

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño e implementación de un mecanismo de carga y liberación para un manipulador de alta velocidad bio-inspirado**

Trabajo de graduación presentado por Robbin Woods Rodriguez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño e implementación de un mecanismo de carga y  
liberación para un manipulador de alta velocidad  
bio-inspirado**

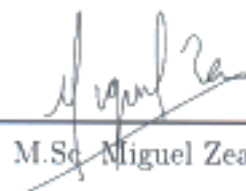
Trabajo de graduación presentado por Robbin Woods Rodriguez para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020



Vo.Bo.:

(f)   
M.Sc. Miguel Zea

Tribunal Examinador:

(f)   
M.Sc. Miguel Zea

(f)   
Dr. Luis Alberto Rivera

(f)   
M.Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 12 de Marzo de 2020.



Agradezco a Dios primeramente, por proveer los recursos que fueron necesarios para la realización de esta investigación, ya que sin Él, nada de esto hubiera sido posible.

Agradezco también a mis padres, Robbin Woods Fuentes y Fabiola Julieta Rodriguez Rivas por el esfuerzo realizado durante todo el tiempo que tomaron mis estudios, el tiempo, los recursos y el cariño mostrado a lo largo de los cinco años. A mi hermano Dereck Woods Rodriguez, por su apoyo y compañía.

Finalmente agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala y al Departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica por permitirme hacer uso de sus instalaciones y equipo para realizar esta investigación, así como a sus catedráticos por compartir su conocimiento y estar siempre dispuestos a enseñar.



<b>Prefacio</b>	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumen</b>	<b>xv</b>
<b>Abstract</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>5</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>7</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	7
4.2. Objetivos específicos . . . . .	7
<b>5. Alcance</b>	<b>9</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>11</b>
6.1. Transmisión de movimiento . . . . .	11
6.1.1. Transmisión hidrodinámica . . . . .	11
6.1.2. Transmisión hidrostática . . . . .	11
6.1.3. Transmisión mecánica . . . . .	12
6.2. Elementos de transmisión mecánica . . . . .	12
6.2.1. Engranés . . . . .	12
6.2.2. Rueda de fricción . . . . .	13
6.2.3. Bandas y poleas . . . . .	13
6.2.4. Rueda libre . . . . .	14
6.2.5. Mecanismo de trinquete . . . . .	14
6.3. Desacople de ejes . . . . .	15

6.3.1. Embragues . . . . .	15
6.4. Resortes . . . . .	15
6.5. Resistencia de materiales . . . . .	17
6.6. Fuerzas exteriores . . . . .	17
6.6.1. Propiedades mecánicas . . . . .	18
6.7. Herramientas CAD/CAM . . . . .	18
<b>7. Diseño y manufactura</b>	<b>19</b>
7.1. Propuestas carga . . . . .	19
7.1.1. Únicamente eje . . . . .	20
7.1.2. Dientes . . . . .	20
7.1.3. Variante mecanismo de Ginebra . . . . .	20
7.2. Traslación del motor . . . . .	21
7.2.1. Sistema de poleas internas . . . . .	21
7.2.2. Guías . . . . .	22
7.2.3. Otra propuesta de poleas . . . . .	25
7.3. Mecanismo de liberación . . . . .	26
7.3.1. Variación mecanismo trinquete . . . . .	26
7.4. Iteraciones . . . . .	27
7.4.1. Eje dentado . . . . .	27
7.4.2. Pin de liberación . . . . .	27
7.5. Tapadera del aro . . . . .	28
7.6. Mecanismo final . . . . .	28
7.7. Diseño del manipulador . . . . .	29
7.7.1. Manufactura en MDF . . . . .	29
7.7.2. Manufactura en impresión 3D . . . . .	30
7.7.3. Geometrías de la garra . . . . .	30
7.7.4. Materiales utilizados . . . . .	32
<b>8. Pruebas, validación y resultados</b>	<b>33</b>
8.1. Validación del mecanismo . . . . .	33
8.2. Plataformas de pruebas . . . . .	34
8.2.1. Plataforma de pruebas 1 . . . . .	34
8.2.2. Plataforma de pruebas 2 . . . . .	34
8.2.3. Plataforma de pruebas 3 . . . . .	35
8.3. Circuitería . . . . .	36
8.4. Software . . . . .	37
8.5. Validación . . . . .	38
8.5.1. Análisis realizado . . . . .	38
8.6. Resultados . . . . .	41
8.6.1. Valores máximos . . . . .	41
8.6.2. Desviación estándar . . . . .	42
8.6.3. Tiempos . . . . .	44
8.7. Éxito . . . . .	45
<b>9. Conclusiones</b>	<b>47</b>
<b>10.Recomendaciones</b>	<b>49</b>

<b>11. Bibliografía</b>	<b>51</b>
<b>12. Anexos</b>	<b>53</b>
12.1. Propiedades de los materiales . . . . .	53
12.2. Tablas de resultados . . . . .	54
12.3. Gráficas de resultados . . . . .	56
12.3.1. MDF sin cojinete . . . . .	56
12.3.2. MDF con cojinete . . . . .	57
12.3.3. PLA 3mm . . . . .	57
12.3.4. PLA 2mm . . . . .	58
12.4. Programa de arduino . . . . .	59
12.5. Planos . . . . .	60
<b>13. Glosario</b>	<b>73</b>



---

## Lista de figuras

---

1.	Prototipo recibido . . . . .	4
2.	Porcentaje de éxito . . . . .	4
3.	Transmisión de potencia por engranes . . . . .	12
4.	Transmisión de potencia por rueda de fricción . . . . .	13
5.	Correa dentada . . . . .	13
6.	Transmisión de potencia por rueda libre . . . . .	14
7.	Transmisión de potencia por medio de trinquete . . . . .	14
8.	Embrague de tambor de acción centrífuga con zapatas internas expansibles . .	15
9.	Ley de Hooke . . . . .	16
10.	Cargas estática uniforme . . . . .	17
11.	Mecanismo con dientes . . . . .	20
12.	Variante Mecanismo de Ginebra propuesto . . . . .	20
13.	Mecanismo de Ginebra . . . . .	21
14.	Prueba con poleas . . . . .	22
15.	Pin guía propuesto . . . . .	22
16.	Prototipo con pines guía . . . . .	23
17.	Transformación de torque a tensión . . . . .	24
18.	Representación de eslabones . . . . .	25
19.	Sistema de poleas externas . . . . .	25
20.	Comparación distintas iteraciones . . . . .	26
21.	Comparación distintas iteraciones . . . . .	27
22.	Mecanismo final . . . . .	28
23.	Diseño 1 del manipulador . . . . .	29
24.	Manipulador en MDF . . . . .	29
25.	Comparación distintas iteraciones . . . . .	30
26.	Diseño 2 del manipulador . . . . .	30
27.	Distintas geometrías de la garra . . . . .	31
28.	Prueba mecanismo de liberación . . . . .	33
29.	Plataforma de pruebas No. 1 . . . . .	34
30.	Plataforma de pruebas 2 . . . . .	35

31.	Mecanismo interno plataforma de pruebas 2 . . . . .	35
32.	Tercera plataforma de pruebas . . . . .	36
33.	Circuito utilizado . . . . .	36
34.	Diagrama de flujo . . . . .	37
35.	Ubicaciones analizadas . . . . .	38
36.	Gráfica de la distancia recorrida por un punto del manipulador . . . . .	39
37.	Velocidad experimentada por el manipulador durante su funcionamiento . . .	39
38.	Aceleración experimentada por el manipulador durante su funcionamiento . .	40
39.	MDF sin cojinete . . . . .	56
40.	MDF con cojinete . . . . .	57
41.	PLA 3mm . . . . .	57
42.	PLA 2mm . . . . .	58

---

## Lista de cuadros

---

1.	Parámetros Denavit-Hartenberg prototipo recibido . . . . .	4
2.	Comparación de distancia recorrida por cada manipulador . . . . .	41
3.	Comparación de velocidad experimentada por cada manipulador . . . . .	41
4.	Comparación de aceleración experimentada por cada manipulador . . . . .	42
5.	Desviación estándar de la distancia recorrida por cada manipulador . . . . .	42
6.	Desviación estándar de la velocidad experimentada por cada manipulador . . . . .	43
7.	Desviación estándar de la aceleración experimentada por cada manipulador . . . . .	43
8.	Tiempos de operación por manipulador . . . . .	44
9.	Porcentajes de éxito por manipulador . . . . .	45
10.	Propiedades mecánicas de los materiales utilizados . . . . .	53
11.	Pesos de los manipuladores utilizados . . . . .	53
12.	Desviación estándar de la distancia recorrida por los manipuladores . . . . .	54
13.	Desviación estándar de la velocidad máxima alcanzada por los manipuladores . . . . .	54
14.	Desviación estándar de la aceleración máxima alcanzada por los manipuladores . . . . .	54
15.	Relación de la distancia recorrida de los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	55
16.	Relación de la velocidad máxima experimentada por los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	55
17.	Relación de la aceleración máxima experimentada por los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	55
18.	Cambio de la distancia recorrida por los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	55
19.	Cambio de la velocidad máxima alcanzada por los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	55
20.	Cambio de la aceleración máxima alcanzada por los manipuladores respecto al prototipo recibido . . . . .	56



El objetivo de esta investigación es diseñar e implementar un mecanismo que permita la carga de un manipulador bio-inspirado, así como un mecanismo que permita su liberación. Este trabajo exhibe el proceso de caracterización de un brazo bio-inspirado en la Mantis religiosa.

Este trabajo se divide en una parte teórica donde se investigaron mecanismos ya existentes, para luego realizar un proceso iterativo de diseño de mecanismos de carga y liberación de los cuales se realizaron mediciones sobre su funcionamiento, para finalmente proponer un diseño que se acople a lo investigado anteriormente..

Se concluyó que es posible la implementación del mecanismo de carga y liberación propuesto, así como una nueva geometría para el manipulador, la cual afecta el desempeño del mismo en función de el peso, el material y los componentes mecánicos que se utilicen, obteniendo en el mejor de los casos, una velocidad máxima alcanzada de 1.28 m/s y una aceleración máxima de 10.59 m/s<sup>2</sup>.



The objective of this research is to design and implement a mechanism that allows the loading of a bio-inspired gls manipulator, as well as a mechanism that allows its release. This work exhibits the process of characterization of a bio-inspired arm in the Praying Mantis.

This work is divided into a theoretical part where existing mechanisms were investigated, to then carry out an iterative process of design of loading and releasing mechanisms of which measurements were made on their operation, to finally propose a design that matches what was investigated previously..

It was concluded that the implementation of the proposed loading and releasing mechanism is possible, as well as a new geometry for the manipulator, which affects its performance based on the weight, material and mechanical components used, obtaining in the better, a maximum speed reached of 1.28 m/s and a maximum acceleration of 10.59 m/s<sup>2</sup>.



Esta investigación es la continuación del trabajo realizado por Delbert Custodio en su tesis de Licenciatura *Diseño e implementación de prototipo bio-inspirado en la especie *Mantis religiosa* de liberación rápida para tareas de manipulación*[1], cuyo enfoque es realizar una nueva propuesta de manipulador que utilice elementos que almacenen energía en forma de potencial elástica. El enfoque de este trabajo será principalmente el diseño mecánico, apoyado por herramientas CAD, de una propuesta sobre un mecanismo que permita la transmisión de potencia mecánica a través de un motor electro-mecánico, pero a su vez que permita la independencia entre el eje de salida y el eje de entrada. Asimismo, se utilizarán herramientas CAM para la manufactura de los diseños, para luego realizar pruebas con el fin medir el efecto que causa la implementación de estos cambios al manipulador propuesto anteriormente por Custodio[1], mediante mediciones acerca de la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración experimentada por los distintos manipuladores, así como el porcentaje de éxito y el tiempo de operación de los mismos.



Este trabajo se encuentra bajo el marco de investigación sobre Robótica bio-inspirada del Departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. Anteriormente se realizó una investigación sobre un diseño inspirado en las extremidades raptorales de la mantis religiosa por Custodio[1], de quien se recibió el diseño de un prototipo como resultado de su investigación. Este presenta muchos descubrimientos importantes y útiles para la continuación del desarrollo de un manipulador.

Debido al tipo de investigación, se realizaron múltiples iteraciones para lograr el objetivo deseado. De estas iteraciones se llegó a un modelo final el cual contiene 4 eslabones, con resortes en sus juntas en lugar de motores, un hilo que permite la carga de los resortes hasta una posición deseada, y luego un mecanismo de liberación, lo que permite imitar el movimiento de captura de la mantis.

La carga del mecanismo se realizaba mediante un servo motor de rotación continua Hi-Tec HS-645MG que se colocaba fuera del manipulador, el cual tensaba el hilo y movía al manipulador a una posición deseada.

Para la liberación del mecanismo se utilizaba un servomotor de alto torque Hi-Tec D950-TW que mantenía al manipulador en su lugar, luego se destensaba el hilo en su totalidad, para que al momento de la liberación no se luchará en contra de la inercia del motor, finalmente se removía el tope que mantenía al manipulador en su lugar, y los resortes regresaban a su posición inicial convirtiendo la energía potencial elástica almacenada en energía cinética.

Se realizó una plataforma de pruebas para que ambos mecanismos de carga y liberación funcionaran sobre la misma. También se incluyó un área sobre la cual podía colocarse un objeto y así obtener el porcentaje de éxito en el agarre del prototipo.

Respecto al consumo energético se realizaron mediciones de la potencia requerida para el accionamiento del mecanismo, la cual se obtuvo que estaba entre el rango de los 1 a 1.5 Watts, con una alimentación de 5V y un consumo de corriente de entre 300 a 350mA.

También se realizaron mediciones del tiempo que le toma al manipulador llegar desde su

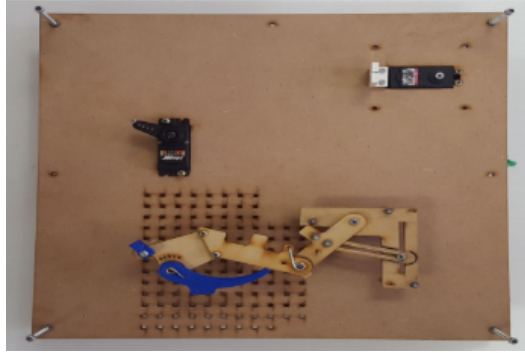


Figura 1: Prototipo recibido  
[1]

posición de carga hasta el momento de haber tomado el objeto. Se encontró que el tiempo promedio era de 90.5mS, que es aproximadamente 3 veces lo que le toma a la Mantis Religiosa accionar sus extremidades raptorales, que son entre 25mS y 37mS.

La matriz de Parámetros Denavit-Hartenberg obtenida del manipulador es la siguiente:

No. de Junta	$a_i$ (cm)	$\alpha_i$	$d_i$ (cm)	$\Theta_i$
1	5.0000	0	0	$q_1 + 140.3^\circ$
2	6.0642	0	0	$q_2 + 59.0^\circ$
Junta fija	2.8184	0	0	$90.5^\circ$
3	5.8202	0	0	$q_3 + 136.8^\circ$

Cuadro 1: Parámetros Denavit-Hartenberg prototipo recibido  
[1]

Por último se realizó un análisis estadístico sobre el porcentaje de éxito de captura del prototipo, en el cual se determinaron las distintas geometrías recomendables y se obtuvo un mapa probabilístico sobre el porcentaje de éxito utilizado las distintas posiciones que se observan en la plataforma de pruebas 1 que se observa en la siguiente figura.

0.000	0.000	0.000	0.375	0.450	0.325	0.400	0.550
0.000	0.000	0.000	0.300	0.550	0.500	0.325	0.375
0.000	0.000	0.000	0.575	0.475	0.500	0.325	0.225
0.000	0.000	0.000	0.025	0.400	0.475	0.600	0.425
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.175	0.575	0.375
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.225	0.375
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 2: Porcentaje de éxito

Los manipuladores robóticos se han convertido en componentes muy importantes en la mayoría de sistemas de manufactura automatizada. Su diseño y aplicaciones se basan en el modelado, análisis y programación de las posiciones del manipulador con la mayor precisión posible.[2]. El aporte de estos a la industria es amplio, mejorando aspectos como precisión y velocidad a los procesos que se realicen. Es por ello que se considera importante continuar con investigaciones para lograr mejoras y diseños especializados para distintas aplicaciones.

Ante esta necesidad de mejora, en la robótica nace una línea conocida como robótica bioinspirada, la cual toma ideas de la biología que puedan beneficiar el diseño de robots, debido a que los organismos biológicos han evolucionado para sobrevivir en un mundo caracterizado por sufrir rápidos cambios.[3].

Buscando una solución para tareas que requieran una manipulación rápida, y teniendo en cuenta que uno de los grandes desafíos ante los que se enfrenta cualquier rama de la ingeniería esta relacionado con el uso eficiente de recursos, se propone un manipulador inspirado en el insecto mantis religiosa. A pesar de que el manipulador propuesto hasta el momento logra imitar el movimiento de caza de las extremidades raptoriales de la mantis religiosa, debido a su forma actual, su operación no hace un uso eficiente de los recursos como el tiempo y la energía. Debido a esto, se desea proponer un mecanismo que, mediante el uso de elementos mecánicos como rodamientos y poleas, permita un aprovechamiento más eficiente de los recursos, manteniendo en la medida de lo posible el movimiento y funcionamiento que el manipulador posee actualmente.



### 4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un mecanismo de carga y liberación para el prototipo de un manipulador de alta velocidad bio-inspirado en las extremidades raptorales de la mantis religiosa que sea mecánica y energéticamente eficiente.

### 4.2. Objetivos específicos

- Implementar un mecanismo de carga para el manipulador.
- Implementar un mecanismo de liberación para el manipulador.
- Comparar distintos materiales a utilizar en el diseño del mecanismo
- Optimizar el diseño del prototipo planteado por Custodio (2019).



Esta es la segunda fase del desarrollo de un manipulador de alta velocidad basado en las extremidades raptoriales de la *Mantis Religiosa*. Lo que se busca es lograr que el prototipo no requiera una plataforma de pruebas para funcionar, sino que pueda funcionar independientemente de esta. Esto requiere realizar cambios tanto en la forma del manipulador como en los mecanismos de carga y liberación que se poseen actualmente.

Se desea crear un mecanismo que permita el desacople entre el eje que transmite la potencia del motor, con el eje de salida. Esto para eliminar la necesidad de tener que cargar el manipulador, luego mantener su posición de alguna forma mientras el motor de carga regresa a su posición, y finalmente liberar el manipulador para obtener el movimiento de captura, de esta forma el accionamiento del manipulador sería más rápido. De la misma forma se desea lograr que la cuerda que permite la carga pase por el manipulador, para disminuir el espacio que se necesita para su instalación y funcionamiento.

En este trabajo no se hará énfasis en el espacio que ocuparan dichos mecanismos, sino más bien en proponer una alternativa para un mejor manejo de los recursos. Tampoco se buscará que el manipulador sea capaz de trasladarse y tener distintas posiciones para capturar su objetivo. De la misma manera no es alcance de este trabajo buscar que la circuitería necesaria para el funcionamiento del mismo pueda adaptarse al manipulador.

Respecto al funcionamiento, se realizarán mediciones para encontrar la distancia, velocidad y aceleración máxima que alcance luego de implementar los mecanismos de carga y liberación. No nos enfocaremos en la trayectoria del manipulador.



### 6.1. Transmisión de movimiento

Para generar movimiento es necesario que los sistemas posean una planta de potencia que «produzca» la energía necesaria para generar tal movimiento. En algunos casos interesa que esta planta de potencia se ubique en una posición alejada del punto en donde se desea el movimiento. Pero incluso en el caso en el que una conexión directa no diera ningún problema geométrico o constructivo, no es recomendable soportar la masa de la planta de potencia sobre un eje.[4] Es por esta razón que se hace necesario la implementación de un sistema de transmisión de potencia.

A continuación se describirán de una manera muy general algunos de los sistemas de transmisión mas utilizados.

#### 6.1.1. Transmisión hidrodinámica

En este tipo de transmisión el motor se conecta a una bomba radial que impulsa un fluido, a alta velocidad, a una turbina. La salida de esta se conecta a una caja de cambios discretas. Debido a que no existe un acoplamiento rígido entre motor y caja de cambios, es posible que el motor se mantenga en funcionamiento aun cuando el vehículo este detenido.[4]

#### 6.1.2. Transmisión hidrostática

La transmisión hidrostática utiliza un fluido a alta presión y baja velocidad, el cual se conecta a una bomba volumétrica que impulsa el fluido a un motor hidráulico. Para desconectar la transmisión de potencia basta con abrir el retorno de la bomba.[4]

### 6.1.3. Transmisión mecánica

La transmisión mecánica utiliza mecanismos y dispositivos formados por la conexión de piezas rígidas. Una configuración muy habitual para este tipo de transmisión utiliza un motor el cual suministra la potencia, un embrague, y una caja de cambios y el eje de salida. [4]

## 6.2. Elementos de transmisión mecánica

### 6.2.1. Engranés

Las fuerzas transmitidas entre engranes acoplados suministran momentos torsionales a los ejes para transmisión de movimiento y potencia, además de crear fuerzas y momentos que afectan al eje y a sus cojinete. [5]

Son mecanismos usados para transmitir potencia mecánica entre dos componentes. Una de las principales ventajas que tienen al momento de transmitir la potencia es que no deslizan como las poleas, por lo que no hay pérdida de energía por fricción y se obtiene exactitud en la relación de la transmisión. Debido a esto si la velocidad angular aumenta, el par torsión transmitido disminuye.

Las ecuaciones que describe la relación entre las velocidades angulares y torques transmitidos a través de un par de engranes rectos son las siguientes:

$$\omega_1 * Z_1 = \omega_2 * Z_2 \quad (1)$$

$$\tau_1 * Z_1 = \tau_2 * Z_2 \quad (2)$$

En donde:

$Z$  = numero de dientes del engrane

$\omega$  = Velocidad angular

$\tau$  = Par torsional

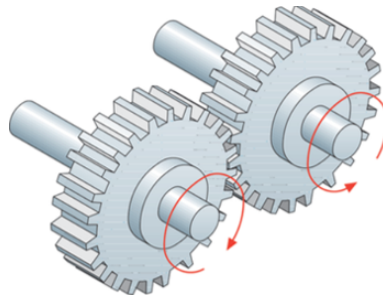


Figura 3: Transmisión de potencia por engranes

[6]

### 6.2.2. Rueda de fricción

Estas transmiten el momento de giro por fricción entre dos arboles paralelos o que se cruzan, a una pequeña distancia. Son convenientes cuando se quieran transmitir grandes velocidades y sea necesario cambiar el numero de revoluciones y modificar sentido. Sin embargo no son recomendables si lo que se desea es transmitir altos torques, debido a que existe deslizamiento entre estas.

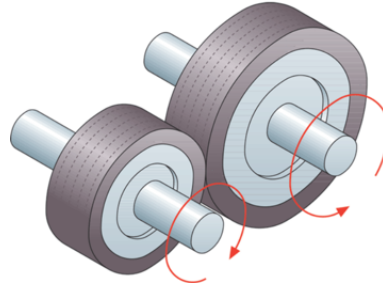


Figura 4: Transmisión de potencia por rueda de fricción  
[7]

### 6.2.3. Bandas y poleas

Las bandas tienen la ventaja que se pueden emplear para distancias grandes entre centros, sin embargo existe cierto deslizamiento y fluencia, por lo que la relación de velocidad angular no es constante. En algunos casos se requiere una polea o guía tensora para evitar ajustes en la distancia entre centros.[5]

Para solucionar el problema de deslizamiento existen bandas dentadas que, en unión a las ruedas dentadas, garantizan una transmisión de fuerza sin deslizamiento. Normalmente son de caucho unido con cable de acero.[7]

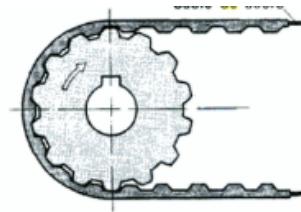


Figura 5: Correa dentada  
[7]

#### 6.2.4. Rueda libre

Esta nos permite transmisión de potencia para un sentido, haciendo que los cilindros que se encuentran entre las dos piezas giren y acoplen ambos, mientras que gira libremente para el otro sentido, esto depende del sentido de los dientes.[8]

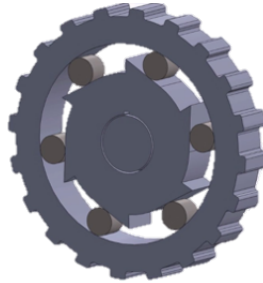


Figura 6: Transmisión de potencia por rueda libre  
[9]

#### 6.2.5. Mecanismo de trinquete

Consiste en un eje de mando provisto por un trinquete por el cual el eje posee dos o más «uñas», que por medio de resortes se hallan en contacto con el dentado del trinquete. El movimiento se transmite en un solo sentido, ya que en el opuesto las uñas deslizan.[8]

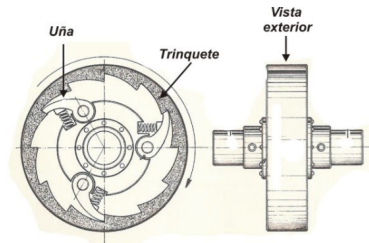


Figura 7: Transmisión de potencia por medio de trinquete  
[10]

## 6.3. Desacople de ejes

La transmisión de potencia en la mayoría de los casos utiliza un eje que es el cual provee la potencia obtenida de un motor o similar, y un eje que recibe la potencia. En algunos casos se hace necesario tener un desacople entre ambos, ya sea para no tener que luchar en contra de la inercia del eje que provee la potencia, o para distintos fines.

### 6.3.1. Embragues

Un embrague es un mecanismo que permite la transmisión de potencia de un eje a otro, teniendo dos inercias y velocidades angulares des tintas la una de la otra, y luego de ser accionado presentan las mismas velocidades angulares. Al ser accionado, se presenta deslizamiento debido a que poseen velocidades angulares distintas, pero también se produce una disipación de energía lo que provoca un aumento en la temperatura. [5]

Existen distintos tipos de embragues, como lo puede ser de tambor con zapata interna o externa, de banda, de disco, cónico, entre otros. El embrague de tambor de zapata interna posee tres elementos básicos: las superficies de fricción que entran en contacto, el medio de transmisión del par de torsión y el mecanismo de accionamiento. Dependiendo del mecanismo de operación, estos además pueden ser clasificados como de aro expansible, centrífugos, magnéticos, hidráulicos y neumáticos. [5]

## 6.4. Resortes

Los resortes son elementos mecánicos capaces de almacenar energía y luego liberarla sin sufrir deformación permanente.

Existen distintos tipos de resorte, para distintas aplicaciones, estos pueden clasificarse desde distintos parámetros:

- Según la forma del resorte puede ser helicoidal cilíndrico, cónico, en espiral.

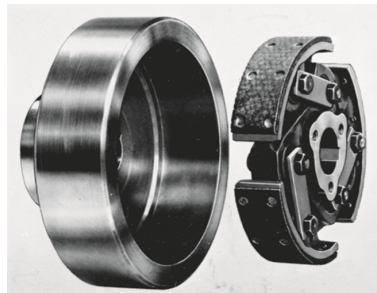


Figura 8: Embrague de tambor de acción centrífuga con zapatas internas expansibles [5]

- Según la forma de la sección transversal del hilo, puede ser circular, cuadrada, rectangular.
- Según el tipo de carga que soportan pueden ser de compresión, tracción, torsión, flexión.

Los resortes, siempre y cuando no sobrepasen su límite elástico obedecen a la ley de Hooke, descrita por la siguientes ecuaciones [11]:

$$F = k * \delta L \quad (3)$$

$$\tau = k * \omega \quad (4)$$

En donde:

$F$  = fuerza

$\delta L$  = deformación  $L - L_0$

$k$  = constante elástica del resorte  $\tau$  = esfuerzo de torsión

$\omega$  = ángulo de giro desde la posición de equilibrio (en radianes)

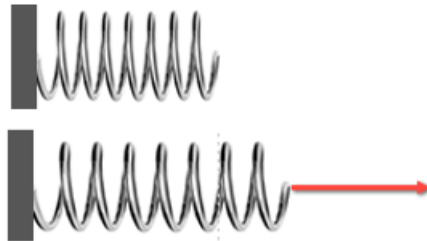


Figura 9: Ley de Hooke  
[12]

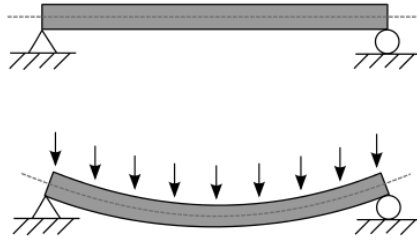


Figura 10: Cargas estática uniforme  
[13]

## 6.5. Resistencia de materiales

También conocida como mecánica de cuerpos deformables, trata del estudio y la relación entre los esfuerzos internos y las deformaciones originadas en los cuerpos reales, así como los cambios que provocan las cargas que actúan sobre el, tomando en cuenta las propiedades físicas del material por el que están constituidos.[13]

## 6.6. Fuerzas exteriores

Estas están constituidas por fuerzas activas o directamente aplicadas, llamadas generalmente cargas, y por las fuerzas reactivas o reacciones de los vínculos, apoyos o soportes de los elementos de una estructura o máquina.[13]

Estas pueden clasificarse de las siguientes formas:

- Cargas estáticas o permanentes, las cuales se pueden dividir en cargas concentradas y cargas distribuidas. Estas ultimas pueden considerarse de manera uniforme o variada en su longitud.(Ver Figura 10)
- Cargas repetidas y de impacto, las cuales actúan en función de variables como el tiempo.
- Cargas accidentales, debidas a efectos de cambios climáticos, reacciones del terreno, proceso de fabricación, entre otros.

### 6.6.1. Propiedades mecánicas

Estas propiedades se definen según las leyes de la mecánica, por lo tanto, estas son mediciones de la resistencia de un material a la deformación o a la fractura al aplicarle una fuerza.[14]

Existen distintas propiedades mecánicas, a continuación se muestran algunas de ellas:

- Elasticidad: Cualidad que presenta un material para recuperar su forma original al cesar el esfuerzo que lo deformó.[15]
- Plasticidad: Indica la capacidad que tiene un material de mantener la forma adquirida al estar sometida a esfuerzos de deformación.[15]
- Dureza: Resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro. Esta propiedad nos informa sobre la resistencia al desgaste.[15]
- Tenacidad: Resistencia a la rotura de un material cuando este se somete a esfuerzos lentos de deformación.[15]

## 6.7. Herramientas CAD/CAM

Se conoce como diseño mecánico al proceso de dar forma, dimensiones, materiales y tecnologías de fabricación y funcionamiento de una máquina para un determinado fin. Para realizar este proceso correctamente es necesario tener conocimientos básicos de los fundamentos operativos de las máquinas y sus elementos, para luego desarrollar métodos mecánicos con el fin de realizar tareas que satisfagan alguna necesidad.

Los softwares de diseño CAD son utilizados en muchas industrias, tanto en diseño de paisajes, como construcción de puentes u oficinas. Con estos programas se pueden realizar distintas tareas, incluyendo la creación de modelos 3D. Estos softwares se utilizan durante todo el ciclo de desarrollo de un producto, desde el concepto hasta su fabricación.[16]. A su vez, un software CAM permite la manufactura de prototipos, productos finales, y ciclos de producción. Estos softwares utilizan los modelos y ensamblajes creados en softwares CAD para generar trayectorias para controlar herramientas y transformarlas al mundo físico.[17]

El uso de sistemas CAD/CAM lleva la programación de partes asistida por computadora un paso adelante, usando un sistema gráfico computarizado, el cual interactúa con el programador conforme se prepara el programa de partes.[18]. La ventaja al utilizar estos sistemas es que el programador recibe una verificación visual inmediata, lo cual facilita la identificación de errores y permite realizar cambios a los diseños de una forma mas eficiente.

Para el mecanismo de carga anterior se tenía un servo de rotación continua fuera del mecanismo, que mediante un hilo giraba hasta cargar los resortes, haciendo que estos almacenarán energías potencial elástica. Si bien esta forma es útil para realizar pruebas, es impráctica al momento de implementar el manipulador, ya que requiere que el motor este alejado del mecanismo, lo que nos aumenta el espacio que se necesita para que el manipulador opere, de la misma forma nos obliga a unir de alguna forma el manipulador con el motor, que en el prototipo recibido se realizo con hilo de pescar.

Debido a esto se dio prioridad a buscar alguna forma que permitiera que el motor se encontrara lo mas cercano al manipulador, esto para disminuir el espacio ocupado por el mismo.

### **7.1. Propuestas carga**

Se realizaron distintas propuestas para lograr que la potencia proporcionada por el motor pueda aprovecharse y lograr así que el manipulador pase de su posición inicial, a su posición de carga, en la cual los resortes tienen almacenada energía elástica, para luego liberarlo y de esta forma generar el movimiento deseado.

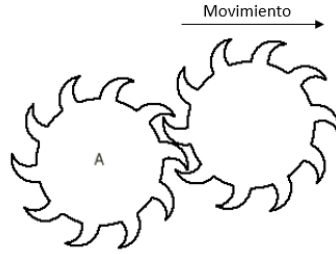


Figura 11: Mecanismo con dientes

### 7.1.1. Únicamente eje

Como primera opción se considero colocar un hilo en un eje, y que este se enrollara en el mismo mientras rodaba, y de esta forma conseguir que la tensión generada en el hilo pueda acercar el objeto o mecanismo para el eje.

### 7.1.2. Dientes

El primer mecanismo propuesto consistía en que el motor estuviera conectado directamente el eje, pero que este último posea en un lado un aro con dientes que puedan ser sostenidos en una determinada posición por otro mecanismo, de esta forma el motor se utilizaría únicamente para cargar el mecanismo, pero no sería el quien mantenga el eje en su posición, sino que los pines sostendrían la posición. Si en algún momento se desea que el eje gire para el lado contrario, se retire el el mecanismo que lo sostiene, como se observa en la Figura 11

### 7.1.3. Variante mecanismo de Ginebra

El mecanismo de Ginebra, también conocido como mecanismo de cruz de Malta, es utilizado para generar movimiento intermitente a partir de un movimiento continuo, utiliza una rueda alcanzada que es alternativamente accionada y parada por un sistema articulado de biela-manivela. [8]

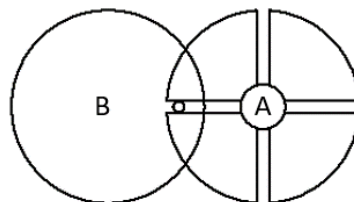


Figura 12: Variante Mecanismo de Ginebra propuesto

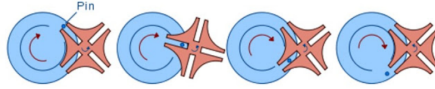


Figura 13: Mecanismo de Ginebra  
[19]

Como se observa en la Figura 12, si se coloca el motor en el punto B, este generara un movimiento intermitente que moverá al eje colocado en el disco A, mediante el pin. Sin embargo, cuando el pin se encuentre fuera del disco A, estos ejes podrán girar independientemente uno del otro.

Este mecanismo de se descarto por dos razón principales:

- Debido a la naturaleza del manipulador, es necesario que una fuerza externa mantenga la posición cuando el manipulador este cargado. Al momento en que el pin del disco B no este en contacto con el disco A, el eje unido a este ultimo girara libremente, y no se podrá mantener la posición de carga del manipulador.
- Respecto al problema anterior se propuso unir tanto este mecanismo con el propuesto anteriormente que hacia uso de dientes para mantener la posición, sin embargo, si se analiza el mecanismo de ginebra original en la Figura 13, para asegurar que el pin siempre encajara con alguna de las entradas del disco A, es necesario que estos se acoplen de alguna forma, impidiendo de esta forma que ambos ejes giren independientes en ningún momento.

## 7.2. Traslación del motor

Recordando que el enfoque del trabajo es un uso eficiente de los recursos, se hace imperativo buscar soluciones que permitan que el manipulador opere ocupando la menor cantidad de espacio físico posible, por lo que se buscaron soluciones que nos permitiera trasladar el motor de carga lo mas cercano posible al manipulador. Para esto se realizaron distintas propuestas que analizaremos a continuación.

### 7.2.1. Sistema de poleas internas

Trabajando sobre el prototipo ya existente, se colocaron poleas en el mecanismo, para que el hilo comenzara en el mismo punto, que es al inicio de la garra, pero que ya no pasara afuera del manipulador, sino que pasara sobre el hasta su inicio, y pudiera ser cargado desde ese punto.

Los inconvenientes encontrados es que debido a que el prototipo que se tenia es planar, al colocar las poleas se generan fuerzas fuera del plano del mismo, lo que hace que este comience a doblarse en lugar de cargarse, y mientras mas se cargue, peor sera el efecto que se obtendrá. (Ver Figura 14).

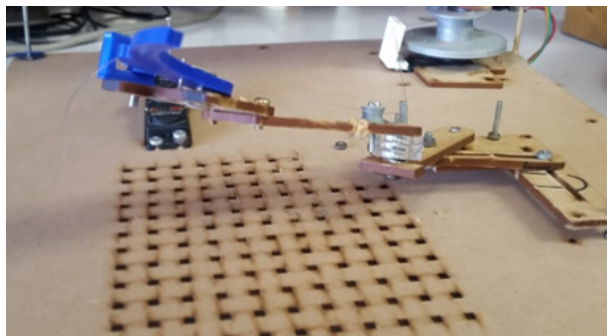


Figura 14: Prueba con poleas

### 7.2.2. Guías

Para solucionar el problema del movimiento fuera del plano, se optó por darle volumen al prototipo, esto simplemente colocando dos prototipos planares uno sobre otro, unidos mediante pines, esto para que la tensión generada siempre se encuentre dentro del manipulador.

Otro problema al que nos enfrentamos es que debido a que los resortes se encuentran en las juntas, era muy difícil colocar las poleas de cambio de dirección en el mismo lugar, así que se optó por colocar al lado de las juntas, y en todo el mecanismo, «guías» en los que el hilo pasaría.

Se tuvo un problema con estos, porque si bien los pines logran guiar al hilo, al momento de cargarlo, debido a que las guías que se encuentran al lado de las juntas son más pequeñas se rompieron al momento de la carga.

Los primeros pines propuestos se realizaron impresos en material PLA en las impresoras de la Universidad del Valle de Guatemala, y estos se diseñaron pensando en que el hilo los atravesara, sin embargo estos no soportan la tensión que se genera en el hilo para cargar el manipulador debido a que la cantidad de material efectiva se ve reducida debido al agujero que se posee para el hilo. Después de esto se utilizaron pines sin agujero en ellos, pero el diámetro necesario para que estos soportaran era muy grande para lo que se necesitaba, por lo que se optó por utilizar pines de madera.



Figura 15: Pin guía propuesto

Estos pines nos dan no solo la facilidad de poder pasar el hilo a través del mecanismo, sino que también es por medio de ellos que se logra dar volumen al manipulador, colocando uno sobre el otro. Esta solución presenta algunas limitaciones, tales como lo son la tensión y posición inicial del manipulador para poder funcionar, así como el problema de ubicar resortes y ejes en las juntas. Ya que luego de realizar unas pruebas, de las cuales hablaremos mas adelante, los pines guías nos permiten generar movimiento, logrando obtener dos posiciones en el manipulador, sin embargo, estas posiciones no resultan útiles para atrapar objetos. Para hablar de esto es necesario realizar un pequeño análisis mecánico del manipulador.

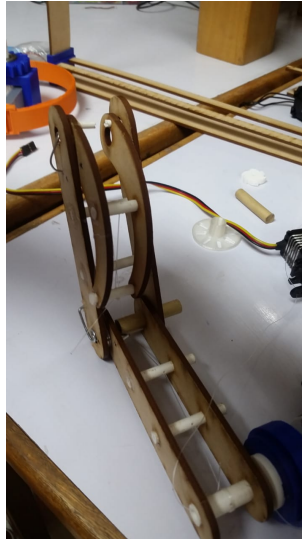


Figura 16: Prototipo con pines guía

Los motores que se utilizan hacen uso de la corriente eléctrica para funcionar, mientras mayor sea el torque que estos proporcionen, mayor sera la demanda de corriente. Es por esta razón que se desea que el diseño considere estos aspectos y aproveche de una mejor forma el torque obtenido por el motor. Este torque sera transformados en una tensión aplicada en el hilo que se utilizara para dar movimiento al manipulador utilizando un brazo de palanca.

Esta tensión a través del hilo sera utilizada para la generación del movimiento. Para aprovechar de la mayor forma esta fuerza se realizara un análisis físico en una de las uniones entre eslabones, que luego puede ser aplicada a todo el mecanismo.

Tomando como ejemplo la unión entre el eslabón 2 y 3 , tenemos un triangulo rectángulo, a los cuales nombraremos como se ve en la Figura 18. Teniendo en cuenta esto, y que el movimiento angular del resorte se rige por la ecuación 4, es necesario que el torque sea el mayor posible, utilizando la menor fuerza posible. Sabiendo que el torque es el resultado de una fuerza por un brazo de palanca, como lo describe la siguiente ecuación:

$$\tau = F * r \tag{5}$$

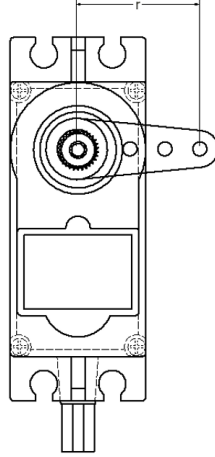


Figura 17: Transformación de torque a tensión

Observando la ecuación podemos asegurar que existen dos formas de aumentar el torque, aumentando la fuerza, que en nuestro caso sería aumentar el torque obtenido del motor, lo cual es lo que se desea evitar, por lo que nos queda aumentar el brazo de palanca. De esto podemos concluir que la distancia que existe entre el punto A y el punto B debe de ser la mayor posible.

Recordemos que la fuerza es un vector, por lo que también es importante determinar la dirección y sentido de la misma. Observando de nuevo la Figura 18, recordemos que el hilo esta representado por el vector AB, por lo que la tensión se aplica en esa dirección, lo que significa que existe un componente  $T_x$  y  $T_y$ , que están dados por las siguientes ecuaciones:

$$T_x = T * \cos(\alpha) \quad (6)$$

$$T_y = T * \sen(\alpha) \quad (7)$$

De la misma figura podemos ver que la componente que nos ayudará a que el manipulador cambie a una posición de carga y que se abra, es la componente x, de esta forma habrá un aprovechamiento más eficiente del torque otorgado por el motor, debido a que la componente en y no solo hará que el hilo tenga más tensión, sino que además, por la posición en la que se encuentra, luchara en contra del movimiento deseado. Para lograr el manejo mas eficiente de el torque entregado por el motor debemos lograr que el ángulo  $\alpha$  tienda a cero, esto aumentara la componente en x y disminuirá la componente en y. Para lograr esto es necesario aumentar la distancia x entre los puntos A y B.

Para que la garra logre abrirse, es necesario que el ángulo  $\alpha$  se encuentre en el rango entre cero y  $\pi/4$ . Podemos observar ese rango en la figura , en donde  $\cos(\alpha)$  es positivo y mayor a  $\sen(\alpha)$ , como se mencionó anteriormente el ángulo óptimo sería cero grados.

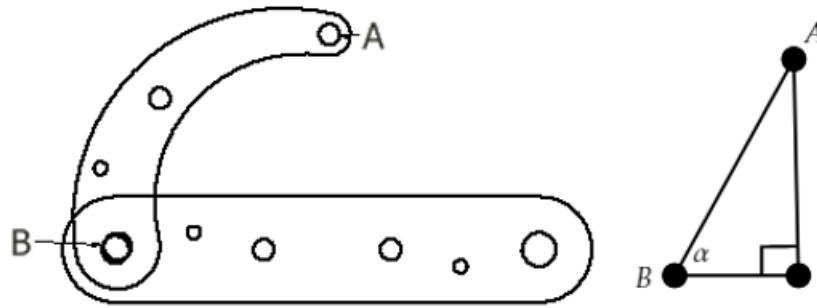


Figura 18: Representación de eslabones

Lo mencionado anteriormente funciona para la posición de la garra como se muestra en la Figura 18, sin embargo, si cambiamos la posición, y el ángulo  $\alpha$  es mayor a 90 grados, bajo el mismo análisis de componentes, ambas provocan que el manipulador se cargue, por lo que se recomienda trabajar con esa configuración, para que se tenga un mejor aprovechamiento del torque proporcionado por el motor.

### 7.2.3. Otra propuesta de poleas

Basándonos en el análisis realizado en la sección anterior, y sabiendo que se desea que el ángulo sea lo mas cercano a cero, y debido a que la forma curva de la garra nos dificulta lograr esto, se propuso un sistema de poleas internas que se encontraran al lado del manipulador, que funcionarían como los pines guías propuestos anteriormente, pero proporcionándonos de esta forma un mejor ángulo para que las posiciones del manipulador sean las deseadas. Sin embargo, el resultado obtenido fue similar al sistema de poleas internas, aunque se le agrego volumen al manipulador, la tensión provoca que se doble en lugar de cargarse.



Figura 19: Sistema de poleas externas

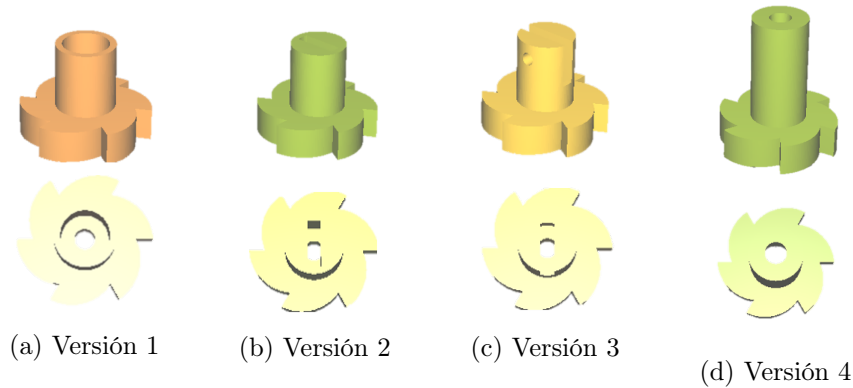


Figura 20: Comparación distintas iteraciones

### 7.3. Mecanismo de liberación

Para la liberación del mecanismo se realizaba un proceso que tomaba mucho tiempo en comparación al tiempo de carga, lo que lo hacía poco eficiente debido a que lo que se desea es que actúe de una forma rápida. El funcionamiento luego de que el mecanismo se encontraba ya cargado, se movía un servo de forma que sostenía al mecanismo, para luego descargar el mecanismo, haciendo que lo único que evitaba el movimiento es el segundo servo. Después de ya descargado el mecanismo se movía el segundo servo permitiendo al mecanismo un movimiento libre.

#### 7.3.1. Variación mecanismo trinquete

Consiste en utilizar la idea detrás de los mecanismos que utilizan las herramientas conocidas como «ratch», las cuales permiten transmitir potencia para un sentido de giro, mientras que para el otro hay un giro más libre. Este mecanismo utiliza un «pin» el cual es el encargado de transmitir la potencia.

Se aprovechó esta idea detrás para el desacople de ambos ejes. Se determinó que si el encargado de transmitir la potencia era dicho pin, si se remueve el pin se podría pensar que se tienen dos ejes desacoplados, debido a que no hay nada que transmita potencia entre ellos.

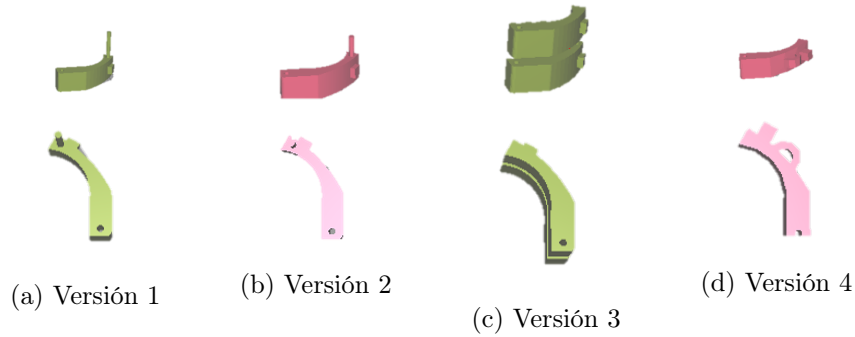


Figura 21: Comparación distintas iteraciones

## 7.4. Iteraciones

### 7.4.1. Eje dentado

Como se observa en la Figura 20, las variaciones del mecanismo consisten en la forma del eje y no en la forma del «engrane» como tal. Los cambios se realizaron debido a la necesidad de transmitir potencia a través del eje, primero se diseño de tal forma que se le pudiera introducir otro eje, esto se logro, sin embargo luego se encontró con el problema de que al momento de la liberación se creaba una tensión a lo largo de los ejes, lo que provoco que estos se desacoplaran entre si. Para esto se diseño el eje de tal forma que pudiera ponerse un tornillo entre estos. Finalmente se diseño de tal forma que el eje pudiera unirse directamente con el motor mediante un tornillo, como se ve en la Figura 20d, esto con el fin de reducir la cantidad de piezas requeridas. Esta propuesta fue funcional, sin embargo complicaba en gran manera el ensamble y desensamble de mecanismo debido a que era necesario desarmar todo el mecanismo para lograr retirar el eje, es por esto que se regreso al modelo mostrado en la Figura 20c.

### 7.4.2. Pin de liberación

Debido a que se deseaba comprimir el resorte que permite la transmisión de potencia desde el eje conectado al motor con el eje del manipulador, como primera iteración se coloco en el elemento que transmite la potencia un pin para que al moverla causaría que el ambos ejes quedarán desacoplados y permitan la descarga del mecanismo 21a, sin embargo debido al material y los tamaños trabajados la fuerza requerida para moverlo era mayor que la soportada por el pin, así que este se rompía. Se optó por intentar con distintos tamaños de pin pero el resultado obtenido fue el mismo. Como siguiente iteración se realizó una copia del pin interno, pero el resultado obtenido fue similar. Por lo que en una última iteración se opto por diseñar el pin de tal forma que nos proporcionará un espacio para pasar un hilo en el, y de esta forma al jalar el hilo se movería el pin, desacoplando ambos ejes.

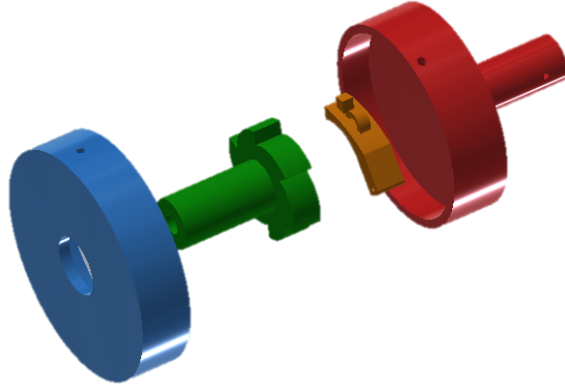


Figura 22: Mecanismo final

## 7.5. Tapadera del aro

La importancia de este elemento va más allá de únicamente estética para mantener oculto a la vista el funcionamiento interno del mecanismo. Este elemento permite que los elementos internos se mantengan en su lugar, que el pin y el resorte se mantengan unidos en todo momento, y que no se separen los ejes debido a la tensión generada al momento de liberar el mecanismo. Este elemento no sufrió cambios significativos en ninguna de sus iteraciones, únicamente permitir que el hilo pase por un lado de él, y un agujero que permita unirlo al eje de salida mediante un tornillo.

Sin embargo, existe un cambio importante a resaltar el momento de su diseño. Las primeras propuestas poseían un agujero por el cual pasaba el eje que provenía del motor, agujero con un diámetro ligeramente mayor al del eje, sin embargo esto permitía que el eje no se mantuviera en su posición, y el mecanismo interno no funcionará correctamente, sin mencionar la fricción y la pérdida de energía por esta diferencia de diámetros. Es por ello que se propuso colocar un cojinete para unir esta pieza y el eje proveniente del motor. Como propuesta inicial sobre el cojinete se colocó un cojinete de 22mm de diámetro, mayor al diámetro del eje dentado, sin embargo por la tensión generada al momento de liberar el mecanismo, el eje empujaba el cojinete hacia afuera y el mecanismo dejaba de funcionar. Por esta razón se utilizó un cojinete de un diámetro menor al mecanismo con dientes.

## 7.6. Mecanismo final

El mecanismo final propuesto que permite el desacople de dos ejes consta de cuatro piezas, dos piezas que poseen los ejes, un pin que permite la transmisión de potencia y una tapadera que mantiene tanto el pin como el resorte en su lugar.

Debido a los cambios de dirección que posee el hilo que permite el desacople, se colocó también una polea en la parte externa del mecanismo, de esta forma se reduce la fricción y por lo tanto la tensión en el hilo, de esta forma es posible el desacople de los ejes.

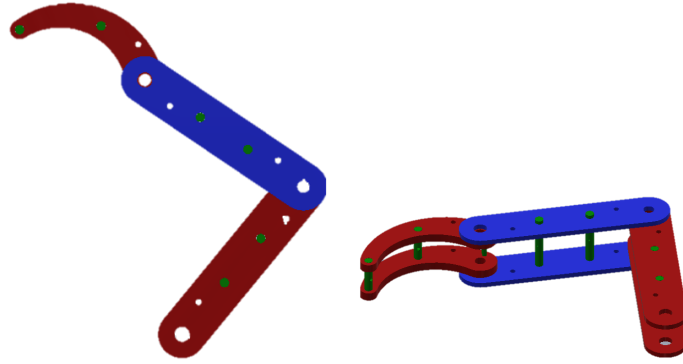


Figura 23: Diseño 1 del manipulador



Figura 24: Manipulador en MDF

## 7.7. Diseño del manipulador

Luego de haber determinado tanto el mecanismo de carga como el de liberación a implementar, se procedió al diseño del manipulador para poder probar el funcionamiento ambos mecanismos juntos.

### 7.7.1. Manufactura en MDF

Debido a la facilidad de manufactura utilizando corte láser de MDF, se decidió diseñar el prototipo para este material. Para este diseño se realizaron dos piezas básicas y luego se replicaron. El diseño cuenta con una pieza que servirá, utilizando cuatro copias de ella, como brazo y antebrazo del manipulador, y una pieza que se utilizara como garra. También se usarán ejes que servirán como piezas de unión para darle volumen al manipulador.

Se utilizó MDF con un grosor de 3mm, y las uniones entre las piezas se diseñaron para que entraran con presión. También se diseñó pensando en que en las juntas de las piezas se colocaran resortes torsionales que las mantuvieran unidas. Este diseño no considera la fricción, por lo que no se dejó espacio para el uso de cojinetes.

### 7.7.2. Manufactura en impresión 3D

Luego de el diseño y ensamble del manipulador en MDF, se procedió a realizar un diseño para que pueda manufacturarse en PLA utilizando las impresoras 3D de la Universidad del Valle de Guatemala.

Este diseño es más complejo debido a que este tipo de manufactura nos permite crear piezas en tres dimensiones, proveyendo volumen y facilidad para diseñar mejores acoples entre las piezas. Por esta razón, este diseño consta de seis piezas distintas.

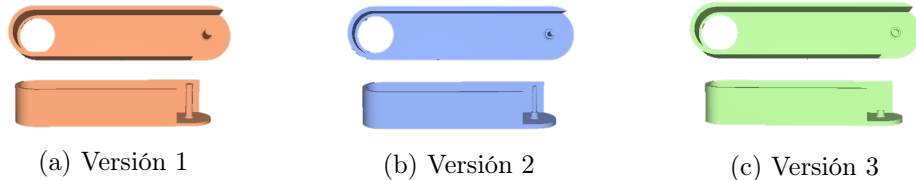


Figura 25: Comparación distintas iteraciones

Se comenzó tratando de realizar el diseño de tal forma que el mismo se acoplara a presión, como se observa en la 25a, pero debido al material y la fuerza que generaban los resortes, el pin se rompía. Es por esto que se diseño colocando un chaffán y reduciendo el diámetro, como se observa en la 25b, pero el resultado obtenido fue el mismo. Fin almete se opto por dejar un espacio en el cual se pudiera introducir un eje de madera.

El diseño en 3D nos dio la ventaja de poder diseñar un espacio para colocar cojinetes, y de esta forma reducir la fricción entre las partes del manipulador y de esta manera reducir la velocidad de funcionamiento del mismo.

Sin embargo, este prototipo no fue funcional, al momento de querer implementarlo no fue posible lograr que el manipulador lograra abrirse, y tampoco que pudiera cerrarse, así que luego de esto se regreso al diseño 2d, iterando con distintas geometrías de la garra.

### 7.7.3. Geometrías de la garra

Luego de realizar algunas pruebas de funcionamiento, se hizo notorio el problema al momento de lograr abrir el mecanismo, el ángulo inicial es muy cerrado para poder comenzar a abrir al manipulador, y también al momento de cerrarlo, en la posición final del manipulador la garra se encontraba muy separada del eslabón anterior, por lo que no había presión y no

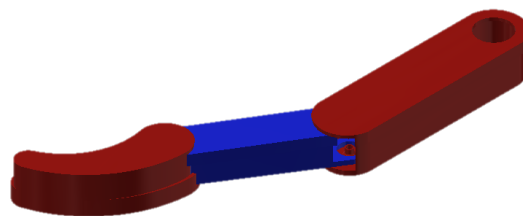


Figura 26: Diseño 2 del manipulador

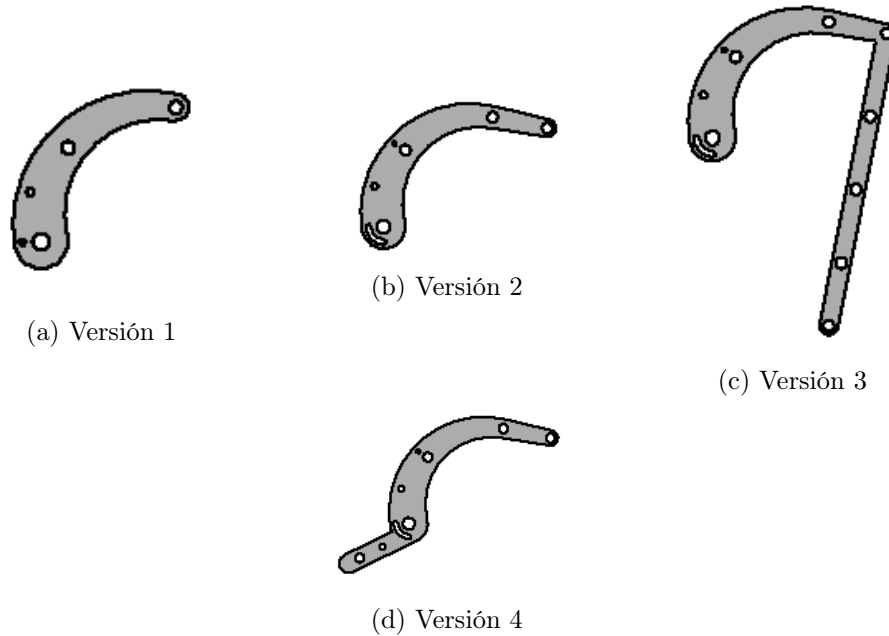


Figura 27: Distintas geometrías de la garra

era posible manipular objetos. Debido a esto se trabajaron con distintas geometrías.

La primera iteración fue la mostrada anteriormente, puede observarse en la Figura 27a. Para lograr que la punta de la garra se encontrará más cercana al eslabón y reducir el espacio para aumentar la probabilidad de éxito al momento de manipular algún objeto se decidió alargar la punta de la garra. Se descartó este diseño debido a que el ángulo que posee provoca que por más que se alargue, la distancia se mantenga, ya que la punta de la garra se vuelve paralela al eslabón anterior. Ver Figura 27b

Para solucionar el problema del ángulo se colocó perpendicularmente una extensión a la garra, esto permite que se cree un área cerrada para lograr manipular algún objeto. Sin embargo, esto dificulta el movimiento, debido a que el manipulador ahora necesita un espacio mayor para poder funcionar, sin tomar en cuenta la estética del mismo, debido a esto se descarto esta posibilidad. Ver Figura 27c

Por ultimo, se ideo una forma de que el resorte estuviera siempre en la garra, pero en otra dirección, debido a que es el resorte el y el punto donde se une el hilo con la garra los que nos dan los ángulos de funcionamiento del manipulador. Se colocó una extensión en la garra en la parte posterior de la misma, por lo que la garra conservará su forma, pero los ángulos de trabajo se mantienen. Este diseño permitió conservar la geometría lo más cercano a una garra bio-inspirada, pero mejorando su funcionamiento. Ver Figura 27d

#### 7.7.4. Materiales utilizados

Luego de determinar la geometría del manipulador, se realizaron pruebas con tres distintos materiales: MDF, PLA y NinjaFlex, para poder como afecta el funcionamiento del manipulador el material que se este utilizando. Debido a que no se encontró referencia para determinar los valores de densidad del MDF, se imprimieron dos geometrías, un cuadrado de 150mm por lado, y un círculo de diámetro de 150mm, se pesaron mediante una balanza electrónica, se determinó su volumen y con esto se obtuvo un promedio de densidad.

Los distintos resultados obtenidos con los materiales se discutirán en otro capítulo. Sin embargo es importante recalcar que no se lograron realizar pruebas con el material Ninjaflex, debido a que el manipulador se deformaba al momento de intentar cargarlo, esto debido a su bajo modulo de elasticidad, por lo que se puede concluir que deben usarse materiales que posean módulos de elasticidad considerablemente mayores al del material NinjaFlex. Con MDF y PLA no se tuvo este problema.

Para probar el funcionamiento de ambos mecanismos al mismo tiempo se realizaron distintas plataformas de pruebas, tanto para probar el funcionamiento del mecanismo, como para realizar mediciones acerca del rendimiento del mismo.

### 8.1. Validación del mecanismo

Para la validación del mecanismo se realizaron pruebas preliminares utilizando el manipulador que fue proporcionado de la fase anterior. Se diseñó el mecanismo y se colocó en una caja, unida al motor que permite la carga, luego manualmente se retiró el pin interno del mecanismo, y de esta forma se comprobó que es posible utilizar este mecanismo para desacoplar los ejes.

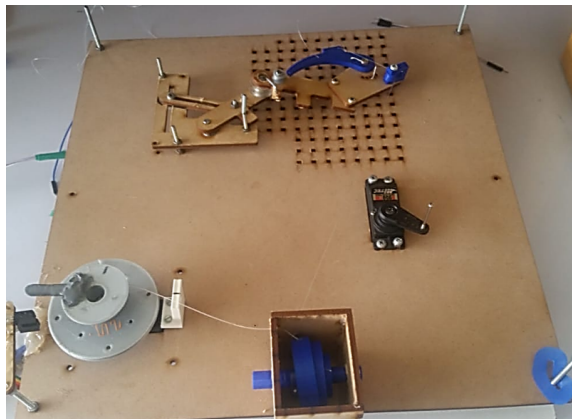
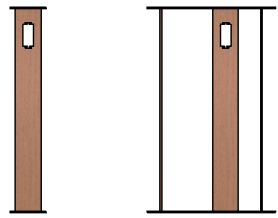


Figura 28: Prueba mecanismo de liberación



(a) Diseño Inventor



(b) Plataforma Física

Figura 29: Plataforma de pruebas No. 1

## 8.2. Plataformas de pruebas

Para probar el funcionamiento de los mecanismos y su impacto en el funcionamiento del manipulador se diseñaron distintas plataformas de pruebas, de las cuales se obtuvieron distintos resultados.

### 8.2.1. Plataforma de pruebas 1

Esta fue diseñada con el objetivo de comprobar el funcionamiento de ambos mecanismos. Consiste en una estructura abierta que posee tres paredes, en las cuales dos de ellas se colocaron los motores que serían los que proporcionarían el movimiento al manipulador.

Esta plataforma de pruebas permitió comprobar el funcionamiento de ambos mecanismos en el manipulador. De esta plataforma se aprendió que el manipulador necesita un tope físico externo para el primer eslabón, debido a que si no se coloca este, cuando la tensión aumenta, el manipulador comienza a girar sobre el eje principal, en lugar de pasar a la posición de carga, por lo que esto se tomó en cuenta al momento de desarrollar las próximas plataformas. Otro aspecto importante a notar es que debido al peso del manipulador, existe una deflexión del eje principal, lo que afecta no solo la velocidad de manipulador, sino que también su funcionamiento.

### 8.2.2. Plataforma de pruebas 2

Luego de verificar que ambos mecanismos pueden ser implementados en el manipulador, y continuando con lo aprendido de la plataforma de pruebas anterior, se diseñó una segunda plataforma de pruebas, con el objetivo de trasladar el motor de descarga al mismo lado donde se encuentra el motor que permite la carga del mecanismo. Para esto se colocó un par de poleas de cambio de dirección, y se pasó el hilo a través de ellas. A pesar de utilizar las poleas de cambio de dirección, no fue posible el desacople de los ejes, debido a que el torque proporcionado por el motor se transformaba en una fuerza que tenía una componente en una dirección que no era útil.

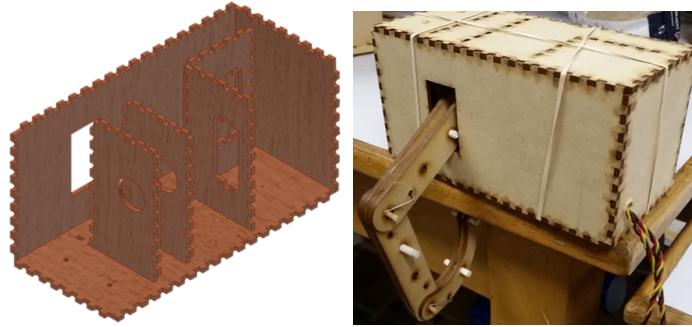


Figura 30: Plataforma de pruebas 2

Otro aspecto que se tomó en cuenta es el tope físico necesario en el primer eslabón para que el manipulador funcione, y en una de las paredes de esta nueva plataforma de pruebas se dejó un agujero por el cual el manipulador saldría, topando en una de estas paredes y así poder cargarlo. Esta implementación fue útil, debido a que el manipulador, luego de encontrarse con la pared, se abría a su posición de carga. Se colocaron cojinetes internos para resolver el problema de la deflexión en el eje provocada por el peso del manipulador.

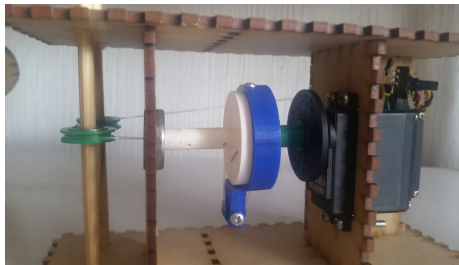


Figura 31: Mecanismo interno plataforma de pruebas 2

### 8.2.3. Plataforma de pruebas 3

Debido a los resultados obtenidos en la segunda plataforma de pruebas, se optó por regresar a una plataforma similar a la primera, en la cual los motores se encuentran a los lados del manipulador. Se mantuvo un cojinete para sostener el eje donde se encuentra el manipulador y de esta manera evitar la deflexión del eje. Se colocó un tope físico que permitiera que el primer eslabón del manipulador topara con el y de esta manera poder cambiar de su posición cerrada a abierta con el movimiento del motor.

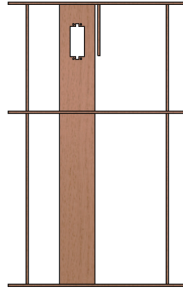


Figura 32: Tercera plataforma de pruebas

### 8.3. Circuitería

Se realizó un circuito para unir la parte de software desarrollada para arduino y el mecanismo. Este consta de dos botones en configuración pull-down, los cuales se encargarán de enviar señal al arduino para activar cada uno de los servos. Esta parte trabaja con 5V, que es el voltaje que maneja el arduino.

De otros pines del arduino se conectaron los servomotores, los cuales a su vez están conectados a 7V, debido a que se desea que los motores puedan proporcionarnos la mayor cantidad de torque posible. El circuito utilizado se describe en el siguiente diagrama:

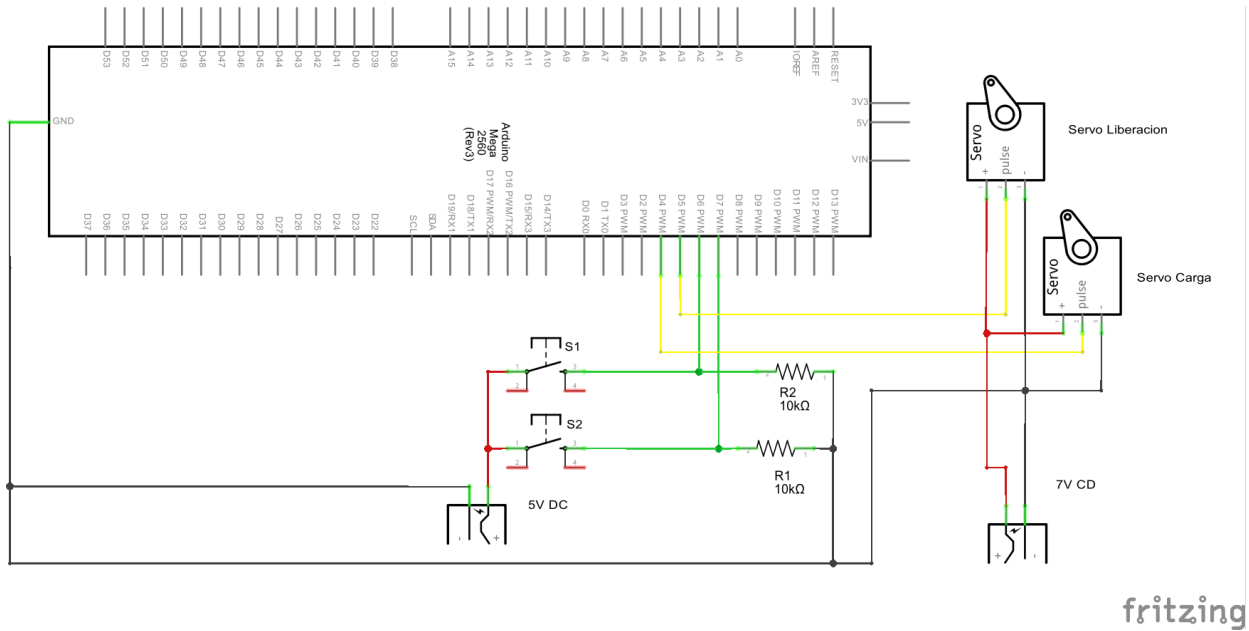


Figura 33: Circuito utilizado

## 8.4. Software

Se desarrolló un programa para arduino que permitiera el control del manipulador por medio de un circuito electrónico. Este consiste en utilizar dos pines del arduino como entrada digital, los cuales están conectados a dos botones, cada cual controlará uno de los servos que posee el manipulador. Utilizando la librería `<Servo.h>` de arduino se crearon dos objetos tipo Servo, a los cuales se les asignó un pin de salida a cada uno. El diagrama de flujo de la Figura 34 indica el funcionamiento del software desarrollado.

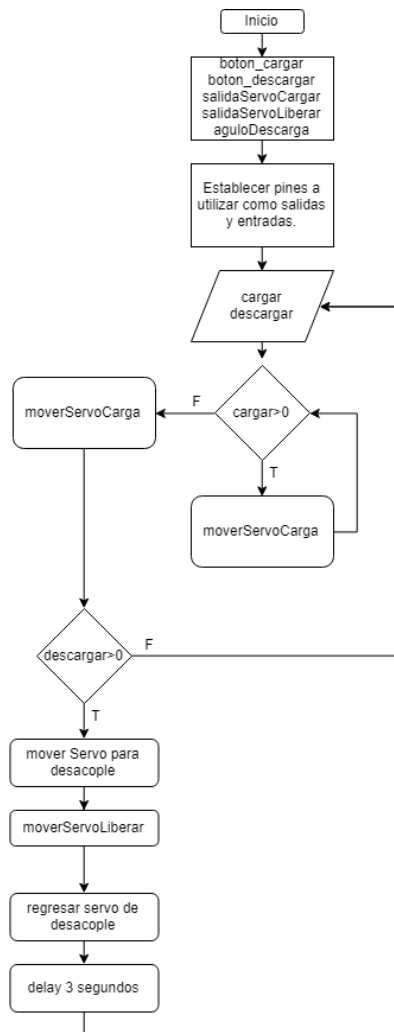


Figura 34: Diagrama de flujo

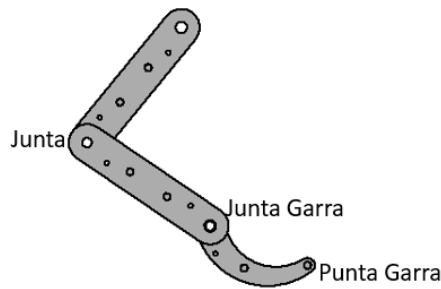


Figura 35: Ubicaciones analizadas

## 8.5. Validación

Se realizaron distintas pruebas para comprobar el funcionamiento de los prototipos propuestos. Para obtener estos datos se realizaron diez pruebas para cada uno de los prototipos, y se utilizó el software kinovea para la obtención de los mismos. Se analizaron tres variables, las cuales son la velocidad, la aceleración y la distancia recorrida por el mecanismo, en tres puntos distintos de la garra, los cuales se muestran en la Figura 35. De los cuales los más importantes debido a que son los que tienen mayor efecto en la tarea de manipular son los denominados "Punta Garra" y "Junta Garra".

### 8.5.1. Análisis realizado

Luego de realizar las distintas pruebas, se observó que el comportamiento del manipulador se mantiene en cada una de las pruebas, cambiando únicamente los valores alcanzados pero manteniendo la forma, a excepción de la distancia recorrida por el prototipo recibido, el cual tiene la diferencia que el punto nombrado como «Junta Garra» recorre una mayor distancia, debido a que en este manipulador lo primero que ocurre es que la garra se cierra, y luego el manipulador completo comienza a moverse. Por lo cual a continuación se realizará una descripción de las gráficas, para más adelante analizar los valores.

#### Distancia

La gráfica de distancia nos da información de cual es el desplazamiento que realiza el manipulador durante su funcionamiento. Esta información nos es una referencia para poder intuir el comportamiento de la garra, si la distancia recorrida es mayor, esto significaría que el movimiento del manipulador abarca un mayor espacio.

En la Gráfica 36 se puede observar que el manipulador se encuentra en reposo, cuando comienza a moverse la distancia recorrida aumenta de una forma fluida, luego de un tiempo, el movimiento se disminuye, esto se puede ver en la curva 36, en el punto C, que concuerda con el punto en donde el manipulador termina de moverse por el impulso generado por la liberación de energía por parte de los resortes, y es afectado por la gravedad, que lo lleva

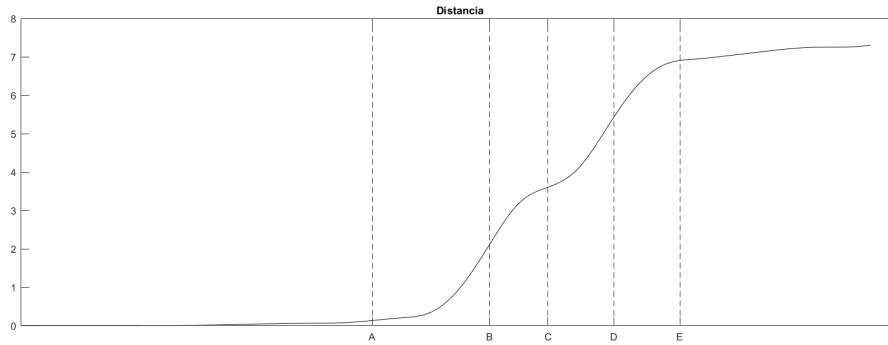


Figura 36: Gráfica de la distancia recorrida por un punto del manipulador

hacia abajo, en el tramo C-E, y luego de esto la distancia recorrida ya no aumenta, indicando que el manipulador ya no posee movimiento.

## Velocidad

La gráfica de velocidad nos muestra de que forma cambia la distancia recorrida por el manipulador, indicándonos los puntos en los cuales se alcanza una mayor velocidad, y si existen perturbaciones en la misma.

De la Figura 37, podemos resaltar dos picos de velocidad, referenciados por los puntos B y D. El pico B es provocado al momento de liberar el mecanismo, que se encuentra en reposo en el tramo antes del punto A, luego la velocidad aumenta hasta alcanzar un punto máximo, luego de esto el manipulador se ve afectado por la acción de la gravedad, la cual comienza a disminuir su velocidad hasta que el manipulador deja de moverse, el cual se ve reflejado en el punto C de la gráfica, que coincide con el mismo punto en la gráfica de distancia 36, en donde no hay movimiento. Luego la gravedad provoca que el manipulador aumente su velocidad de nuevo, hasta alcanzar el pico que se muestra en gráfica en el punto D, esta comienza a decaer hasta que el movimiento cesa.

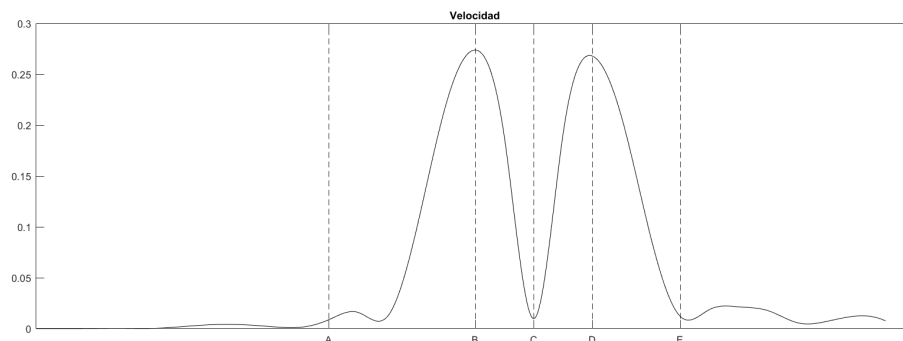


Figura 37: Velocidad experimentada por el manipulador durante su funcionamiento

## Aceleración

La aceleración nos muestra como afecta la energía que se obtiene de los resortes, y como afecta la gravedad a este.

En la Gráfica 38 se observan dos picos positivos y dos picos negativos. El tramo A-B hace referencia al momento cuando el mecanismo es liberado, luego de esto el mecanismo se ve afectado por la gravedad, por lo que la aceleración comienza a disminuir hasta el momento de dejar de acelerar, y comienza a disminuir la aceleración, que es cuando debe luchar en contra de la gravedad, lo cual se ve en el tramo B-C. Después la aceleración comienza a aumentar en el tramo C-D, que es cuando el efecto de los resortes ha terminado, y ahora el manipulador se ve afectado por la aceleración de la gravedad únicamente. Se repite el procesos en los siguientes dos tramos, donde el manipulador se ve afectado únicamente por la gravedad.

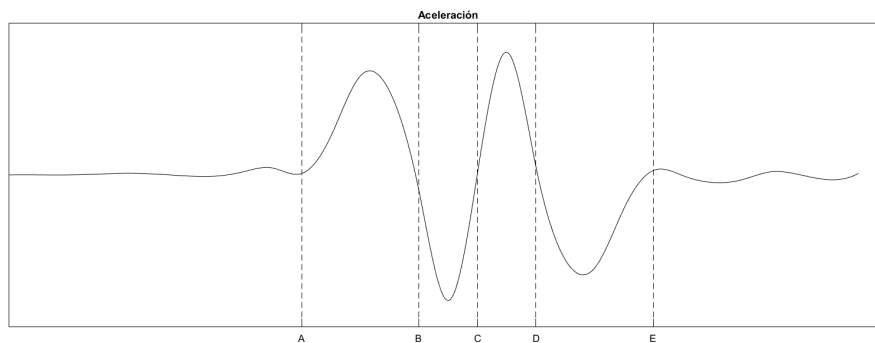


Figura 38: Aceleración experimentada por el manipulador durante su funcionamiento

Debido a la naturaleza de las variables, no es posible hacer una comparación directa de comportamiento de la velocidad o la aceleración, por lo que se decidió analizar los valores máximos alcanzados desde dos perspectivas, y de esta forma determinar las principales diferencias entre los distintos prototipos:

- Promedio: se realizó un análisis de los valores máximos obtenidos en cada uno de los prototipos. Para esto se realizaron diez pruebas con cada prototipo, y luego se obtuvo el valor máximo que alcanzaba el manipulador en cada prueba, y se realizó un promedio entre estos. Según estos datos se comparó el valor máximo promedio que alcanza cada prototipo propuesto.
- Desviación estándar: luego de obtener el promedio de valores máximos alcanzados por los distintos prototipos, se obtuvo una desviación estándar de cada uno de ellos, para de esta forma poder conocer que tan dispersos están los datos de la media, y así evaluar la precisión que posee cada manipulador.

## 8.6. Resultados

### 8.6.1. Valores máximos

#### Distancia

Prototipo	Distancia (cm)		
	Junta	Junta Garra	Punta Garra
<b>MDF sin cojinete</b>	1.31	9.32	16.80
<b>MDF con cojinete</b>	3.29	14.60	26.82
<b>PLA 2mm</b>	5.68	15.74	27.29
<b>PLA 3mm</b>	3.84	10.11	19.49
<b>Prototipo anterior</b>	15.16	56.07	44.45

Cuadro 2: Comparación de distancia recorrida por cada manipulador

Como se observa en el Cuadro 2, basándonos en la distancia promedio recorrida por cada uno de los puntos, en promedio el manipulador que recorre una mayor distancia es el realizado con PLA con dos milímetros de grosor, mientras que el que recorre la menor distancia en promedio es manipulador sin cojinete. Esto es comprensible debido a la fricción que experimenta el manipulador con el eje.

Observamos que colocar el cojinete en el manipulador de MDF aumenta la distancia recorrida por el manipulador, mientras que modificar el grosor del manipulador, y por lo tanto su peso, la disminuye. En cambio al cambiar el material del manipulador, se observa un aumento. Basándonos en esta información vemos que todos los manipuladores tuvieron una reducción de la distancia recorrida en relación con el prototipo anterior. El manipulador que obtuvo una menor reducción de la distancia fue el realizado con PLA con un grosor de 2mm, con una reducción del 58%. (Ver Anexos)

#### Velocidad

Observando el cuadro, el manipulador que alcanza velocidades mayores en promedio de nuevo es el manipulador de realizado con PLA y grosor de 2 milímetros, mientras que el manipulador que alcanza la menor velocidad máxima es el realizado en MDF sin cojinete. En los distintos manipuladores se observa una reducción en la velocidad máxima alcanzada.

Prototipo	Velocidad (m/s)		
	Junta	Junta Garra	Punta Garra
<b>MDF sin cojinete</b>	0.05	0.48	0.92
<b>MDF con cojinete</b>	0.12	0.62	1.28
<b>PLA 2mm</b>	0.21	0.55	1.20
<b>PLA 3mm</b>	0.14	0.46	1.05
<b>Prototipo anterior</b>	0.42	1.08	1.64

Cuadro 3: Comparación de velocidad experimentada por cada manipulador

De nuevo podemos observar que el cambio mas grande en la velocidad máxima experimentada se produjo al colocar el cojinete en el manipulador, y que el cambio de MDF a PLA produce una reducción del 10 % de la velocidad aproximadamente. De los distintos manipuladores se observa de nuevo que el producido con PLA y con un grosor de 2 mm produce una menor reducción a la velocidad máxima promedio alcanzada. (Ver Anexos)

## Aceleración

Prototipo	Aceleración ( $m/s^2$ )		
	Junta	Junta Garra	Punta Garra
<b>MDF sin cojinete</b>	0.47	4.16	8.35
<b>MDF con cojinete</b>	1.26	5.14	10.59
<b>PLA 2mm</b>	2.23	4.34	10.40
<b>PLA 3mm</b>	1.42	3.93	9.84
<b>Prototipo anterior</b>	4.27	11.97	22.84

Cuadro 4: Comparación de aceleración experimentada por cada manipulador

Según lo mostrado en el Cuadro 4, el manipulador que alcanza menor aceleración máxima en promedio es el MDF sin cojinete, mientras que el que alcanza una mayor aceleración máxima es el manipulador de PLA de dos milímetros. En todos los manipuladores se observa una reducción de la aceleración máxima alcanzada

Una vez mas se puede observar que el cambio mayor se produce al agregar cojinetes al manipulador. En este caso el cambio de material posee un efecto menor en el manipulador al visto anteriormente en la velocidad y la distancia. Además, de nuevo se observa que cambiando el peso del mecanismo, que en este caso se ve reflejado en el cambio del grosor del manipulador, se logra una menor reducción a la aceleración máxima experimentada por el manipulador. (Ver Anexos)

### 8.6.2. Desviación estándar

#### Distancia

Respecto a la desviación estándar de la distancia recorrida por los manipuladores podemos observar que el manipulador sin cojinete es el cual posee una mayor desviación. En

Prototipo	Desviación estándar distancia (%)		
	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	111 %	46 %	37 %
<b>MDF con cojinete</b>	51 %	16 %	9 %
<b>PLA 2mm</b>	41 %	20 %	13 %
<b>PLA 3mm</b>	21 %	15 %	15 %
<b>Prototipo anterior</b>	8 %	5 %	8 %

Cuadro 5: Desviación estándar de la distancia recorrida por cada manipulador

este caso podemos observar que el cambio de material si tiene un efecto en la precisión de la distancia recorrida por el manipulador, teniendo una desviación estándar considerable en relación al prototipo recibido. Esto es causado a que en el prototipo recibido se colocaron topes mecánicos que limitan el movimiento del manipulador, a diferencia de los manipuladores propuestos, que se mueven libremente al ser liberados. El manipulador que posee la menor desviación estándar respecto a la distancia recorrida es el realizado con PLA con un grosor de 3mm. (Ver Anexos)

## Velocidad

Prototipo	Desviación estándar velocidad( %)		
	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	117 %	35 %	29 %
<b>MDF con cojinete</b>	56 %	11 %	17 %
<b>PLA 2mm</b>	41 %	12 %	13 %
<b>PLA 3mm</b>	28 %	11 %	12 %
<b>Prototipo anterior</b>	9 %	16 %	7 %

Cuadro 6: Desviación estándar de la velocidad experimentada por cada manipulador

De nuevo se observa que la falta de cojinete afecta de una forma negativa al desempeño del manipulador, como se observa en el Cuadro 6. De la misma tabla se puede observar que el cambio de material si tiene un efecto significativo respecto a la desviación estándar.

El prototipo que tiene una menor desviación estándar promedio, y un menor cambio respecto al prototipo recibido es el realizado con PLA y un grosor de 3mm. (Ver Anexos)

## Aceleración

Prototipo	Desviación estándar aceleración( %)		
	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	125 %	41 %	35 %
<b>MDF con cojinete</b>	68 %	23 %	28 %
<b>PLA 2mm</b>	44 %	18 %	22 %
<b>PLA 3mm</b>	29 %	14 %	15 %
<b>Prototipo anterior</b>	14 %	25 %	45 %

Cuadro 7: Desviación estándar de la aceleración experimentada por cada manipulador

Respecto a la desviación estándar de la aceleración se observa que se tienen los cambios menores en comparación con los obtenidos en la distancia y en la velocidad. Una vez más el cambio mas notorio se da al momento de colocarle cojinetes al manipulador. Vemos también un cambio significativo al cambiar de material, al punto de llegar a tener una menor desviación estándar ligeramente menor al alcanzado por el prototipo recibido. Finalmente observamos que modificar el peso del manipulador reduciéndolo, aumenta nuevamente la desviación estándar. (Ver Anexos)

### 8.6.3. Tiempos

También se realizó un análisis de los tiempos que le toma a cada manipulador operar. Para tener una referencia y poder comparar con los tiempos analizados en la fase anterior por Custodio en su trabajo [1], el tiempo se midió entre las dos posiciones observadas en el anexo ??.

Tiempos de operación por manipulador		
Manipulador	Tiempo promedio (ms)	Desviación estándar
<b>MDF sin cojinete</b>	216	12.2 % (26.5 ms)
<b>MDF con cojinete</b>	246	13.6 % (33.5 ms)
<b>PLA 3mm</b>	160	11.2 % (17.9 ms)
<b>PLA 2mm</b>	172	14.9 % (25.6 ms)
<b>Prototipo anterior</b> [1]	92	n/a
<b>Mantis Religiosa</b> [1]	30	n/a

Cuadro 8: Tiempos de operación por manipulador

Como se observa en el Cuadro 8, todos los manipuladores presentan un aumento en el tiempo de operación. De los mecanismos propuestos vemos que el cambio de material de MDF a PLA tiene un efecto significativo en la disminución del tiempo de operación del manipulador. En la misma tabla se puede ver la implementación tanto de los mecanismos de carga como el de liberación, y que ahora el manipulador opere de una forma vertical produjo un aumento del 74 % por parte del manipulador realizado en PLA con grosor de 3mm, mientras que el mismo manipulador posee un aumento del tiempo en un 433 % aproximadamente respecto a la Mantis Religiosa. (Ver Anexos)

## 8.7. Éxito

Tomando en cuenta que este trabajo es la continuación de lo realizado por Custodio en su trabajo [1], se realizaron pruebas para determinar el porcentaje de éxito en la tarea de manipular objetos de los prototipos propuestos. Se obtuvo un resultado similar al mostrado en la Figura 2 en el trabajo de Custodio [1]. Debido al cambio en las dimensiones del manipulador, se utilizó como objeto a manipular una esponja de 20\*6\*9 mm, ya que esta, al ser compresible, provee una ventaja al momento de ser manipulado por este tipo de prototipos. Se determinó que el punto que posee la mejor probabilidad de éxito se encuentra 25cm debajo del eje principal, entre 5 y 7 cm de distancia horizontal al eje. Los distintos manipuladores poseen porcentajes de éxito similares entre sí, y un poco mayores al obtenido por el prototipo anterior.

Porcentaje de éxito por manipulador (%)	
Prototipo anterior	Porcentaje de éxito
<b>MDF con cojinete</b>	77
<b>PLA 3mm</b>	76
<b>PLA 2mm</b>	79
<b>Prototipo anterior</b>	60

Cuadro 9: Porcentajes de éxito por manipulador



1. Se alcanzó el objetivo general de diseñar e implementar mecanismos de carga y liberación de un manipulador bio-inspirado en la mantis religiosa. Esto basado lo discutido en el capítulo de pruebas, validación y resultados, donde se muestra que el mecanismo propuesto puede ser implementado y su efecto en el manipulador puede ser medido mediante variables como distancia, velocidad y aceleración, manteniendo la eficiencia debido al uso de resortes torsionales en las juntas, en lugar de motores para poder imitar el movimiento de caza de la mantis religiosa.
2. El método heurístico es una herramienta útil debido a la naturaleza iterativa del proceso de diseño. Luego de realizado este trabajo se observa la utilidad del proceso de diseño iterativo, ya que de cada cambio realizado a una pieza se adquieren nuevos descubrimientos, de los cuales se aprende para obtener un mejor desempeño del manipulador.
3. Respecto a los manipuladores y los datos de distancia recorrida, y velocidad y aceleración máxima experimentada, obtenidos de cada uno de los manipuladores, podemos concluir que modificar el peso y el material con el cual se fabrican los manipuladores tienen efectos en el desempeño del mismo, ya sea en su distancia recorrida, en la cual se obtuvo en el mejor de los casos 27.29cm, velocidad máxima experimentada, con un valor máximo de 1.28 m/s, y aceleración máxima experimentada, con un valor máximo de  $10.59\text{m/s}^2$ , como en la precisión de estos mismos. Sin embargo, el cambio del peso y/o de los materiales no afecta en la tarea de manipular.
4. Si bien los resultados reflejan que existe un cambio en el desempeño del manipulador al cambiar el material con el que se realiza o su peso, el cambio mayor se observa al momento de implementar el cojinete, por lo que se concluye que la implementación de cojinetes para reducir la fricción genera cambios mayores en el desempeño del manipulador a comparación de modificar su peso o material.



1. Se recomienda continuar investigaciones de materiales, alternando entre densidades y módulos de elasticidad, debido a que si bien es cierto a lo largo de este trabajo se realizaron algunos descubrimientos de cómo afectan estas propiedades mecánicas al funcionamiento del manipulador, aún queda mucho por investigar.
2. A lo largo de este trabajo no se tomaron en cuenta las propiedades mecánicas de los resortes ni su efecto al manipulador, por lo que se recomienda en fases siguientes trabajar sobre este aspecto, explorando los cambios que causa intercambiar resortes que posean distintas propiedades.
3. Tomando la idea de la segunda plataforma de pruebas desarrollada, y tomando en cuenta que los mecanismos de carga y liberación propuestos pueden implementarse al manipulador, se recomienda realizar modificación a la segunda plataforma de pruebas, y unirlos a motores que permitan desplazamientos en los ejes «x» y «y», para otorgarle al manipulador movimiento, haciendo posible la tarea de manipulación de objetos.
4. Como se discutió en la sección 2 del capítulo 9, a pesar de que la propuesta para un manipulador bio-inspirado dada en esa sección no logró ser implementada correctamente, se realizaron descubrimientos respecto a las ventajas otorgadas por un diseño 3d sobre un diseño planar, por lo que se recomienda continuar explorando estas ventajas, así como realizar diseños que le otorguen volumen al manipulador, y evaluar los efectos que esto tiene sobre el mismo.



- 
- [1] C. V. D. F., *Diseño e implementación de prototipo bio- inspirado en la especie Mantis religiosa de liberación rápida para tareas de Manipulación*. 2010.
  - [2] M. Ceccarelli, *Robot Manipulators*. IntechOpen, 2008, ISBN: 9789537619060. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=XwWQDwAAQBAJ>.
  - [3] R. Pfeifer, M. Lungarella y F. Lida, “Self-Organization, Embodiment, and Biologically Inspired Robotics”, 2007. dirección: <https://science.sciencemag.org/content/318/5853/1088>.
  - [4] P. Sanjuan y M. Monsalve, *Transmision*, ép. Ciencia y Tecnica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2000, ISBN: 9788484270751. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=XsbSEeK54cAC>.
  - [5] R. G. Budynas, *Diseño de Ingenieria Mecanica de Shigley*, 9.<sup>a</sup> ed. Mc Graw Hill, 2012, ISBN: 978-607-15-0771-6.
  - [6] R. G. Tello, *Recursos Tecnológicos*. 2013. dirección: <http://rtjpvb.blogspot.com/>.
  - [7] H. Appold, *Tecnología de los metales para profesionales técnico-mecánicas*, ép. Edicion especial para proyectos de formacion profesional en el area de la cooperacion tecnica. Reverte, 1984, ISBN: 9788429160147. dirección: [https://books.google.com.gt/books?id=%5C\\_e0h1WvbEpYC](https://books.google.com.gt/books?id=%5C_e0h1WvbEpYC).
  - [8] D. Lent, *Análisis y proyecto de mecanismos*. Reverte, 1974, ISBN: 9788429148381. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=xZnIruFfnBcC>.
  - [9] PanadesAlbert, *Rueda Libre*. 2017. dirección: <https://www.youtube.com/watch?v=K1c3YPPeGtI>.
  - [10] I. A. J. Gutierrez, *Acoplamientos entre elementos de Transmisión*. 2010. dirección: <https://sites.google.com/site/358maquinas/acoplamientos-entre-elementos-de-transmision>.
  - [11] D. Cabrerizo, J. Bozal y J. Perez, *Fisica y Quimica 4 ESO*. Editorial Editex, 2008, ISBN: 9788497713214. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=bKK1b3z4FgwC>.
  - [12] FisicaLab, *Ley de Hooke*. dirección: <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-hooke#contenidos>.

- [13] T. White, *Resistencia de materiales*, ép. Acta Salmanticensia Series. Ediciones Universidad de Salamanca, 1992, ISBN: 9788474816990. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=CnYSoc1VsdkC>.
- [14] K. Anusavice, *Phillips La Ciencia De Los Materiales Dentales*. Elsevier, 2004, ISBN: 9788481747461. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=4UnIFbmAUqEC>.
- [15] U. de La Punta, *Propiedades Mecánicas*. dirección: [http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/educaciontecnologia/propiedades\\_mecnicas.html](http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/educaciontecnologia/propiedades_mecnicas.html).
- [16] A. Inc., *Diseño CAD*. 2019. dirección: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-design>.
- [17] —, *CAD/CAM SOFTWARE*. 2019. dirección: <https://www.autodesk.com/solutions/cad-cam>.
- [18] M. Groover, *Fundamentos de Manufactura Mode*: Prentice Hall, 1997, ISBN: 9789688808467. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=tcV0137tUr0C>.
- [19] H. Torres, *Como realizar una rueda de ginebra de 4 tiempos (asistido por rinoceros)*. 2014. dirección: <http://hectortorresgallery.blogspot.com/2014/10/como-realizar-una-rueda-de-ginebra-de-4.html>.
- [20] Ultimaker, *Ultimaker PLA*. 2019. dirección: <https://ultimaker.com/materials/pla>.
- [21] NinjaTek, *NinjaFlex*. 2019. dirección: <https://ninjatek.com/ninjaflex/>.

## 12.1. Propiedades de los materiales

Propiedades mecánicas de los materiales				
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia última a la Tensión (Mpa)
<b>MDF</b>	0.80	n/a	n/a	n/a
<b>PLA</b>	1.25	83 Shore D	2,346.50	45.6
<b>NinjaFlex</b>	1.2	85 Shore A	12	26

Cuadro 10: Propiedades mecánicas de los materiales utilizados [20] [21]

	Peso (g)
<b>MDF sin cojinete</b>	42.86
<b>MDF con cojinete</b>	42.98
<b>PLA 2mm</b>	27.77
<b>PLA 3mm</b>	42.00
<b>NinjaFlex</b>	40.00

Cuadro 11: Pesos de los manipuladores utilizados [20] [21]

## 12.2. Tablas de resultados

Desviación estándar de la distancia (cm)			
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	1.44	4.25	6.22
<b>MDF con cojinete</b>	1.68	2.37	2.52
<b>PLA 2mm</b>	2.33	3.23	3.67
<b>PLA 3mm</b>	0.81	1.49	3.01
<b>Prototipo anterior</b>	1.15	2.98	3.39

Cuadro 12: Desviación estándar de la distancia recorrida por los manipuladores

Desviación estándar de la velocidad(m/s)			
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	0.05	0.17	0.27
<b>MDF con cojinete</b>	0.07	0.07	0.22
<b>PLA 2mm</b>	0.09	0.07	0.15
<b>PLA 3mm</b>	0.04	0.05	0.13
<b>Prototipo anterior</b>	0.04	0.17	0.11

Cuadro 13: Desviación estándar de la velocidad máxima alcanzada por los manipuladores

Desviación estándar de la aceleración( $m/s^2$ )			
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra
<b>MDF sin cojinete</b>	0.58	1.70	2.91
<b>MDF con cojinete</b>	0.86	1.16	3.02
<b>PLA 2mm</b>	0.97	0.77	2.26
<b>PLA 3mm</b>	0.41	0.55	1.50
<b>Prototipo anterior</b>	0.59	3.02	10.17

Cuadro 14: Desviación estándar de la aceleración máxima alcanzada por los manipuladores

Cambio de distancia (%)				
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación promedio
<b>MDF sin cojinete</b>	9 %	17 %	38 %	-79 %
<b>MDF con cojinete</b>	22 %	26 %	60 %	-64 %
<b>PLA 2mm</b>	37 %	28 %	61 %	-58 %
<b>PLA 3mm</b>	25 %	18 %	44 %	-71 %

Cuadro 15: Relación de la distancia recorrida de los manipuladores respecto al prototipo recibido

Cambio de velocidad(%)				
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación promedio
<b>MDF sin cojinete</b>	11 %	44 %	56 %	-63 %
<b>MDF con cojinete</b>	29 %	57 %	78 %	-45 %
<b>PLA 2mm</b>	50 %	51 %	73 %	-42 %
<b>PLA 3mm</b>	32 %	42 %	64 %	-54 %

Cuadro 16: Relación de la velocidad máxima experimentada por los manipuladores respecto al prototipo recibido

Cambio de la aceleración(%)				
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación promedio
<b>MDF sin cojinete</b>	11 %	35 %	37 %	-73 %
<b>MDF con cojinete</b>	30 %	43 %	46 %	-60 %
<b>PLA 2mm</b>	52 %	36 %	46 %	-55 %
<b>PLA 3mm</b>	33 %	33 %	43 %	-64 %

Cuadro 17: Relación de la aceleración máxima experimentada por los manipuladores respecto al prototipo recibido

Cambio en la desviación estándar de la distancia (%)				
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación
<b>MDF sin cojinete</b>	1460 %	857 %	486 %	834 %
<b>MDF con cojinete</b>	674 %	305 %	123 %	267 %
<b>PLA 2mm</b>	541 %	385 %	176 %	267 %
<b>PLA 3mm</b>	279 %	278 %	202 %	153 %

Cuadro 18: Cambio de la distancia recorrida por los manipuladores respecto al prototipo recibido

Cambio en la desviación estándar de la velocidad(%)				
Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación
<b>MDF sin cojinete</b>	1377 %	223 %	436 %	579 %
<b>MDF con cojinete</b>	657 %	68 %	258 %	228 %
<b>PLA 2mm</b>	479 %	79 %	193 %	151 %
<b>PLA 3mm</b>	324 %	69 %	183 %	92 %

Cuadro 19: Cambio de la velocidad máxima alcanzada por los manipuladores respecto al prototipo recibido

Cambio en la desviación estándar de la aceleración(%)

Prototipo	Junta	Junta garra	Punta garra	Relación
<b>MDF sin cojinete</b>	903 %	162 %	78 %	281 %
<b>MDF con cojinete</b>	491 %	89 %	64 %	115 %
<b>PLA 2mm</b>	315 %	71 %	49 %	45 %
<b>PLA 3mm</b>	210 %	56 %	34 %	-0.14 %

Cuadro 20: Cambio de la aceleración máxima alcanzada por los manipuladores respecto al prototipo recibido

## 12.3. Gráficas de resultados

A continuación se presentan algunas de las gráficas de los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas por cada manipulador.

### 12.3.1. MDF sin cojinete

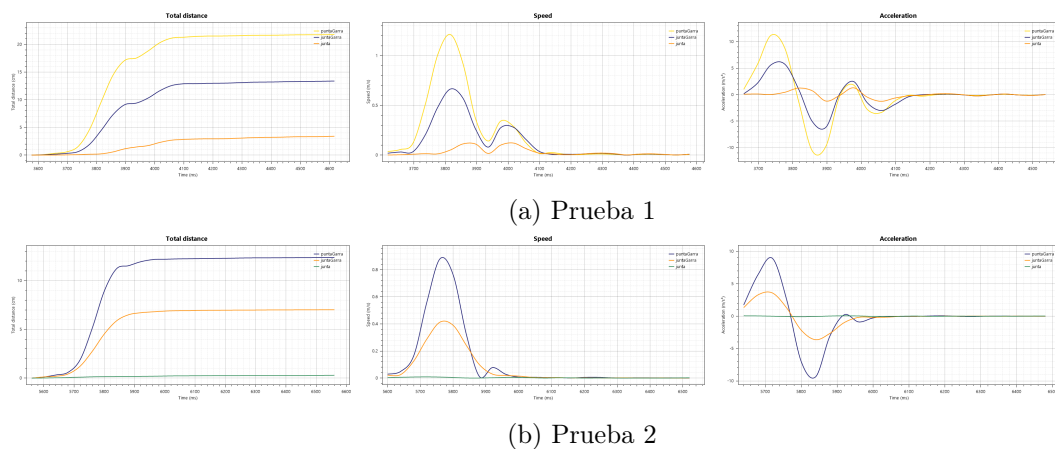
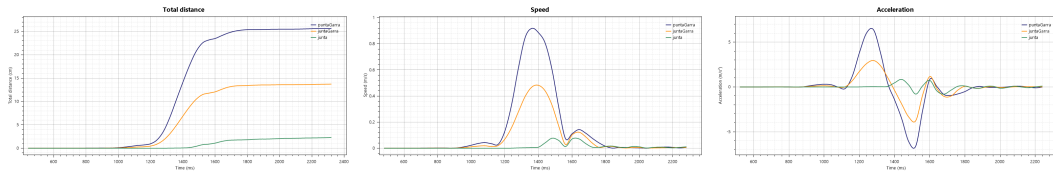
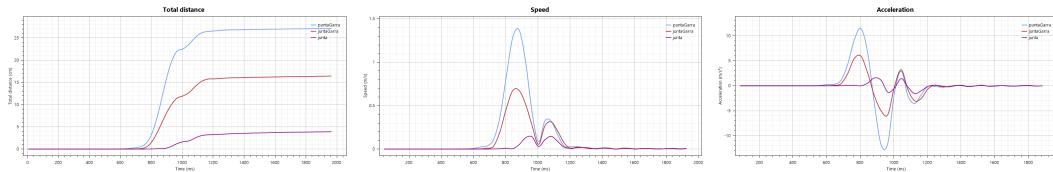


Figura 39: MDF sin cojinete

### 12.3.2. MDF con cojinete



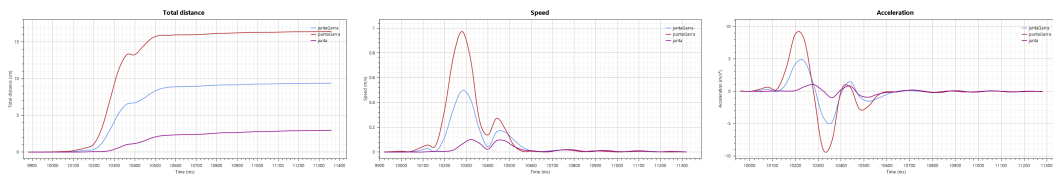
(a) Prueba 1



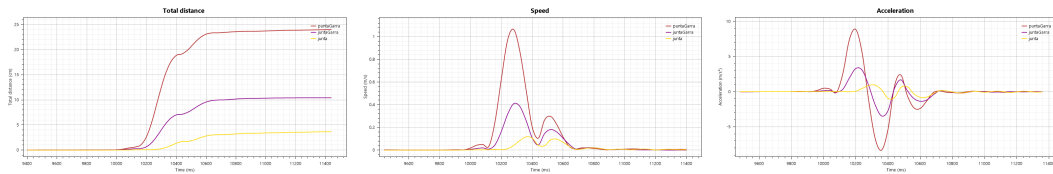
(b) Prueba 2

Figura 40: MDF con cojinete

### 12.3.3. PLA 3mm



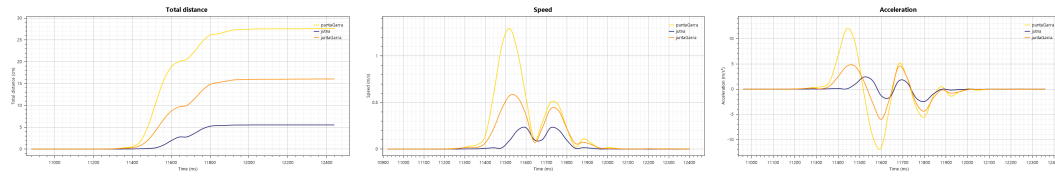
(a) Prueba 1



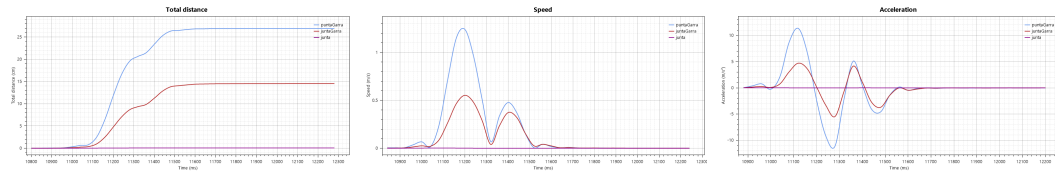
(b) Prueba 2

Figura 41: PLA 3mm

### 12.3.4. PLA 2mm



(a) Prueba 1



(b) Prueba 2

Figura 42: PLA 2mm

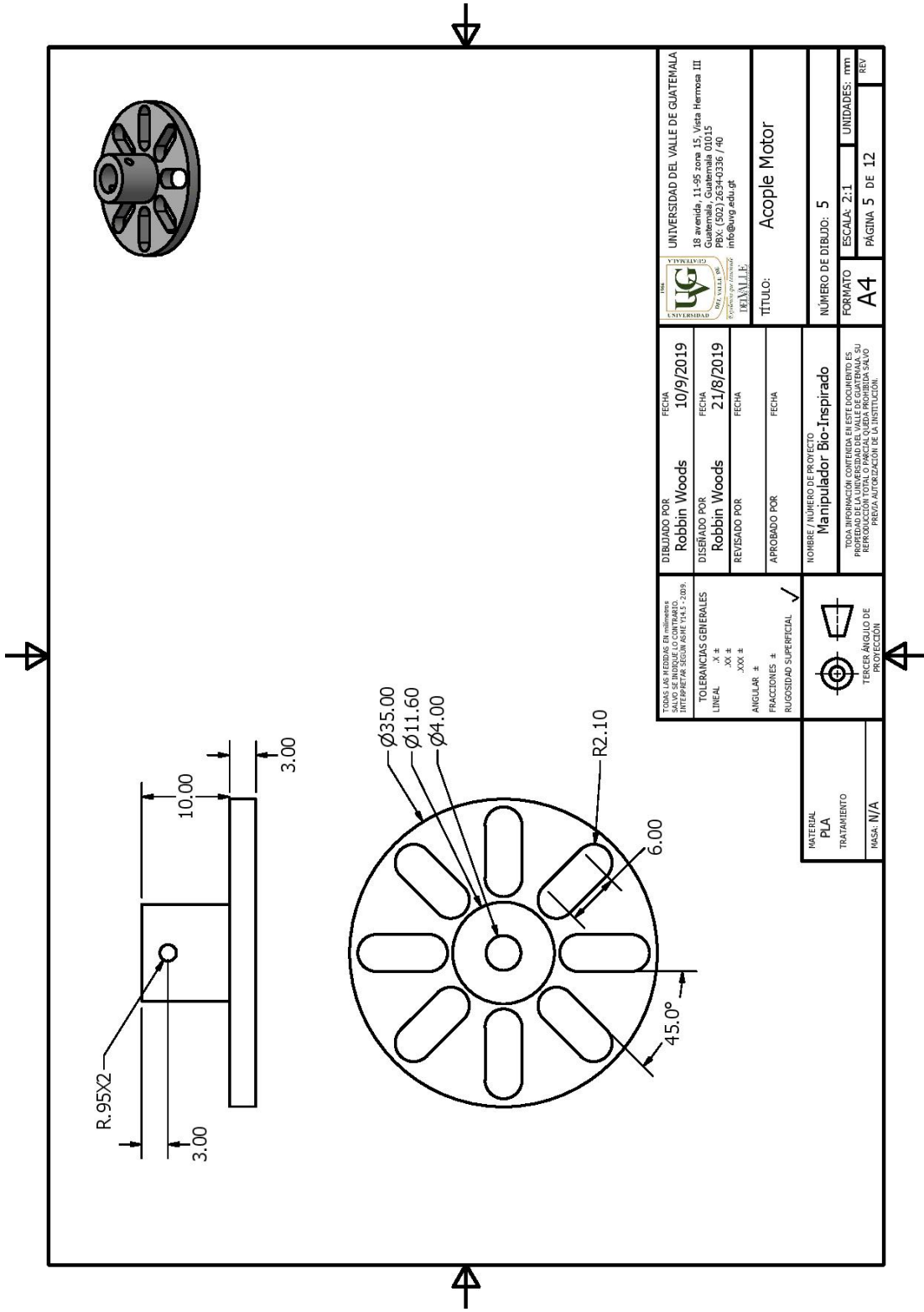
## 12.4. Programa de arduino

Se desarrolló un programa para arduino que permitiera la unión entre el manipulador y el hardware electrónico desarrollado (Ver Figura 33). El programa desarrollado se encuentra a continuación.

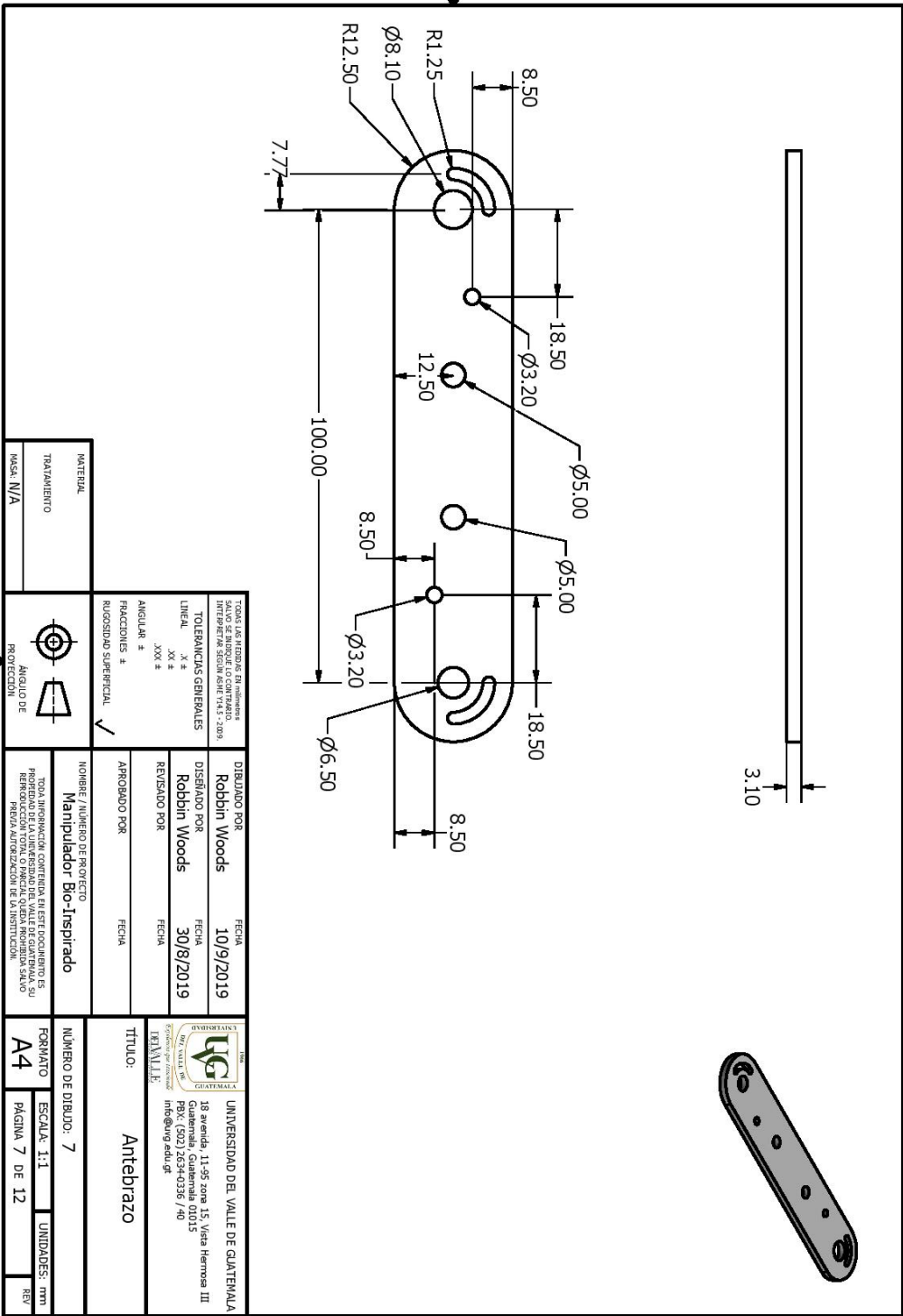
```
1 //Universidad del Valle de Guatemala
2 //Ingenieria Mecatronica
3 //Diseno e Innovacion de Ingenieria
4 //Titulo: control carga-descarga brazo mantis
5 //Autor: Robbin Woods Rodriguez, 15201
6
7 #include <Servo.h>          //Libreria utilizada para controlar los motores
8 int boton_cargar=7;        //Pin donde se conectara el boton para iniciar ...
   la carga del mecanismo
9 int boton_descargar=6;    //Pin donse se conectara el boton para la ...
   liberacion del mecanismo
10 int salidaServoCargar=5;  //Pin donde se conectara la senal de salida al ...
   motor que carga el mecanismo
11 int salidaServoLiberar=4; //Pin donde se conectara la senal de salida al ...
   motor que libera el mecanismo
12 Servo servoCarga;        //objeto tipo Servo
13 Servo servoDescarga;    //Objeto tipo Servo
14 int anguloDescarga=145;  //Angulo en que el motor liberara el mecanismo
15 void setup() {
16   // put your setup code here, to run once:
17   pinMode(boton_cargar,INPUT);          //estableciendo el pin como ...
   entrada
18   pinMode(boton_descargar,INPUT);      //Estableciendo el pin como ...
   entrada
19   servoDescarga.write(10);             //Angulo de reposo del ...
   motor que libera el mecanismo
20 }
21 void loop() {
22   int cargar=digitalRead(boton_cargar); //Leyendo si el boton de ...
   carga esta presionado
23   int liberar=digitalRead(boton_descargar); //Leyendo si el boton de ...
   liberacion esta presionado
24   if(cargar>0){
25     servoCarga.attach(salidaServoCargar); //Uniendo el servo de Carga ...
   al pin
26   }
27   else{
28     servoCarga.attach(11);             //Uniendo el servo de carga ...
   a un pin no utilizado
29   }
30   if(liberar>0){
31     servoDescarga.attach(salidaServoLiberar); //Uniendo el servo de ...
   liberacion al pin
32     servoDescarga.write(anguloDescarga); //Escribiendo el angulo del ...
   motor para liberar el mecanismo
33     delay(5000);                       //Delay de 5 Segundos
34     servoDescarga.write(10);           //Angulo de reposo del motor ...
   que libera el mecanismo
35     delay(3000);                       //Delay de 3 Segundos
36   }
37 }
```

## 12.5. Planos

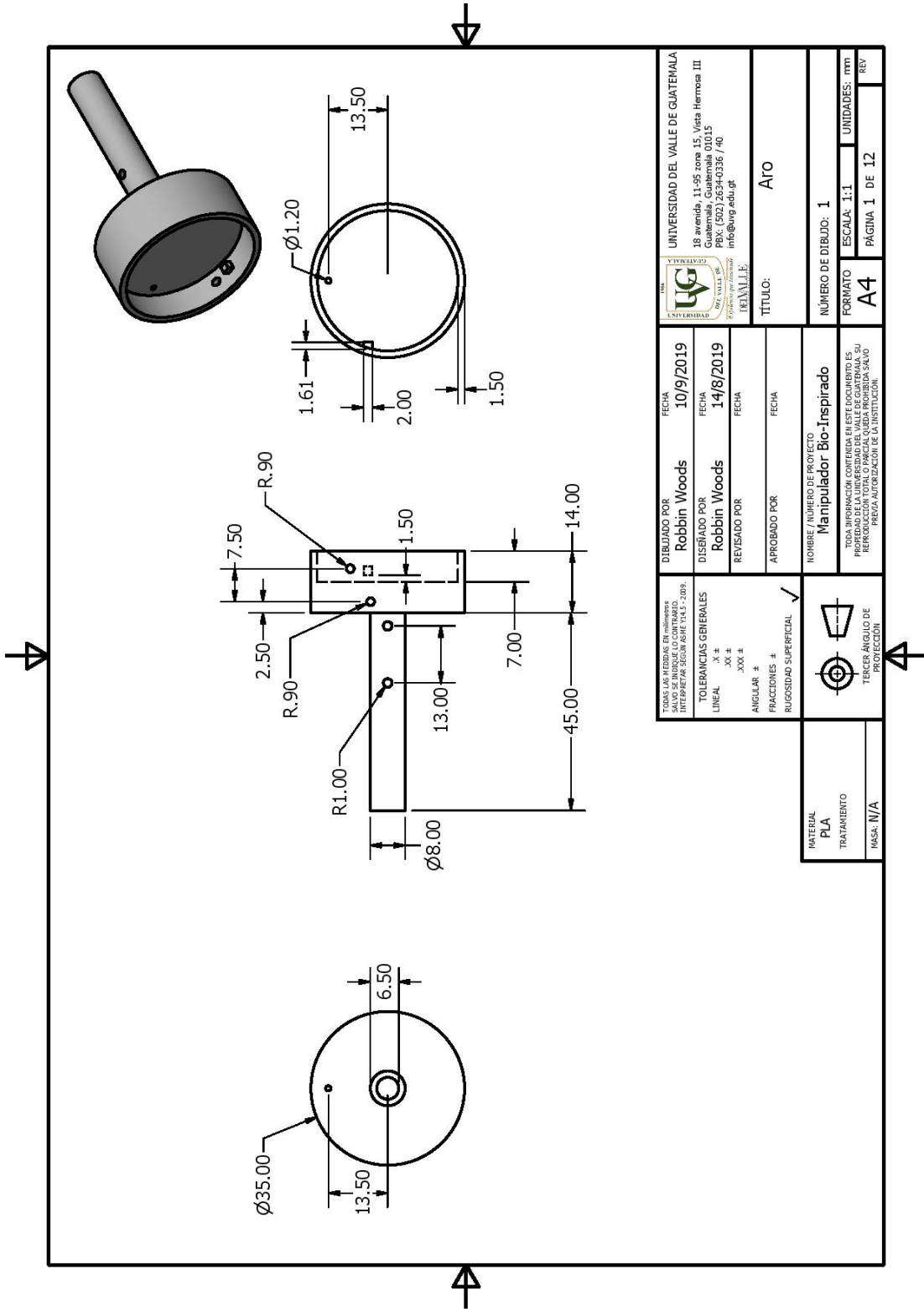
A continuación se encuentran los planos de las piezas finales.



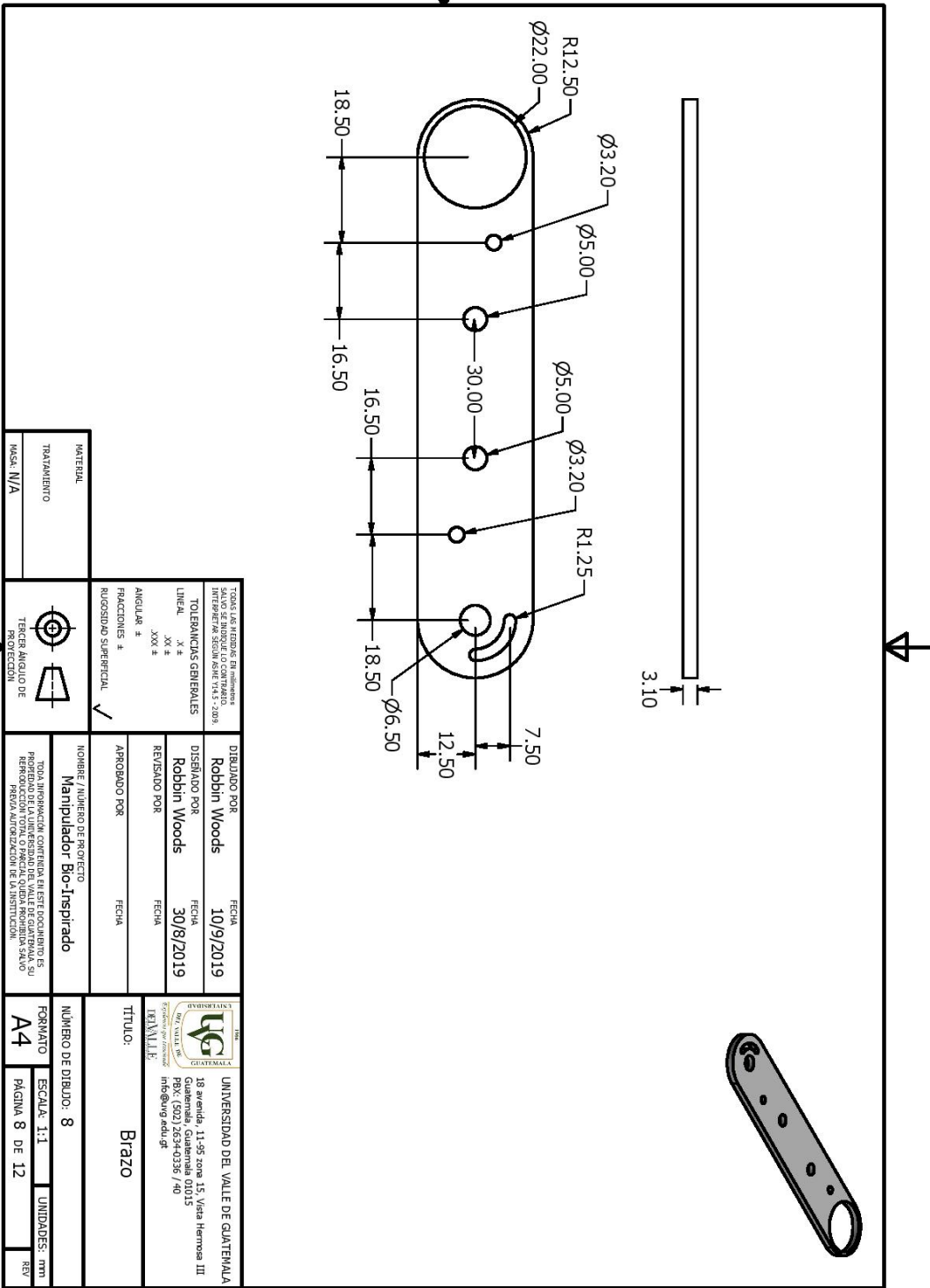
TODAS LAS MEDIDAS EN milímetros INTERPRETAR SEGUN ASME Y AISI 2-2009		DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b> FECHA <b>10/9/2019</b>		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2624-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b> FECHA <b>21/8/2019</b>		DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA	
MATERIAL PLA TRATAMIENTO NADA		APROBADO POR  FECHA		TITULO: <b>Acople Motor</b>	
NOMBRE / NUMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>		NUMERO DE DIBUJO: <b>5</b>		ESCALA: 2:1 UNIDADES: mm	
TERCER ANGLULO DE PROTECCION		FORMATO <b>A4</b>		PAGINA 5 DE 12	




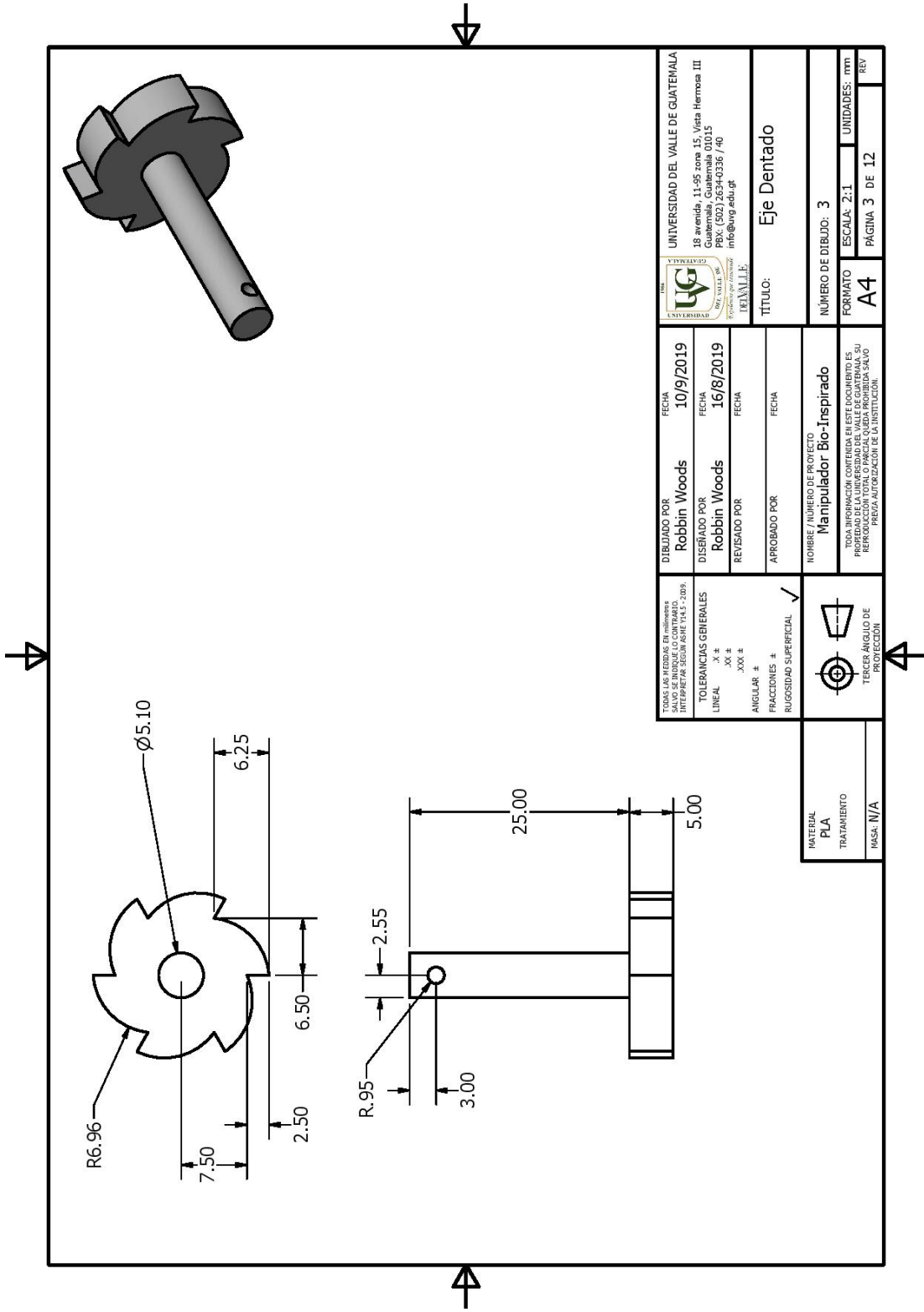
TOLAS LAS HERRAS EN INGENIERIA INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR INTERIOR DE SAN CARLOS, GUATEMALA, 2019		DIBUJADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>10/9/2019</b>	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL X ± ANGULAR X ± FRACCIONES X ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL X		REVISADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>30/8/2019</b>	
MATERIAL TRATAMIENTO MASA: N/A		APROBADO POR <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>		NOMBRE / NUMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>	
ANGULO DE PROYECCION		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0386 / 40 info@uvg.edu.gt		FORMATO <b>A4</b>	
RUGOSIDAD SUPERFICIAL		TITULO: <b>Antebrazo</b>		ESCALA: 1:1	
PROYECCION		NÚMERO DE DIBUJO: 7		PÁGINA 7 DE 12	
UNIDADES: mm		REV		UNIDADES: mm	



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>10/9/2019</b>	
DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>14/8/2019</b>	
REVISADO POR		FECHA	
APROBADO POR		FECHA	
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>			
TRATAMIENTO NÚMERO DE DIBUJO: <b>1</b>			
MATERIAL <b>PLA</b>		ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm	
TRATAMIENTO		FORMATO <b>A4</b>	
MASA: N/A		PÁGINA 1 DE 12	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		TERCER ÁNGULO DE PROTECCIÓN	

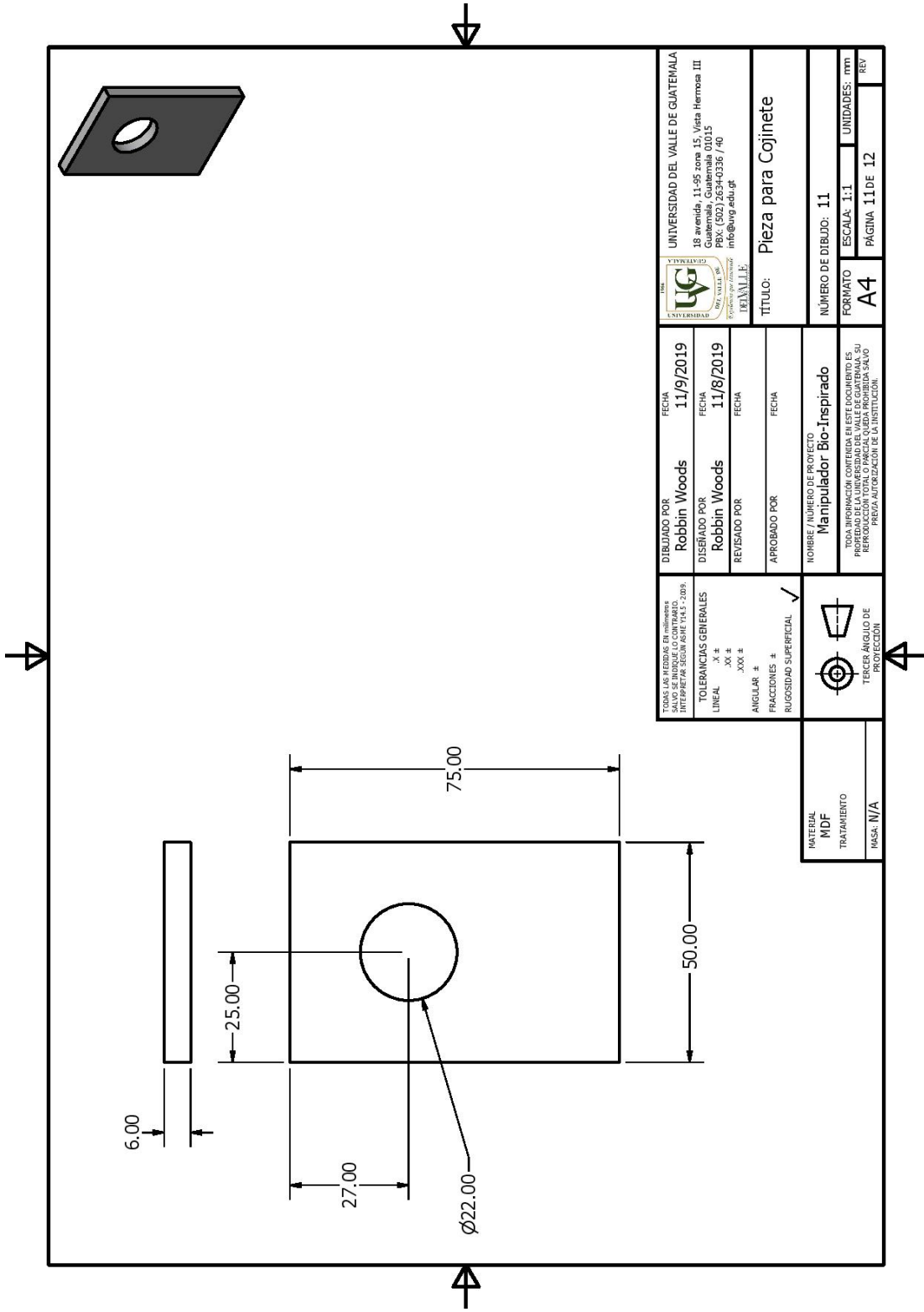


TOLERANCIAS PARA HERRAMIENTAS EN milímetros INTERPRETACIÓN DE LOS SÍMBOLOS EN MILÍMETROS		DIBUJADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>10/9/2019</b>	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL $\pm 0.1$ ANGULAR $\pm 0.05$ FRACCIONES $\pm 0.05$ RUGOSIDAD SUPERFICIAL $\sqrt{\quad}$		REVISADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>30/8/2019</b>	
MATERIAL TRATAMIENTO MASA: N/A		APROBADO POR <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>		NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>	
TERCER ANGLULO DE PROYECCIÓN		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0386 / 40 info@uvg.edu.gt		FORMATO <b>A4</b>	
ESCALA: 1:1		UNIDADES: mm		PÁGINA 8 DE 12	
REV		TÍTULO: <b>BRAZO</b>		REV	



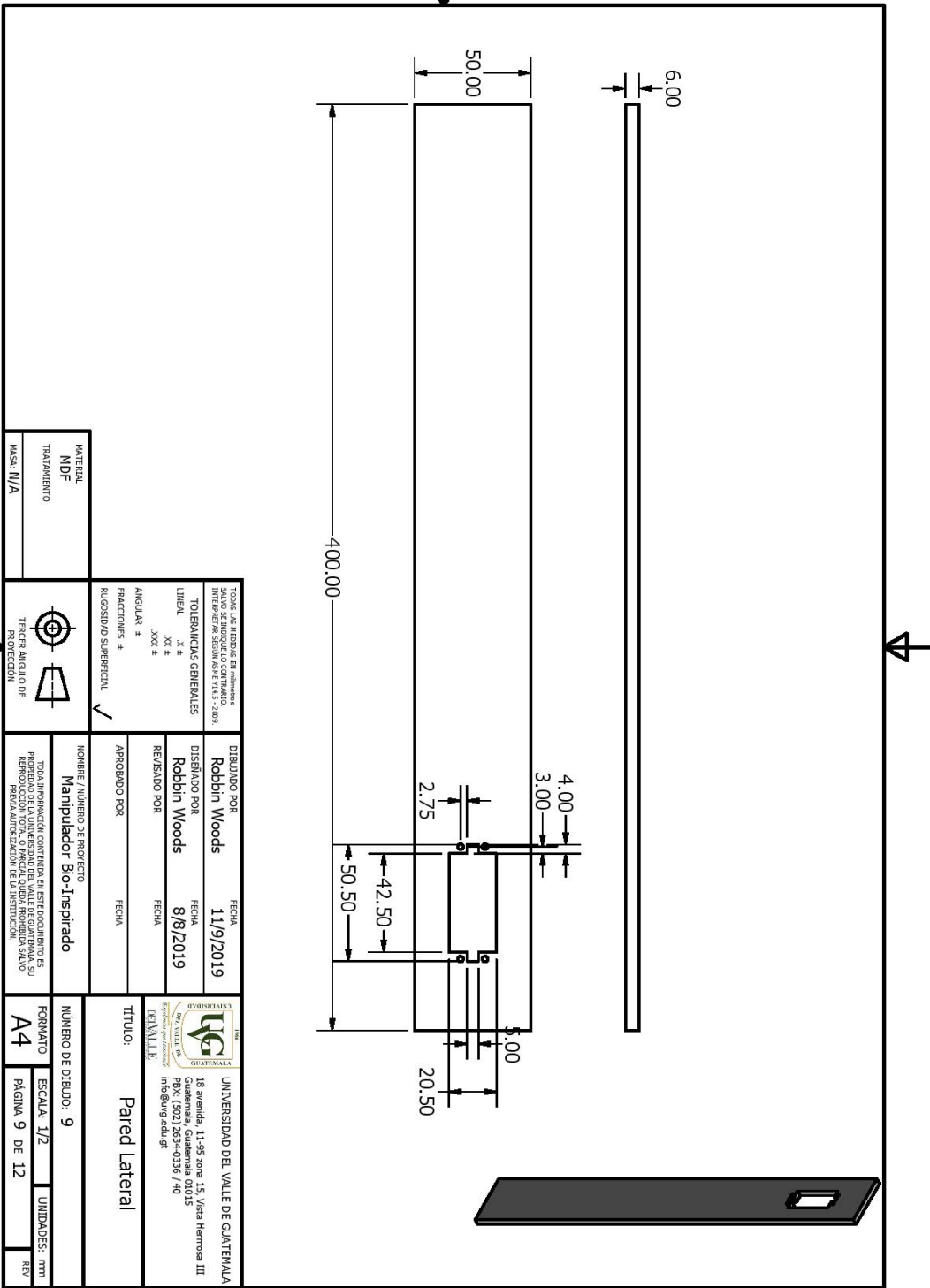
		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
DIBUJADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>10/9/2019</b>	
DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>16/8/2019</b>	
REVISADO POR		FECHA	
APROBADO POR		FECHA	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓			
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>		NÚMERO DE DIBUJO: <b>3</b>	
TITULO: <b>Eje Dentado</b>			
MATERIAL <b>PLA</b>		ESCALA: <b>2:1</b>	
TRATAMIENTO		UNIDADES: <b>mm</b>	
MASA: <b>N/A</b>		PÁGINA <b>3</b> DE <b>12</b>	





UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt		DIBUJADO POR <b>Robbin Woods</b> FECHA <b>11/9/2019</b>
DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b> FECHA <b>11/8/2019</b>		REVISADO POR  FECHA  
APROBADO POR  FECHA  		NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		NÚMERO DE DIBUJO: <b>11</b> ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: <b>A4</b> PÁGINA: 11 DE 12 REV
TITULO: <b>Pieza para Cojinete</b>		TITULO: <b>Pieza para Cojinete</b>

TODAS LAS MEDIDAS EN milímetros INTERPRETAR SEGUN ASME Y AISI 2-2009	TERCER ANGLULO DE PROYECCION
MATERIAL <b>MDF</b>	TRATAMIENTO  
MASA: N/A	

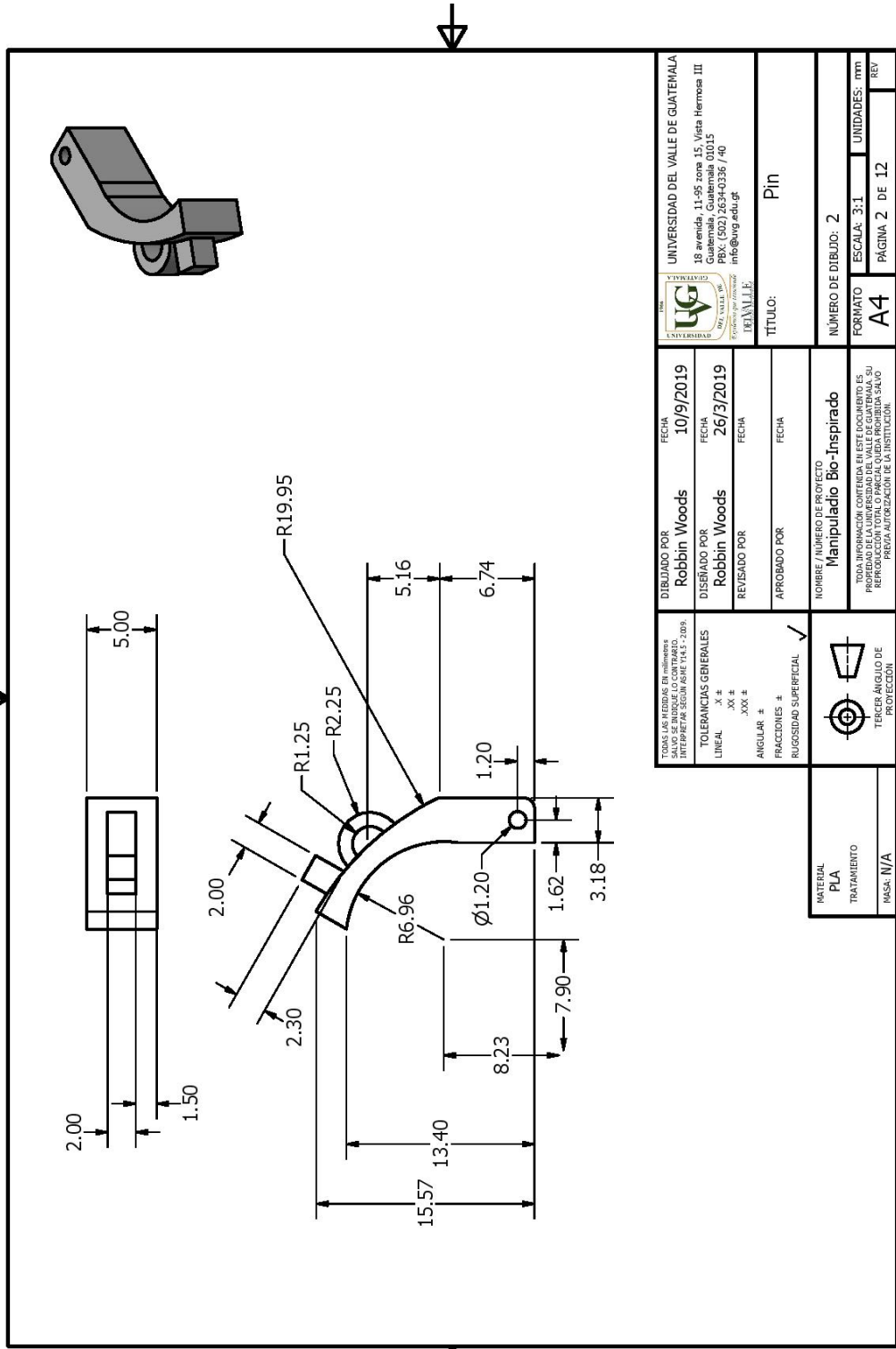


MATERIAL	MDF
TRATAMIENTO	
MASSA	N/A

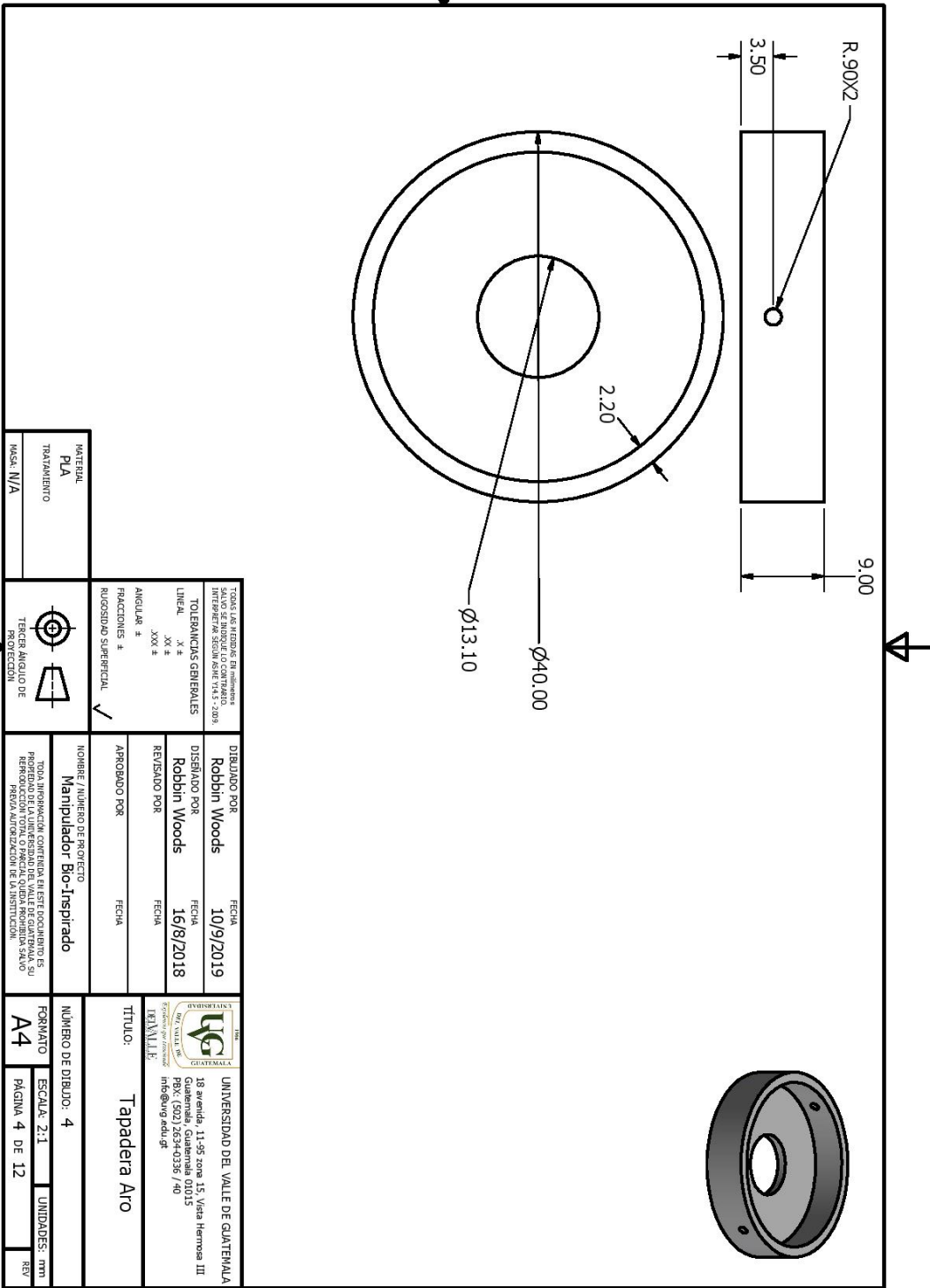
TOLERANCIAS GENERALES	LINEAL X ± XX ± XXX ±
ANGULAR	±
FRACCIONES	±
RUJOSIDAD SUPERFICIAL	✓

DIBUJADO POR	Robbin Woods	FECHA	11/9/2019
REVISADO POR	Robbin Woods	FECHA	8/8/2019
APROBADO POR		FECHA	
NOMBRE / NUMERO DE PROYECTO	Manipulador Bio-Inspirado		
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PARA SU AUTORIZACION DE INVESTIGACION.			

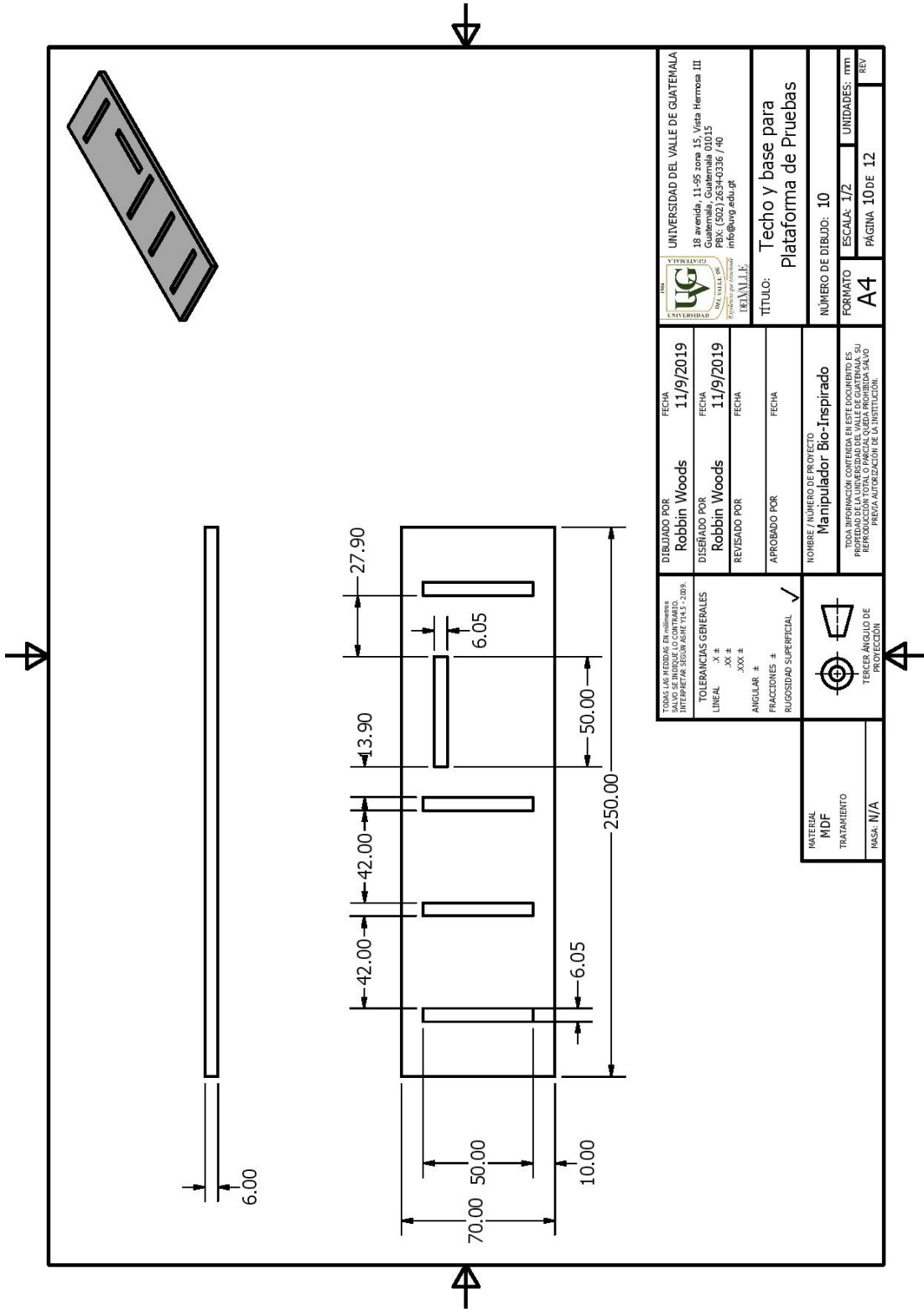
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 P&R: (502) 2634-0386 / 40 info@uvg.edu.gt
TITULO:	Pared Lateral
NUMERO DE DIBUJO:	9
FORMATO	A4
ESCALA:	1/2
PAGINA:	9 DE 12
UNIDADES:	mm
REV	



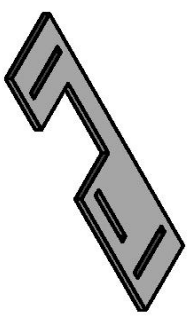
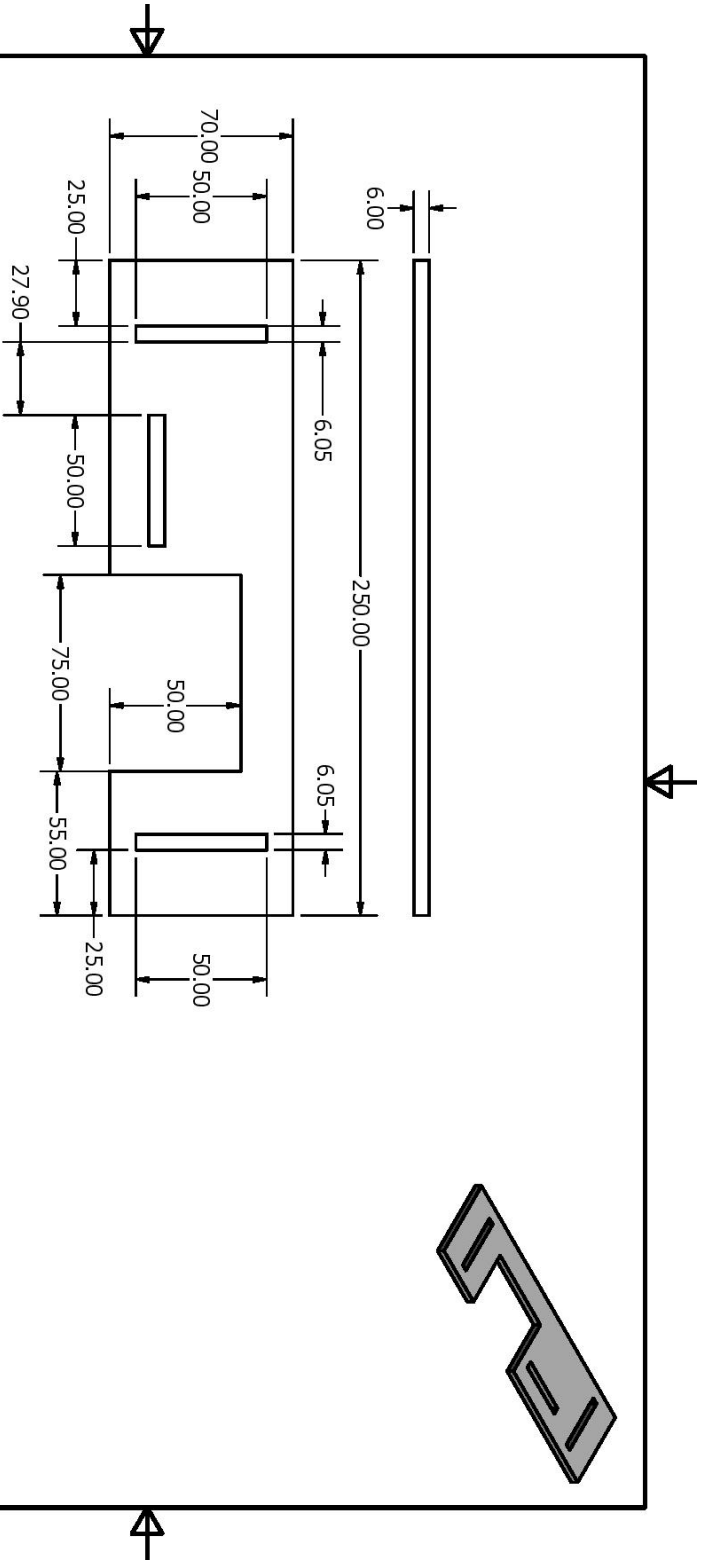
<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA</p> <p>18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt</p>		<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA</p> <p>18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt</p>	
<p>DIBUJADO POR Robbin Woods</p>		<p>FECHA 10/9/2019</p>	
<p>DISEÑADO POR Robbin Woods</p>		<p>FECHA 26/3/2019</p>	
<p>REVISADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>APROBADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO Manipulador Bio-Inspirado</p>			
<p>TOTAL INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PERMISO EXPRESO DE LA INSTITUCIÓN.</p>			
<p>MATERIAL PLA</p>		<p>NÚMERO DE DIBUJO: 2</p>	
<p>TREATAMIENTO</p>		<p>FORMATO A4</p>	
<p>MASS: N/A</p>		<p>UNIDADES: mm</p>	
		<p>PÁGINA 2 DE 12</p>	
		<p>REV</p>	



<p>TODAS LAS MEDIDAS EN milímetros          INTERPRETAR SEGUN ASME Y/AS 17.209.</p>		<p>DIBUJADO POR  <b>Robbin Woods</b></p>		<p>FECHA  <b>10/9/2019</b></p>	
<p>TOLERANCIAS GENERALES</p>		<p>DISEÑADO POR  <b>Robbin Woods</b></p>		<p>FECHA  <b>16/8/2018</b></p>	
<p>LINEAL <math>\pm .XX</math>  <math>\pm .XXX</math>          ANGULAR <math>\pm .XX</math>  <math>\pm .XXX</math></p>		<p>REVISADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>RUGOSIDAD SUPERFICIAL</p>		<p>APROBADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>TERCER ANGULO DE PROYECCION</p>		<p>NOMBRE / NUMERO DE PROYECTO  <b>Manipulador Bio-Inspirado</b></p>			
<p>MATERIAL  <b>PLA</b></p>		<p>TODA INFORMACION CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PARA SU AUTORIZACION DE SU INSTITUCION.</p>			
<p>TRATAMIENTO</p>		<p>FORMATO  <b>A4</b></p>		<p>ESCALA: 2:1</p>	
<p>MASA: N/A</p>		<p>PAGINA 4 DE 12</p>		<p>UNIDADES: mm</p>	
				<p>REV</p>	



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
DISEÑADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>11/9/2019</b>	
REVISADO POR <b>Robbin Woods</b>		FECHA <b>11/9/2019</b>	
APROBADO POR		FECHA	
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO <b>Manipulador Bio-Inspirado</b>		NÚMERO DE DIBUJO: <b>10</b>	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		FORMATO <b>A4</b>	
MATERIAL <b>MDF</b>		ESCALA: <b>1/2</b>	
TRATAMIENTO		UNIDADES: mm	
MASA: N/A		PÁGINA 10 DE 12	
TERCER ÁNGULO DE PROTECCIÓN		REV	



<p>TODAS LAS MEDIDAS EN milímetros          INTERPRETAR SEGUN ASISTE UNAS 1:2019</p>		<p>DIBUJADO POR  <b>Robbin Woods</b></p>		<p>FECHA  <b>11/9/2019</b></p>	
<p>TOLERANCIAS GENERALES</p>		<p>DISEÑADO POR  <b>Robbin Woods</b></p>		<p>FECHA  <b>11/8/2019</b></p>	
<p>LINEAL ±          XX ±          XXX ±</p>		<p>REVISADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>ANGULAR ±          FRACCIONES ±          RUGOSIDAD SUPERFICIAL</p>		<p>APROBADO POR</p>		<p>FECHA</p>	
<p>TERCER ANGULO DE PROYECCION</p>		<p>NOMBRE / NUMERO DE PROYECTO  <b>Manipulador Bio-Inspirado</b></p>		<p>PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE QUINTEMANA. SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PARA SU AUTORIZACION DE LA INSTITUCION.</p>	
<p>MATERIAL  <b>MDF</b></p>		<p>FORMATO  <b>A4</b></p>		<p>NUMERO DE DIBUJO: <b>12</b></p>	
<p>TRATAMIENTO  <b>N/A</b></p>		<p>ESCALA: <b>1/2</b></p>		<p>UNIDADES: <b>mm</b></p>	
		<p>PAGINA: <b>12 DE 12</b></p>		<p>REV</p>	
		<p>TITULO:  <b>Tope Manipulador</b></p>		<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE QUINTEMANA          18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III          Guatemala, Guatemala 01015          PBX: (502) 2634-0386 / 40          info@uvq.edu.gt</p>	

**CAD** (Computer-aided design por sus siglas en inglés) es el proceso de diseño en el cual se utilizan softwares computacionales. 18

**CAM** (Computer-aided manufacturing por sus siglas en inglés) implica el uso de computadores y tecnología de computo para ayudar en la fase directa de manufactura de un producto. Es un puente entre CAD y los lenguajes de programación de maquinas herramienta.. 18

**manipulador** mecanismo formado generalmente por elementos en serie articulados entre si destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.. 1

**mecanismo** conjunto de las partes de una máquina en su disposición adecuada.. 19-23, 26-30, 33, 34, 36, 38-40, 42, 44