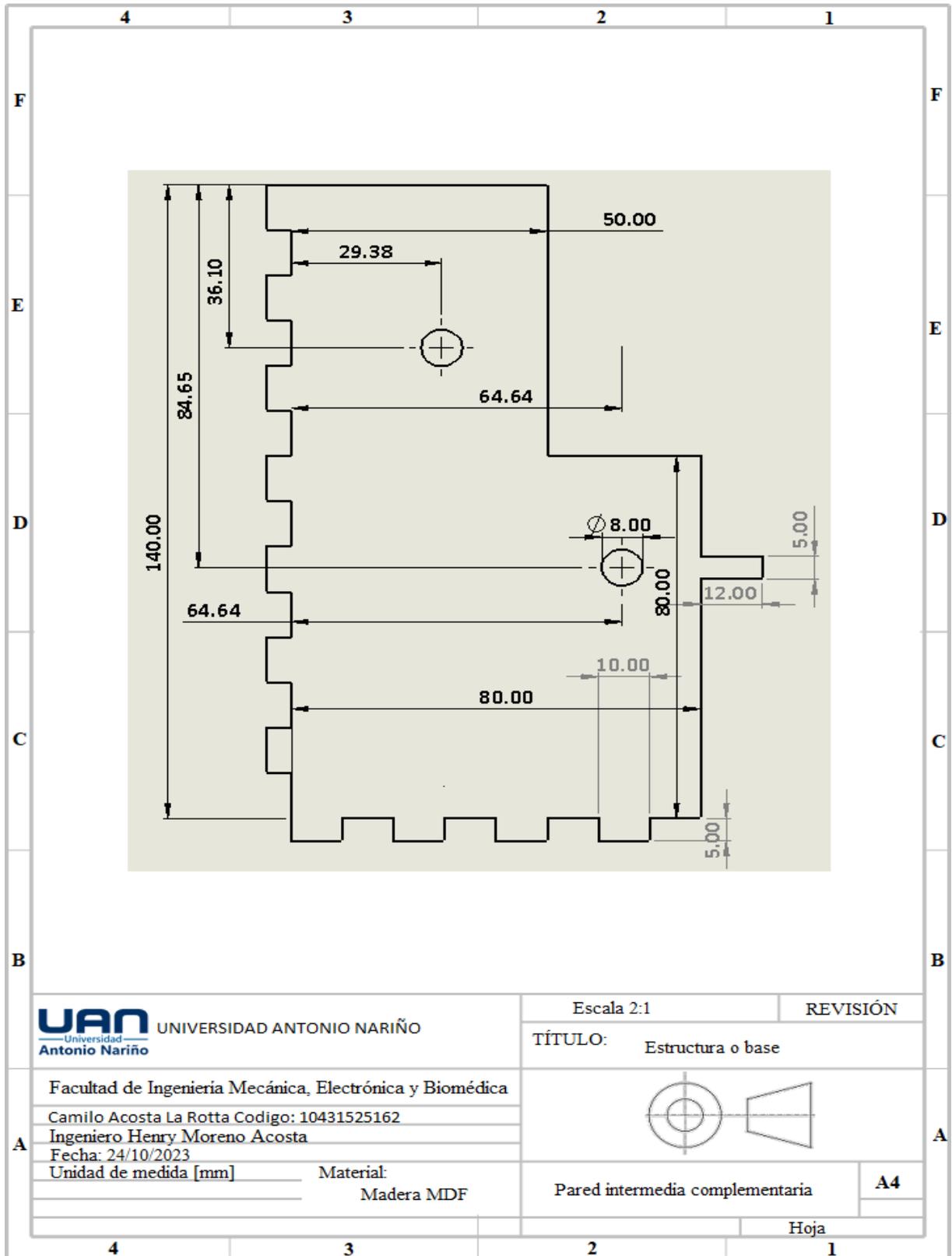
Escala 1:1 REVISIÓN

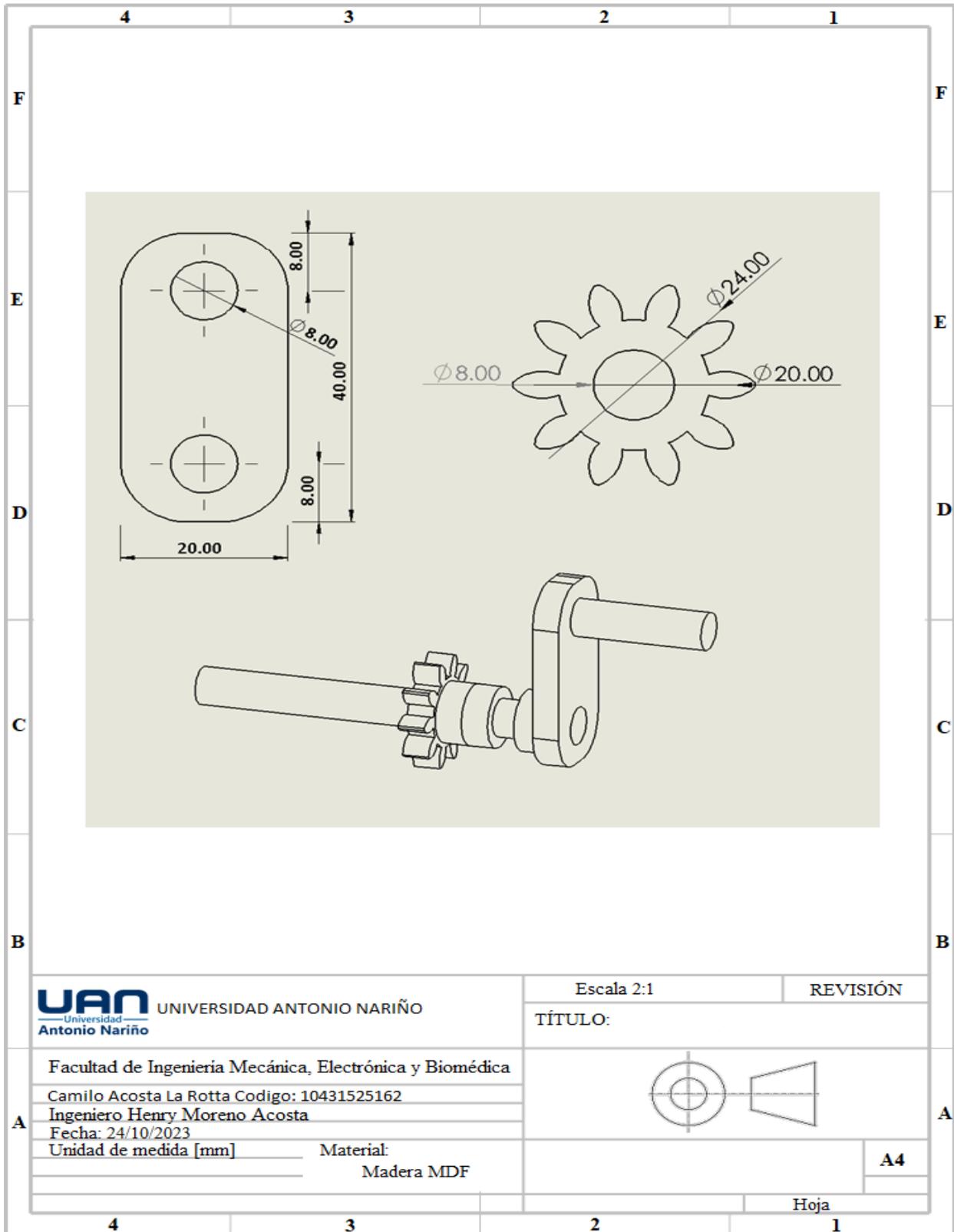
TÍTULO: Estructura o base



Techo **A4**

Hoja





UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
 Universidad Antonio Nariño

Escala 2:1

REVISIÓN

TÍTULO:

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Camilo Acosta La Rotta Codigo: 10431525162

Ingeniero Henry Moreno Acosta

Fecha: 24/10/2023

Unidad de medida [mm]

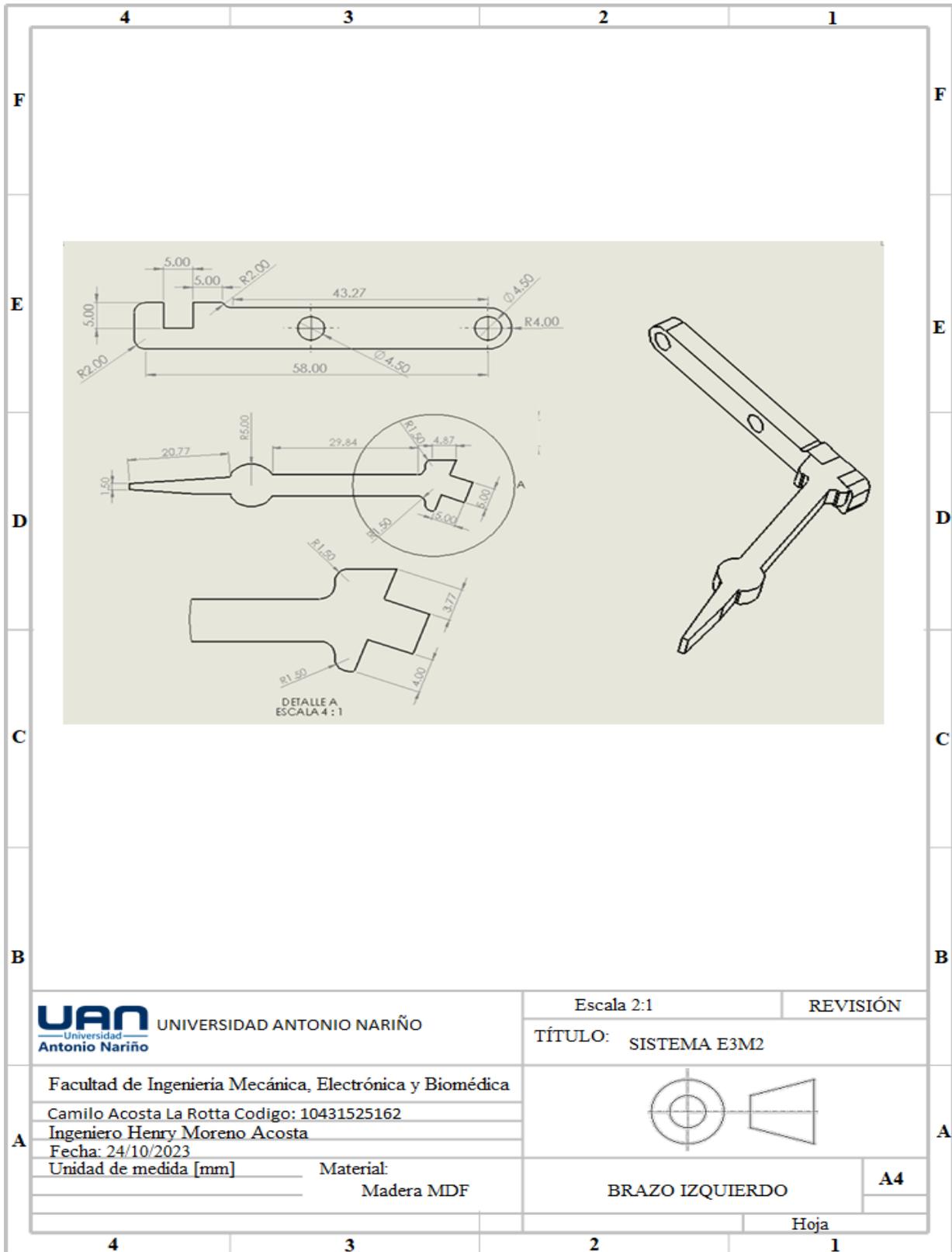
Material:

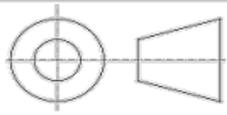
Madera MDF

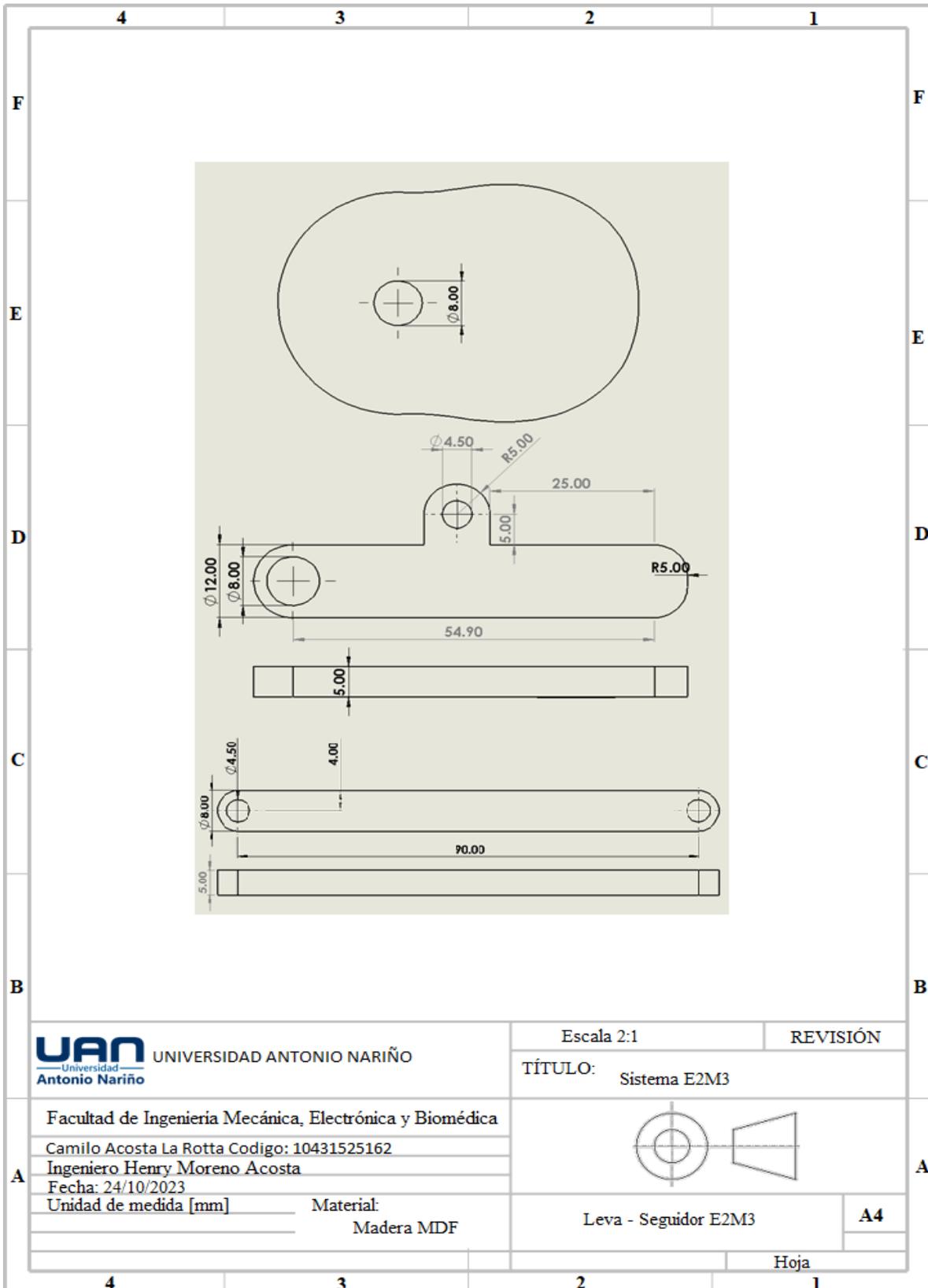


A4

Hoja



 UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Camilo Acosta La Rotta Codigo: 10431525162 Ingeniero Henry Moreno Acosta Fecha: 24/10/2023 Unidad de medida [mm]		Escala 2:1	REVISIÓN
		TÍTULO: SISTEMA E3M2	
Material: Madera MDF			
		Hoja	



UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
 Universidad Antonio Nariño

Escala 2:1

REVISIÓN

TÍTULO: Sistema E2M3

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Camilo Acosta La Rotta Código: 10431525162

Ingeniero Henry Moreno Acosta

Fecha: 24/10/2023

Unidad de medida [mm]

Material:

Madera MDF



Leva - Seguidor E2M3

A4

Hoja