



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

“Robot Tortuga no sumergible para la recolección de residuos sólidos en ecosistemas acuáticos”

Que para obtener el título de
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

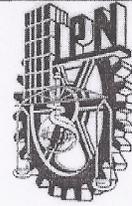
Cedillo León Carlos Daniel

Asesor(es)

Dr. Oscar Eduardo Cigarroa Mayorga
Dr. Armando Fabián Lugo Peñaloza
M. en C. Adrián Morales Blas



México, Ciudad de México, 4 de mayo del 2022



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Cedillo León Carlos Daniel
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los
derechos morales y patrimoniales de la obra titulada _____
Robot Tortuga no sumergible para la recolección de residuos sólidos en
ecosistemas acuáticos.

_____, en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio
del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal
del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN,
autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente
en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta
directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5
años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará
automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de
"La Tesis". Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y
patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente
autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo
que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o
la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos
industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de
propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de
cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 4 de mayo de 2022

Atentamente

Carlos Cedillo



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA



**ROBOT TORTUGA NO SUMERGIBLE PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

"INGENIERO EN MECATRÓNICA"

PRESENTA EL ALUMNO:

*av lo
CED 6.1.16*

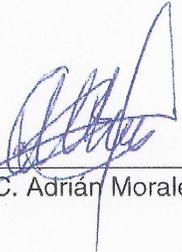
Cedillo León Carlos Daniel

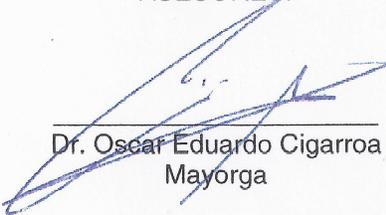
SINODALES:


Dr. Álvaro Anzueto Ríos.


M. en E. Elizabeth Rivas Bonilla.

ASESORES:


M. en C. Adrián Morales Blas


**Dr. Oscar Eduardo Cigarroa
Mayorga**


**Dr. Armando Fabián Lugo
Peñaloza**

CIUDAD DE MÉXICO A 4 DE MAYO DEL 2022.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer al Instituto Politécnico Nacional por la enseñanza sólida e íntegra que nos brindó a lo largo de nuestra formación como profesionistas, también queremos agradecer por habernos proporcionado las herramientas necesarias para poder enfrentar las adversidades que se presenten durante el ejercicio de nuestra profesión. Es un gran orgullo para nosotros convertirnos en Ingenieros Politécnicos y poder poner la técnica al servicio de la patria.

En segundo lugar, queremos agradecer a nuestros asesores por dar seguimiento a la evolución del proyecto y atender las necesidades del mismo, ellos son punto clave en la realización de este trabajo. Al Dr. Oscar Eduardo Cigarroa Mayorga por sus enseñanzas, paciencia y apoyo constante, al M. en C. Adrián Morales Blas por compartir sus conocimientos y habilidades en temas de visión artificial y al Dr. Armando Fabián Lugo Peñaloza por su contribución y apoyo.

Finalmente, pero no menos importante, queremos agradecer a nuestras familias por todo el apoyo brindado a lo largo de nuestra formación, no solo en el ámbito académico sino también en el personal.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2 Estado del Arte	4
1.3. Justificación	9
1.4. Objetivos	10
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	10
1.4.2 <i>Objetivos Específico Mecatrónica:</i>	10
1.4.3 <i>Objetivos Específicos Biónica:</i>	10
2. Marco Teórico	12
2.1 Robótica	12
2.1.1 <i>Robot Móvil</i>	13
2.1.2 <i>Robot Zoomorfo</i>	13
2.1.3 <i>Componentes y Estructura de los robots.</i>	14
2.2 Mecanismos	14
2.2.1 <i>Síntesis Cinemática.</i>	15
2.2.2 <i>Mecanismos de 4 eslabones y Ley de Grashof</i>	16
2.2.3 <i>Configuraciones comunes</i>	16
2.2.4 <i>Mecanismo de línea recta de Hoekens</i>	18
2.3 Impresión 3D	19
2.3.1 <i>Métodos</i>	19
2.3.2 <i>Materiales o Filamentos</i>	20
2.4 Motores de Corriente Directa	21
2.4.1 <i>Motorreductores</i>	22
2.5 Sistema de Visión Artificial.....	24
2.5.1 <i>Imagen digital</i>	24
2.5.2 <i>Obtención de características</i>	26
3. Desarrollo	30
3.1. Metodología de Diseño, Análisis de Requerimientos y división por áreas funcionales.....	30
3.1.1 <i>Metodología de Diseño</i>	30
3.1.2 <i>Áreas Funcionales</i>	31
3.1.3 <i>Requerimientos del sistema</i>	33

3.1.4 <i>Análisis funcional</i>	34
3.2. <i>Diseño Conceptual</i>	36
3.2.1 <i>Matriz Morfológica</i>	36
3.2.2 <i>Selección de Diseño Conceptual</i>	38
3.3.3 <i>Boceto</i>	41
3.3 <i>Diseño Detallado</i>	42
3.3.1 <i>Área Funcional 1. Desplazar el prototipo.</i>	42
3.3.2 <i>Área Funcional 2. Procesamiento de imágenes</i>	47
3.3.3 <i>Área Funcional 3. Recolección de Basura</i>	53
3.3.4 <i>Área Funcional 4. Control y Comunicación</i>	53
3.3.5 <i>Área Funcional 5. Suministro de Energía</i>	54
3.3.6 <i>Estructura Zoomorfa</i>	55
3.3.7 <i>Integración del sistema de locomoción, de recolección y estructura zoomorfa</i>	60
3.4 <i>Selección de Materiales</i>	63
3.5 <i>Selección de componentes comerciales</i>	65
3.6 <i>Modelado y validación</i>	68
3.6.1 <i>Análisis de Elemento Finito</i>	68
3.6.2 <i>Validación Mecatrónica</i>	74
3.7 <i>Vista Explosionada</i>	77
4. Implementación	79
4.1 <i>Sistema de Locomoción y Estructura Zoomorfa</i>	79
4.2 <i>Sistema de Recolección de residuos</i>	81
4.3 <i>Sistema de Control y Visión artificial</i>	81
5. Resultados	84
5.1 <i>Resultados propios del estudio tecnológico.</i>	84
5.1.1 <i>Estructura Zoomorfa y Sistema de Locomoción</i>	84
5.1.2 <i>Sistema de Control y Visión Artificial</i>	85
5.1.3 <i>Integración del Sistema Mecatrónico</i>	87
5.2 <i>Presupuesto</i>	90
5.3 <i>Impacto Ambiental</i>	90
6. Conclusiones	92
6.1 <i>Conclusiones</i>	92
6.1.1 <i>Investigaciones a futuro</i>	93

7. Referencias	95
8. Apéndices y Anexos	100
8.1 Apéndices	100
<i>APENDICE A. Administración del proyecto</i>	100
<i>APENDICE B. Códigos</i>	109
8.2 Anexos	112
8.3 Planos Normalizados	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. La tortuga robot de ETH Zurich.	4
Figura 2. Diseño de Pez Robot por ESIME-IPN	5
Figura 3. Víbora Robótica realizado por L.Zhenli et al.	5
Figura 4. Robot Submarino seguidor de Trayectorias	6
Figura 5. Waste Shark por Ranmarine Technology	6
Figura 6. Great Pacific Garbage Patch	7
Figura 7. Syrennis	7
Figura 8. Robotic Turtle por alumnos del CECyT 3	8
Figura 9. Diagrama de Bloques de un Sistema Robótico	12
Figura 10. Robot Móvil	13
Figura 11. Tipos de articulaciones en un Robot	14
Figura 12. Mecanismo de 4 barras	14
Figura 13. Mecanismo Manivela Balancín.....	16
Figura 14. Mecanismo Doble Manivela	17
Figura 15. Mecanismo Doble Balancín	17
Figura 16. Mecanismo de Hoekens	18
Figura 17. Mecanismo de Hoekens modificado	18
Figura 18. Pieza Mecánica impresa en 3D.....	21
Figura 19. Motor de Corriente Directa.....	21
Figura 20. Partes de un motor de Corriente Directa.....	22
Figura 21. Relación entre el torque, velocidad y potencia.....	23
Figura 22. Etapas de un sistema de Visión Artificial.....	24
Figura 23. Modelo RGB	25
Figura 24. Capas de una imagen RGB.....	25
Figura 25. Metodología V	30
Figura 26. Áreas Funcionales.....	31
Figura 27. IDEF A-0. Diagrama General	34
Figura 28. IDEF A0. Diagrama por áreas funcionales	35
Figura 29. Boceto del prototipo	41
Figura 30. Trayectoria de Desplazamiento de la Tortuga	42
Figura 31. Graficas de posición	43
Figura 32. Trayectorias Proyectadas en 3D, Pata Delantera y Trasera Respectivamente	43

Figura 33. Ejemplo de Mecanismo Seleccionado.....	44
Figura 34. Mecanismo de 4 barras de la pata trasera.....	45
Figura 35. Grafica de posición (a) y Velocidad del mecanismo (b)	46
Figura 36. Cámara WEB.....	47
Figura 37. Señalamientos a identificar	47
Figura 38. Imágenes segmentadas.....	49
Figura 39. Diagrama de Flujo general del reconocimiento de imágenes.....	51
Figura 40. Diagramas de flujo para el reconocedor de color y de forma respectivamente	52
Figura 41. Mecanismo de Recolección.....	53
Figura 42. Diagrama Esquemático Conexión.....	54
Figura 43. Escala del caparazón del espécimen, Vista Lateral	55
Figura 44. Escala del caparazón del espécimen. Vista Superior.....	55
Figura 45. a) Proceso de diseño de caparazón b) Diseño final del caparazón	56
Figura 46. "Base", vista isométrica.....	57
Figura 47. "Cabeza". Vista Lateral y Frontal	57
Figura 48. "Cabeza", Vista Isométrica	58
Figura 49. "Mesa"	58
Figura 50, Ensamble de "Pata Interior" y "Pata Exterior"	59
Figura 51. Mecanismo General y unión con las articulaciones.....	60
Figura 52. Mecanismo Derecho e Izquierdo	60
Figura 53. Complemento, Tope y Mecanismo junto con Base.....	61
Figura 54. Ensamblaje Final.....	62
Figura 55. AHF. Dientes del Engrane.....	68
Figura 56. AHF. Balancín Delantero. Tensiones	69
Figura 57. AHF. Balancín Trasero. Tensiones	69
Figura 58. AHF. Balancín Delantero y Trasero. Deformación.....	70
Figura 59. AHF. Biela Delantera y Trasera. Tensiones a 3mm.....	71
Figura 60. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 3mm.....	72
Figura 61. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 6mm.....	72
Figura 62. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 6mm.....	73
Figura 63. Modelo Exportado utilizando Simmechanics.....	74
Figura 64. Diagrama de Bloques del Péndulo Doble	75
Figura 65. Subsistema Theta 1	75
Figura 66. Subsistema Theta 2	76
Figura 67. Simulación en Matlab.....	76
Figura 68. Diagrama Explosionado.....	77
Figura 69. Piezas Impresas	79
Figura 70. Corte Laser de los Eslabones y Engranés	80
Figura 71. Piezas pegadas.....	80
Figura 72. Prototipo Pintado	80
Figura 73. Implementación del Sistema de Recolección.....	81
Figura 74. Diagrama de Flujo del Sistema de Control	82
Figura 75. Trazado de Ruta del Mecanismo.....	84
Figura 76. Prueba de Flotación con el sistema de locomoción.....	84

Figura 77. Prueba del Sistema de Locomoción Y potencia	85
Figura 78. Reconocimiento de estrella roja.	85
Figura 79. Reconocimiento de círculo amarillo.....	86
Figura 80. Reconocimiento de triángulo azul.....	86
Figura 81. Detección del Señalamiento 1.....	86
Figura 82. Detección del Señalamiento 2.....	87
Figura 83. Detección del Señalamiento 3.....	87
Figura 84. Flotabilidad con todos los sistemas integrados	88
Figura 85. Pruebas de Desplazamiento Lineal	88
Figura 86. Prueba de Giros.....	89
Figura 87. Proyecto Concluido	89
Figura 88. Ruta Crítica	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos del Sistema.....	33
Tabla 2. Matriz Morfológica	37
Tabla 3. Diseño Conceptual. Método AHF. Tabla General	39
Tabla 4. Diseño Conceptual. Conjunto de Tablas de Criterios	40
Tabla 5. Diseño Conceptual. Matriz de Comparación por pares.....	40
Tabla 6. Diseño Conceptual. Elección Final	40
Tabla 7. Longitudes de los eslabones.....	45
Tabla 8. Umbrales para segmentación de imagen.....	48
Tabla 9. Elemento estructurante	48
Tabla 10. Momentos invariantes de Hu	50
Tabla 11. Umbrales para identificar forma	50
Tabla 12. Peso de las piezas	59
Tabla 13. Estructura Zoomorfa, Selección de Materiales	63
Tabla 14. Eslabones, Selección de Materiales.....	64
Tabla 15. Controlador, Selección de Componentes.....	65
Tabla 16. Captura de Imágenes, Selección de Componentes	66
Tabla 17. Suministro de Energía, Selección de Componentes	67
Tabla 18. Motor. Selección de Componentes	67
Tabla 19. Costo del Prototipo.....	90
Tabla 20. Cronograma de Actividades TT1.....	102
Tabla 21. Cronograma de TT2	104
Tabla 22. Ruta Crítica	105
Tabla 23. Ponderación de Impacto	106
Tabla 24. Herramienta de Análisis de Riesgo	107
Tabla 25. Análisis Cualitativo.....	107
Tabla 26. Evaluación de Riesgo	108
Tabla 27. Plan de Riesgo.....	109

ABREVIATURAS

ESIME: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

IPN: Instituto Politecnico Nacional

PID: Controlador proporcional, integral y derivativo

PET: Tereftalato de polietileno (polyethylene terephthalate)

RIA: Instituto de Robótica de América (Robotic Industries Association)

ABS: acrilonitrilo butadieno estireno

PLA: Acido poliláctico

CD: corriente directa

RPM: Revoluciones por minuto

HP: caballos de fuerza (horsepower)

RGB: rojo, verde y azul (Red, Green, Blue)

GDL: Grado de libertad

I2C: Circuito Interintegrado (Inter-Integrated Circuit)

SPI: Interface Periférica serie (Serial Peripheral Interface)

MDF: Tableros de fibras de densidad media (Medium Density Fibreboard)

LED: Diodo Emisor de Luz (Light-Emitting Diode).

EEPROM: Memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

Wh: Watt/Hora

GLOSARIO

- Locomoción: hace referencia al movimiento que realiza una persona, un animal, un microorganismo, un aparato o máquina para moverse de un lugar a otro.
- Biomimética: Ciencia que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración para crear nuevos inventos y proyectos tecnológicos, los cuales se basan en imitar sistemas (mecánica), procesos (química) o elementos.
- Microcontrolador: Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.
- GPIO: Puertos de entrada y salida de propósito general.
- Python: Es un lenguaje de programación versátil multiplataforma y multiparadigma con una licencia de código abierto que se destaca por su código legible y limpio.
- Simulink: Es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación Matlab. Es una herramienta de simulación de modelos o sistemas, con cierto grado de abstracción de los fenómenos físicos involucrados en los mismos. Se hace hincapié en el análisis de sucesos, a través de la concepción de sistemas.
- SolidWorks: Es un programa de diseño mecánico en 3D con el que puedes crear geometría 3D usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller.
- Grado de libertad: Es el número de parámetros independientes que se necesitan para definir unívocamente la posición en el espacio en cualquier instante. Pueden indicar un movimiento longitudinal o de rotación.
- I2C: bus serie de datos utilizada principalmente internamente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados.

RESUMEN

Este proyecto consiste en diseñar, construir e implementar un prototipo de robot zoomórfico inspirado en una tortuga de orejas rojas, el cual se desplaza en la superficie del agua emulando la locomoción de dicho animal utilizando el mecanismo de Hoekens en cada aleta, de igual manera su estructura está diseñada con base en la anatomía de la misma, para su posterior fabricación en impresión 3D. El prototipo cuenta con un sistema de visión artificial para llevar a cabo el seguimiento de trayectorias establecidas previamente, el cual incluye aplicar técnicas de procesamiento de imágenes para segmentar y posteriormente identificar señalamientos colocados sobre boyas flotantes, además, tiene como tarea limpiar la superficie de ecosistemas acuáticos no turbulentos, a través de la recolección y almacenamiento de residuos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos que se encuentren a su paso.

Todos los procesos necesarios para su funcionamiento se realizan a bordo del robot, por lo que es necesario utilizar una tarjeta de procesamiento que se encargue de analizar las imágenes y controlar el desplazamiento del prototipo, logrando de esta manera que su funcionamiento sea autónomo, es decir, que no sea necesaria la interacción con el usuario, más que para la descarga de los residuos almacenados.

Palabras clave: Robot Zoomórfico, Mecanismo de Hoekens, Impresión 3D, Visión Artificial, Procesamiento de imágenes, Residuos Sólidos, Tarjeta de procesamiento.

ABSTRACT

This project consists of designing, building and implementing a prototype of a zoomorphic robot inspired by a red-eared turtle, which moves on the surface of the water emulating the locomotion of that animal using the Hoekens mechanism in each fin, in the same way, the structure is designed based on its anatomy, and manufactured in 3D printing. The prototype has an artificial vision system to carry out the tracking of trajectories, which includes applying image processing techniques to segment and later identify signs placed on floating buoys, in addition, its task is to clean the surface of non-turbulent aquatic ecosystems, through the collection and storage of solid waste, organic and inorganic that are in its path.

All the processes necessary for its operation are carried out on board the robot, for that reason is necessary to use a processing card that is in charge of analyzing the images and controlling the prototype movements, this making its operation autonomous, that is to say that the interaction with the user is only for the discharge of the stored waste.

Keywords: Zoomorphic Robot, Hoekens Mechanism, 3D Printing, Computer Vision, Image Processing, Solid Waste, Single Board Computer.

HIPÓTESIS

Es posible diseñar y construir un robot que sea capaz de flotar y desplazarse, emulando la locomoción de una tortuga a través de mecanismos contruidos con barras y eslabones, y que además sea capaz de arrastrar objetos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

Durante los últimos años, las investigaciones y el desarrollo de robots se han incrementado gracias a las nuevas tecnologías, las cuales facilitan y perfeccionan su desarrollo. Existe una amplia clasificación de robots, dentro de los cuales podemos encontrar robots médicos, robots humanoides, robots domésticos, robots aéreos, robots zoomórficos, etc, este último tipo hace referencia a los robots inspirados en un animal.

En la actualidad los diseñadores han desarrollado robots zoomorfos eficaces y eficientes capaces de trasladarse usando diferentes tipos de sistemas de locomoción en diferentes ambientes, tales como el agua, el aire o la tierra; sin embargo, uno de los principales problemas de estos robots es su adaptabilidad, por lo que existen un reducido número de robots diseñados y construidos para la locomoción en varias superficies.

Los robots en general son programados para realizar distintas tareas, por ejemplo, tenemos los enfocados a la industria, al área médica y militar, aquellos para el área doméstica o de servicios, etc.

Por otro lado, la contaminación es un problema inevitable que generalmente se origina como consecuencia del crecimiento y desarrollo incontrolado de la población, así como de los centros industriales.

Cada año el ser humano produce cantidades enormes de basura, simplemente en un día, se estima que cada persona genera aproximadamente 1.69 kilos, lo que se traduce en más de 620 kilos al año. El 60% de esta basura es generada por envases o embalajes, muchos de estos son de un solo uso [1].

Los residuos tóxicos, basura y plástico terminan en los mares, ríos y lagos arrastrados por las corrientes, afectando así a una gran cantidad de especies, pero la basura no solo puede acabar con la fauna y arruinar los ecosistemas marinos, también representa un problema de salud con un impacto económico y social negativo, afectando al turismo y a la pesca.

Teniendo en cuenta lo anterior, la propuesta presentada es la de un prototipo de tortuga robótica construida para limpiar la superficie de ecosistemas acuáticos no turbulentos.

1.1. Planteamiento del problema

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de este prototipo es la recolección de residuos sólidos en la superficie de ecosistemas acuáticos no turbulentos, pero para lograr realizarlo nos enfrentamos a los siguientes retos:

1) **Elección de materiales:**

Parte fundamental del proyecto, debido a que se necesita utilizar materiales que sean resistentes a la corrosión, además de que la elección depende en gran medida del proceso de manufactura a emplear.

2) **Biomimetización del sistema de locomoción:**

La locomoción de una tortuga es versátil, ya que puede realizar diferentes tipos de movimientos que le permiten desplazarse en distintos entornos, por lo que el estudio de movimiento tiene que ser específico del tipo de desplazamiento que se quiera imitar, aunque derivado del escalamiento de dimensiones se podrían presentar inconsistencias en cuanto a fuerza o funcionamiento.

3) **Detección de los señalamientos:**

Los reflejos en el agua y la luz del entorno son variables que no son posibles de controlar, por lo que se debe lograr que estas dos variables afecten lo menos posible a nuestro procesamiento de imágenes.

4) **Recolección de Residuos:**

Las limitaciones que aparecen aquí son la cantidad de residuos que se pueden almacenar, y la dimensión de estos, además de que el exceso de peso arrastrado afectaría directamente al sistema de locomoción.

5) **Entorno:**

Como sabemos existe un gran número de ecosistemas acuáticos que difieren entre sí, por lo que construir un robot capaz de operar en todos es imposible, ya que, por ejemplo, algunos presentan corrientes de agua muy fuertes con las que el prototipo podría dañarse.

6) **Electrónica y Potencia**

Uno de los más grandes retos es lograr que todos los sistemas puedan trabajar en conjunto, sin perder potencia, velocidad o que sean afectados por el entorno, es por ello que se necesita un diseño adecuado y cálculos apropiados considerando la corriente necesaria en cada uno de los componentes para asegurar el correcto funcionamiento de todos los sistemas abordo.

Capítulo 1. Introducción

En resumen, implementar un sistema de locomoción en un robot zoomórfico es todo un reto para la ingeniería, es necesario considerar aspectos como la fuerza, la velocidad o el funcionamiento en conjunto, sin olvidar que una parte fundamental es el diseño de la estructura. La elección de los materiales es vital si se desea el funcionamiento en distintos entornos acuáticos, pues se debe evitar la corrosión y deterioro causado por el ambiente, otro aspecto importante es el procesamiento de las imágenes ya que al utilizarse al aire libre aparecen variables imposibles de controlar. Debido a la gran diversidad de entornos acuáticos sería muy difícil construir un prototipo capaz de operar en todos, es por ello que es necesario tener limitaciones claras, lo anterior aplica también en los residuos a recolectar, ya que estos tienen diferentes formas y tamaños por lo que resulta complicado recolectar todos.

1.2 Estado del Arte

Para el desarrollo de este proyecto es importante conocer trabajos sobre prototipos de robots acuáticos así como la aplicación que se les ha dado, por ejemplo:

La tortuga Robot

En el año 2012 la revista “Muy interesante” publicó un artículo sobre “*Naro-Tartaruga: La Tortuga Robot*”, un robot creado por la compañía ETH Zurich. Este robot fue pensado como una forma de vehículo autónomo para navegar bajo el agua y posiblemente transportar cargas.

Está destinada a ser rápida, puede alcanzar una velocidad máxima de dos metros por segundo. También es bastante maniobrable, tiene dos aletas delanteras capaces de moverse de manera independientemente, controladas por tres actuadores cada una. El primer prototipo de esta tortuga-robot mostrado en la Figura 1, pesa 75 kilos, mide un metro de largo, equipa un procesador Intel Core i7 y puede ser controlado manualmente o de forma autónoma [3].



Figura 1. La tortuga robot de ETH Zurich. [3]

Pez Robot

En ese mismo año, en ESIME-IPN, se llevó a cabo la tesis titulada, “*Diseño de un mecanismo de propulsión para un pez robótico controlado remotamente*” donde el objetivo fue diseñar un mecanismo que imite la locomoción de un pez utilizando únicamente un motor, también tiene como objetivo el desarrollo de una interfaz para la adquisición de parámetros fisicoquímicos del agua, tal como lo es la temperatura, el pH del agua o el porcentaje de salinidad, el diseño de este proyecto es presentado en la Figura 2 [4].

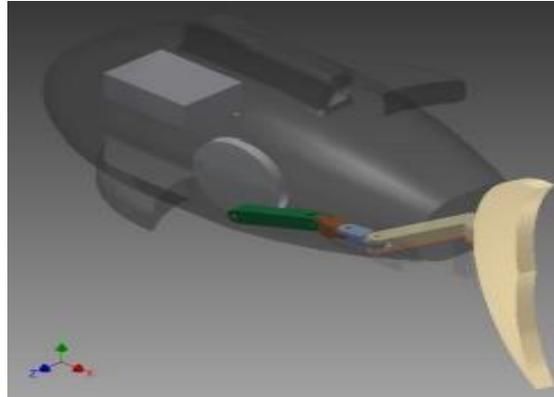
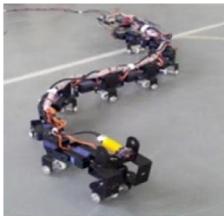


Figura 2. Diseño de Pez Robot por ESIME-IPN [4]

Estudio sobre el control de movimiento en tierra y agua de un robot con forma de serpiente

En el año 2015 la revista “ELSEVIER” publicó un artículo titulado “*Estudio sobre el control de movimiento en tierra y agua de un robot con forma de serpiente*” realizado por L.Zhenli et al. Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la locomoción de una serpiente en ambientes terrestres y acuáticos, para el posterior diseño y construcción de un algoritmo capaz de controlar un robot serpiente e imitar la locomoción de este reptil para desplazarse en tierra y en agua [5]. El prototipo de este robot es presentado en la Figura 3.



a) Robot Serpiente



b) Articulación ortogonal



c) Lanta Bidireccional Pasiva



d) Lanta Unidireccional pasiva

Figura 3. Víbora Robótica realizado por L.Zhenli et al. [5]

Nos podemos dar cuenta, con base en los proyectos mencionados anteriormente, que en la actualidad es posible construir robots inspirados en algún agente biológico, en donde el propósito es aprovechar características específicas de la especie e implementarlas de manera ventajosa al diseño y funcionamiento de un robot. El robot serpiente, así como el pez robótico, se enfocan únicamente a la exploración y adquisición de datos, mientras que el robot tortuga además puede transportar cargas, es por ello que este diseño será muy útil para cumplir con nuestro objetivo.

Robot Submarino seguidor de trayectorias

En ese mismo año en la Universidad Pedagógica Nacional en Bogotá, se llevó a cabo un trabajo de fin de grado por los alumnos F. Rodríguez Moreno y C. Milena Cárdenas titulado “*Prototipo de robot submarino con la capacidad de seguimiento de trayectorias, mediante tratamiento de imágenes*”, el cual se muestra en la Figura 4. El objetivo de este trabajo fue construir un robot submarino capaz de seguir una trayectoria haciendo uso de procesamiento de imágenes adquiridas en tiempo real mediante el uso de una cámara web. Utilizan comunicación bluetooth y un controlador PID digital. Para el procesamiento de imágenes utilizan el software ‘Matlab’, donde la detección de objetivos se basa en el color [6].



Figura 4. Robot Submarino seguidor de Trayectorias [6]

WasteShark

“*WasteShark*”, presentado en la Figura 5, es el robot marino autónomo inspirado en un tiburón ballena, creado y comercializado por la empresa Ranmarine Technology, son diseñados y utilizados para limpiar plásticos, desechos biológicos en ríos, lagos y mares, también escanea y recopila simultáneamente datos de la calidad del agua. Pueden usarse manualmente a través de un operador en tierra o de forma autónoma trabajando por 10 horas y recogiendo hasta 500kg de escombros en un día [7].



Figura 5. Waste Shark por Ranmarine Technology [7]

Great Pacific Garbage Patch

Otro ejemplo de este tipo de proyectos es el que está realizando Boyan Slat, un joven holandés, que en conjunto con la fundación Ocean Cleanup construyó una barrera flotante anclada al fondo del agua capaz de retener residuos sólidos flotantes la cual se muestra en la Figura 6, posee sistemas anticolidión, cámaras, sensores y antenas satelitales para enviar datos de su posición y rendimiento, los cuales funcionan con energía solar. Los vientos, las olas y las corrientes son capaces de transportar todo el sistema, es por ello que se utilizan anclas para frenarlo y de esta manera los residuos puedan ser retenidos y capturados. [8].



Figura 6. Great Pacific Garbage Patch [8]

Una gran ventaja que presenta este diseño es en cuanto a la energía, pues no necesita de una gran cantidad para su funcionamiento, ya que todo se basa en las fuerzas marítimas.

Syrennis

Por último, *Syrennis* es una embarcación creada para recolectar cualquier tipo de residuos sólidos flotantes en puertos, playas y zonas costeras pues está preparada para navegar en zonas litorales con corrientes marinas y fuerte oleaje. Esta embarcación mostrada en la Figura 7, hace la recolección de los residuos a través de unas bocas situadas frente a la proa de la embarcación, las cuales están formadas por un marco de tubo de acero inoxidable y sacos de 2 metros cúbicos de capacidad donde se filtra el agua [9].



Figura 7. Syrennis [9]

Robotic Turtle

En agosto del 2020 se presentó 'Robotic turtle', un vehículo autónomo construido con el fin de ayudar a reducir la contaminación por residuos sólidos en los lagos y contribuir a su limpieza, fue creado por egresados del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT) 3 del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

El prototipo, presentado en la Figura 8, funciona mediante una aplicación para dispositivos móviles y es totalmente eléctrico, por lo que es amigable con el medio ambiente, fue construido con madera balsa, la cual está recubierta con un barniz especial que se usa para exteriores y es resistente al agua, además puede cargar de 10 a 12 kilogramos, su batería le permite operar de 3 a 6 horas y el robot tiene un alcance de 20 metros. [10]



Figura 8. Robotic Turtle por alumnos del CECyT 3 [10]

1.3. Justificación

Según la Organización de la Naciones Unidas, en el mundo se producen anualmente 300 millones de toneladas de residuos plásticos de los cuales el 79% acaba en la naturaleza.

Cada hora se compran alrededor del mundo 60 millones de botellas de plástico y cada año 500 mil millones de bolsas; al año, unos 8 millones de toneladas de estos residuos terminan en los océanos, ríos y lagos amenazando la vida acuática [11].

Debido a la inmensidad del océano, hasta hace poco el hombre creía que podría utilizarlos para verter basura y sustancias químicas en cantidades ilimitadas sin que esto trajera consigo consecuencias [12], pero la contaminación ha aumentado drásticamente y se ha convertido en un problema mundial al que nos enfrentamos todos los días, como consecuencia de esto tenemos ecosistemas dañados irreparablemente.

Los residuos sólidos como bolsas, espuma y botellas son a menudo alimento de mamíferos marinos, peces y aves que lo confunden con comida y en algunos casos los animales quedan enredados en ellas.

Cientos de plásticos se acumulan en el océano y diversos ecosistemas acuáticos debido a que su tasa de degradación es lenta, además la degradación propicia la liberación de micropartículas de plástico que se confunden con plancton y son ingeridas por peces o almejas [13].

Un ejemplo de la lentitud de la degradación de estos residuos es el de una bolsa de PET, la cual puede tardar alrededor de 1000 años y una bolsa común entre 150 y 400 años [14].

Teniendo en cuenta lo anterior, se construyó un prototipo de robot tortuga que recolecte parcialmente la basura en entornos pequeños, además se eligió replicar la estructura zoomorfa de un ser vivo que habita estos ecosistemas. Esto con los siguientes fines:

- No ser invasivo, por ejemplo; una lancha que se mueve con una hélice de propulsión podría alterar a algunos animales, ya que es grande y ruidosa, por otro lado, cuando se quieren estudiar comportamientos de una manada por ejemplo en pingüinos, se utilizan robots basados en la apariencia externa de los mismos para poder acercarse lo más posible sin dañar la rutina que tienen estos animales [15].
- Al construir un robot inspirado en un animal es posible que las personas empaticen con respecto al tema de la contaminación de los hábitats y que de esta manera se aliente a que los humanos desarrollen un papel importante en la limpieza y conservación de los ecosistemas [16].

Otra razón por la que se eligió una tortuga es debido a que su anatomía nos es funcional, ya que su caparazón podrá contener, aislar y proteger todos los componentes electrónicos.

1.4. Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

- Implementar un robot zoomórfico tipo tortuga que llevará a cabo la recolección superficial de residuos sólidos, el cuál mediante visión artificial identificará la ruta a seguir imitando la locomoción de dicho animal.

1.4.2 *Objetivos Específico Mecatrónica:*

- Diseñar el sistema de Locomoción.
- Diseñar el sistema de Recolección y Almacenamiento de Residuos.
- Diseñar el sistema de Procesamiento de Imágenes
- Diseñar el sistema de Comunicación y Control.
- Diseñar el sistema de Suministro de Energía.
- Diseñar la estructura zoomorfa.
- Integrar los módulos del sistema Mecatrónico.

1.4.3 *Objetivos Específicos Biónica:*

- Diseñar el mecanismo encargado de la locomoción mediante el estudio de movimiento de una tortuga, utilizando barras, eslabones, así como actuadores con el fin de que el robot pueda desplazarse.
- Diseñar el mecanismo para la recolección y almacenamiento, considerando dimensiones máximas en el residuo correspondientes a las de un cilindro de 12 cm de diámetro con 25 cm de altura.
- Implementar el algoritmo para la detección de señalamientos a bordo mediante visión artificial.
- Aplicar el control al mecanismo de locomoción para indicarle al robot la trayectoria a seguir, con base en el resultado del sistema de detección.
- Implementar la etapa de potencia necesaria para alimentar el prototipo.
- Construir una estructura zoomorfa capaz de flotar en la superficie del agua.
- Integrar a la estructura todos los sistemas antes descritos, para crear el prototipo final.
- Realizar pruebas en entornos reales para corroborar un correcto funcionamiento, así como la capacidad de arrastre de al menos 10 objetos de las dimensiones antes especificadas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2. Marco Teórico

Para el desarrollo de nuestro prototipo, será necesario contar con los siguientes conocimientos.

2.1 Robótica

Un sistema robótico es un sistema complejo, que puede ser representado en bloques funcionales, tal como se ilustra en la Figura 9.

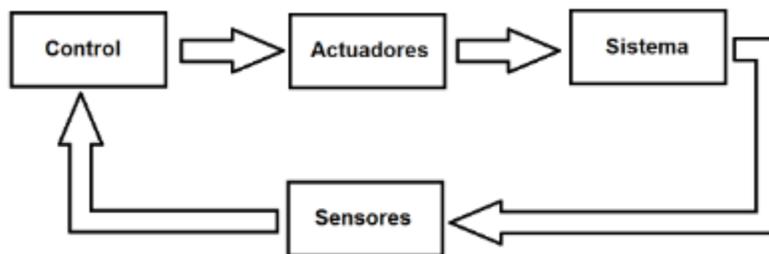


Figura 9. Diagrama de Bloques de un Sistema Robótico [17]

Los bloques funcionales, son los sistemas de un robot, los cuales se definen a continuación.

- Sistema Mecánico: Es el que contiene el sistema de locomoción y de manipulación.
- Sistema de Actuación: Es el que se encarga de mover los componentes mecánicos del robot.
- Sistema de Sensores: Es el que adquiere los datos internos y externos del sistema.
- Sistema de control: Determina la ejecución o acción respecto a los objetivos escogidos [17].

Continuando con los conceptos, la robótica es la ciencia que estudia a los robots. Un robot según el Instituto de Robótica de América (RIA por sus siglas en inglés) “es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover material, piezas, herramientas, o dispositivos especializados a través de movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas” [18].

Existen diferentes tipos de robots, el que nosotros desarrollaremos es un robot móvil tipo zoomorfo, por lo que consideramos importante explicar que significa.

2.1.1 Robot Móvil

Los robots móviles responden a la necesidad de extender el campo de la aplicación de la Robótica, restringido inicialmente a estructuras mecánicas ancladas en sus extremos (Robot Manipulador).

La principal característica de los robots móviles es la autonomía, Se entiende como autonomía de un robot móvil, al dominio que tiene éste para determinar su curso de acción, mediante un proceso propio de razonamiento en base a sensores, en lugar de seguir una secuencia fija de instrucciones en el cual se tiene un arreglo cinemático y un sistema de actuadores, generando sistemas los cuales incluyen tareas de planificación, percepción y control. En el caso más general puede descomponerse en planificación o seguimiento de ruta y/o la evasión de obstáculos. Una vez realizada la planificación de la trayectoria, es necesario planificar movimientos concretos y controlar dichos movimientos.

Los robots móviles como el mostrado en la Figura 10, brindan la posibilidad de navegar en distintos terrenos y tienen aplicaciones como: exploración minera, exploración planetaria, misiones de búsqueda y rescate de personas, limpieza de desechos peligrosos, automatización de procesos, vigilancia, reconocimiento de terreno, y también son utilizados como plataformas móviles que incorporan un brazo manipulador [19].



Figura 10. Robot Móvil [19]

2.1.2 Robot Zoomorfo

Un robot zoomorfo es aquel que imita a un ser vivo de preferencia animal, imita su aspecto y su locomoción. Ejemplos claros de estos robots son los juguetes tipo mascota.

Existen dos tipos de robots zoomorfos, los caminadores que emulan por completo la locomoción de un animal y los no caminadores que solo emulan el aspecto y algunos movimientos [20].

En nuestro caso, utilizaremos un robot zoomorfo tipo caminador basado en una tortuga que será retomado más adelante.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1.3 Componentes y Estructura de los robots.

Los robots tienen algunas características particulares que los diferencian entre sí, como lo es el tipo de manipulador.

Los manipuladores de robots están compuestos de enlaces conectados por uniones en una cadena cinemática.

Como se presenta en la figura 11, existen dos tipos principales de articulaciones, las rotativas (revolución) y las lineales (prismáticas).

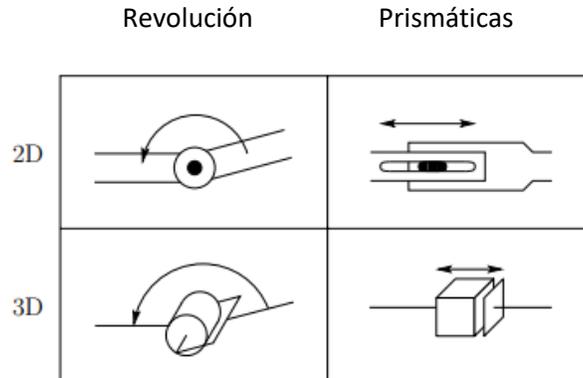


Figura 11. Tipos de articulaciones en un Robot [21]

2.2 Mecanismos

Se define como mecanismo a la combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo y cuyo propósito es transformar el movimiento.

En un mecanismo las articulaciones se denominan pares, los cuerpos resistentes eslabones, y el eslabón fijo marco.

El mecanismo formado por 4 eslabones de tipo barra y 4 pares de revoluta es el más simple que existe. Un ejemplo de este mecanismo se observa en la Figura 12.

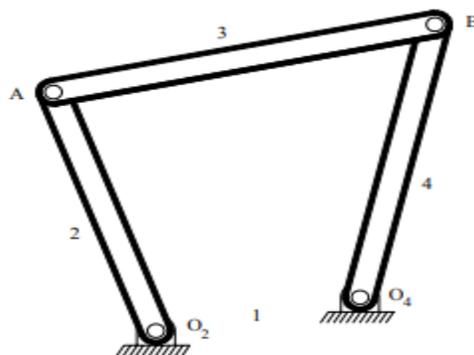


Figura 12. Mecanismo de 4 barras [22]

Capítulo 2. Marco Teórico

El eslabón 1 es el bastidor o marco y es el único eslabón que siempre esta fija, el eslabón 2 es la entrada o motriz y es donde se coloca lo que da origen al movimiento del mecanismo (por ejemplo, un motor), el eslabón 3 es el flotante o acoplador y finalmente el eslabón 4 es el de salida o seguidor.

El estudio de los mecanismos se puede dividir en 2 partes, análisis y síntesis. En el análisis se evalúa si un mecanismo existente es adecuado para desarrollar cierto trabajo o tarea, mientras que en la síntesis se establecen tamaños, formas, composición y disposición de los eslabones para que desempeñen una tarea de movimiento prescrita. Concretamente, la síntesis cinemática busca encontrar el mecanismo adecuado que produzca un movimiento particular.

2.2.1 Síntesis Cinemática.

Dependiendo del punto de partida en un problema de diseño de mecanismos, la síntesis cinemática puede ser:

- **Síntesis de Tipo:** Busca definir cuál es la combinación topológica (barras, ruedas, levas) de eslabones y el tipo de articulaciones (pares de revoluta, prismático) y busca establecer las dimensiones y la posición inicial de una potencial solución para una tarea de movimiento.
- **Síntesis Dimensional:** Se parte del conocimiento de la topología del mecanismo (número y tipo de eslabones y pares) y busca establecer las dimensiones y posición inicial de una potencial solución para una tarea de movimiento. La síntesis dimensional se utiliza preferiblemente en la creación de mecanismos cuya topología es un eslabonamiento de barras.

Dependiendo la tarea que el mecanismo desempeñe, se puede clasificar dentro de las siguientes categorías.

- **Generador de movimiento:** Aquí es muy importante el movimiento total del acoplador (Posición y orientación angular).
- **Generador de Función:** Aquí resulta de interés las fuerzas o el movimiento relativo entre los eslabones.
- **Generador de trayectoria:** Aquí es de interés la trayectoria que sigue un punto ubicado sobre el acoplador (Curva del acoplador) [22].

2.2.2 Mecanismos de 4 eslabones y Ley de Grashof

Un mecanismo de 4 eslabones se conforma de cuatro pares giratorios o reemplazando un par giratorio por un par prismático para tener así un mecanismo manivela – biela – deslizador.

En el mecanismo con cuatro pares giratorios, los eslabones pueden oscilar o dar un giro completo dependiendo de las dimensiones de los eslabones. La ley de Grashof afirma que *“para un mecanismo plano de 4 eslabones, la suma de las longitudes más corta y más larga no pueden ser mayor que la suma de las longitudes de los eslabones restantes, esto si se desea que exista una rotación continua de sus eslabones”* [23]. Proponiendo así la siguiente formula.

Si $s + l \leq p + q$ entonces, al menos una barra del mecanismo podrá realizar giros completos".

Donde s es la longitud de la barra más corta, l es la longitud de la barra más larga y p, q son las longitudes de las otras dos barras [24].

La condición de Grashof es una relación muy simple que predice el comportamiento de rotación o rotabilidad de las inversiones de un eslabonamiento de cuatro barras basado sólo en las longitudes de los eslabones. Nombrando los eslabones como:

2.2.3 Configuraciones comunes

Manivela Balancín.

El mecanismo manivela-balancín se obtiene cuando la barra más corta es una manivela. En este mecanismo esta manivela más corta (manivela) realiza una rotación completa mientras que la otra barra articulada a tierra (barra estática) posee un movimiento de rotación alternativa (Balancín). En pocas palabras a este sistema le entra un movimiento rotativo y sale un movimiento de balancín. Este mecanismo es presentado en la figura 13.

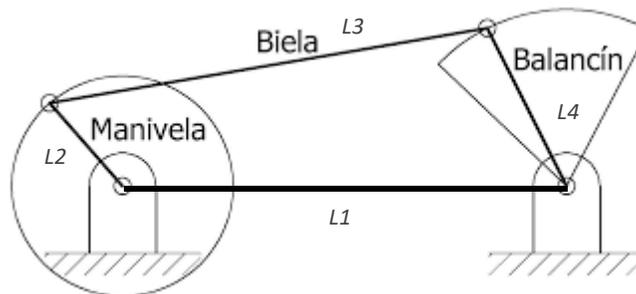


Figura 13. Mecanismo Manivela Balancín [25]

Donde $L2 + L3 \leq L1 + L4$

Doble Manivela

El mecanismo de doble manivela (o manivela - manivela) se obtiene cuando fijamos el eslabón más pequeño a tierra. En este caso los dos eslabones articulados al eslabón fijo realizan una rotación completa. Este mecanismo es presentado en la figura 14. [25].

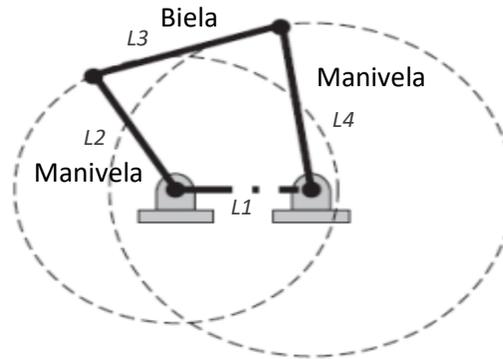


Figura 14. Mecanismo Doble Manivela [25]

Donde $L1 + L3 \leq L2 + L4$

Doble Balancín

El mecanismo de doble balancín (o balancín - balancín) mostrado en la Figura 15. Se obtiene cuando el eslabón más corto es el acoplador. Este mecanismo está formado por dos eslabones que actúan como balancines acoplados a tierra o eslabón fijo [25].

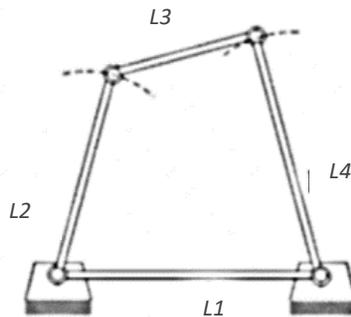


Figura 15. Mecanismo Doble Balancín [25]

Donde $L1 + L3 \leq L2 + L4$

2.2.4 Mecanismo de línea recta de Hoekens

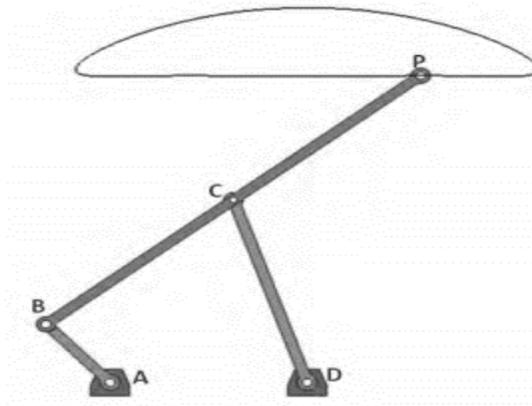


Figura 16. Mecanismo de Hoekens [26]

El mecanismo de Hoekens presentado en la figura 16, es un mecanismo de cuatro barras con cuatro articulaciones rotacionales llamadas A, B, C y D, la Manivela es el Eslabón AB y es donde se encuentra el motor, el eslabón CD es un balancín, el eslabón AD es el eslabón fijo conectado a la tierra, mientras que el eslabón BC es el acoplador o biela, siendo el punto P una extensión de este acoplador y que es el que sigue una trayectoria de línea recta.

Para cumplir con una línea recta en la trayectoria del punto P se tiene que tener la siguiente configuración inicial.

$$LAB= 1 \quad LBC= 2.5 \quad LCD=2.5 \quad LAD= 2 \quad LCP=2.5$$

Sin embargo, se pueden hacer modificaciones en la relación de tamaño para conseguir que la trayectoria no sea completamente recta y pueda más bien realizar una curva, un caso especial es el siguiente.

Donde $LCP < 2.5$ generando la ruta en el punto P, tal como se aprecia en la figura 17. [26].

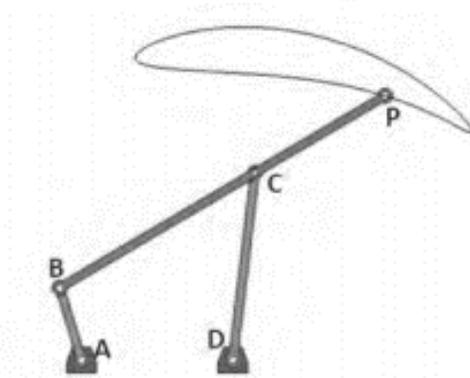


Figura 17. Mecanismo de Hoekens modificado [26]

2.3 Impresión 3D

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición capaz de crear un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de un determinado material. Por lo tanto, se trata de un proceso en el que se crea un objeto físico en tres dimensiones a través de un objeto o modelos digital mediante una impresora 3D que puede usar diferentes tecnologías y materiales para ir superponiendo capas hasta crear una réplica perfecta.

La impresión 3D requiere del uso de un software, el correspondiente hardware de la máquina o impresora y los materiales utilizados para la propia impresión y que todos ellos trabajen de forma conjunta.

Antes de comenzar el proceso, el software divide el gráfico en capas finas como el diámetro del material de salida. Para cada capa, la impresora se va desplazando sobre el plano para ir liberando material sobre las coordenadas correspondientes y así ir formando la figura en tres dimensiones e idéntica a la diseñada en 2D.

Por lo tanto, lo primero que necesitamos para imprimir un objeto en tres dimensiones es un archivo creado con algún software de modelado 3D. Lo siguiente es utilizar el material ideal para su fabricación. Generalmente se utilizando materiales termoplásticos, pero también hay impresoras 3D capaces de utilizar otros materiales como el metal, resinas o polímeros.

2.3.1 Métodos

Existen diferentes tecnologías disponibles para la impresión 3D que se diferencian principalmente en la forma en la que las distintas capas son utilizadas para crear las piezas.

- **Impresión por inyección:** En este método, la impresora crea el modelo de capa esparciendo una capa de la sección de la pieza. Este proceso se repite hasta que se imprimen todas las capas y es el único que permite la impresión de prototipos a todo color.
- **Modelado por deposición fundida (FDM):** Como su propio nombre indica, este método va depositando un material fundido sobre una estructura capa a capa que posteriormente es sintetizado por un láser para su solidificación.
- **Estereolitografía (SLA):** La tecnología estereolitografía o SLA es la que utiliza resinas líquidas foto poliméricas que se solidifican con el uso de una luz emitida por un láser ultravioleta.
- **Impresión con hielo:** Recientemente hemos visto también cómo se han desarrollado métodos o técnicas que, por medio de un proceso de enfriado, permite realizar impresiones en 3D utilizando hielo como material. Una tecnología aún en desarrollo y cuyas ventajas están aún por ver [27].

2.3.2 Materiales o Filamentos

El filamento es un elemento básico entre los accesorios para impresoras 3D, ya que es el material de aporte con el que se realizan las piezas y figuras. Existen muchos filamentos, pero se mencionarán solamente los más comunes.

ABS

El filamento ABS es el plástico más utilizado en impresión 3D. Se utiliza en la carrocería de automóviles, electrodomésticos y fundas de teléfonos móviles.

El ABS se utiliza en la impresión 3D cuando se calienta entre 230°C y 260°C. Es un material resistente, capaz de soportar fácilmente temperaturas de -20°C a 80°C. Además de su alta resistencia, es un material reutilizable y se puede soldar con procesos químicos. Sin embargo, el ABS no es biodegradable y se contrae en contacto con el aire, por lo que la plataforma de impresión debe calentarse para evitar deformaciones.

Tiene una densidad de 1.04 y se utiliza para formar los ladrillos LEGO.

PLA

Conocido como ácido poliláctico o PLA, este material tiene la ventaja de ser biodegradable, a diferencia del ABS. El PLA se fabrica con materias primas renovables como el almidón de maíz. Es uno de los materiales más fáciles de imprimir, aunque tiende a reducirse ligeramente después de la impresión 3D. No necesita una plataforma con calefacción al imprimirse, al contrario que con el ABS. El PLA también imprime a una temperatura más baja que el ABS, entre 190°C a 230°C.

Los objetos típicamente impresos en 3D con filamento PLA incluyen modelos, juguetes de bajo desgaste, prototipos y cajas., tiene una densidad de 1.24.

PETG

El PETG, o poliéster glicolizado, es un termoplástico ampliamente utilizado en el mercado de fabricación aditiva, que combina la simplicidad de la impresión 3D con PLA y la resistencia del ABS. Es un plástico amorfo, que puede ser 100% reciclado. Tiene la misma composición química que el tereftalato de polietileno, mejor conocido por sus siglas PET. Se ha agregado glicol para reducir su fragilidad y, por lo tanto, que gane en resistencia.

Se puede utilizar para cualquier tipo de pieza que requiera de buena resistencia a los impactos y un poco de flexibilidad como el motor impreso en 3D mostrado en la figura 18. También para piezas decorativas en las que se busque la translucidez, o para crear recipientes para alimentos., su densidad es de 1.27 [28].



Figura 18. Pieza Mecánica impresa en 3D [28]

2.4 Motores de Corriente Directa

El motor eléctrico es una máquina que se encargan de convertir la energía eléctrica en energía mecánica a través de la acción de los campos magnéticos producidos por sus bobinas.

Los motores de corriente directa tienen varias diferencias ya que son construidos de diferente manera comparados con los de corriente alterna. Una de las principales diferencias es que pueden funcionar a la inversa, es decir no solamente pueden ser utilizados para transformar energía eléctrica en mecánica. También pueden funcionar como generadores de electricidad.

Un motor de corriente directa como el presentado en la figura 19 tiene un par de arranque alto comparado con los de corriente alterna, También es más sencillo controlar la velocidad, por tal motivo son eficaces en aplicaciones donde se requiera un control de velocidad. Son usados para ascensores, trenes, tranvías, automóviles eléctricos y todas aquellas aplicaciones en las que se requiere un control de velocidad constante.



Figura 19. Motor de Corriente Directa

Partes de un motor de CD

En la figura 20 se presentan las partes de un motor común de corriente directa o continua, el cual se compone de [29]:

- Carcaza o Armadura
- Rotor
- Colector o Conmutador
- Embobinado
- Estator

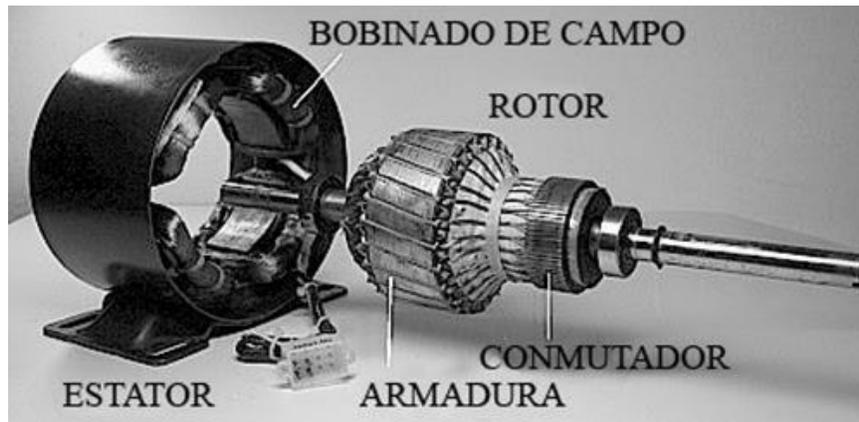


Figura 20. Partes de un motor de Corriente Directa [29]

2.4.1 Motorreductores

Se conoce como motorreductor a una máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad y un motor. Estos van unidos en una sola pieza y se usa para reducir la velocidad de un equipo de forma automática. Actualmente la evolución de este sistema reductor se ha perfeccionado y grandes industrias la usan en sus procesos.

Están formados por una serie de engranajes que conforman la cadena cinemática, que son los que funcionan sobre las piezas giratorias.

Componentes mecánicos complementarios a un motorreductor

Los motorreductores se componen de un motor eléctrico y de los engranajes que forman la cadena cinemática, el elemento fundamental del ratio de reducción.

- Cadena cinemática

Un reductor de motor se compone por una caja reductora y sus engranajes.

Este reductor es, esencialmente, un variador de velocidad que permite bajarla y aumentarla en el eje de salida.

- Engranajes

Los engranajes son ruedas dentadas de metal o plástico (y cada vez más nuevos materiales) que, a través del contacto entre sí, se usan para transmitir movimiento.

Se definen por el número de dientes que tienen y por su tamaño. Además, pueden ser rectos o helicoidales.

Torque en un motorreductor

El “torque” o “par” tal como se ilustra en la figura 21, es una fuerza de giro; la fuerza de giro de la flecha de salida del motorreductor; es también la fuerza de giro en la flecha de un motor.

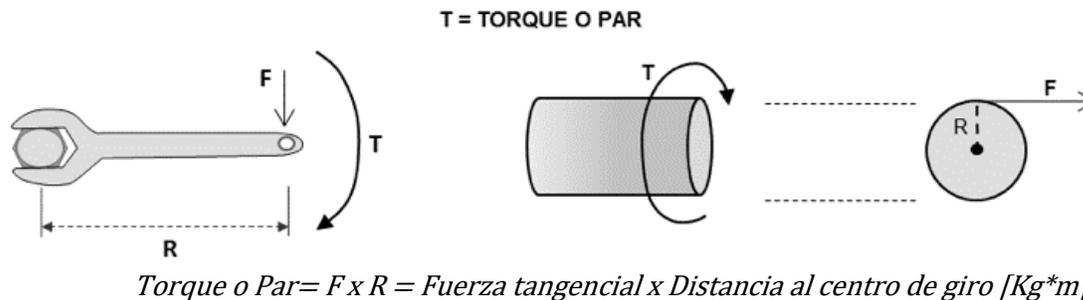


Figura 21. Relación entre el torque, velocidad y potencia [30]

Este torque o par mezclado con un tiempo de realización, aplicación o ejecución es entonces que se convierte en una “potencia”.

Un motor eléctrico tiene una determinada potencia en HP y tiene una cierta velocidad de operación a la cual gira la flecha de salida, por ejemplo 1800 Revoluciones por Minuto (RPM). Estas dos características: Velocidad y Potencia llevan aparejado un cierto “torque” o “par” que puede liberar el motor. Es precisamente el “par” lo que permitirá que podamos o no girar una determinada carga, cuanto más alto el “par” más grande será la carga que podamos girar. El que tan rápido podamos hacerlo dependerá de la potencia del motorreductor. Las dos características están interrelacionadas y dependen una de la otra.

Esta combinación de potencia, par y velocidad en un motor o motorreductor está regida por la siguiente fórmula:

$$\text{Par (T)} = \frac{\text{Potencia (en HP)} \times 716}{\text{Velocidad de Giros de la flecha por minuto (RPM)}} = \frac{\text{HP} \times 716}{\text{RPM}}$$

Como puede verse en la fórmula, para una potencia dada, cuanto más baja sea la velocidad final de giro de la flecha del motorreductor, más alto será el par, aunque la potencia siga siendo la misma. Inversamente: Cuanta más alta sea la velocidad final del reductor o motorreductor, tanto más bajo será el par aun cuando la potencia sea la misma [30].

2.5 Sistema de Visión Artificial

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados [31].

Un sistema de visión depende en gran parte de las etapas por los que está formado, y tal como se ilustra en la figura 22 existen cinco primordiales:

- **Captación:** proceso a través del cual se obtiene una imagen visual
- **Preprocesamiento:** incluye técnicas tales como la reducción de ruido y realce de detalles, que eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma.
- **Segmentación:** es el proceso que divide a una imagen en objetos que sean de nuestro interés.
- **Descripción:** es el proceso mediante el cual se obtienen características convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro, por ejemplo, tamaño y forma.
- **Reconocimiento:** es el proceso que asocia un significado a un conjunto de objetos reconocidos.

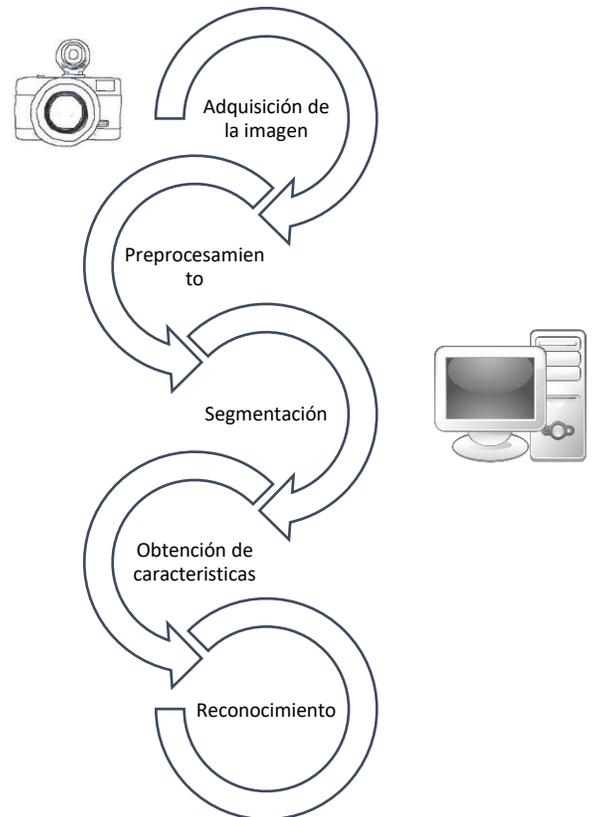


Figura 22. Etapas de un sistema de Visión Artificial.
Elaboración propia

2.5.1 Imagen digital

Esta primera etapa se hace a través de una cámara, la cual consta de sensores que traducen la información lumínica en información digital.

Los sensores son chips de silicio de tamaño muy reducido que están formados por millones de elementos fotosensibles conocidos con el nombre de Fotocélulas. Estas fotocélulas transforman la luz que reciben a través del objetivo en señales eléctricas. Estas señales procesan y forman la imagen en dos dimensiones de una escena.

Una imagen digital se considera como una cuadrícula. Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel, y su valor es proporcional a la cantidad de luz recibida.

Capítulo 2. Marco Teórico

Para representar los valores de cada píxel se utilizan modelos de color (también llamado espacio de color o sistema de color), el cual tiene como propósito facilitar la especificación de colores de alguna manera estándar.

La mayoría de los modelos de color que se utilizan hoy en día están orientados hacia el hardware (como para monitores e impresoras en color). En términos de procesamiento de imágenes digitales, el modelo orientado al hardware más comúnmente utilizado en la práctica es el RGB.

Pero existen varios modelos y la principal diferencia entre ellos es cuántos canales usan para representar un color, por ejemplo:

Escala de grises: Es el más simple de todos ya que tiene un solo canal. Con ese canal representa valores de grises del blanco al negro.

El modelo RGB viene de las siglas en inglés de los colores rojo, verde y azul (Red, Green, Blue), en la figura 23 se muestran los tres canales de color que emplea este modelo, con los cuales se puede formar una infinidad de colores [32].

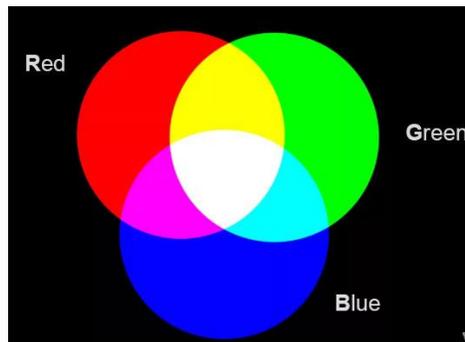


Figura 23. Modelo RGB [32]

En la figura 24 se encuentran las imágenes representadas en el modelo de color RGB, estas constan de tres imágenes componentes, uno para cada canal. Cuando estas tres imágenes se alimentan a un monitor RGB se produce una imagen con la combinación de colores dependiente de cada capa.

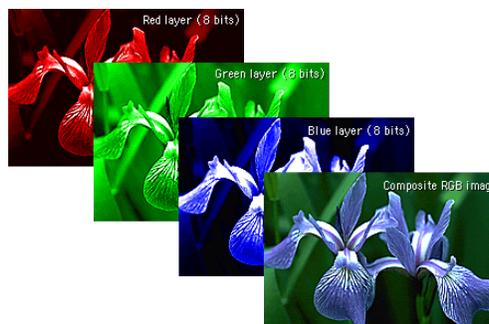


Figura 24. Capas de una imagen RGB [32]

El número de bits utilizados para representar cada píxel en el espacio RGB se denomina profundidad de píxel. Cada una de las imágenes roja, verde y azul es una imagen de 8 bits.

En estas condiciones, cada píxel de color RGB [es decir, un triplete de valores (R, G, B)] tiene una profundidad de 24 bits (3 planos de imagen multiplicado por el número de bits). Por lo que el número total de colores posibles en una imagen RGB de 24 bits es $(2^8)^3 = 16,777,216$ [33].

2.5.2 Obtención de características

Una de las formas de extraer característica de un objeto según su forma y tamaño es utilizando los momentos invariantes de Hu, los cuales describen la manera en que se distribuyen los píxeles de un objeto sobre el plano de la imagen.

Los momentos de Hu se consideran invariantes, es decir, los valores son similares para objetos del mismo tipo, aunque estos presenten transformaciones geométricas, como traslación, rotación y escalamiento. Al mismo tiempo también son discriminantes, ya que los valores son distintos para objetos de diferente tipo. Es por ello que estas características son deseables para poder reconocer distintos objetos con mayor facilidad [32].

Los momentos de Hu ϕ , son un conjunto de siete descriptores invariantes que cuantifican la forma de un objeto. Para encontrarlos es necesario calcular antes los momentos generales m_{pq} , el centro de gravedad (\bar{x}, \bar{y}) y los momentos centrales μ_{pq} , así como los momentos centrales normalizados η_{pq} . Para hallarlos se sigue el procedimiento que se muestra a continuación.

$$m_{pq} \xrightarrow{(\bar{x}, \bar{y})} \mu_{pq} \xrightarrow{\frac{1}{m_{00}^{\bar{y}}}} \eta_{pq} \xrightarrow{Hu} \phi$$

Donde los momentos generales se obtienen a partir de la imagen con la forma segmentada, y aunque la caracterizan adecuadamente, sufren el grave defecto de ser muy sensibles al ruido y a pequeñas variaciones en la forma.

Estos momentos se calculan utilizando las siguientes ecuaciones.

$$m_{p,q} = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{y=0}^{\infty} x^p y^q I_0(x, y)$$

$$P = 0,1,2 \dots \infty \quad q = 0,1,2 \dots \infty$$

Donde $I_0(x, y)$ es un píxel del objeto con coordenadas (x, y) .

Para encontrar el centro de gravedad (\bar{x}, \bar{y}) se utilizan los momentos geométricos de orden 1, es decir m_{01} y m_{10} , como se muestran a continuación.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} = \frac{\sum \sum x I(x, y)}{\sum \sum I(x, y)}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} = \frac{\sum \sum y I(x, y)}{\sum \sum I(x, y)}$$

Capítulo 2. Marco Teórico

Los momentos generales se pueden hacer invariante a traslaciones en el plano sin más que referirlos al centro de gravedad, obteniéndose los llamados momentos centrales.

Puesto que el centro de masa ocupa siempre la misma posición relativa respecto a todos los puntos del objeto, los momentos centrales no varían ante traslaciones del objeto. Estos momentos se calculan utilizando la siguiente ecuación.

$$\mu_{pq} = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^q \binom{p}{r} \binom{q}{s} (-\bar{x})^r (-\bar{y})^s m_{p-r, q-s}$$

De la cual se derivan las siguientes ecuaciones.

$$\mu_{00} = m_{00}$$

$$\mu_{01} = \mu_{10} = 0$$

$$\mu_{11} = m_{11} - \frac{m_{10}m_{01}}{m_{00}}$$

$$\mu_{20} = m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}}$$

$$\mu_{11} = m_{11} - \bar{y}m_{10}$$

$$\mu_{30} = m_{30} - 3\bar{x}m_{20} + 2m_{10}\bar{x}^2$$

$$\mu_{12} = m_{12} - 2\bar{y}m_{11} - \bar{x}m_{02} + 2m_{01}\bar{x}^2$$

$$\mu_{21} = m_{21} - 2\bar{x}m_{11} - \bar{y}m_{20} + 2m_{01}\bar{x}^2$$

$$\mu_{03} = m_{03} - 3\bar{y}m_{02} + 2m_{01}\bar{y}^2$$

Respecto al cambio de escala únicamente se multiplican por:

$$\frac{1}{m_{00}^\gamma}$$

Donde $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$ para $(p+q) = 2, 3, \dots$

De esto se derivan las siguientes ecuaciones que corresponden a los tres primeros momentos normalizados.

$$n_{20} = \frac{m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}}}{m_{00}^2}$$

$$n_{02} = \frac{m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}}}{m_{00}^2}$$

$$n_{11} = \frac{m_{11} - \frac{m_{10}m_{01}}{m_{00}}}{m_{00}^2}$$

Para hallar los 7 momentos de Hu se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

[33]

Y finalmente, para que todos los momentos contribuyan por igual en la función de discriminación, y por tanto estén dentro del mismo orden de magnitud, es necesario realizar una normalización aplicando la siguiente fórmula.

$$\varphi_n = \text{abs}(\ln(\text{abs}(\varphi_n)))$$

CAPITULO III

DESARROLLO

3. Desarrollo

En este capítulo se abordará la primera etapa del desarrollo de Trabajo Terminal, correspondiente a la etapa de diseño.

3.1. Metodología de Diseño, Análisis de Requerimientos y división por áreas funcionales.

Para realizar un diseño adecuado en un proyecto, es necesario conocer primero la metodología a emplear, además, cuáles son sus requerimientos, es decir que es lo que se pretende lograr y con qué condiciones, así como también las áreas funcionales, las cuales nos indican las partes más importantes en nuestro prototipo.

3.1.1 Metodología de Diseño

Para el desarrollo de un prototipo de un robot zoomorfo empleado en la recolección de residuos sólidos en la superficie del agua, es importante analizar los requerimientos necesarios y una elección adecuada de materiales y elementos.

Las tareas requeridas para el desarrollo del prototipo se deben atender por partes, con base a lo anterior, se hace uso de la metodología de diseño basada en el modelo V, el cual se muestra en la figura 25 [34].

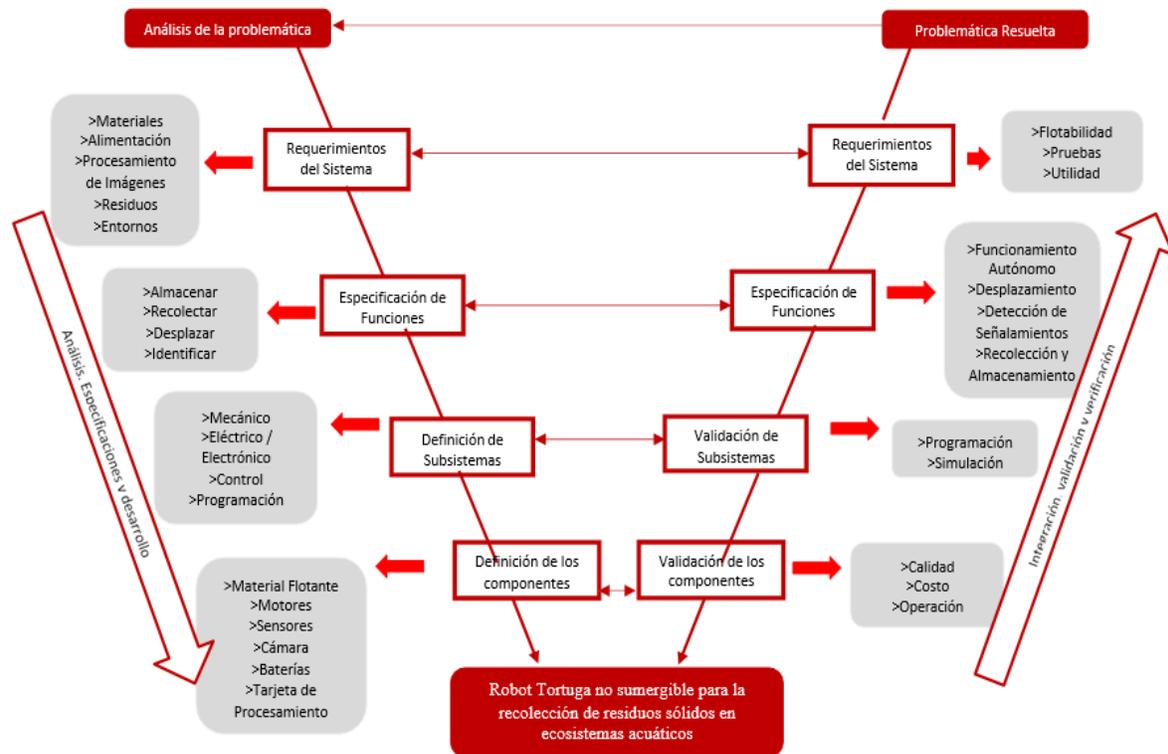


Figura 25. Metodología V

Como se puede observar en el diagrama anterior, la metodología V consiste en dos grandes ramas. Del lado izquierdo tenemos el diseño del proyecto mientras que en el lado derecho se ubica la implementación del mismo. Decidimos utilizar esta metodología ya que nos sirve para entender de mejor manera el cómo desarrollo el proyecto, dividiendo en dos partes, TT1 para el lado izquierdo (diseño) y TT2 para el lado derecho (implementación).

3.1.2 Áreas Funcionales

En la figura 26 se presentan las áreas funcionales observadas en nuestro proyecto

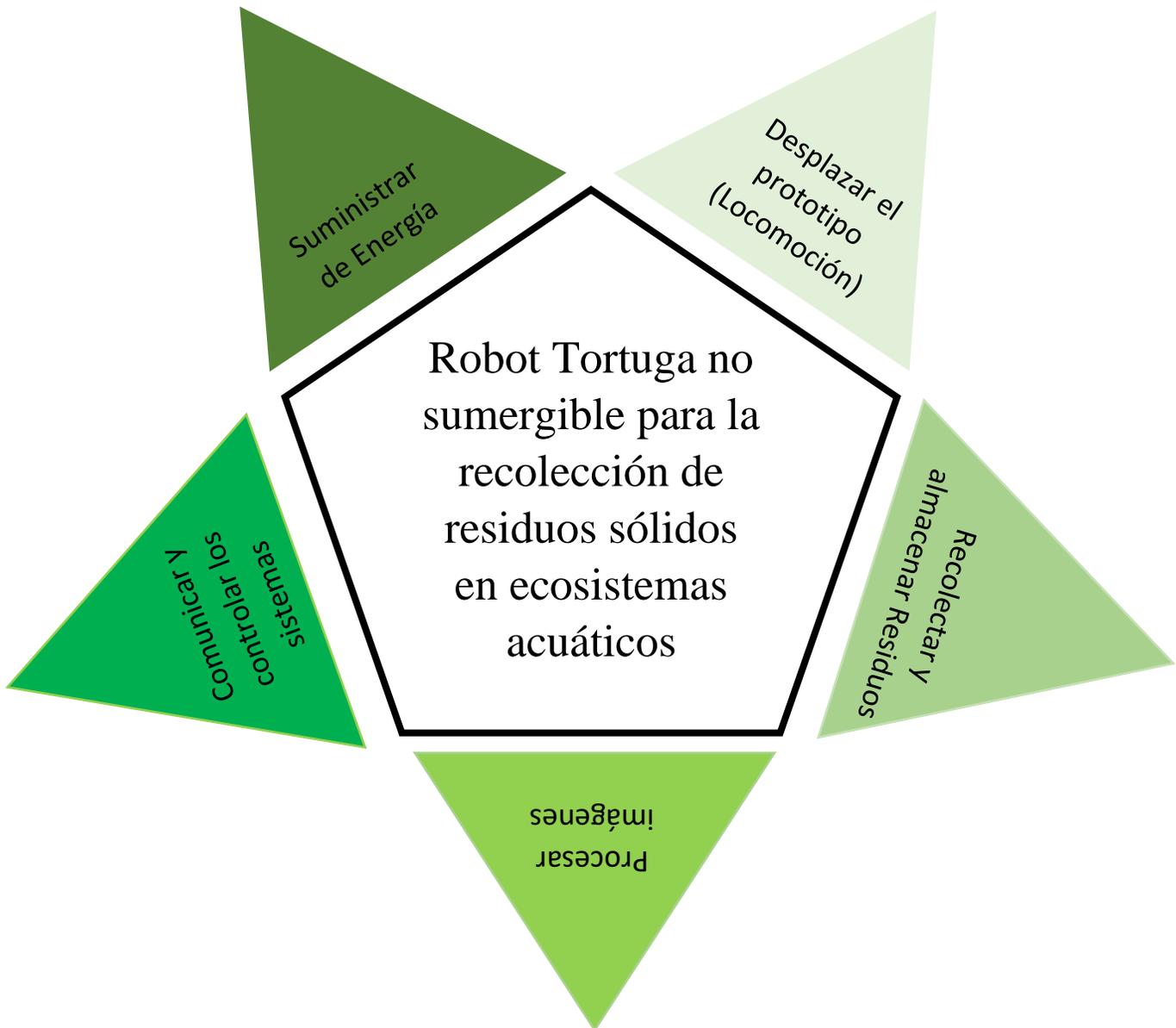


Figura 26. Áreas Funcionales

Descripción de las áreas funcionales.

- Sistema de Locomoción: Es el que se encarga de hacer que el robot se desplace, está compuesto por eslabones y actuadores emulando así las extremidades de una tortuga.
- Sistema de Recolección y Almacenamiento de Residuos: Se encarga de recolectar los residuos que encuentre a su paso y de almacenarlos. Está compuesto por una red de almacenaje.
- Sistema de Procesamiento de Imágenes: Es el encargado de detectar los señalamientos colocados en el agua, leyendo e interpretando la información obtenida. Estará compuesto por una cámara y la tarjeta de procesamiento.
- Sistema de Comunicación y control: Es el encargado de, con base a la información obtenida del sistema de procesamiento, indicar al sistema de locomoción los movimientos a realizar. Está compuesto por la tarjeta de procesamiento, los motores y el mecanismo de locomoción.
- Sistema de Suministro de energía: Es el encargado de alimentar al prototipo con la corriente necesaria para que tenga un funcionamiento adecuado, está compuesto por todos los dispositivos eléctricos y electrónicos necesarios para su implementación.

3.1.3 Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema se muestran en la tabla 1.

Prioridad	Área Funcional	Requerimiento	Demandada o Deseable
1	Sistema de Locomoción	El prototipo debe emular la locomoción que realiza una tortuga de agua dulce cuando esta se mueve de manera tranquila. Para esto se podrá hacer uso de eslabones, actuadores, engranes y demás.	Demandada
2	Sistema de Procesamiento de Imágenes	El prototipo debe ser capaz de distinguir 3 figuras geométricas diferentes colocadas en la superficie del agua para indicar al sistema de locomoción la ruta a seguir.	Demandada
3	Sistema de Recolección y Almacenamiento de Residuos.	El prototipo debe ser capaz de recolectar residuos sólidos de una dimensión cilíndrica máxima de 12 cm de diámetro y 25 cm de altura colocados sobre la trayectoria delimitada. La red de almacenaje debe de ser de al menos el doble del tamaño de la estructura zoomorfa limitando así el volumen máximo a recolectar.	Deseable
4	Sistema de Locomoción	La estructura zoomorfa del prototipo deberá estar elaborada de materiales flotantes para asegurar su flotabilidad y que no sea necesario un cálculo mecánico de fluidos.	Deseable
5	Sistema de Suministro de Energía	El prototipo deberá ser capaz de funcionar de forma autónoma por al menos 20 minutos con una sola carga completa.	Deseable
6	Sistema de Suministro de Energía	El prototipo deberá de recibir la energía necesaria para funcionar mediante el uso de baterías recargables o Powerbank y los elementos de potencia necesaria.	Demandado
7	Sistema de Comunicación y Control	La tarjeta de procesamiento, encargada de la comunicación y el control entre el sistema de procesamiento y el de locomoción, tendrán que estar dentro del prototipo, haciendo posible que el prototipo tenga un funcionamiento "a bordo" sin necesidad de la intervención del usuario.	Deseable
8	Sistema de Recolección y Almacenamiento de Residuos	El funcionamiento del prototipo estará restringido a entornos donde el agua no sea turbulenta, que estén plegados de basura o que sean de difícil acceso. Además, el prototipo no podrá ser utilizado en la oscuridad o bajo la lluvia.	Demandada

Tabla 1. Requerimientos del Sistema

3.1.4 Análisis funcional

Con base a nuestro proyecto, se realizaron los diagramas IDEF mostrados en las figuras 27 y 28.

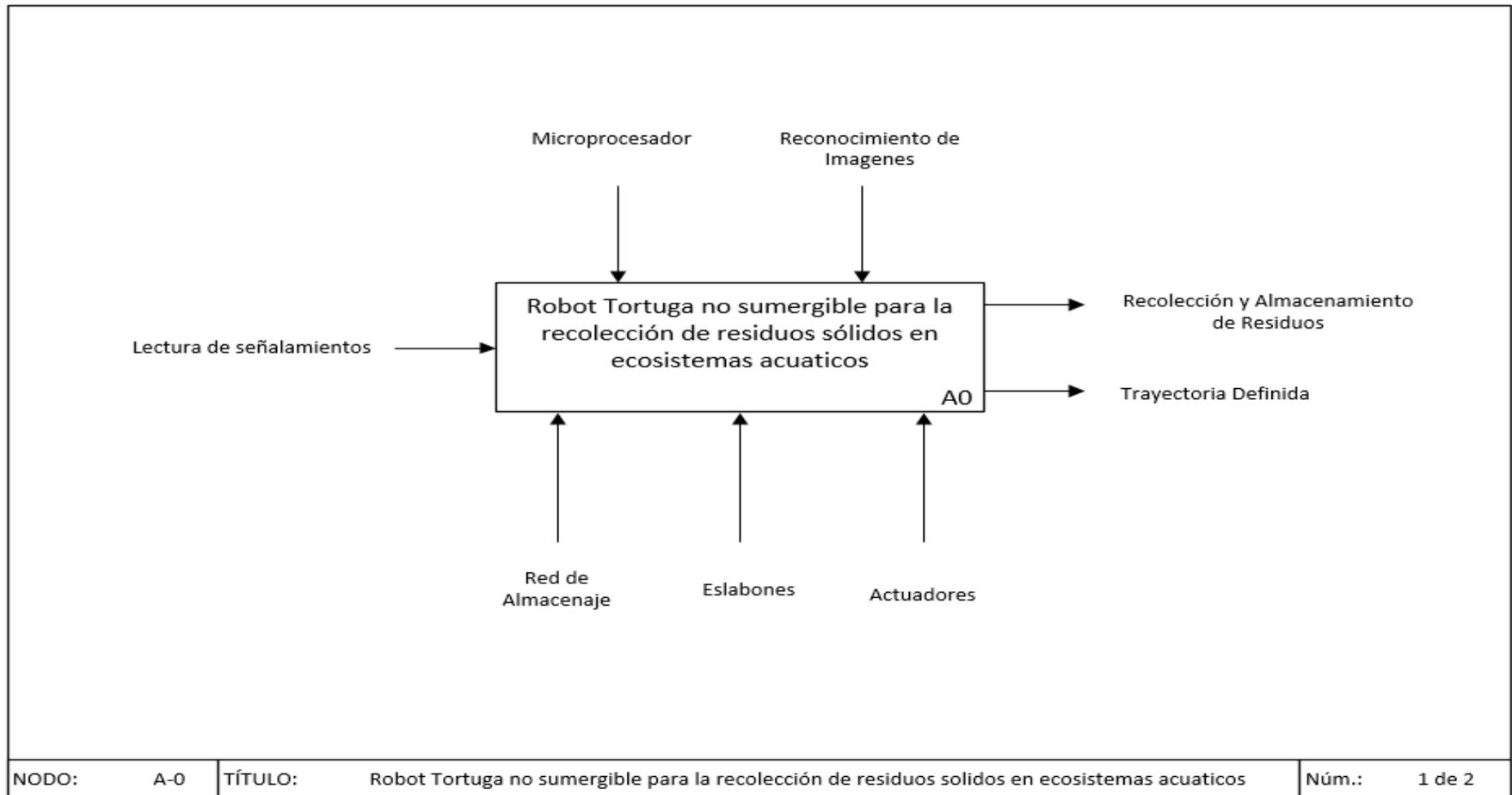


Figura 27. IDEF A-0. Diagrama General

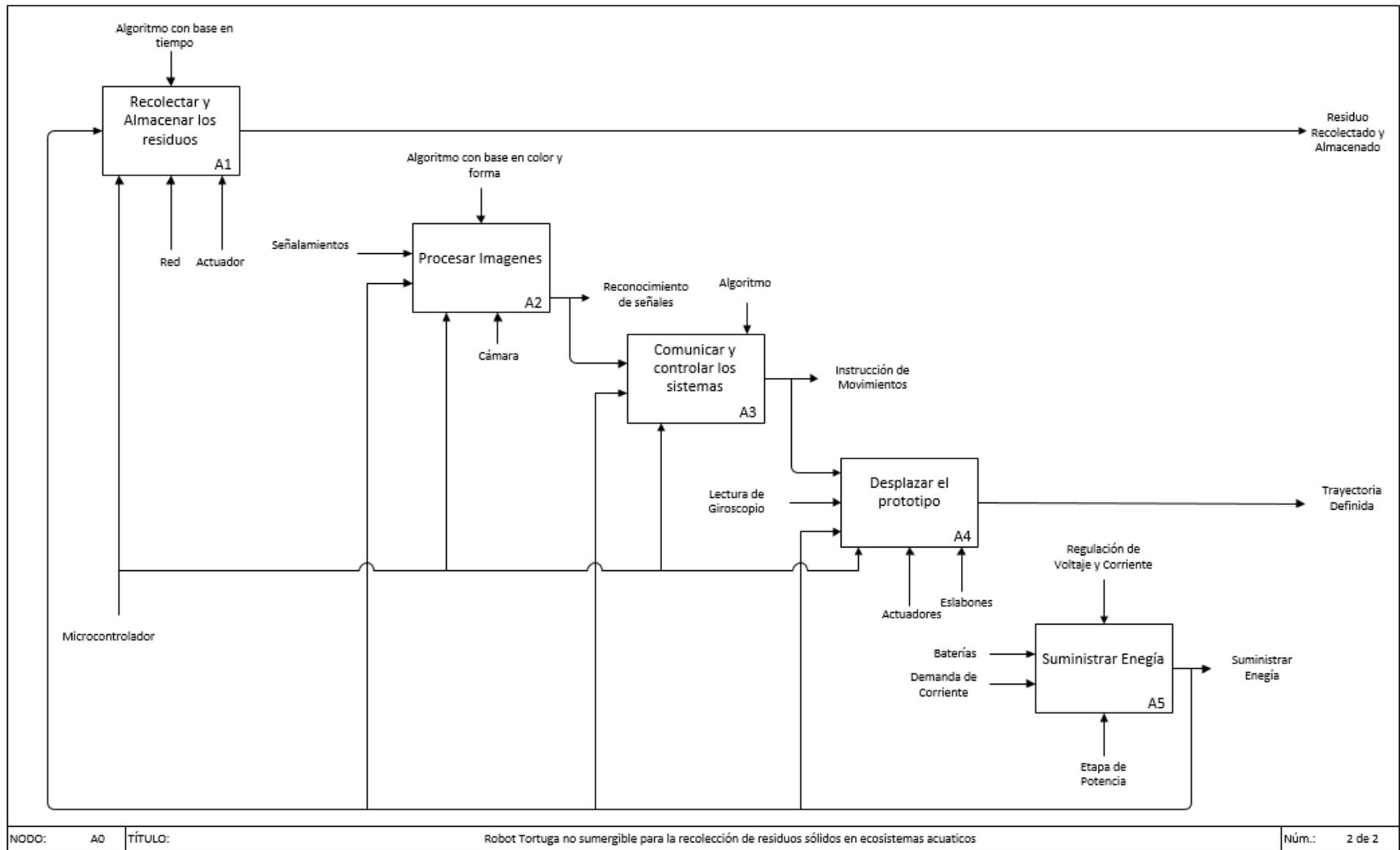


Figura 28. IDEF A0. Diagrama por áreas funcionales

En la figura 27 se puede observar el diagrama IDEF General del proyecto, donde al lado izquierdo del nombre del prototipo tenemos las entradas del sistema que para este caso en particular se encuentra la lectura de los señalamientos que indicaran la ruta a seguir.

Después, en la parte inferior tenemos los mecanismos necesarios para el funcionamiento del prototipo, mientras que en la parte superior se encuentran los sistemas de control, estas dos partes en conjunto generan la locomoción adecuada del Robot.

Finalmente, del lado derecho tenemos las salidas o la función que se espera lograr, en este caso es la recolección de los residuos y el correcto seguimiento de trayectorias.

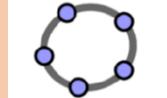
Por otra parte, en la Figura 28 se puede observar el IDEF de cada área funcional y como es que estas funcionan en conjunto para lograr un objetivo final, el recolectar basura y el seguir una ruta.

3.2. Diseño Conceptual

Es un proceso el cual consiste en buscar una o más soluciones para el problema de diseño planteado en un proyecto, a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades planteadas, para esto, el mejor aliado es el análisis morfológico [35].

3.2.1 Matriz Morfológica

Es un método visual que nos ayuda a identificar e investigar los conjuntos de posibles relaciones para solucionar el problema. En la siguiente tabla se puede observar nuestra morfológica dividida en áreas funcionales y principales tareas de cada una de ellas [36].

Matriz Morfológica					
AF1.- Desplazar el prototipo	Mover el prototipo				
	Software de análisis de movimiento				
	Software de modelado				
AF2. Recolectar y Almacenar residuos	Ubicación del mecanismo				

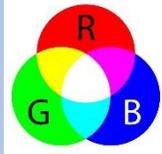
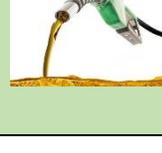
	Mecanismo de recolección				
AF3. Procesar Imágenes	Código de colores				
	Entorno de programación				
	Lectura				
AF4. Comunicar y controlar los sistemas	Controlador				
AF5. Suministrar Energía	Fuente de poder				
	Software de diseño				

Tabla 2. Matriz Morfológica

3.2.2 Selección de Diseño Conceptual

Para elegir el diseño que más se adapte a nuestras necesidades hicimos uso del método AHP [37], los resultados se muestran en la tabla 3.

Diseño Conceptual			
	Facilidad de diseño (Mover el prototipo, ubicación del mecanismo, mecanismo de recolección, fuente de poder)	Facilidad de Programación (código de colores, lectura y controlador)	Licencias institucionales y Software libre (Análisis de Movimiento, modelado, entorno de programación y diseño)
Opción 1 (Color Azul)	<ul style="list-style-type: none"> Utilizando aletas biológicas es más sencillo desplazar el mecanismo sin embargo es difícil de hacer Ubicar el mecanismo por todo el prototipo es útil debido a que la cantidad de almacenaje esta mayor Utilizar una red es útil para no ahogar animales marinos Utilizar una power bank nos puede ayudar a facilitar los cálculos de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> Es útil utilizar el código de colores RGB Utilizar una cámara web es práctico y no hay problema con la intemperie Utilizar una raspberry pi nos hace más fácil un control a bordo 	<ul style="list-style-type: none"> Tracker y Phyton son Softwares libres. SolidWorks y Proteus tienen licencia institucional
Opción 2 (Color Rojo)	<ul style="list-style-type: none"> Una paleta es sencilla de implementar, sin embargo, rompería el esquema de lo que la estructura zoomorfa representa Ubicar el mecanismo en la boca es complicado debido a que los residuos deberán ser de máximo la dimensión de la boca, por lo que la relación de tamaño de la cabeza con respecto al caparazón tendría como consecuencia un aspecto zoomorfo no deseado Utilizar la energía solar para alimentar el prototipo es una opción ecológica, sin embargo no nos brinda la potencia necesaria 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar un código de colores HSV es útil al necesitar un reconocimiento de color en intemperie La compatibilidad de la cámara de raspberry hace que su uso sea sencillo El arduino es portable pero no admite un procesamiento de imágenes eficaz 	<ul style="list-style-type: none"> Multisim y Matlab cuentan con licencia institucional Geogebra y Comsol no tienen licencia institucional ni son softwares libres

Opción 3 (Color Verde)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar turbinas para desplazar el prototipo es una buena opción • Ubicar el mecanismo de recolección en la cola hace que los residuos no puedan ser recolectados • Utilizar una bolsa ayuda a no tener que vaciar el contenido, sin embargo si se encuentra algún animal marino este morirá • Utilizar combustible es una pésima opción debido a que no sabemos cómo transformarlo y además es un contaminante 	<ul style="list-style-type: none"> • El código de colores elegido es difícil de usar debido a su complejidad con respecto a ángulos • La cámara del celular es la de mejor calidad sin embargo es difícil la comunicación con raspberry • La computadora no es portable 	<ul style="list-style-type: none"> • Tina es un software libre • Labview y Autocad cuenta con licencia institucional • Working Model no cuenta con licencia institucional ni es un software libre
------------------------	---	--	--

Tabla 3. Diseño Conceptual. Método AHF. Tabla General

En la tabla general de selección de diseño conceptual, se puede apreciar todas las posibles soluciones a las tareas más importantes a realizar, además, se explica brevemente cuáles serían las ventajas y desventajas de una u otra; con cada posible solución se analizaron los criterios utilizando el método AHF, los resultados se muestran en la tabla 4.

CRITERIO: FACILIDAD DE DISEÑO							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz Normalizada			Vector Promedio
Opción 1	1.00	3.00	6.00	0.67	0.69	0.60	0.65
Opción 2	0.33	1.00	3.00	0.22	0.23	0.30	0.25
Opción 3	0.17	0.33	1.00	0.11	0.08	0.10	0.10
SUMA	1.50	4.33	10.00				

CRITERIO: FACILIDAD DE PROGRAMACION							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz Normalizada			Vector Promedio
Opción 1	1.00	3.00	5.00	0.65	0.69	0.56	0.63
Opción 2	0.33	1.00	3.00	0.22	0.23	0.33	0.26
Opción 3	0.20	0.33	1.00	0.13	0.08	0.11	0.11
SUMA	1.53	4.33	9.00				

CRITERIO: SOFTWARE							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz Normalizada			Vector Promedio
Opción 1	1.00	7.00	3.00	0.68	0.54	0.71	0.64
Opción 2	0.14	1.00	0.20	0.10	0.08	0.05	0.07
Opción 3	0.33	5.00	1.00	0.23	0.38	0.24	0.28
SUMA	1.48	13.00	4.20				

Tabla 4. Diseño Conceptual. Conjunto de Tablas de Criterios

En las matrices anteriores se comparan cada una de las opciones contra los criterios propuestos, esto para conocer cuales tienen ventaja sobre otras en algunos parámetros. Generando así la matriz de comparación por pares (ver tabla 5).

MATRIZ DE COMPARACION POR PARES							
	Diseño	Programación	Software	Matriz Normalizada			Vector Promedio
Diseño	1.00	3.00	7.00	0.68	0.71	0.54	0.64
Programación	0.33	1.00	5.00	0.23	0.24	0.38	0.28
Software	0.14	0.20	1.00	0.10	0.05	0.08	0.07
SUMA	1.48	4.20	13.00				

Tabla 5. Diseño Conceptual. Matriz de Comparación por pares

En la matriz de comparación por pares (ver Tabla 6), se comparan los diferentes criterios analizados para saber cuáles son más importantes que otros.

TABLA DE ELECCION FINAL				
	Diseño	Programación	Software	Total
Opción 1	0.65	0.63	0.64	0.65
Opción 2	0.25	0.26	0.07	0.24
Opción 3	0.10	0.11	0.28	0.11
Ponderación	0.64	0.28	0.07	

Tabla 6. Diseño Conceptual. Elección Final

Finalmente, en la tabla de elección final se puede observar que la opción elegida es el diseño conceptual 1, o de color azul, sin embargo, hay tareas que notamos que se pueden solucionar de mejor forma considerando otro diseño conceptual, por lo que aplicar una

Capítulo 3. Desarrollo

selección de materiales y de componentes comerciales nos ayudara a definir mejor lo necesario para realizar el proyecto.

3.3.3 Boceto

Finalmente, teniendo ya un diseño conceptual elegido, se elaboró el boceto correspondiente, presentado en la figura 29, que nos sirvió como base para continuar con el desarrollo del proyecto.

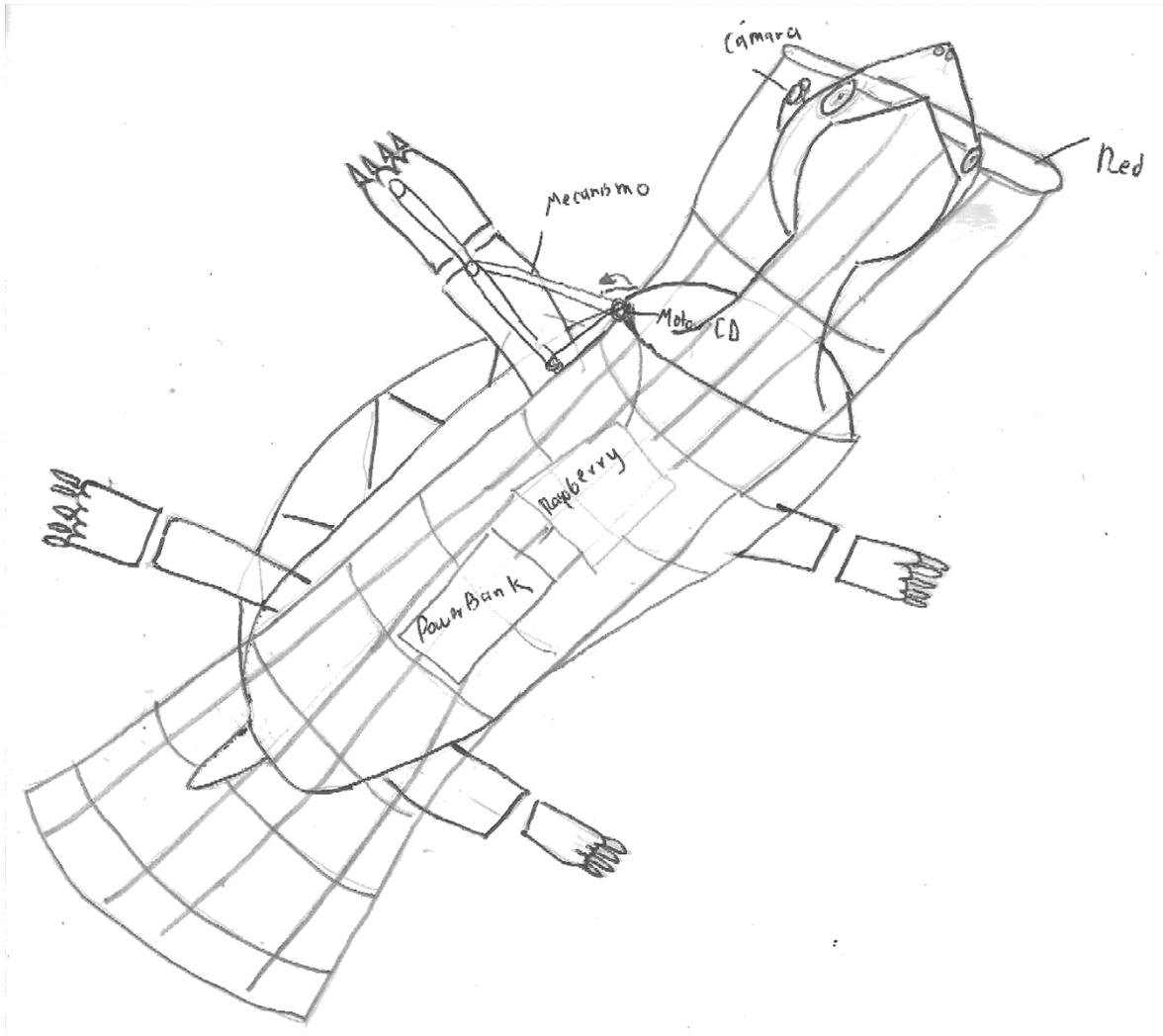


Figura 29. Boceto del prototipo

3.3 Diseño Detallado

En el diseño detallado se busca encontrar las soluciones de las diferentes áreas funcionales, esto con el fin de lograr el objetivo final de cada una de ellas.

3.3.1 Área Funcional 1. Desplazar el prototipo.

Esta primera área funcional es la que se encarga de analizar los movimientos que realizan las tortugas y de buscar algún mecanismo que pueda emular este movimiento.

3.3.1.1 Trayectorias que realiza la tortuga

En esta etapa lo primero que se hizo fue grabar en la vista superior y lateral la locomoción de las tortugas de agua dulce, esto con el fin de observar cuales son los movimientos que realizan y como estos le ayudan a desplazarse. Se utilizó el software Tracker para analizar frame por frame y poder obtener las trayectorias que realizan las extremidades de dicho animal. En la figura 30 podemos apreciar las trayectorias de las extremidades obtenidas con el software antes mencionado desde diferentes ángulos.

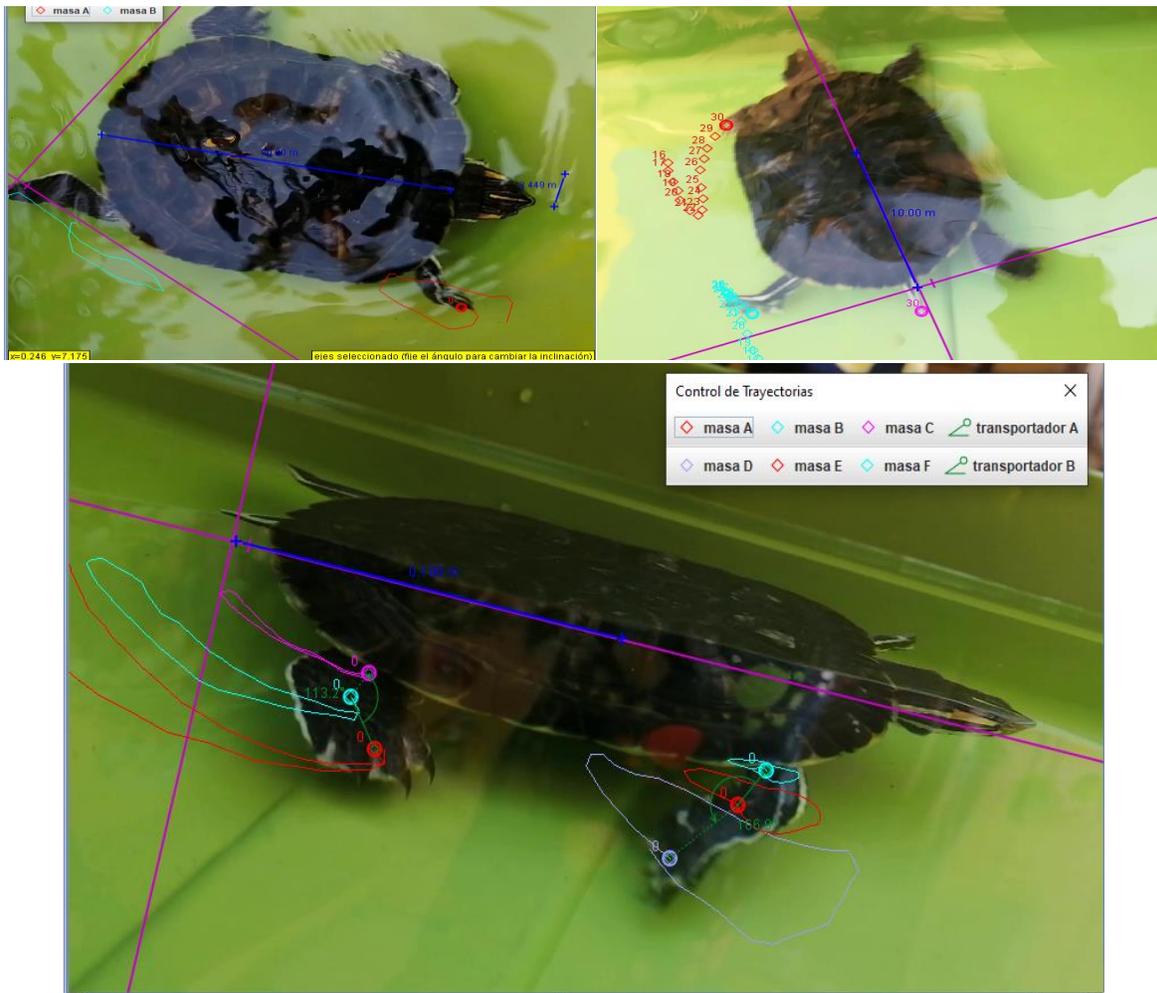


Figura 30. Trayectoria de Desplazamiento de la Tortuga

Para describir este movimiento, en la figura 31 se presentan las gráficas de posición de cada una de las patas ya que son las que resultan más relevantes.

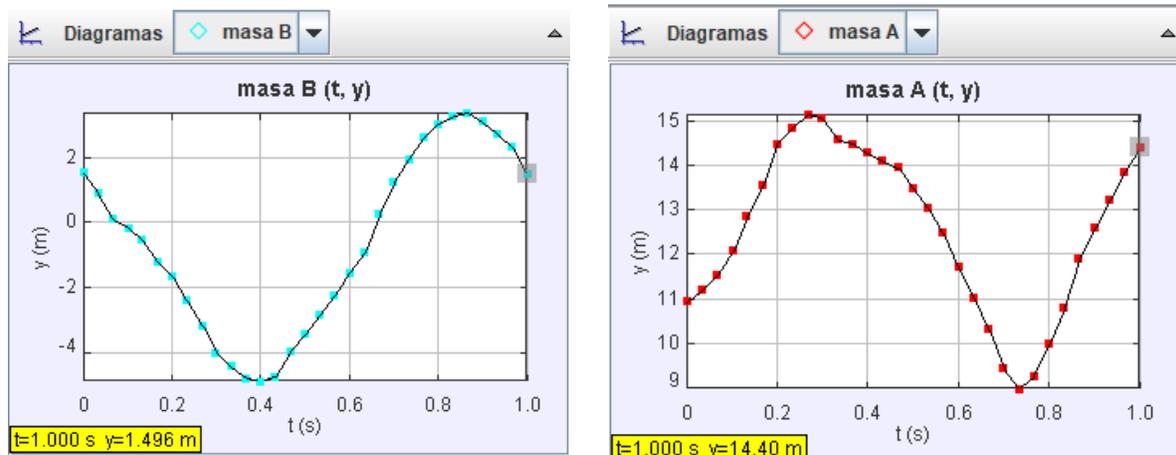


Figura 31. Gráficas de posición

En la gráfica del lado izquierdo se observan las posiciones en la pata delantera mientras que en la gráfica del lado derecho se aprecian las posiciones en la pata trasera, ambas graficas son tomadas en el punto más lejano de la extremidad, es decir en donde están los dedos, se puede observar gracias a este análisis que el movimiento es muy parecido solamente con la diferencia de que existe un desfase de $\frac{\pi}{2}$ una con respecto a otra por lo que cuando una va a mitad de ciclo, la otra apenas lo empieza.

3.3.1.2 Trayectoria Proyectada en 3D

Una vez obtenidas las trayectorias en tracker, se proyectó en el mismo frame sobre los 3 planos (X, Y, Z), y se utilizó SolidWorks para crear una proyección en 3D de la ruta que siguen las extremidades de la tortuga, los resultados de esta trayectoria 3D se aprecian en la figura 32.

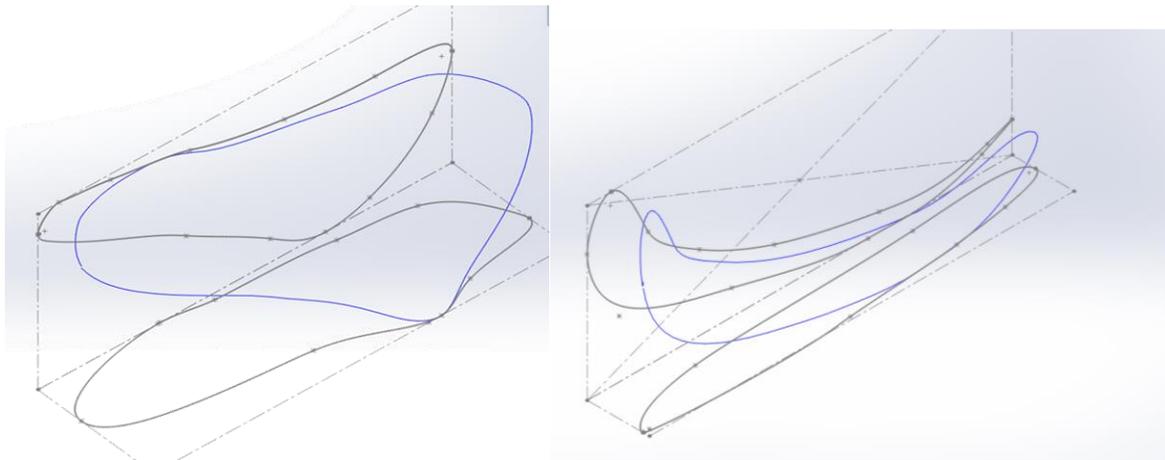


Figura 32. Trayectorias Proyectadas en 3D, Pata Delantera y Trasera Respectivamente

3.3.1.3 Selección del Mecanismo.

Una vez observadas las trayectorias en 3D obtenidas en la figura 32, se pudo observar, que el plano donde hay mayor incidencia es sobre X,Y, además, ese plano es el que ayuda a las tortugas a desplazarse, mientras que el plano Z,X es el que le ayuda a flotar. Además, también podemos observar gracias a la figura 31, que las patas tienen el mismo movimiento por lo que para imitar el movimiento en las 4 patas es necesario utilizar un único mecanismo pero con dimensiones diferentes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se buscaron mecanismos que nos ayudaran a tener una ruta parecida a la observada, eligiendo así, el mecanismo de Hoekens. Un ejemplo de este se muestra en la figura 33.

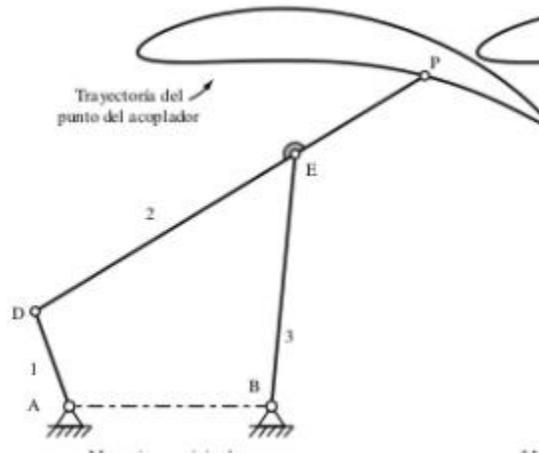


Figura 33. Ejemplo de Mecanismo Seleccionado

3.3.1.4 Diseño del Mecanismo

Una vez elegido el mecanismo, se fueron diseñando los eslabones necesarios para el movimiento. Se conocen las longitudes del Balancín (Eslabón 3) y el segmento E-P de la biela (Segmento Final del Eslabón 2), las cuales corresponden a la pata interior y exterior de la tortuga. Conociendo esas longitudes, basándose en el conocimiento adquirido en lo colocado en el marco teórico, y utilizando regla de 3, se obtuvieron las siguientes dimensiones mostradas en la tabla 7.

Pata Delantera		Pata Trasera	
Balancín (Longitud Conocida)	7 cm	Balancín (Longitud Conocida)	9.5 cm
Manivela	3cm	Manivela	4 cm
Bastidor	5 cm	Bastidor	6.8 cm
Biela (Segmento D-E)	8 cm	Biela (Segmento D-E)	11 cm

Biela (Segmento E-P, conocido)	4 cm	Biela (Segmento E-P, conocido)	5.5 cm
--------------------------------	------	--------------------------------	--------

Tabla 7. Longitudes de los eslabones

Todas las longitudes mostradas son en mm. Los eslabones correspondientes a la manivela y al balancín tendrán un espesor de 3mm (para los correspondientes a la parte trasera y delantera), mientras que el eslabón correspondiente a la biela tendrá un espesor de 6mm (de igual forma para la parte delantera y trasera). Este cambio en los espesores se justificará en la sección correspondiente al análisis de elemento finito.

3.3.1.5 Mecanismo de Locomoción

En la figura 34 se presenta el mecanismo de 4 barras de Hoekens diseñado a partir de las longitudes mencionadas en la tabla 7, donde también se puede apreciar la trayectoria formada

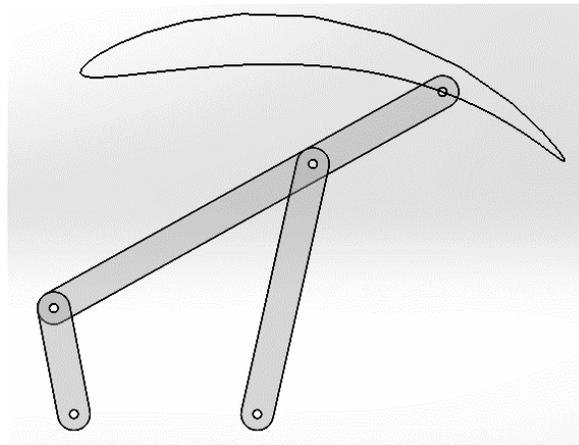
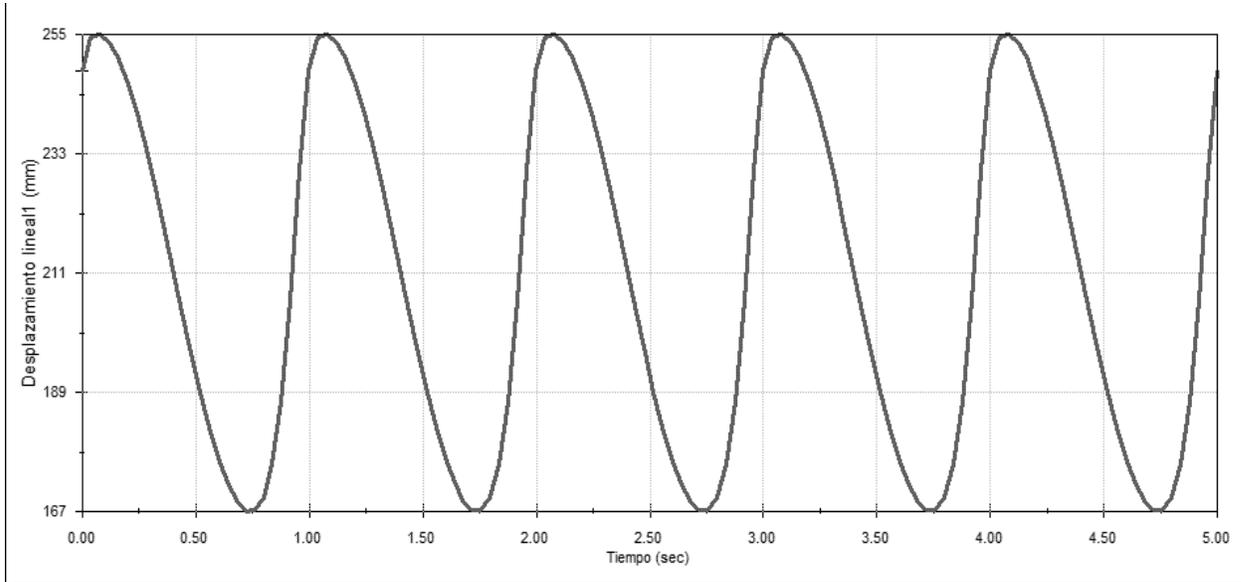
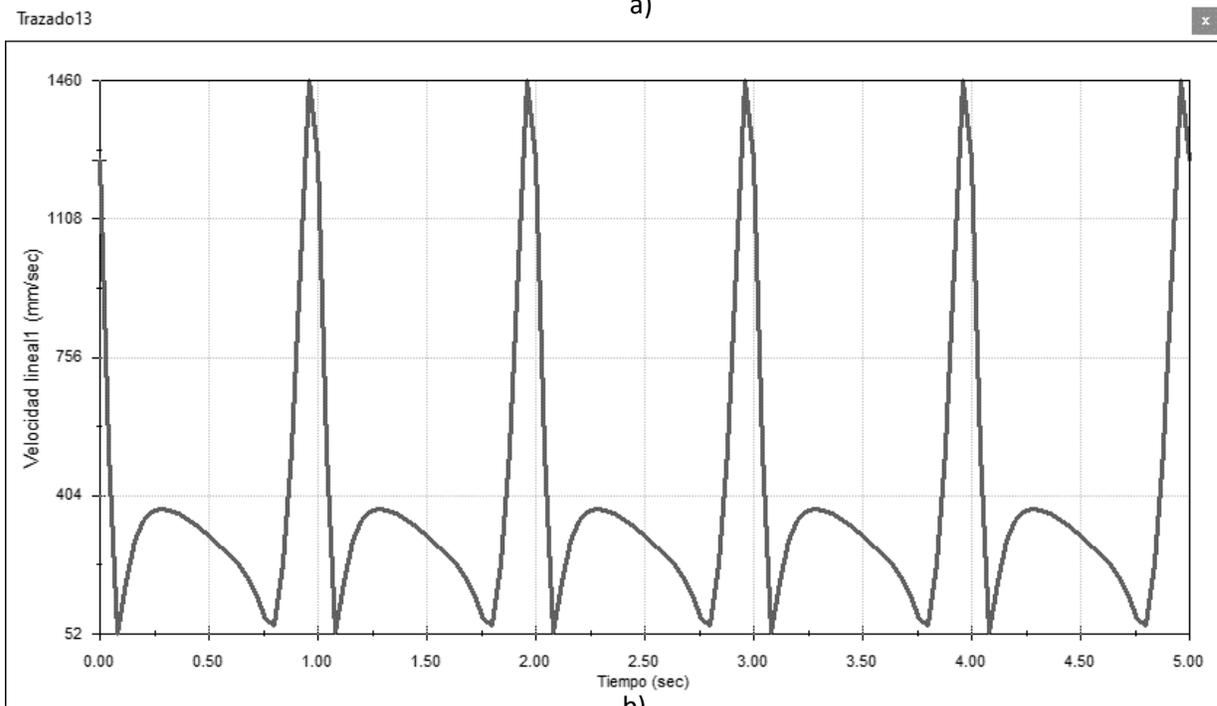


Figura 34. Mecanismo de 4 barras de la pata trasera

Posteriormente se obtuvieron las gráficas de posición y velocidad en los mecanismos trasero y delantero considerando un motorreductor a 60 rpm, esto debido a que según el análisis del movimiento realizado en tracker, las tortugas hacen un ciclo en aproximadamente 27 frames en una división de 30 frames por segundo. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 35.



a)



b)

Figura 35. Grafica de posición (a) y Velocidad del mecanismo (b)

Como se puede observar, en la Figura 35-a, los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos en la Figura 31 por lo que podemos asegurar que el mecanismo elegido para emular la posición de las extremidades de una tortuga es correcto.

Mientras que en la Figura 35-b se puede observar que hay un punto en donde la velocidad es máxima y que coincide además con el momento en que la tortuga “lanza su patada”, esto nos favorece ya que proporciona un mayor empuje de agua y por lo tanto un desplazamiento correcto.

3.3.2 Área Funcional 2. Procesamiento de imágenes

Dentro de los componentes principales del sistema de visión artificial tenemos la cámara que se encarga de capturar la escena y la tarjeta de procesamiento encargada de analizar e interpretar la información procedente de la cámara. Para esta última se ocupó el modelo de cámara web mostrado en la figura 36, que captura imágenes con una resolución de 1280x720 píxeles.



Figura 36. Cámara WEB

En cuando a la tarjeta de procesamiento, se trabajó con la tarjeta Raspberry Pi3 modelo B, utilizando el sistema operativo 'Raspbian', en donde es posible trabajar con el lenguaje Python, el cual fue empleado para programar el algoritmo.

Esta tarjeta se encarga de procesar las imágenes, donde de manera generalizada el proceso que sigue es; primero segmenta la imagen, posteriormente extrae características del objeto segmentado y finalmente hace el reconocimiento. Este reconocimiento se hará con base en señalamientos realizados con colores y figuras geométricas diferentes.

En total son 3 señalamientos que se deben reconocer y cada uno corresponde a una instrucción diferente que se da al sistema de locomoción, es por ello que se eligieron tres figuras geométricas diferentes (estrella, triangulo y circulo) y también tres colores, se trabajó con el rojo, amarillo y azul.

3.3.2.1 Señalamientos

Los señalamientos se construyeron sobre espuma de Etilvinilacetato para asegurar su flotabilidad. Los diseños de estos señalamientos se presentan en la figura 37 y las instrucciones que dan son las siguientes:

- Giro a la izquierda, identificado por un círculo amarillo.
- Giro a la derecha, identificado por una estrella roja.
- Alto, identificado por un triángulo azul.



Figura 37. Señalamientos a identificar

Cabe destacar que cada una de las figuras se encuentra sobre un fondo negro, que únicamente ayuda a resaltar la figura.

3.3.2.2 Algoritmo

Antes de comenzar con el análisis de la imagen, se realiza un ajuste en el tamaño de la imagen, con el propósito de que el tiempo de procesamiento disminuya considerablemente, por lo que la imagen con la que se trabaja es de 72x96 píxeles. La siguiente etapa corresponde a la segmentación con base en color, esto se hace utilizando tres umbrales; uno para especificar la concentración del color rojo (capa R), otra para la concentración del verde (capa G), y finalmente el umbral para el color azul (capa B). Los umbrales para poder segmentar cada uno de nuestros señalamientos se encuentran en la tabla 8.

	Umbrales		
	Capa R	Capa G	Capa B
Círculo Amarillo	Capa R > 180	Capa G > 180	Capa B ≤ 140
Estrella roja	Capa R > 210	Capa G ≤ 230	Capa B ≤ 190
Triángulo azul	Capa R ≤ 200	Capa G > 100	Capa B > 230

Tabla 8. Umbrales para segmentación de imagen

Como se mencionó en el marco teórico, los valores del píxel en cada capa varían según la concentración de color, y debido a que nuestro prototipo funcionará al aire libre, la luz será proporcionada por el sol, es por ello que solo se podrá trabajar en un horario de 12:00pm a 14:00pm pues la calibración de los umbrales se hizo considerando la cantidad de luz existente en un día despejado en el horario antes mencionado.

Al final de este proceso obtenemos 3 imágenes segmentadas, donde la primera corresponde a los píxeles en la tonalidad del rojo definida por los umbrales antes presentados, la segunda es para los píxeles en amarillo y la última para los píxeles en azul. Posteriormente, se elige la imagen con la mayor cantidad de píxeles segmentados, ya que esto nos indica la presencia de alguno de nuestros señalamientos.

Posteriormente, se le aplican operaciones morfológicas, para eliminar los píxeles de ruido y mejorar los bordes del objeto resaltado. Primero se aplica una operación de erosión, con el elemento estructurante mostrado en la tabla siguiente y posteriormente una operación de dilatación con tres iteraciones utilizando el mismo elemento estructurante.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Tabla 9. Elemento estructurante

Al aplicar estas operaciones morfológicas obtenemos una de las imágenes presentada en la figura 38 que corresponden a la segmentación de cada uno de los señalamientos de la figura 37.

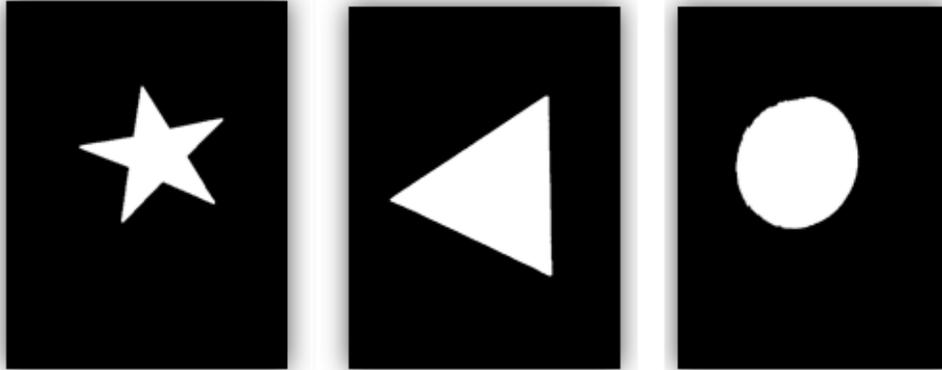


Figura 38. Imágenes segmentadas

3.3.2.2.1 Momentos invariantes de Hu

Posteriormente, se extrae la información de la imagen, la cual servirá para realizar el reconocimiento de la forma. Esto se hace utilizando los momentos invariantes de Hu. En la tabla 10 se muestran dichos valores para las diferentes formas, así como los momentos de Hu con los valores normalizados. Nótese que con los valores normalizados no sería factible aplicar un proceso de umbralización para identificar la forma, ya que los valores son muy cercanos entre las distintas formas, mientras que con los valores no normalizados podemos obtener una mejor distinción entre las figuras, además de que no habría necesidad de utilizar los 7 valores

Forma	Momentos	Momentos normalizados
Estrella	1. 21.7669197535635	1. 3.080391375
	2. 0.0143863669327010	2. 4.241474262
	3. 0.000510300959073106	3. 7.58050989
	4. 0.000439267183338726	4. 7.730402712
	5. -1.37935610913465e-10	5. 22.70423413
	6. -3.24194106204503e-06	6. 12.63933831
	7. 2.07514775023082e-09	7. 19.99323348
Circulo	1. 16.0466828568453	1. 2.775502153
	2. 0.0398819522962106	2. 3.221831381
	3. 0.000143170855589726	3. 8.851471847
	4. 4.46652206438381e-07	4. 14.62148561
	5. -2.80097941577418e-15	5. 33.50880725
	6. -4.15287993115668e-09	6. 19.29946378
	7. -3.56075435026838e-14	7. 30.96621888

Triangulo	1. 19.3369199011113	1. 2.962016217
	2. 0.0183968699117830	2. 3.995574742
	3. 0.465637314886797	3. 0.764348242
	4. 0.000516370236203004	4. 7.568686538
	5. -5.34404584600215e-08	5. 16.74469773
	6. -4.64341909297424e-06	6. 12.28005959
	7. 5.96254988945953e-08	7. 16.63518252

Tabla 10. Momentos invariantes de Hu

Es importante mencionar que unicamente se utilizaron los momentos de Hu 1 y 7 no normalizados para hacer el reconocimiento de forma mediante umbralizacion, los umbrales utilizados se encuentran en la tabla 11

	Momentos de Hu	
	φ_1	φ_7
Circulo	$\varphi_1 < 18$	$\varphi_7 < 0$
Estrella	$\varphi_1 > 20$	$\varphi_7 > 1$
Triangulo	$\varphi_1 > 18$	$\varphi_7 < 0.5$

Tabla 11. Umbrales para identificar forma

Finalmente, con base en los resultados de ambos reconocedores, se puede decir la forma y el color, y si ambos coinciden con algun señalamiento entonces el programa arroja que se reconocio.

3.3.2.3 Diagramas de Flujo

En la figura 39 se presenta el diagrama de flujo general que trata sobre el desarrollo del algoritmo explicado anteriormente

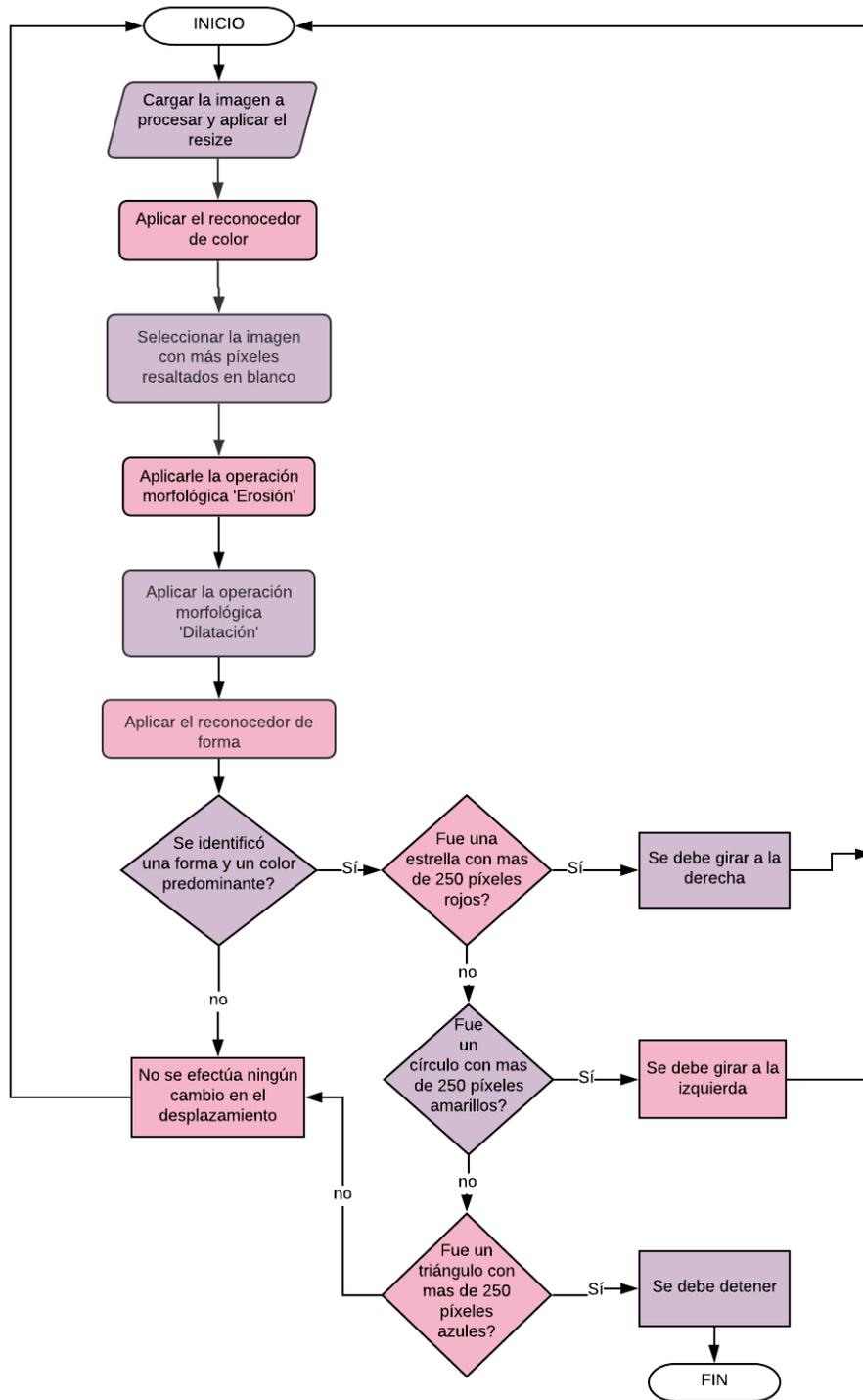


Figura 39. Diagrama de Flujo general del reconocimiento de imágenes

Capítulo 3. Desarrollo

Enseguida se presenta el diagrama flujo que sigue cada reconocedor, tanto el de forma como el de color, los cuales fueron tratados anteriormente. Estos diagramas se muestran en la figura 40.

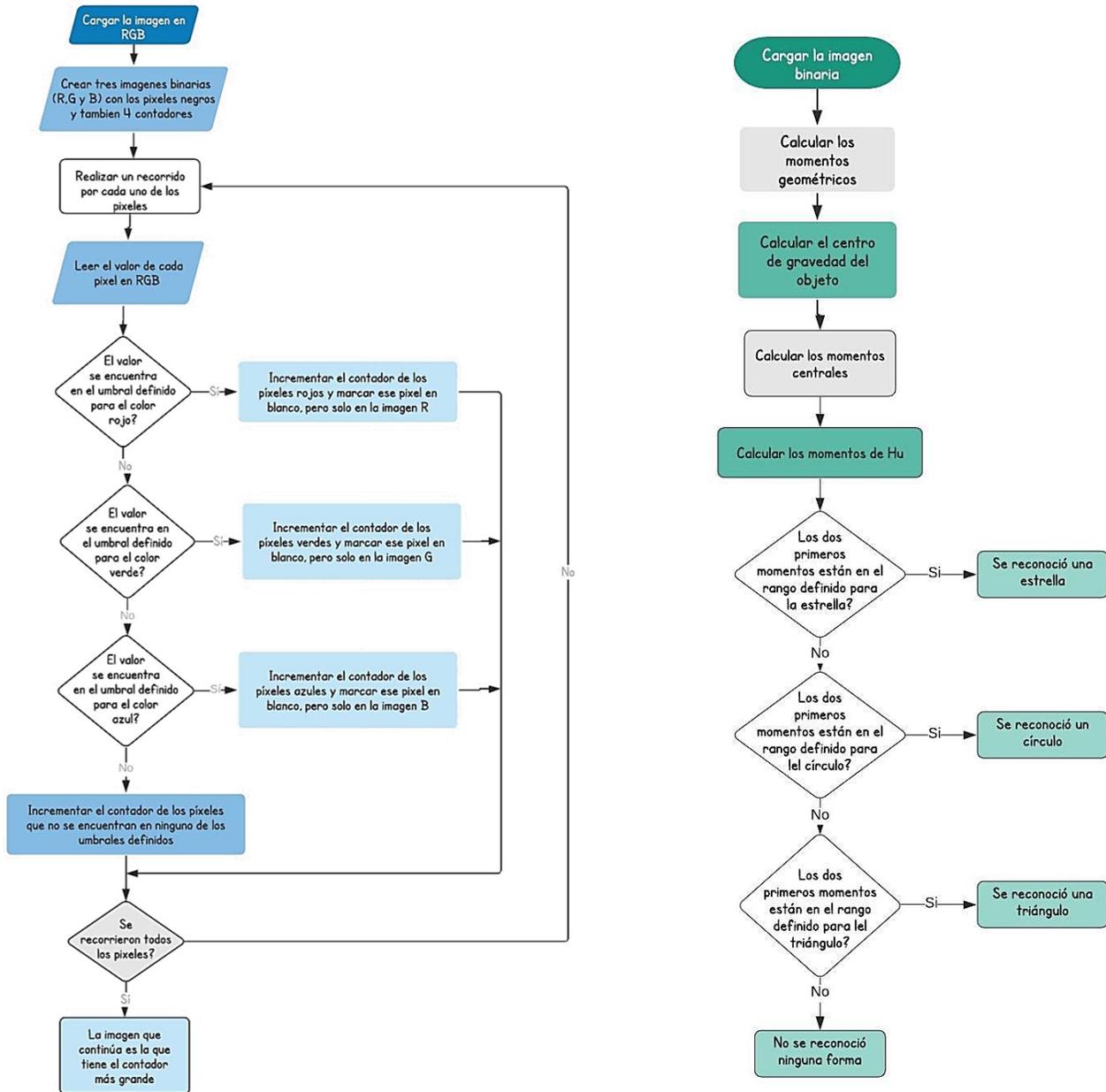


Figura 40. Diagramas de flujo para el reconocedor de color y de forma respectivamente

3.3.3 Área Funcional 3. Recolección de Basura

Para esta área funcional se diseñó un sistema de recolección compuesto por dos redes de almacenaje colocados al costado del prototipo, este diseño es presentado en la figura 41.

Dicho sistema de recolección consta de un perfil L de Aluminio de 60 cm con tres barrenos al centro, dos a los costados y 2 más en la parte superior, 2 perfiles L de Aluminio con 2 barrenos en los costados, 6 tubos de madera de 50 cm, 4 escurridoras de plástico y 1 metro de mosquitero.

El perfil L de 60 cm va sujeto a la cabeza de la tortuga mientras que en los costados van sujetas las escurridoras unidas con los tubos de madera y cubiertas con el mosquitero; Los perfiles L de 30 cm forman un triángulo por delante de la cabeza para que los residuos que se encuentren a su paso sean empujados a los costados y lleguen hasta las redes de recolección.

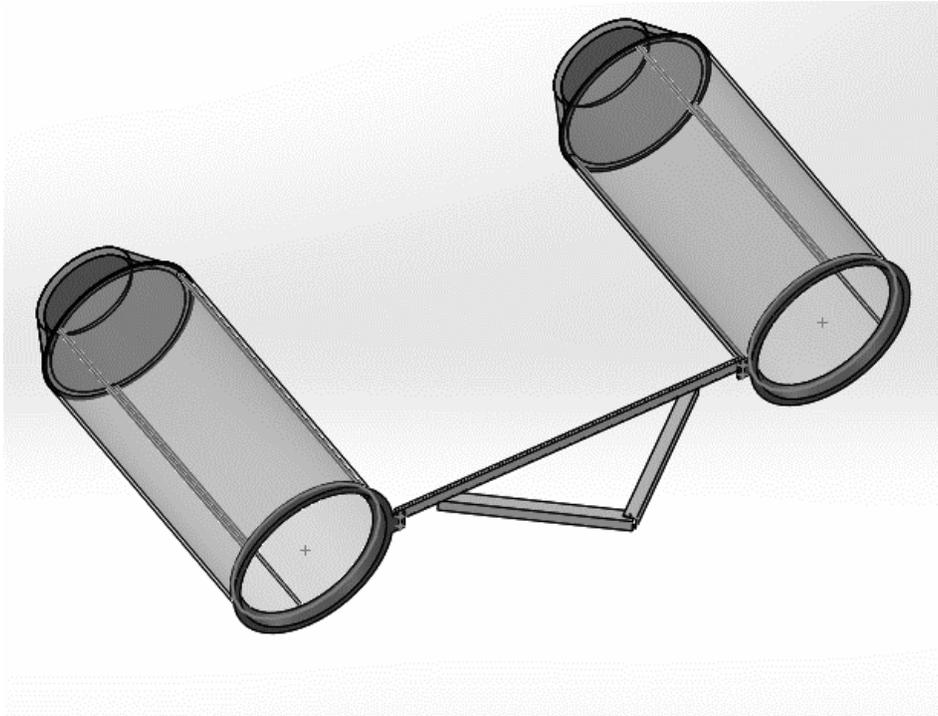


Figura 41. Mecanismo de Recolección

Según con nuestros objetivos, es necesario almacenar al menos 10 residuos con un volumen de 2827cm^3 , por lo que nuestras redes de recolección al ser de forma cilíndrica con 25 cm de diámetro y 50 cm de Largo tienen una capacidad de $24,543\text{cm}^3$ cada una, por lo que podríamos almacenar hasta 16 residuos del tamaño indicado, más que suficiente para cumplir dicho propósito.

3.3.4 Área Funcional 4. Control y Comunicación

Como ya se mencionó, se utilizó la tarjeta Raspberry Pi3 para hacer el reconocimiento de imágenes, pero además, esta tarjeta también es la encargada de controlar el sistema de locomoción a través de los actuadores y de un módulo puente H L298.

3.3.5 Área Funcional 5. Suministro de Energía

Para energizar nuestro prototipo se utilizan 3 baterías PowerBank, las cuales cuentan con dos salidas de 5V a 2.1A.

La conexión es la siguiente:

Las dos primeras baterías se conectan en serie para obtener entre sus terminales una salida de 10V a 2A, la cual alimenta a un módulo L298 que se utilizará como puente H y se encargará de controlar los motores.

Con la tercera batería se alimenta la Raspberry que a su vez energiza a la Webcam. Las salidas GPIO de la Raspberry se conectan al control del puente H. En la figura 42 se pueden observar dichas conexiones de manera grafica.

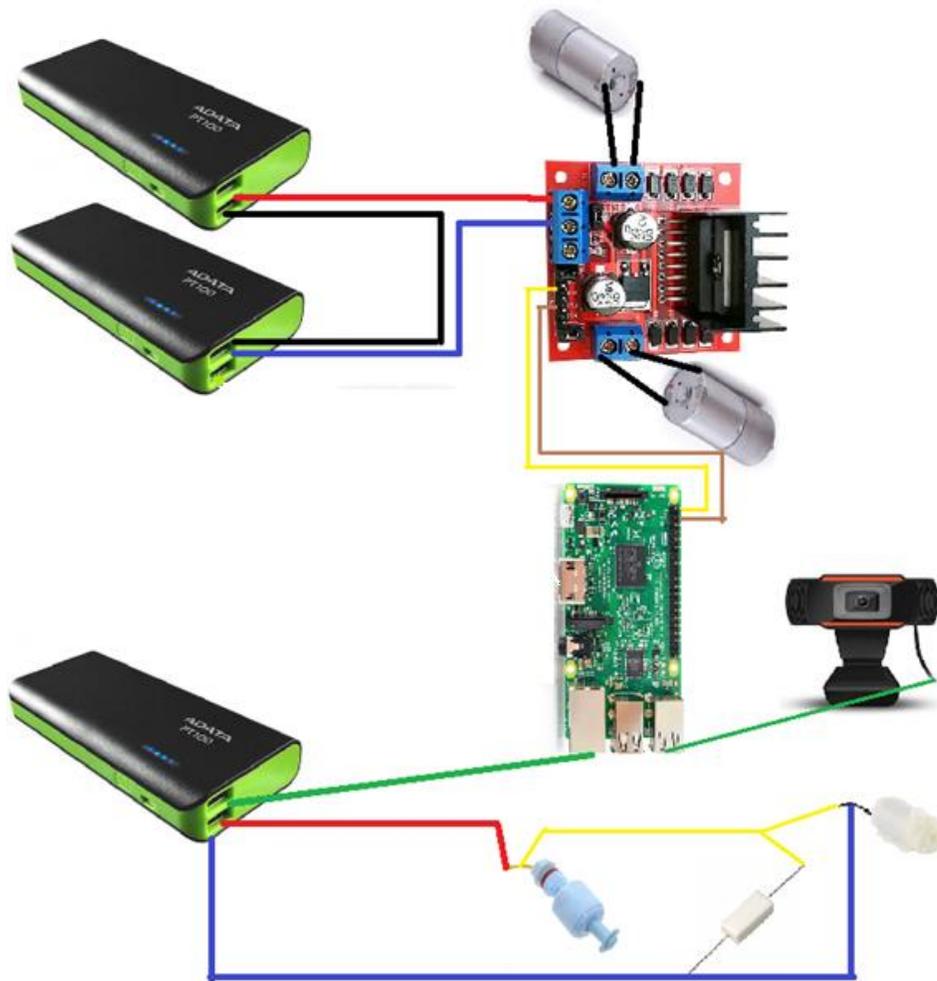


Figura 42. Diagrama Esquemático Conexión

El consumo máximo de nuestro circuito está formado primordialmente por lo que demanden los motores, y siendo que cada uno consume 15 Wh a máxima carga se decidió utilizar estas baterías debido a que suministran hasta 37 Wh, logrando así que el prototipo funcione por aproximadamente 1 hora, superando así los 20 minutos propuestos.

3.3.6 Estructura Zoomorfa

En esta etapa, se diseñó la estructura zoomorfa basada en una tortuga de orejas rojas, donde en la primera fase se escalaron las medidas del caparazón a partir de fotografías tomadas del espécimen, con esto se mantuvo la proporción entre todas las medidas considerando aumentar el largo del caparazón hasta 30 cm. Las medidas finales se presentan en la figura 43 y 44.

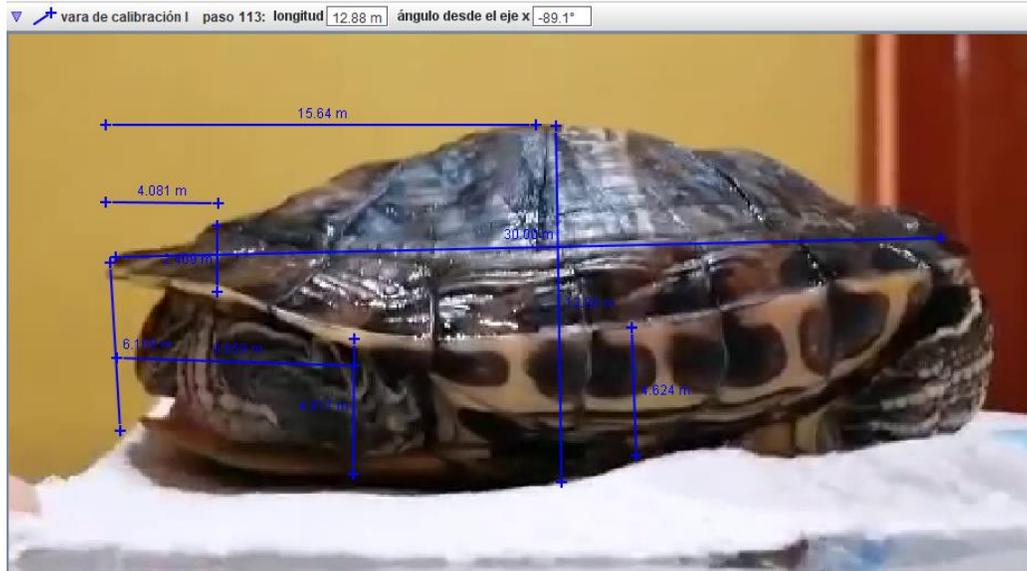


Figura 43. Escala del caparazón del espécimen, Vista Lateral

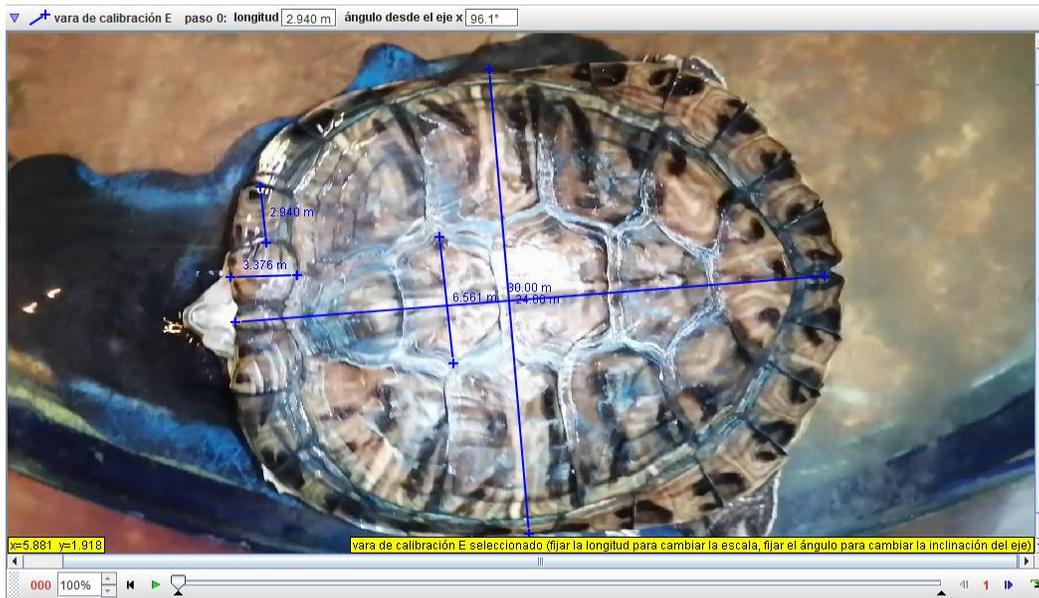
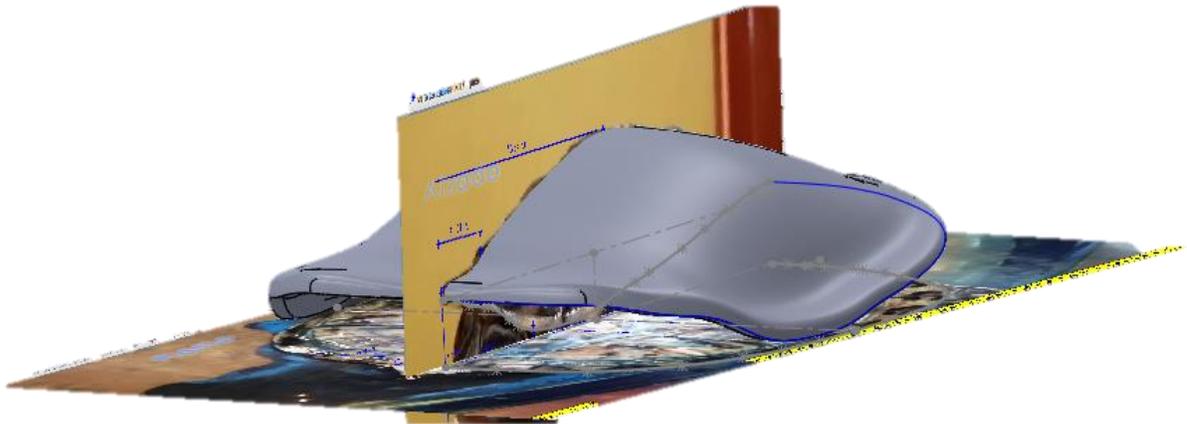


Figura 44. Escala del caparazón del espécimen. Vista Superior

3.3.6.1 Diseño de piezas

Las imágenes del proceso anterior (Figura 43 y 44) sirvieron como base para la realización del diseño, pues se exportaron a Solidworks y posteriormente se croquizaron tal como se observa en la figura 45a, logrando así obtener un caparazón con la forma exacta de nuestro espécimen. En la figura 45b se presenta el diseño final de dicha pieza, la cual tiene un peso de 277gr considerando el material utilizado en la fabricación



a)

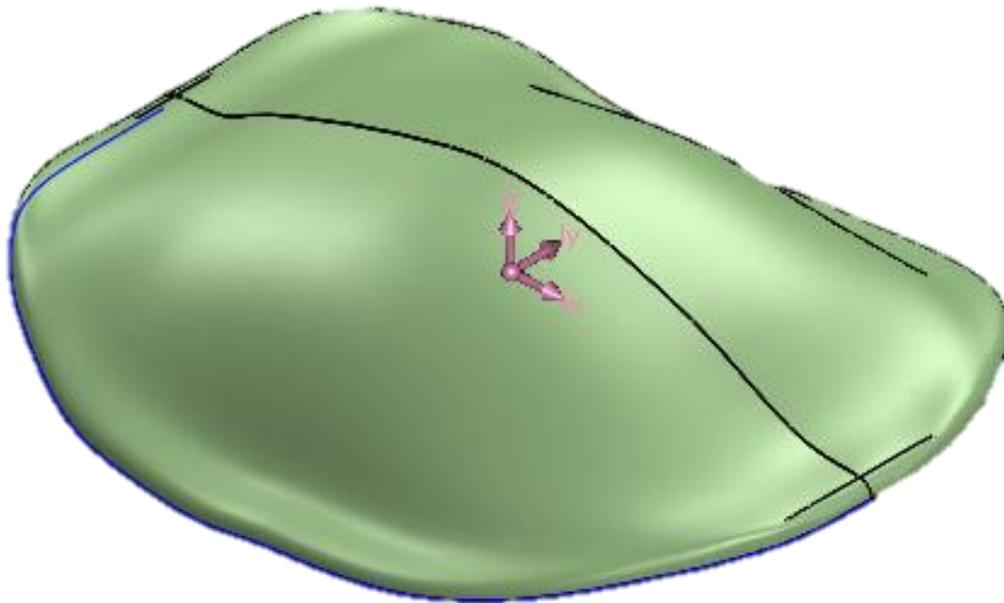


Figura 45. a) Proceso de diseño de caparazón b) Diseño final del caparazón

Algunos de los croquis obtenidos en el proceso anterior fueron empleados para diseñar la base del caparazón, la cual se presenta en la figura 46, esta pieza tiene un peso de 766 gramos

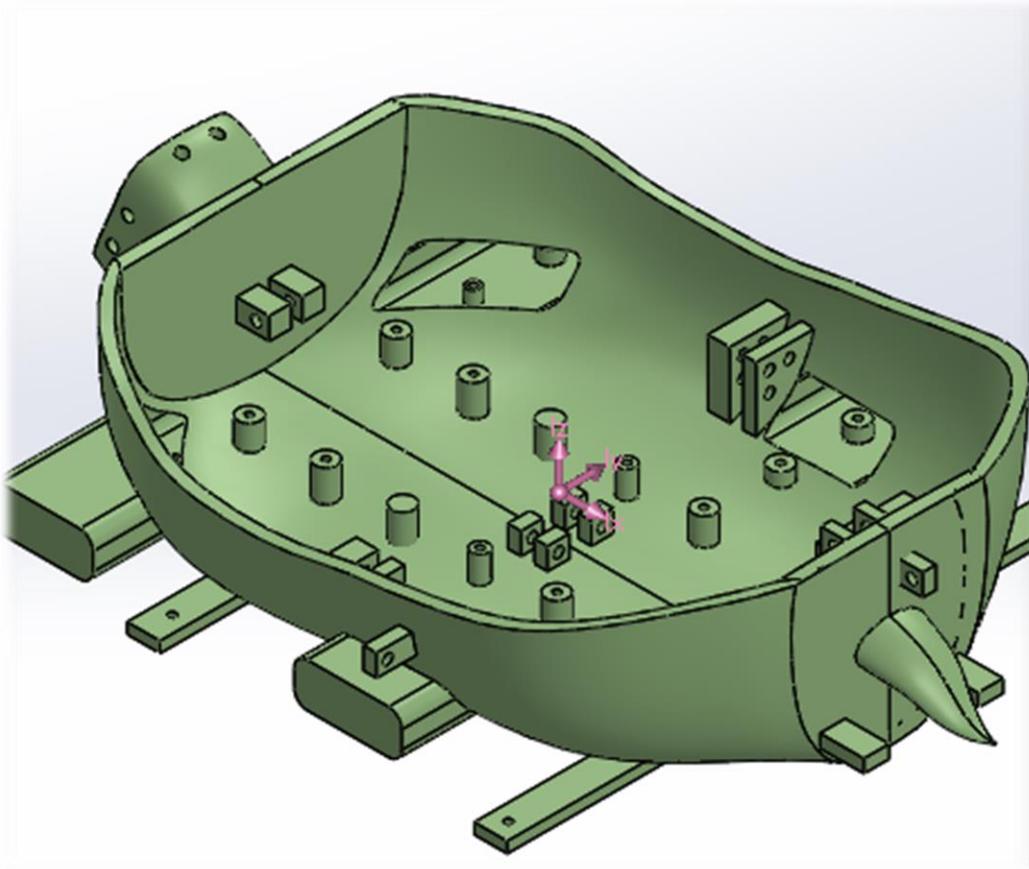


Figura 46. "Base", vista isométrica

Posteriormente se realiza el diseño de la cabeza, con un peso de 120 gramos. En las figuras 47 y 48 se muestra desde diferentes ángulos.

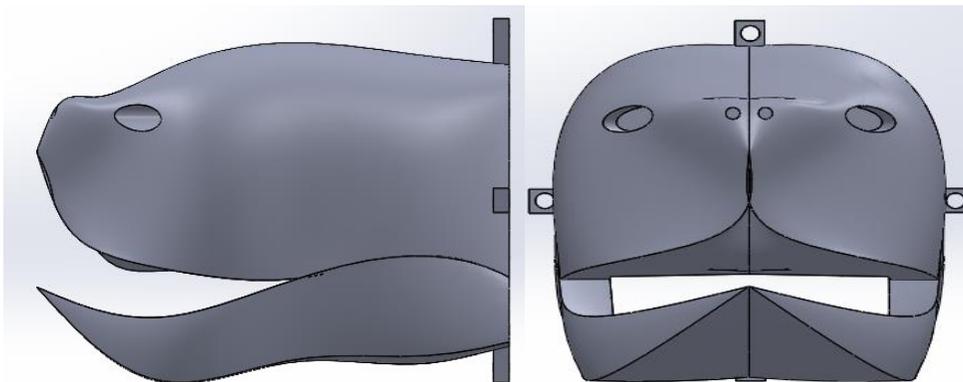


Figura 47. "Cabeza". Vista Lateral y Frontal

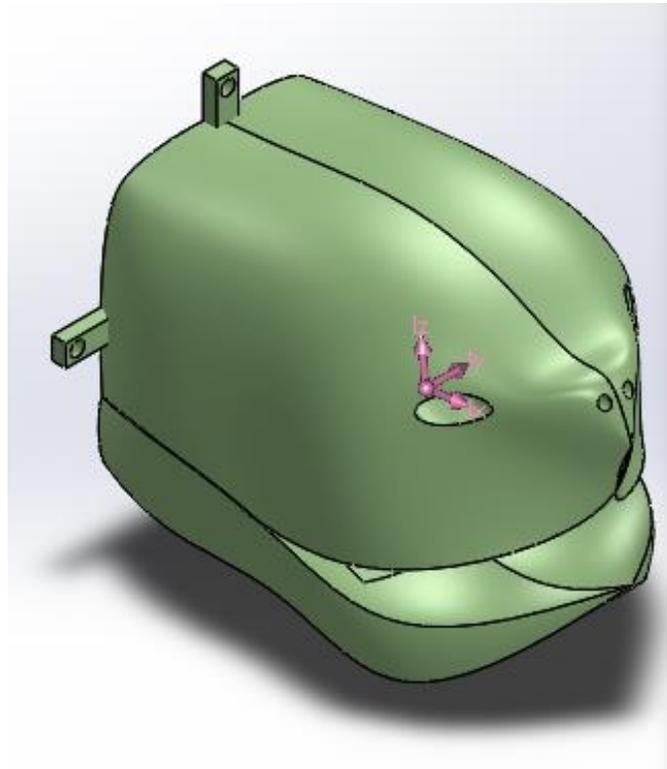


Figura 48. "Cabeza", Vista Isométrica

La pieza presentada en la figura 49 tiene asignado el nombre de 'mesa' y cuenta un peso de 314 gramos. Esta se coloca dentro de la base del caparazón y sirve como soporte a los motores, además de que sobre esta se distribuyen todos los elementos presentados en el diagrama de conexión de la figura 42.

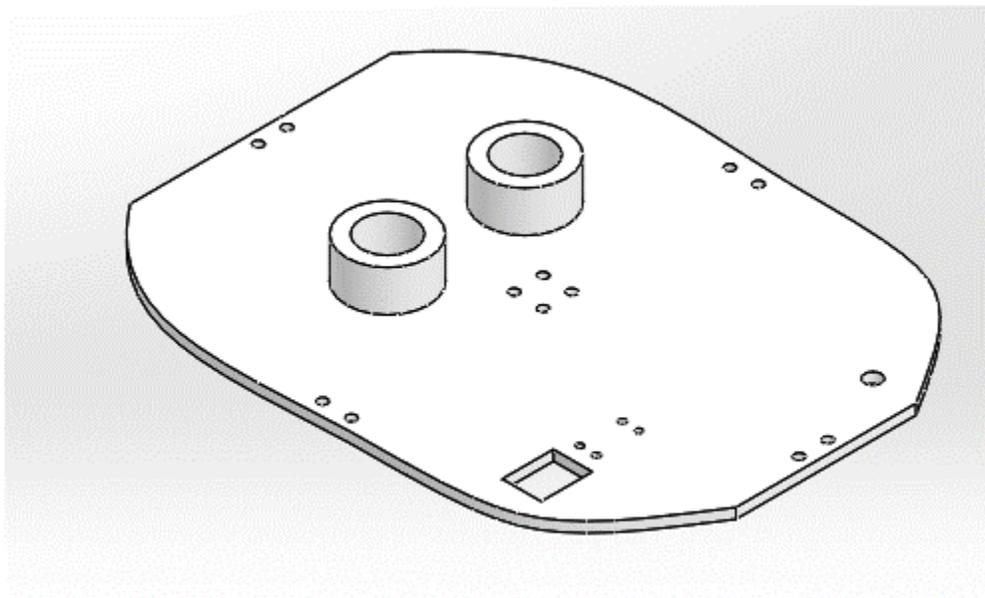


Figura 49. "Mesa"

Capítulo 3. Desarrollo

Finalmente se realizaron las piezas correspondientes a las extremidades, la primera conocida como "Pata Interior" y la segunda como "Pata Exterior", en estas existe la peculiaridad de que son 4 las necesarias para el mecanismo, pero ninguna es igual a la anterior, por lo que se hizo una escala al modelo general y luego un espejo al modelo escalado y al original para así obtener las 4 piezas, se mostrará a continuación solamente la pieza base de "Para Interior" y de "Pata Exterior" ensamblada. Cabe mencionar que estas piezas son difíciles de croquizar debido a que no se pueden conseguir imágenes significativas de las tortugas, por lo que en base a observación se desarrollaron los modelos. Las piezas ensambladas se muestran en la figura 50.

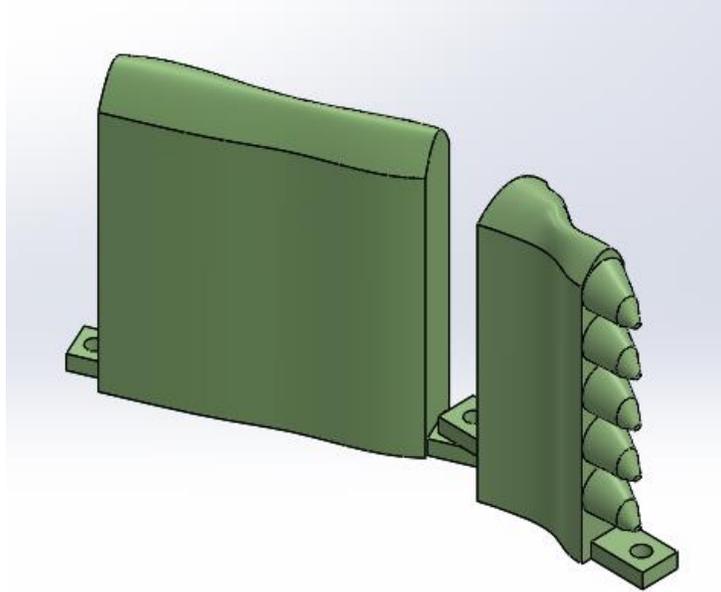


Figura 50, Ensamble de "Pata Interior" y "Pata Exterior"

Finalmente, en la tabla 12 se muestra un resumen del peso de cada una de las piezas y la suma total que indica el peso del prototipo

PIEZAS	PESO
Tapa	353 gr
Base	766 gr
Cabeza	100 gr
Mesa	315 gr
Pata Delantera Interna. Derecha e Izquierda	42 gr
Pata Delantera Externa. Derecha e Izquierda	14 gr
Pata Trasera Interna. Derecha e Izquierda	83 gr
Pata Trasera Externa. Derecha e Izquierda	32 gr
Prototipo	1,705 gr

Tabla 12. Peso de las piezas

3.3.7 Integración del sistema de locomoción, de recolección y estructura zoomorfa

En primer lugar, se unieron los eslabones con las articulaciones correspondientes a “Pata Interior” y “Pata Exterior”, para esto se tuvieron que poner pestañas a las articulaciones para de esa forma poder unir las con los eslabones, sin embargo, al hacer esto, el tamaño de la articulación tuvo que reducirse en apropiadamente un centímetro, esto porque las distancias entre centros de las pestañas y entre centros de los eslabones debe de ser las mismas, se puede apreciar esta unión en la figura 51.

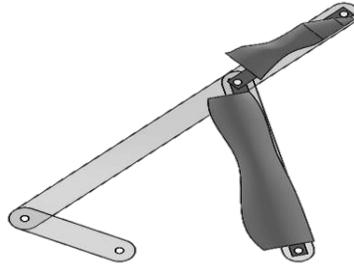


Figura 51. Mecanismo General y unión con las articulaciones

Posteriormente, en la figura 52 se presenta el diseño del sistema de transmisión de movimiento que nos permite emplear únicamente dos motores para mover las 4 extremidades y que además es funcional para ejecutar giros a izquierda y derecha. Dicho sistema está conformado por un conjunto de engranes que nos permiten establecer posiciones iniciales de las manivelas ya que como se observó en el estudio de movimiento, las tortugas nadan por extremos opuestos. Los engranes tienen una $m=2.5$ y 14 dientes, teniendo así un Diámetro Nominal de 3.5 cm y dado que todos los engranes son iguales, la transmisión de potencia es directa con respecto al motor y solo aumenta el torque al doble, por lo que no influye en el cálculo. El mecanismo completo tiene un peso de 366 gramos

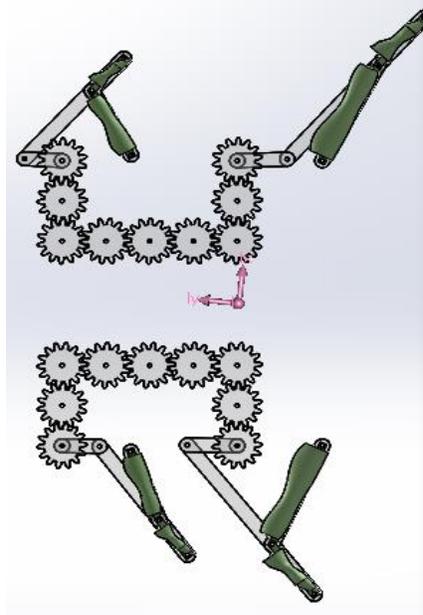


Figura 52. Mecanismo Derecho e Izquierdo

Capítulo 3. Desarrollo

Posteriormente, en la figura 53 se muestra la unión del mecanismo anterior, las extremidades y la base del caparazón, en donde se colocaron topes y piezas para aumentar o disminuir la distancia entre ciertos componentes del mecanismo, con el fin de evitar que al momento de ponerlo en marcha este pegara con las demás piezas

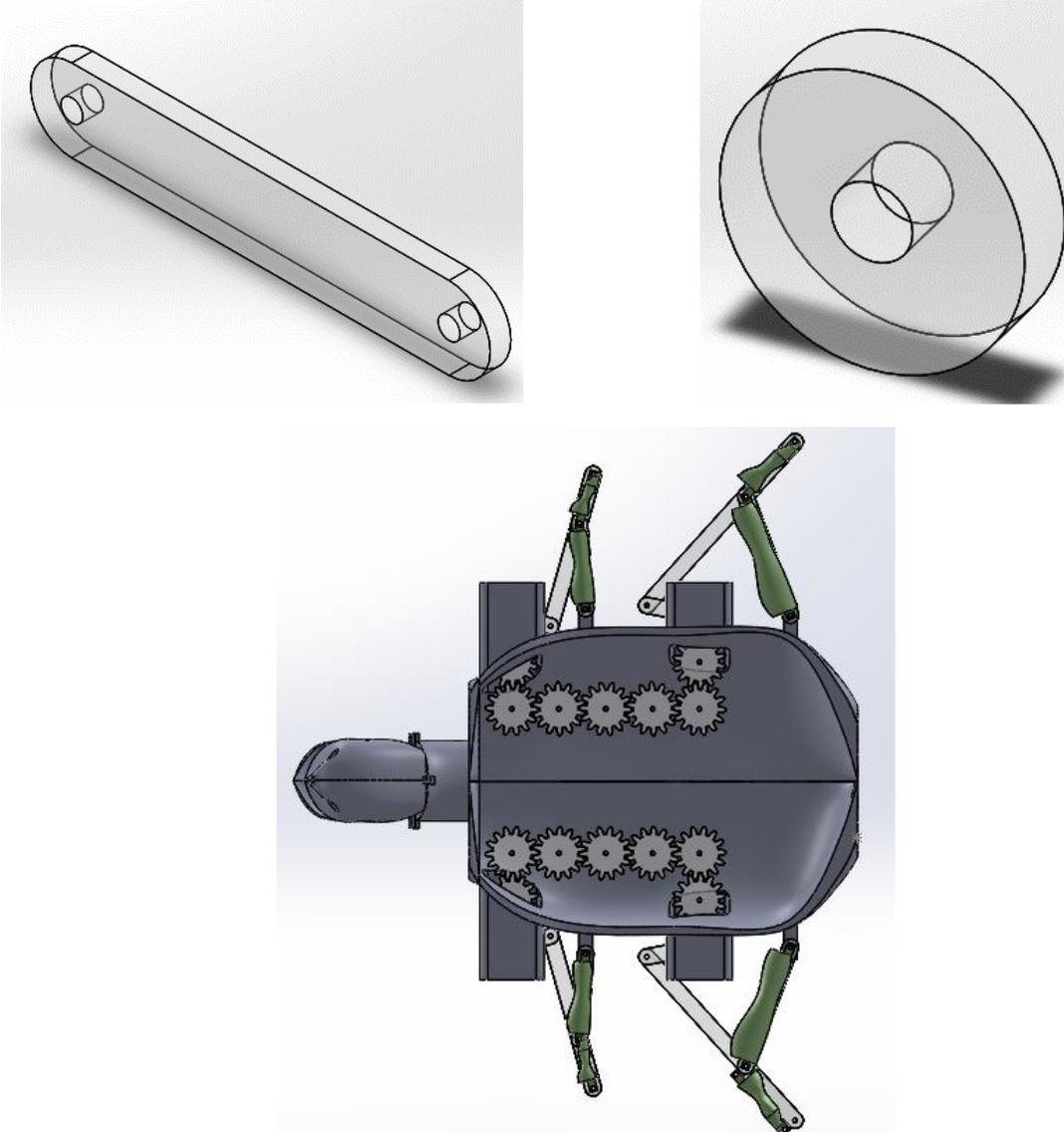


Figura 53. Complemento, Tope y Mecanismo junto con Base

Para mover nuestra tortuga a la misma velocidad que la obtenida en el estudio de movimiento, se utilizará un motorreductor de 60 rpm con un torque de 7.5kgcm.

Finalmente, en la figura 54 se muestra el sistema de locomoción, de recolección y la estructura zoomorfa en el ensamblaje final.

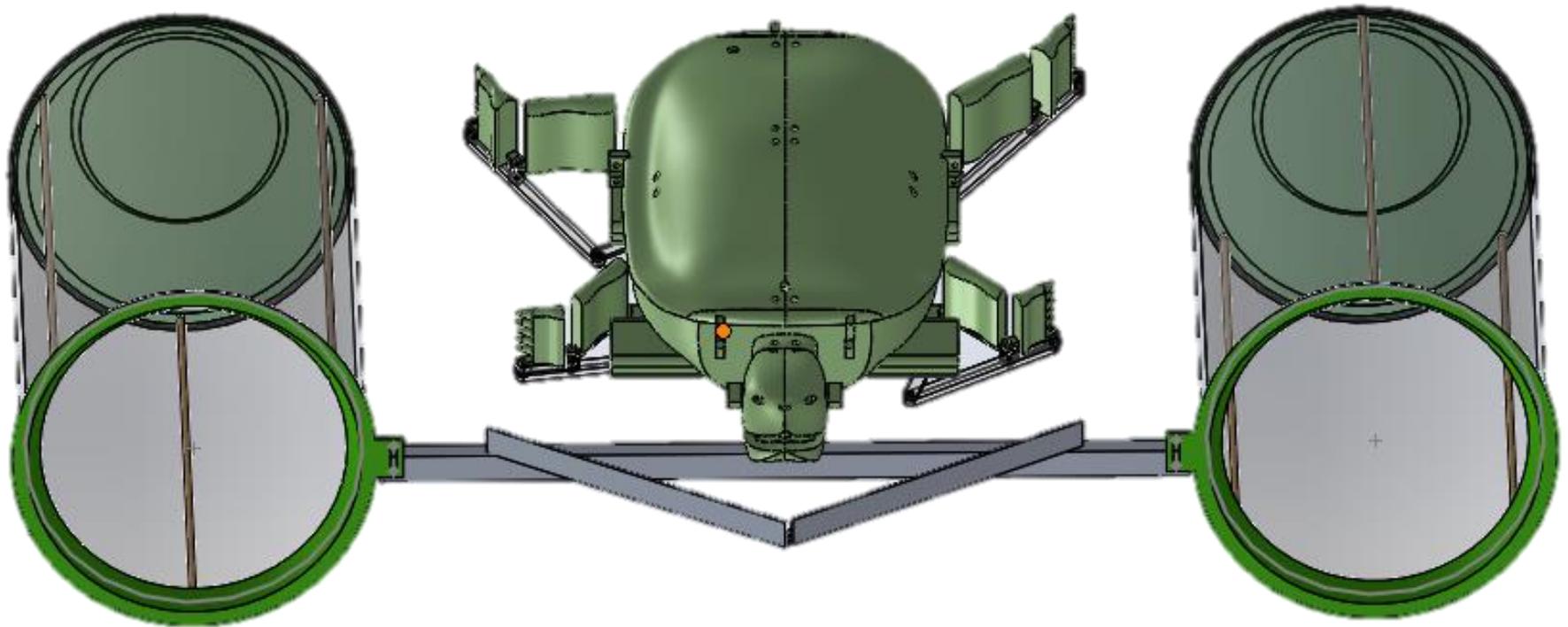


Figura 54. Ensamblaje Final

3.4 Selección de Materiales

La selección de los materiales de fabricación se dividió en 2, en primer lugar, los materiales o más bien el material necesario para elaborar la estructura zoomorfa, y en segundo lugar el material necesario para elaborar los eslabones

Enseguida en la tabla 13 se muestra la selección del material para fabricar la estructura zoomorfa haciendo uso del método AHP. Debido a que es un método muy largo, solo se mostrará la matriz general y la de elección final

ESTRUCTURA ZOOMORFA				
	Resistente a la Corrosión	Densidad	Facilidad de Maquinado	Precio
Opción 1 (Impresión 3D - ABS)	Si, moderado	1.04 g/cm ³	Fácil a partir de un diseño	450 MXN por 300 cm ³
Opción 2 (MDF)	No	.450 g/cm ³ (al mojarse, después de un tiempo se hunde)	Difícil para piezas curvas	90 MXN por 4465 cm ³
Opción 3 (Nylamid M)	Si	1.14 g/cm ³	Difícil para piezas curvas	186 MXN por 762 cm ³
Opción 4 (Acrílico)	Si	1.18 g/cm ³	Difícil para piezas curvas	130 por 240 cm ³

TABLA DE ELECCION FINAL					
	Corrosión	Densidad	Maquinado	Precio	Total
Opción 1	0.13	0.26	0.69	0.05	0.46
Opción 2	0.05	0.56	0.05	0.69	0.21
Opción 3	0.31	0.12	0.17	0.17	0.18
Opción 4	0.52	0.06	0.09	0.09	0.15
Ponderación	0.16	0.27	0.52	0.05	

Tabla 13. Estructura Zoomorfa, Selección de Materiales

En la primera tabla se observan las opciones probables, así como también las características o criterios que van a ser comparadas para elegir la mejor opción.

Finalmente, con la tabla de elección final se puede observar cual es la mejor opción y se toma una decisión, por lo que la opción elegida para fabricar la estructura zoomorfa es la impresión 3D en filamento ABS, esto principalmente por su facilidad de maquinado, ya que la estructura al no ser de alguna figura geométrica exacta, resulta difícil realizarlo con algún otro material o método de fabricación.

Capítulo 3. Desarrollo

De igual manera se utilizó el método AHP para seleccionar el material a utilizar en la fabricación de los eslabones. En la tabla 14 se mostrará la tabla de opciones y la tabla de elección final debido a que el método es el mismo.

ESLABONES				
	Resistente a la Corrosión	Resistencia a Esfuerzos Mecánicos	Facilidad de Maquinado	Precio
Opción 1 (Impresión 3D - ABS)	Si, moderado	Grado de Resistencia moderado	Fácil a partir de un diseño	450 MXN por 300 cm ³
Opción 2 (MDF)	No	Bajo grado de resistencia	Fácil a partir de un diseño	90 MXN por 4465 cm ³
Opción 3 (Nylamid M)	Si	Alto grado de resistencia	Facilidad Media	186 MXN por 762 cm ³
Opción 4 (Acrílico)	Si	Alto grado de Resistencia	Fácil a partir de un diseño	130 por 240 cm ³

TABLA DE ELECCION FINAL					
	Corrosión	Esfuerzos	Maquinado	Precio	Total
Opción 1	0.13	0.10	0.06	0.05	0.09
Opción 2	0.05	0.05	0.47	0.69	0.22
Opción 3	0.31	0.42	0.14	0.17	0.31
Opción 4	0.52	0.42	0.32	0.09	0.39
Ponderación	0.22	0.44	0.22	0.11	

Tabla 14. Eslabones, Selección de Materiales

Después de aplicar el criterio AHP se puede observar que el material elegido es la opción 4, es decir el Acrílico, esto debido a que muestra alto grados de resistencia y es fácil de crear los diseños necesarios, además, es un material que conocemos como manejarlo.

3.5 Selección de componentes comerciales

Los componentes comerciales serán los instrumentos que se utilizarán y que no es necesario fabricarlos ya que ya existen en el mercado, utilizamos de igual forma el método AHP para elegir de mejor forma, solo se mostraran las tablas de opciones y la de elección final.

Primero se utilizó el método AHP para conocer el controlador a utilizar, los resultados aparecen en la tabla 15.

Controlador				
	Portabilidad	Puertos	Software Compatible	Precio
Opción 1 (Computadora Dell Inspiron 5559)	38 X 16 cm 2.4 Kg	3 Puertos USB 1 Puerto HDMI 1 Puerto Ethernet	Compatible Python y Matlab	Ya se cuenta (12,000 MXN)
Opción 2 (Raspberry Pi 3 Model B)	8.5 x 5.6 cm 42 g	4 Puertos USB 1 Puerto HDMI 40 Pines I/O	Python y Matlab (no portable)	Ya se cuenta (1700)
Opción 3 (Nexys 3 Spartan 6)	12.2 x 12.2 cm	Puerto VGA Puerto MicroUSB Conector VHDC 40 pines 32 Pines I/O	Lenguaje VHDL	8700 MXN (Difícil de conseguir)
Opción 4 (Arduino Mega)	10 x 5.3 cm 37 g	54 pines I/O Digitales 16 pines I/O Analógicos	Arduino	300 MXN

TABLA DE ELECCION FINAL					
	Portabilidad	Puertos	Software	Precio	Total
Opción 1	0.04	0.07	0.63	0.04	0.23
Opción 2	0.54	0.57	0.23	0.24	0.41
Opción 3	0.16	0.24	0.04	0.08	0.13
Opción 4	0.27	0.13	0.10	0.63	0.21
Ponderación	0.43	0.16	0.32	0.06	

Tabla 15. Controlador, Selección de Componentes

Al utilizar el método AHP nos dimos cuenta de que la mejor opción posible en cuanto al controlador es utilizar un Raspberry Pi 3B, esto principalmente por su Portabilidad y el número de puertos con los que cuenta, ya que hace sencilla la interacción con elementos externos como por ejemplo la cámara.

Posteriormente se analizó la cámara a utilizar, el proceso se muestra en la tabla 16.

Captura de Imágenes				
	Compatibilidad	Calidad de la fotografía	Uso en Intemperie	Precio
Opción 1 (Cámara de Video "WebCam")	Si, mediante USB	2 Mega Pixeles	Si (protección adicional recomendada)	Ya se cuenta (300 MXN)
Opción 2 (cámara Raspberry)	Si, compatibilidad directa	5 Megapíxeles	No, se necesita protección adicional	300 MXN
Opción 3 (Cámara del Celular)	Si, mediante Wifi y Bluetooth	24 Megapíxeles	Si (protección adicional recomendada)	Ya se cuenta (5000 MXN)

TABLA DE ELECCION FINAL					
	Compatibilidad	Calidad Foto	Intemperie	Precio	Total
Opción 1	0.28	0.07	0.64	0.47	0.43
Opción 2	0.64	0.15	0.21	0.47	0.33
Opción 3	0.07	0.78	0.16	0.05	0.24
Ponderación	0.29	0.18	0.49	0.04	

Tabla 16. Captura de Imágenes, Selección de Componentes

Como se puede observar, la opción elegida para la captura de Imágenes fue la Cámara Web, esto debido a que es compatible con la Raspberry, porque es fácil su uso en intemperie y además ya se cuenta con esta, por lo que no sería necesario ningún gasto.

Después se aprecia en la tabla 17 la selección del tipo de alimentación con el que iba a contar nuestro proyecto.

SUMINISTRO DE ENERGIA				
	Portabilidad	Energía Suministrada y Facilidad de Uso	Eco-Amigable	Precio
Opción 1 (PowerBank 20000 mAh)	16 x 8 cm 450 gramos	5V a 2A , 10Watts	Si al ser recargable pero en su fabricación contamina	450 MXN
Opción 2 (Celdas Solares)	13 x 11 cm 50 gramos	6V a 330mA, 2W	Si	130 MXN 5 X 650 MXN
Opción 3 (Suministro Eléctrico)	Necesita estar conectada	Corriente Alterna de 127 V a 60 Hz	Si	Despreciable
Opción 4 (Gasolina)	800 gramos por litro	32MW/s	No	17 MXN

TABLA DE ELECCION FINAL					
	Portabilidad	Energía	Ecológico	Precio	Total
Opción 1	0.43	0.68	0.22	0.10	0.40
Opción 2	0.43	0.18	0.53	0.04	0.39
Opción 3	0.04	0.05	0.22	0.54	0.12
Opción 4	0.10	0.09	0.04	0.32	0.09
Ponderación	0.45	0.20	0.31	0.05	

Tabla 17. Suministro de Energía, Selección de Componentes

El tercer componente elegido para el análisis fue el cómo suministrar energía, utilizando el método AHP podemos observar que lo más conveniente es las baterías recargables “PowerBank” esto debido a que son portables y suministran una buena cantidad de energía.

Finalmente, en la tabla 18 seleccionamos el motor.

MOTOR				
	Revoluciones por Minuto	Torque	Alimentación	Precio
Opción 1 (Motor a Pasos)	200 pasos para una revolución	4 kg-cm	12 V a 1.7A	250 MXN
Opción 2 (Servomotor)	Ningún RPM, solo puede moverse 180°	15 kg-cm	5V a 500 mA	500 MXN
Opción 3 (Motorreductor)	60 rpm	7.5 kg-cm	12 V a 1.5A	350 MXN
Opción 4 (Motor DC)	3500 rpm	4 kg-cm	12 V a 0.12 A	300 MXN

TABLA DE ELECCION FINAL					
	RPM	Torque	Alimentación	Precio	Total
Opción 1	0.14	0.14	0.12	0.33	0.15
Opción 2	0.07	0.45	0.38	0.15	0.26
Opción 3	0.69	0.28	0.12	0.23	0.40
Opción 4	0.10	0.14	0.38	0.29	0.19
Ponderación	0.38	0.32	0.20	0.10	

Tabla 18. Motor. Selección de Componentes

Se decide entonces que el componente comercial más importante es el motor a utilizar, debido a nuestras necesidades es necesario un motor con un valor en rpm bajo, esto para poder hacer el movimiento que realiza una tortuga, de igual forma necesitamos un torque de más de 6 kg-cm debido al peso del mecanismo y a los residuos que vamos a arrastrar. Finalmente se decidió utilizar un motorreductor.

3.6 Modelado y validación

Es importante realizar un análisis de elemento finito y un estudio de validación Mecatrónica para cerciorarte que el prototipo vaya por buen puerto.

3.6.1 Análisis de Elemento Finito

En esta etapa se hicieron los estudios de análisis de elemento finito a algunos de los elementos más críticos del sistema, los cuales son los que integran el área funcional 1 – desplazamiento.

Como primer punto se analizó el contacto entre dientes de los engranes, se hizo un análisis de torsión con un torque igual al máximo posible en los motores a utilizar, partiendo de espesores nominales en el elemento.

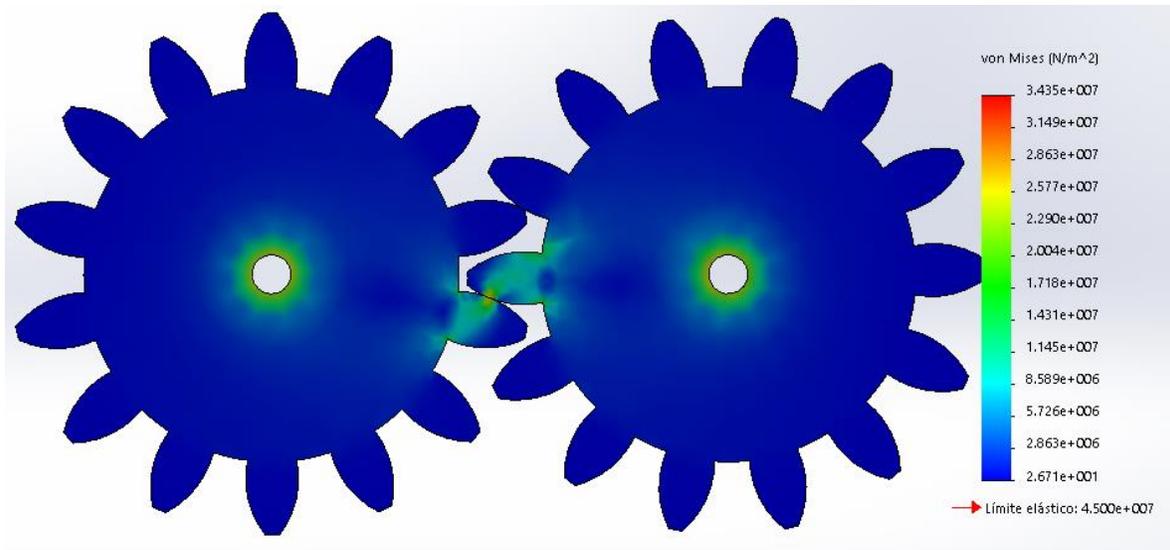


Figura 55. AHF. Dientes del Engrane

Por lo que se observa en la figura 55, a un torque de 7.5kgcm, considerando un espesor de 3mm en los engranes y elaborados en acrílico, no se excede el límite elástico, por lo que este diseño es apropiado.

Posteriormente se analizaron los eslabones pertenecientes a los balancines, para este estudio, presentado en la figura 56 y 57 lo que se realizó fue colocar una masa distribuida sobre el ensamble de 33 gramos que es la perteneciente al peso de la pata interior delantera, además se deja fijo el punto correspondiente a la junta del eslabón con la base.

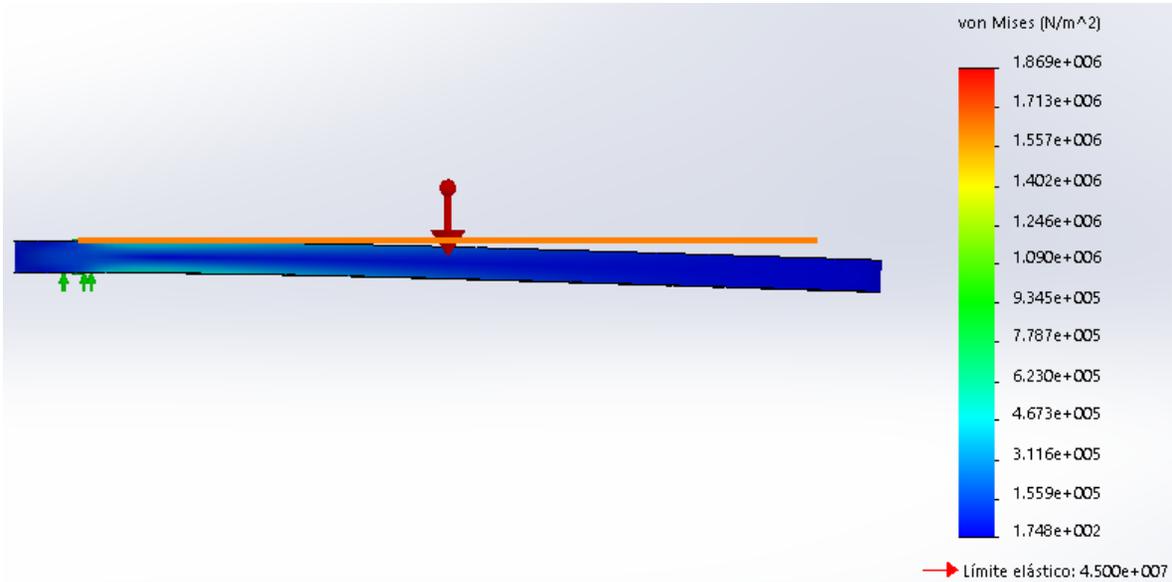


Figura 56. AHF. Balancín Delantero. Tensiones

Se realizó lo mismo en el eslabón balancín trasero, solo que la masa aumento a 63 gramos.

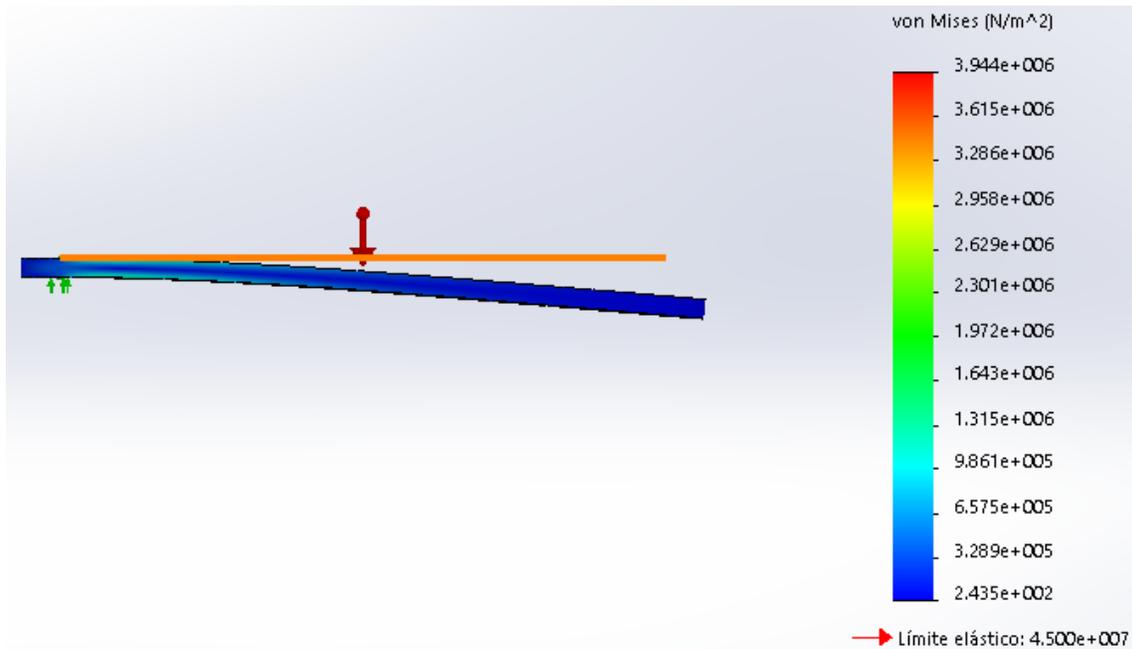


Figura 57. AHF. Balancín Trasero. Tensiones

Después de realizar ambos análisis, podemos comprobar que elegir un espesor de 3mm es más que suficiente, ya que no se excede el límite elástico, consideramos importante conocer las deformaciones en cada uno de los eslabones, por lo que se mostraran en la figura 58 para ambos casos.

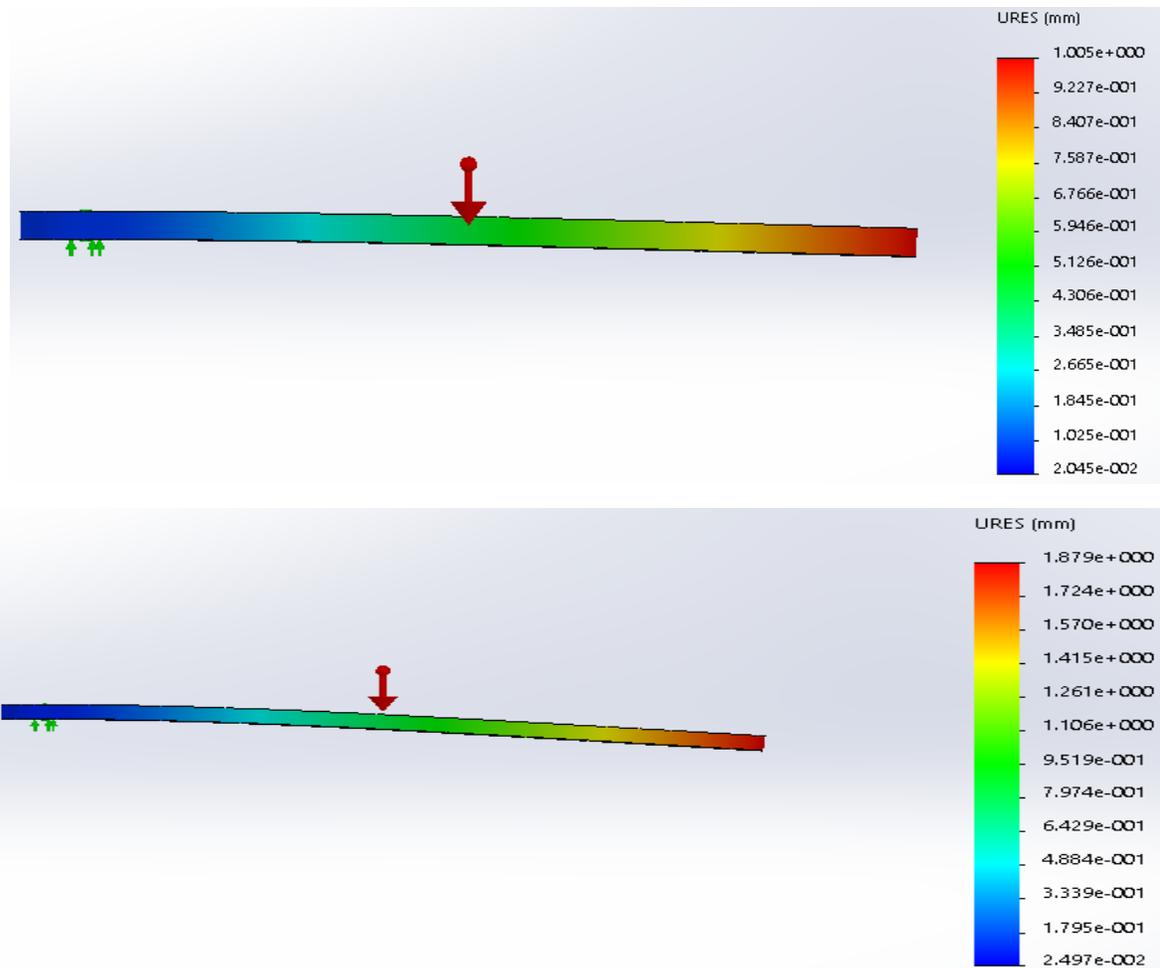


Figura 58. AHF. Balancín Delantero y Trasero. Deformación

Los eslabones no sufren una deformación mayor a 2mm por lo que su desplazamiento no es mayor al 2%.

Finalmente, los otros eslabones que necesitan ser analizados son los correspondientes a biela, las masas distribuidas son de 9 y 18 gramos, considerando la pata exterior y el complemento, el estudio correspondiente a 3mm de diámetro nos arroja los resultados mostrados en la figura 59.

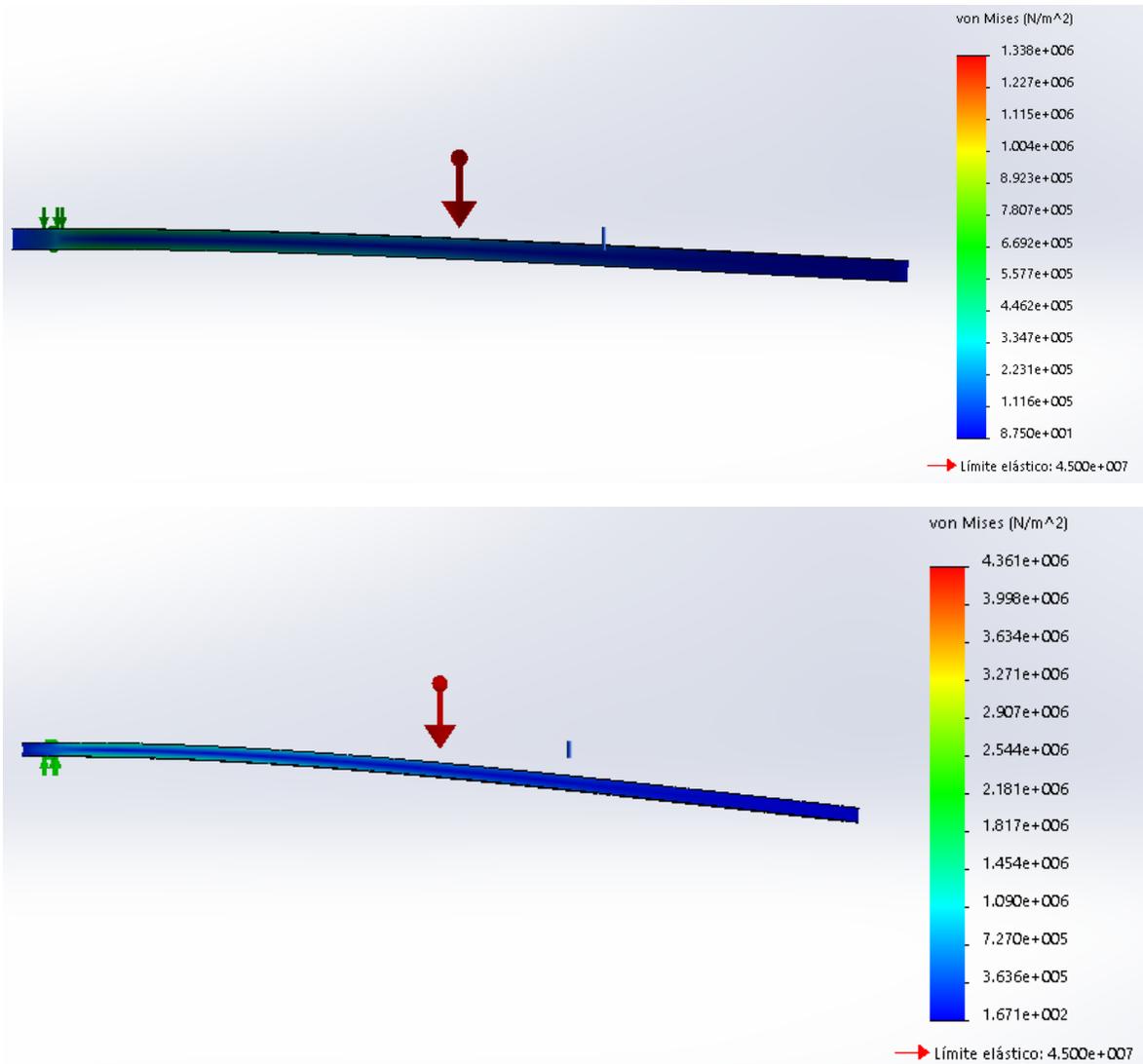
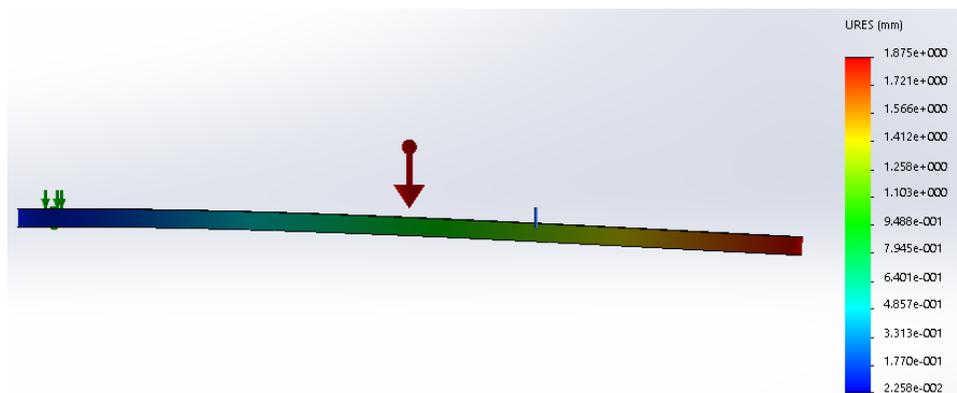
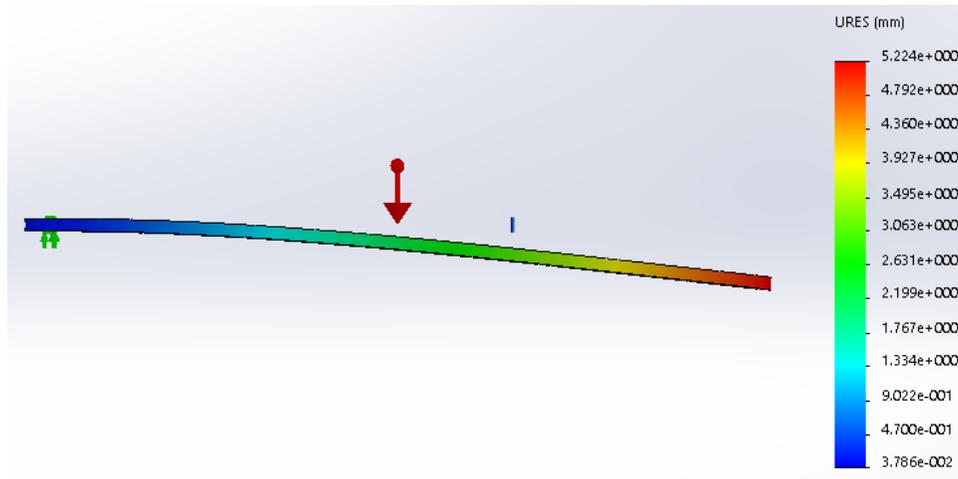


Figura 59. AHF. Biela Delantera y Trasera. Tensiones a 3mm

Con los desplazamientos observados en la figura 60



a)



b)

Figura 60. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 3mm

A pesar de que el límite elástico va sobrado, debido a que sufre una deformación de aproximadamente 5mm se decidió hacer esas dos piezas de 6 mm de espesor, teniendo los siguientes resultados presentados en la figura 61 y 62.

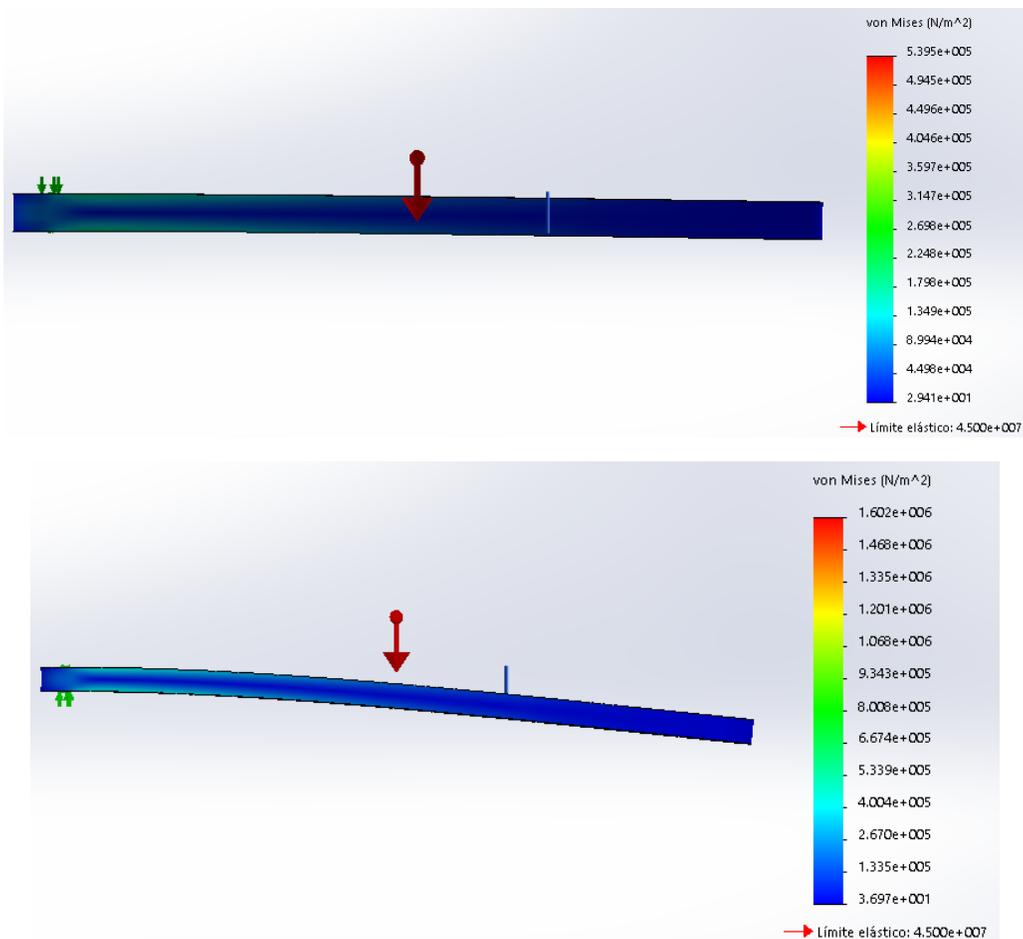


Figura 61. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 6mm

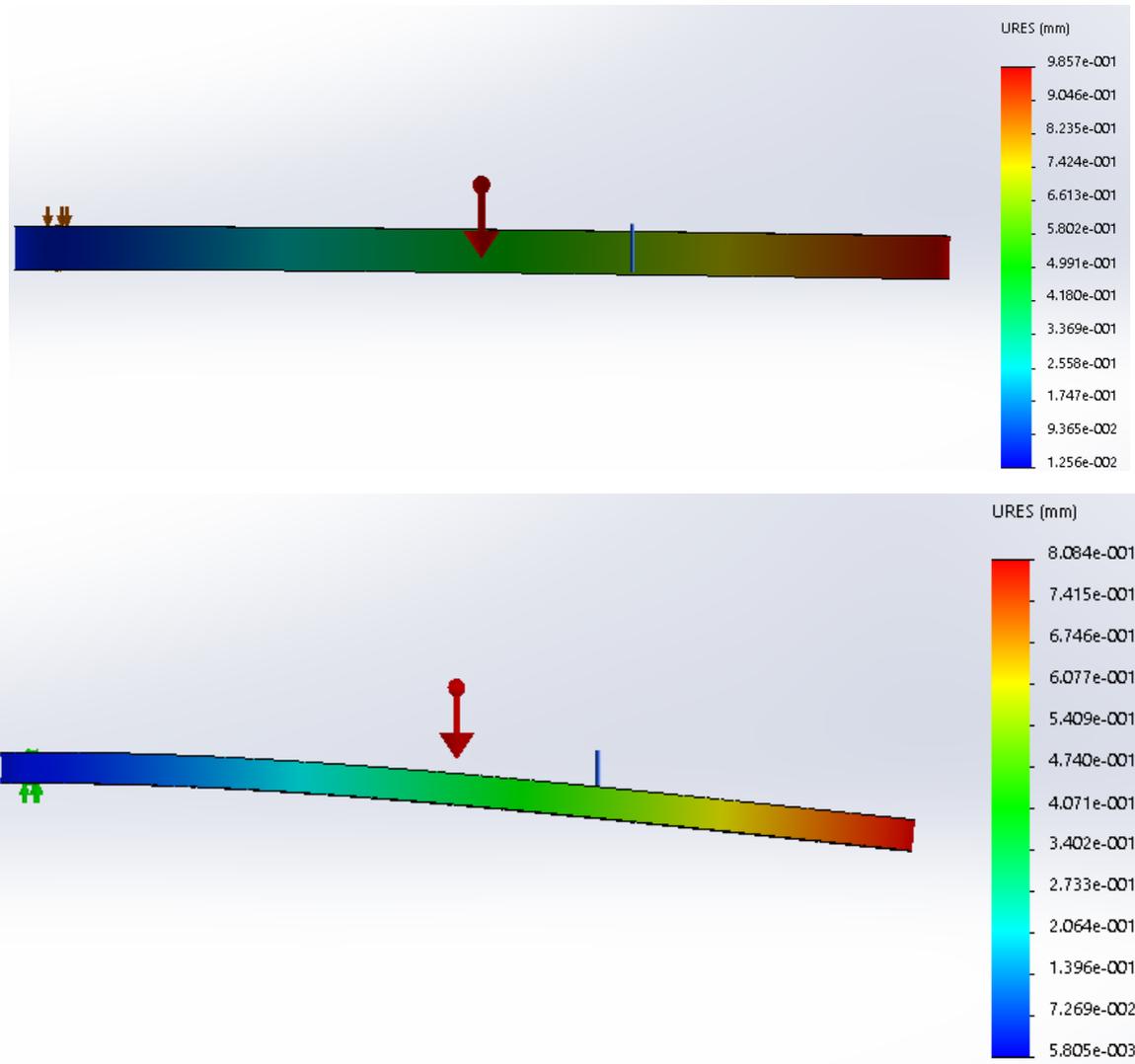


Figura 62. AHF. Biela Delantera y Trasera. Deformación a 6mm

Como se puede observar en eslabones de 6mm la deformación no es de siquiera 1 mm por lo que se opta utilizar eslabones de este espesor.

3.6.2 Validación Mecatrónica

Para realizar la validación Mecatrónica, se hizo uso de la herramienta simmechanics para exportar el modelo en SolidWorks a Matlab.

En el modelo solo se exportaron los eslabones, esto porque los engranes no influyen en su funcionamiento ya que solo sirven para transmitir potencia y ahorrarse motores, pero al tener estos una relación 1:1 no afecta en las posiciones, velocidades y aceleración de la ruta buscada.

De igual forma, el diagrama de bloques en simulink se hizo simulando un péndulo doble que es un mecanismo parecido al que estamos utilizando, las ecuaciones dinámicas son las siguientes.

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{\tau_1}{(m_1 + m_2) * l_1^2} - \frac{m_2 * l_1 * l_2}{(m_1 + m_2) * l_1^2} \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - \frac{m_2 * l_1 * l_2}{(m_1 + m_2) * l_1^2} \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{\tau_2}{m_2 * l_2^2} + \frac{l_1}{l_2} \cos(\theta_1 - \theta_2) \ddot{\theta}_1 + \frac{l_1}{l_2} \sin(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_1^2$$

En la figura 63 se muestra el modelo exportado en simmechanics

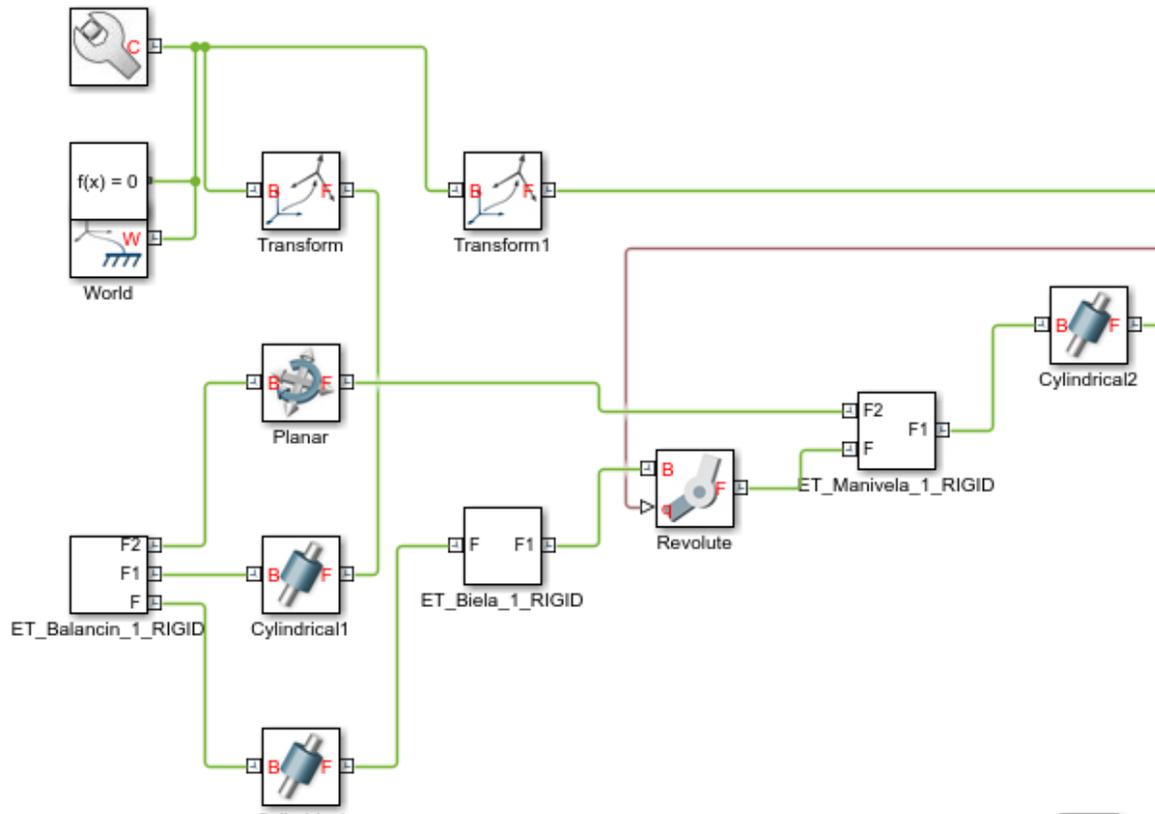


Figura 63. Modelo Exportado utilizando Simmechanics

En la figura 71 se muestra los diagramas de bloques correspondientes a un péndulo doble dividido en subsistemas.

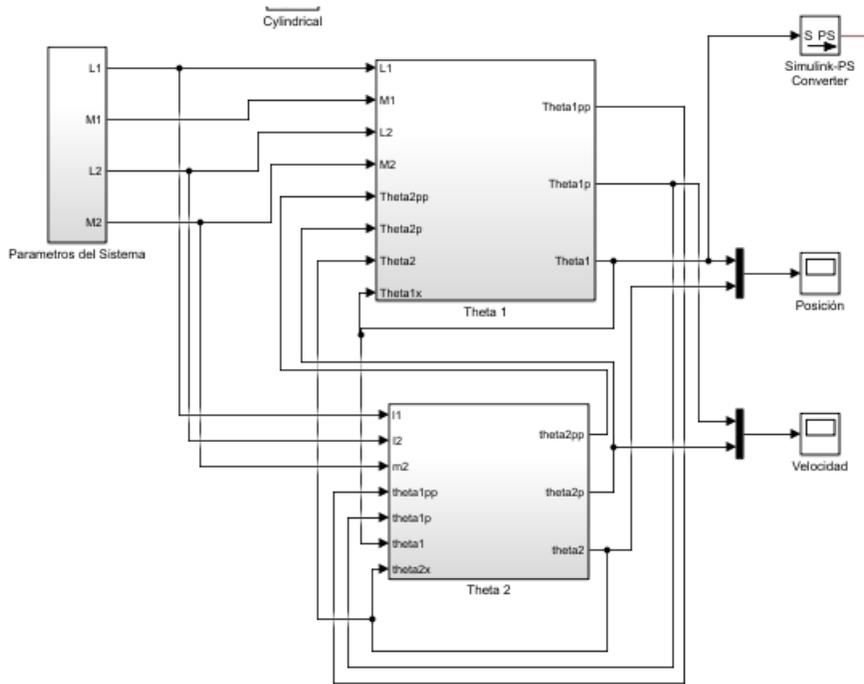


Figura 64. Diagrama de Bloques del Péndulo Doble

El sistema correspondiente a theta 1 se muestra en la figura 65.

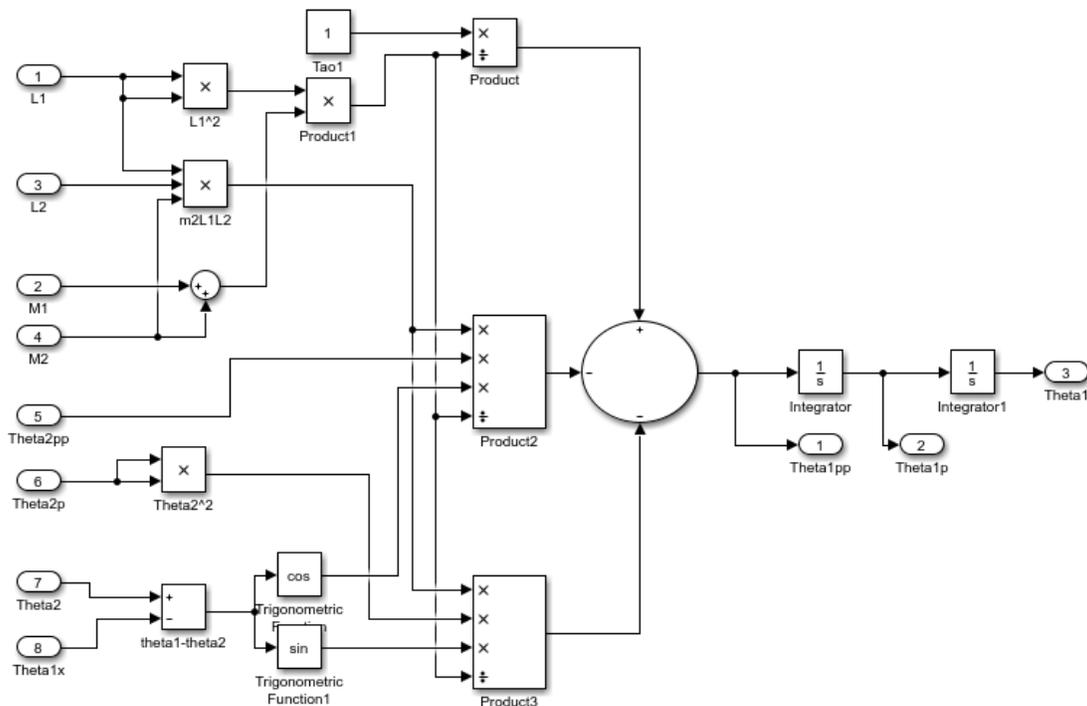


Figura 65. Subsistema Theta 1

Mientras que en la figura 66 se muestra el subsistema perteneciente a Theta 2

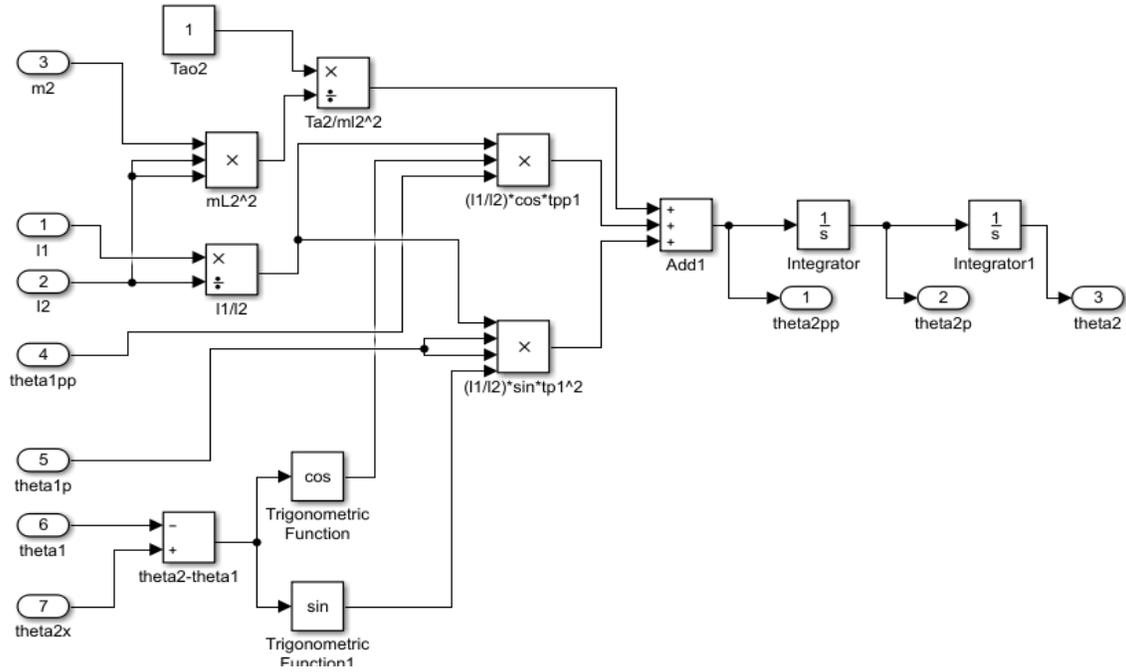


Figura 66. Subsistema Theta 2

Finalmente, en la figura 67 se muestra la simulación utilizando Matlab

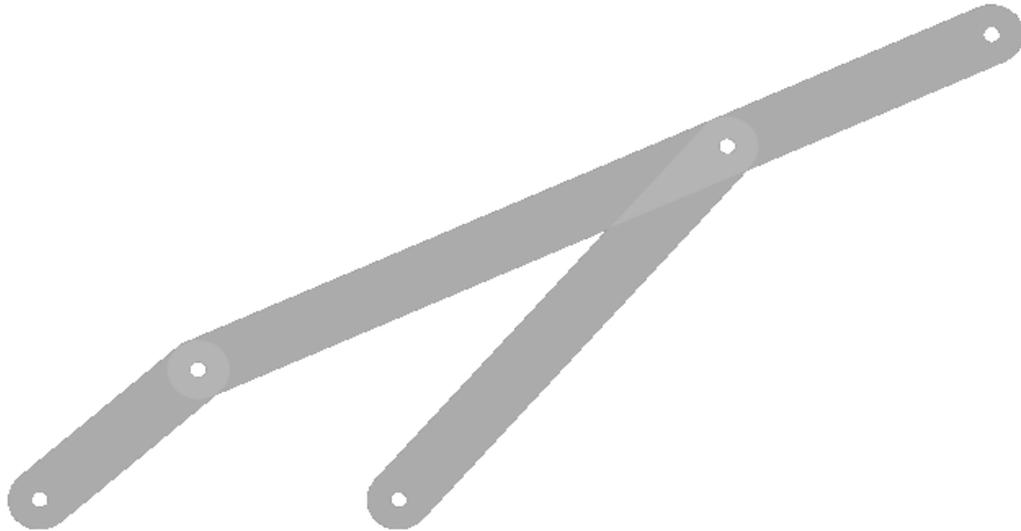


Figura 67. Simulación en Matlab

3.7 Vista Explosionada

A continuación, en la figura 68 se muestra la vista explosionada de nuestro proyecto

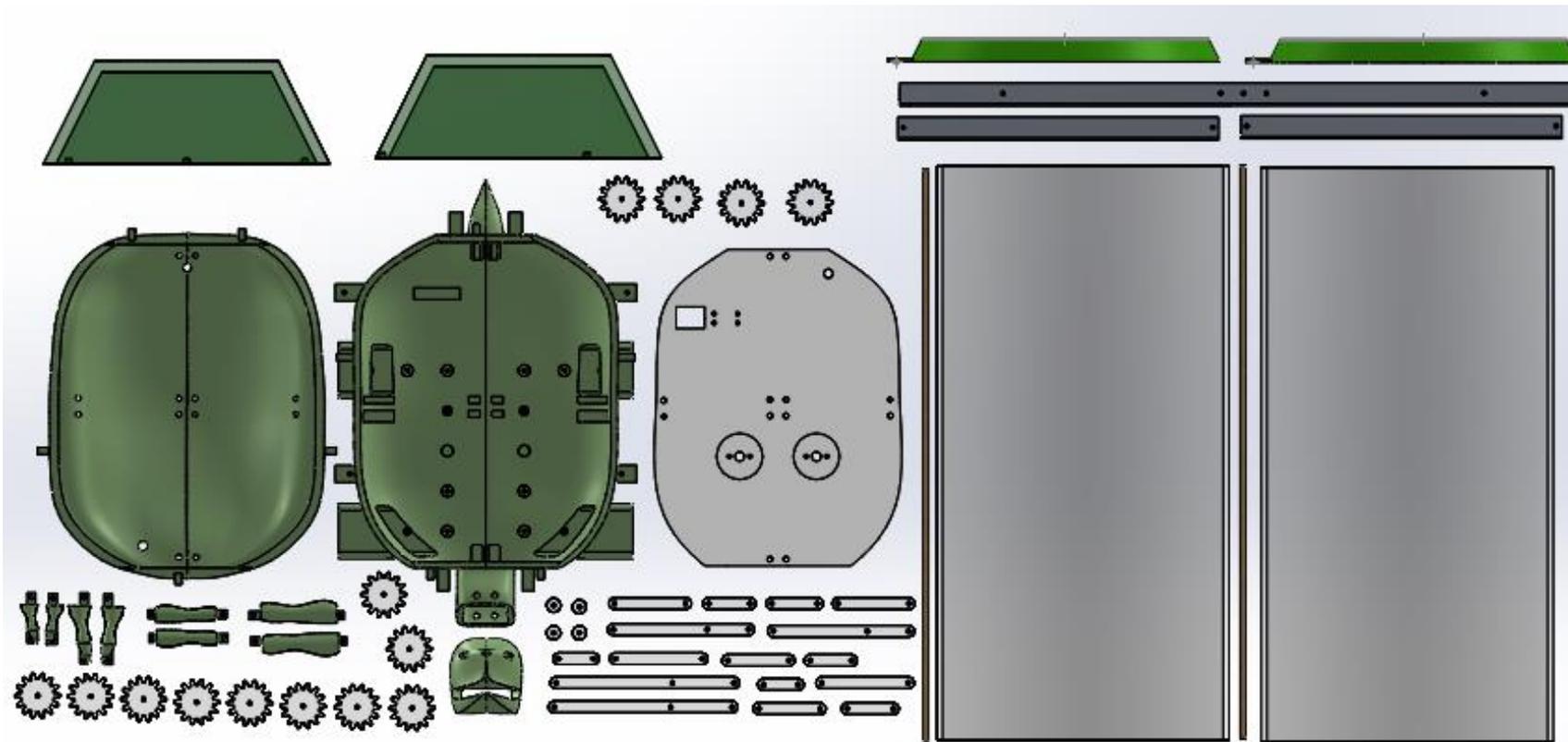


Figura 68. Diagrama Explosionado

Es importante mencionar que para unir nuestras piezas es necesario el uso de tornillos y tuercas de 1/8 de pulgada.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN

4. Implementación

En este capítulo se abordarán la implementación de nuestro prototipo

4.1 Sistema de Locomoción y Estructura Zoomorfa

Para llevar a cabo la fabricación de la estructura zoomorfa se empleó impresión 3D utilizando filamentos de ABS y PLA, obteniendo las piezas que se muestran en la figura 69. Este proceso llevo alrededor de 2 semanas seguidas, debido al tamaño y complejidad de nuestras piezas.



Figura 69. Piezas Impresas

A la par que se imprimían las piezas, se realizó el corte laser de acrílico de los eslabones y los engranes utilizando láminas de acrílico de 3 y 6mm, tal como se aprecia en la figura 70.

Capítulo 4. Implementación



Figura 70. Corte Laser de los Eslabones y Engranajes

Una vez que las piezas estaban listas, procedimos a pegarlas con pegamento Epoxico y a montar el sistema de locomoción dentro de la estructura zoomorfa, logrando los resultados de la figura 71. Para montar los mecanismos se utilizaron tornillos de 1/8".

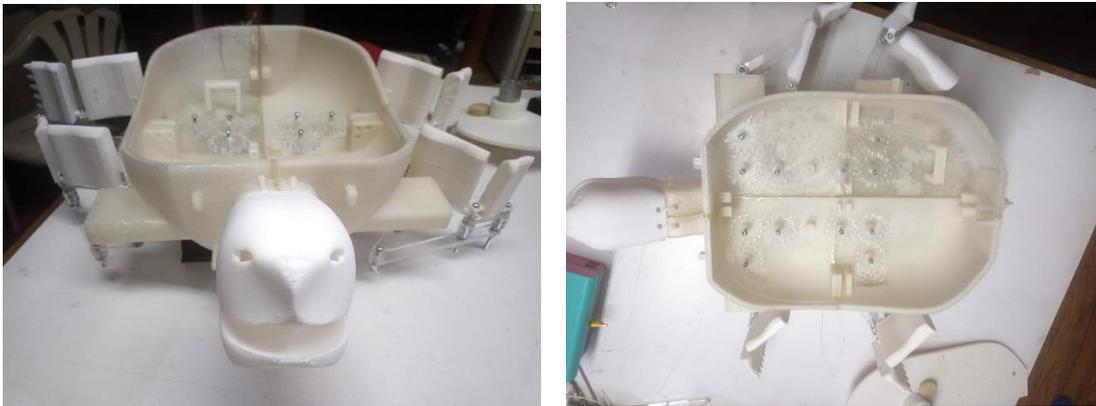


Figura 71. Piezas pegadas

Por último, se conectaron los motores para poder transmitir el movimiento a todo el sistema de locomoción, por lo que se utilizaron dos motorreductores de 60 rpm con un torque de 7.5kgcm.

Finalmente, en la figura 72 se pintó el prototipo para dar por terminada esta etapa funcional



Figura 72. Prototipo Pintado

Capítulo 4. Implementación

4.2 Sistema de Recolección de residuos

En la figura 73 se muestra el sistema de recolección, el cual consta de dos redes sujetos en cada extremo de la tortuga las cuales tienen capacidad para almacenar hasta 24,543 centímetros cúbicos de basura, es decir 24.5 litros cada una, además por su forma podemos recolectar residuos de hasta 20cm de diámetro siempre y cuando entren en la posición adecuada.

Gracias al tipo de red, evitamos que un animal acuático se asfixie en caso de quedar atrapado



Figura 73. Implementación del Sistema de Recolección

4.3 Sistema de Control y Visión artificial

La implementación del sistema de visión artificial se realizó a bordo del robot utilizando una batería con salida de 5V/2.5A como alimentación para la tarjeta Raspberry, la cual utiliza una cámara compatible conectada mediante USB para realizar el procesamiento de imágenes. Esta cámara se coloca por encima de caparazón, a manera que tenga visibilidad del camino por recorrer.

Los señalamientos se colocan de frente y el sistema solo es capaz de identificarlos a una distancia aproximada de $60\text{cm} \pm 10\text{cm}$.

La validación de este sistema se abordó en el capítulo 3.

Además, se realizó la comunicación entre el sistema de visión artificial con el sistema de locomoción, usando como salidas los puertos GPio de la tarjeta Raspberry y un puente H que controla los motores. A continuación, en la figura 74 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a esta etapa.

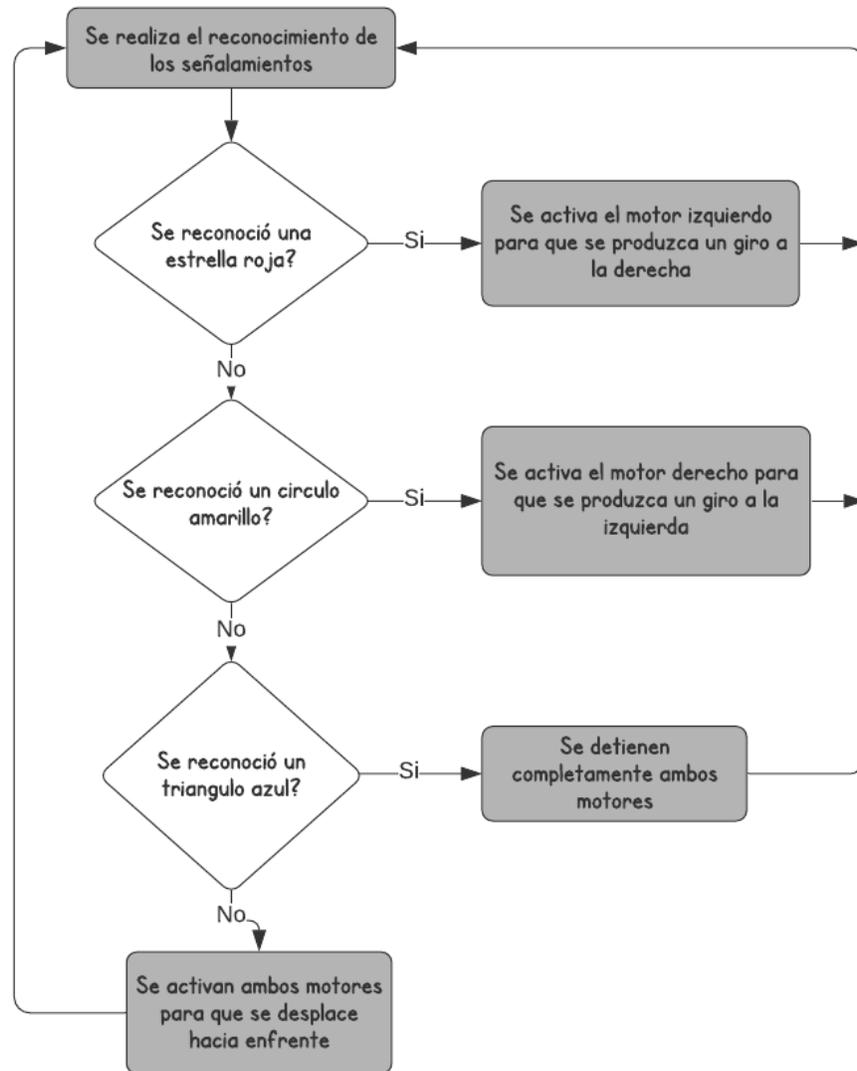


Figura 74. Diagrama de Flujo del Sistema de Control

CAPITULO V

RESULTADOS

5. Resultados

En este capítulo se abordarán los resultados obtenidos de la etapa de diseño del prototipo propuesto.

5.1 Resultados propios del estudio tecnológico.

Los resultados propios del estudio tecnológico se pueden dividir por integración de áreas funcionales, los resultados son los siguientes:

5.1.1 Estructura Zoomorfa y Sistema de Locomoción

Antes de comenzar con la implementación de los sistemas se corroboró el funcionamiento de los mecanismos conforme a lo diseñado previamente, realizando un análisis de trayectoria y obteniendo lo siguiente.

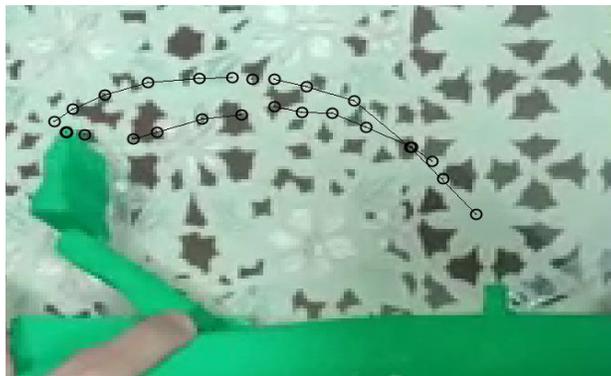


Figura 75. Trazado de Ruta del Mecanismo

En la figura 75 se observa que el movimiento que realiza la aleta del prototipo es parecido en trayectoria a lo que se obtuvo del análisis del espécimen detallado en el capítulo III.

Posteriormente, se verificó la flotación de la estructura zoomorfa con el sistema de locomoción integrado, como se muestra en la figura 76.



Figura 76. Prueba de Flotación con el sistema de locomoción

Capítulo 5. Resultados

Luego, con la etapa de potencia se comprobó que el movimiento del mecanismo de locomoción se realiza sin ningún problema utilizando las dos baterías y los motores propuestos, tal como se muestra en la figura 77 por lo que estos sistemas están validados y son correctos.



Figura 77. Prueba del Sistema de Locomoción Y potencia

5.1.2 Sistema de Control y Visión Artificial

El siguiente sistema a comprobar fue el sistema de control y visión artificial. A continuación, se muestran los resultados en software y en hardware obtenidos para el reconocimiento de los señalamientos.

En la figura 78 tenemos el reconocimiento de una estrella roja, lo que significa realizar una acción en específico, la cual es encender un LED rojo por 3 segundos. Posteriormente esto se sustituyó por los motores que mueven los mecanismos.

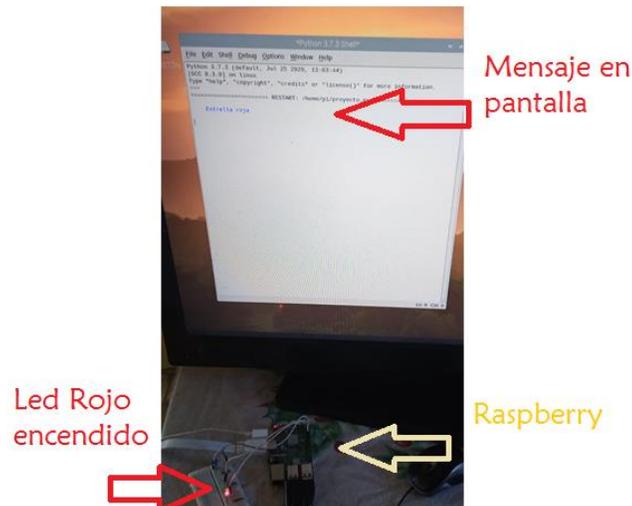


Figura 78. Reconocimiento de estrella roja.

En la figura 79 se ha identificado un círculo con los píxeles en amarillo, por lo que se enciende un LED verde por 3 segundos, lo mismo en la figura 80, en ese caso se ha identificado un triángulo con los píxeles en azul, por lo que se enciende un LED azul por 3 segundos.

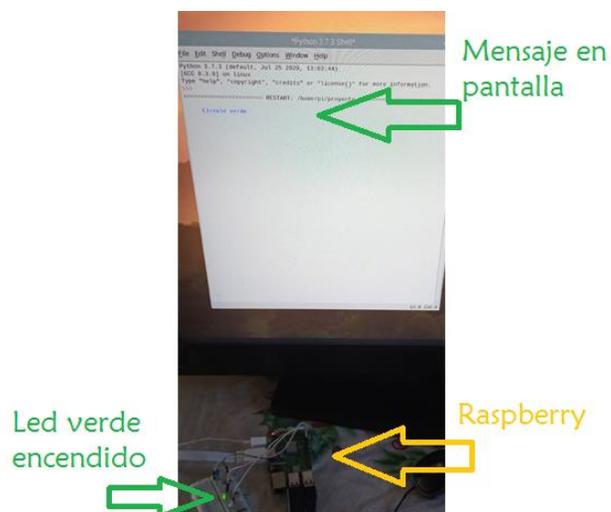


Figura 79. Reconocimiento de círculo amarillo.



Figura 80. Reconocimiento de triángulo azul.

Posteriormente se realizó la comunicación entre el sistema de Visión Artificial y el control del mecanismo de locomoción. A continuación, se presentan imágenes que corresponden a las pruebas realizadas; cuando el sistema de visión detecta un triángulo azul ambos motores se detienen y el sistema de locomoción no se mueve (ver figura 81)



Figura 81. Detección del Señalamiento 1

Capítulo 5. Resultados

Cuando el sistema de visión detecta un círculo amarillo (ver figura 82) solo el motor izquierdo se detiene y mecanismo del lado derecho sigue moviéndose, esto produce que el prototipo de un giro a la izquierda



Figura 82. Detección del Señalamiento 2

Cuando el sistema de visión detecta una estrella roja (ver figura 83) solo el motor derecho se detiene y mecanismo del lado izquierdo sigue moviéndose, esto produce que el prototipo de un giro a la derecha



Figura 83. Detección del Señalamiento 3

5.1.3 Integración del Sistema Mecatrónico

Para integrar todos los sistemas de nuestro prototipo lo que tenemos que hacer primero es colocarlo en un cuerpo de agua y validar que el prototipo sea capaz de flotar con todos los sistemas como se observa en la figura 84.



Figura 84. Flotabilidad con todos los sistemas integrados

Posteriormente, en la figura 85 se observa el movimiento del prototipo en el agua es decir que los motores y el diseño de las aletas le permitiría a la tortuga desplazarse en este entorno.

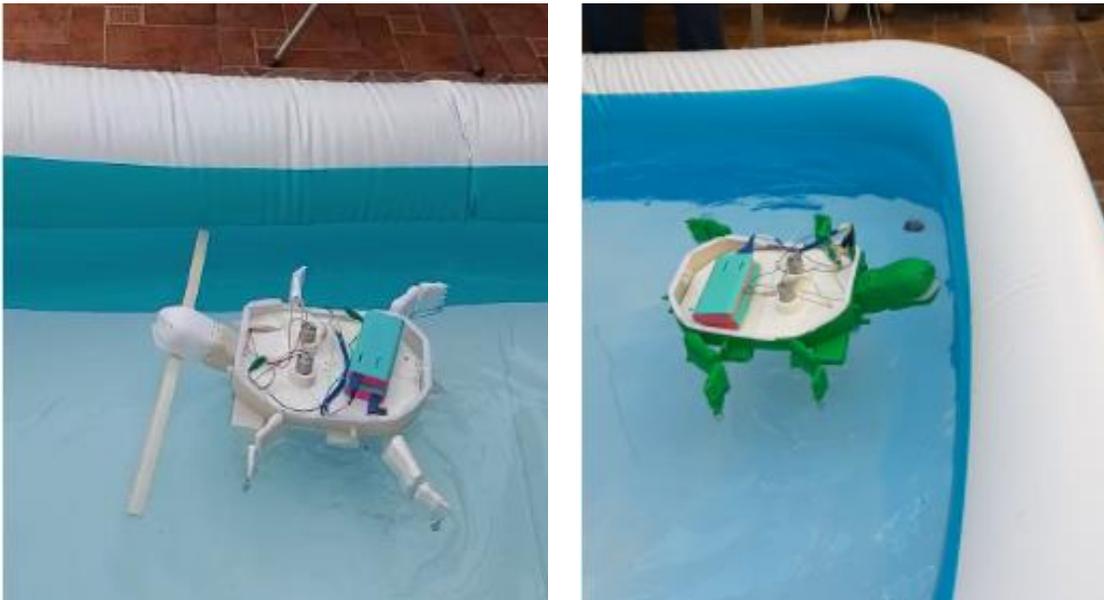


Figura 85. Pruebas de Desplazamiento Lineal

Capítulo 5. Resultados

Después, verificamos los giros de lado derecho e izquierdo (ver figura 86), esto para comprobar que los mecanismos “derecho” e “izquierdo” le permitieran girar a la tortuga aun teniendo solamente un motor.



Figura 86. Prueba de Giros

Finalmente, se agregó el sistema de recolección y se comprobó que la tortuga es capaz de recolectar basura tal como se observa en la figura 87 dando por concluido el proyecto.



Figura 87. Proyecto Concluido

5.2 Presupuesto

El costo aproximado del proyecto se puede observar en la tabla 19.

Componentes	Costo en MXN
Cámara	150 (Ya se cuenta)
Raspberry Pi 3 Model B	1400 (Ya se cuenta)
3 PowerBank de 10000mA	750 (250 c/u)
2 Motorreductores de 7.5kgcm a 60 rpm	700 (350 c/u)
Filamento ABS	1000 (500 c/kg de filamento)
Acrílico a 3mm	50 (por 600cm ³)
Acrílico a 6mm	100 (por 625 cm ³ , necesario 350)

Tabla 19. Costo del Prototipo

Lo que nos da un costo total de aproximadamente 4150, sin embargo, al ya contar con la cámara y la raspberry el costo se disminuye a 2600, considerando costos de envío y alzas en su costo por la variación del peso frente al dólar, consideramos un precio total de 3000 MXN.

El costo de manufactura no se incluye debido a que será una donación, por lo que solo será necesario comprar la materia prima.

5.3 Impacto Ambiental

En la actualidad, la basura es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad, con nuestro prototipo se pretende ayudar a la recolección de esta, ya que gran parte de ella se alberga en los ecosistemas acuáticos.

Nuestro prototipo será capaz de recolectar máximo 16 residuos sólidos de 25 cm de largo por 12 de diámetro, lo que equivale a 16 botellas de PET de 2.5 litros, sin comprimir, ahora bien, si las botellas están aplastadas, su longitud podría pasar de ser de 25cm a solo 5 cm, por lo que se podrían recolectar aproximadamente 86 botellas en una sola carga.

En un escenario real, la cantidad de botellas que se podrán recolectar dependerá de que tan sucio se encuentre el cuerpo de agua que se esté limpiando, suponiendo que está demasiado sucio, y que en un solo uso (es decir, 20 minutos), se recogen 86 botellas, al día se podrán recoger 774 botellas (esto considerando que el prototipo podrá funcionar 3 horas debido al nivel de luz). Finalmente, si el prototipo se utiliza los 365 días del año, se podrían recoger hasta 282 mil botellas de PET de un litro al año, y eso solo en un cuerpo de agua sumamente contaminado.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

Fue posible la construcción de un prototipo de robot tortuga capaz de flotar y desplazarse sobre la superficie del agua y que además su sistema de locomoción derivara de la obtención y análisis de las trayectorias que genera una tortuga durante su ciclo de marcha, sin olvidar que fue posible diseñar la estructura zoomorfa inspirada en dicho animal a través de la recopilación de información sobre las medidas y estructuras anatómicas.

También fue posible la implementación del sistema de visión artificial y del sistema de control, obteniendo una efectividad del 80%.

Durante la investigación y desarrollo de este trabajo se pudo llegar específicamente a las siguientes conclusiones:

- Es fundamental dimensionar el proyecto al área de trabajo que se tiene, ya que un espacio pequeño impide hacer pruebas de desplazamiento con todos los sistemas integrados a la vez
- El trabajar en un ambiente acuático, trae desventajas, dentro de las principales tenemos que no se debe exceder el peso del prototipo (2.5 kg aprox.) puesto que podría hundirlo.
- De igual manera la hermeticidad juega un papel muy importante, puesto que se necesita asegurar que no se dañen los elementos electrónicos por el ingreso del agua.
- El hecho de trabajar en un entorno abierto hace muy difícil el control de la iluminación, parámetro que modifica en gran medida el resultado de la segmentación de la imagen, y aunque se obtuvieron resultados satisfactorios en un día un poco nublado se optó por establecer un horario específico para su correcto funcionamiento.

Finalmente se concluye que nuestro prototipo cumple con los objetivos propuestos, logrando un tiempo de operación máximo de 1hr con todos los sistemas funcionando en conjunto. Con respecto a la recolección de residuos es importante mencionar que la capacidad total de recolección es de $0.049086 m^3$, sin embargo, existe la posibilidad de ampliar las redes de almacenaje para aumentar el volumen de basura recolectada.

6.1.1 Investigaciones a futuro

Se recomienda que para una producción en masa se emplee otro método de fabricación para la estructura zoomorfa, tal como la inyección de plástico, que resultaría menos costosa que emplear impresión 3D. De igual manera, se recomienda que para el funcionamiento en exteriores se utilice control remoto o algún otro método, como programación de trayectorias para guiar al prototipo, ya que de esta manera su uso no estaría limitado a una pequeña parte del día.

El prototipo tiene la misión de recolectar basura, sin embargo, esta no es la única tarea que puede llevar a cabo, ya que podría servir para otros fines como por ejemplo la investigación de ecosistemas acuáticos.

CAPITULO VII

REFERENCIAS

7. Referencias

- [1] Sustentabilidad para Todos. Generación y gestión de Residuos. [En línea]. Disponible en: <https://www.sostenibilidad.com/medio-ambiente/generacion-gestion-residuos/>. [Último Acceso: 19 de Marzo del 2020].
- [2] N. Castillo García. (2013, Junio 7). 70 por ciento de las especies son desconocidas para la ciencia. Ciencia UNAM. [En línea]. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/216/70_por_ciento_de_las_especies_marinas_son_desconocidas_para_la_ciencia. [Último Acceso: 19 de Marzo del 2020].
- [3] Compañía ETH Zurich, " NARO-TARTARUGA: LA TORTUGA ROBOT", Muy Interesante, pp. 101-108, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com.mx/> [Último Acceso: 13-Marzo-2020].
- [4] R. González y R. Moreno, "Diseño de un mecanismo de propulsión para un pez robótico controlado remotamente", tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, DF, 2012.
- [5] L. Zhenli, "Study of the motion control of Snake-like robots on land and in a water" pp.101-108, 2020. [En línea] Disponible en: www.sciencedirect.com. [Último acceso: 10 Feb 2020]
- [6] F. Rodríguez Moreno y C. Milena Cárdenas, " Prototipo de robot submarino con la capacidad de seguimiento de trayectorias, mediante tratamiento de imágenes", trabajo de fin de grado, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2015.
- [7] [En línea]. Disponible en: <https://www.ranmarine.io> Accedido: 13-03-2020].
- [8] [En línea]. Disponible en: <https://theoceancleanup.com/oceans/> [Accedido: 17-05-2020].
- [9] [En línea]. Disponible en: <https://www.beach-trotters.com/productos/barcode-limpieza> [Accedido: 17-05-2020]
- [10] A. Jiménez. (2020, Agosto 13). Diseñan politécnicos vehículos eléctricos para sacar basura de lagos, MVS noticias. [En línea]. Disponible en: <https://mvsnoticias.com/noticias/nacionales/disenan-politecnicos-vehiculos-electrico-para-sacar-basura-de-lagos/>. [Último Acceso: 30 de Diciembre del 2020].
- [11] M. Timón. (2020). Contaminación a la velocidad del plástico: 57 millones de bolsas por segundos. Consumer. [En línea]. Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/contaminacion-plastico-57000-bolsas-hora.html> [Último Acceso: 13-Marzo-2020]

Capítulo 7. Referencias

- [12] National Geographic. (2016, Junio 20). La contaminación marina. [En línea] Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-marina>. [Ultimo acceso: 29 de febrero 2020].
- [13] Organismo Internacional de Energía Atómica. Contaminación del Mar y las Costas. [En línea]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/contaminacion-del-mar-y-las-costas> [Ultimo Acceso: 3 de Marzo del 2020].
- [14] W Radio. (2019, Mayo 21). Contaminación por plástico en el mar. [En línea] Disponible en: http://wradio.com.mx/radio/2019/05/21/sociedad/1558459756_648966.html [Ultimo Acceso: 5 de Marzo del 2020].
- [15] BBC News Mundo. (2014, Noviembre 6). Robots Disfrazados de Pingüinos para saber más sobre estas aves. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=4r3R4179dNI>. [Ultimo Acceso: 18 de Mayo del 2020].
- [16] V. Lacalle. (2018, febrero 10). Sensibilidad hacia los animales. [En línea]. Disponible en: <https://www.diarioinformacion.com/mundo-animal/2018/02/10/sensibilidad-animales/1987025.html>. [Ultimo Acceso: 18 de Mayo del 2020].
- [17] “Bloques Funcionales de un robot”. Autómatas Industriales de A. Lugo, Mecatrónica, UPIITA-IPN, 2020-2
- [18] “Movimientos Rígidos”. Autómatas Industriales de A. Lugo, Mecatrónica, UPIITA-IPN, 2020-2
- [19] R.Silva Ortigoza. (2007). Una panorámica de los Robots Móviles,> Universidad Rafael Beloso Chacin, [En línea]. Disponible en: <http://ojs.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/1907/1811> [Ultimo Acceso: 18 de Mayo del 2020].
- [20] C. González. (2016, Julio 24). Robot Zoomorfo. [En línea] Disponilbe en: <https://prezi.com/uloxijwkhayk/robots-zoomorfos/> [Ultimo acceso: 10 de Marzo del 2020]
- [21] S. H. a. M. V. Mark. W. Spong, *Robot Modeling and Control*, 1st Edition, New York: Wiley, 1989, p. 9.
- [22] H. A. Pinto Linares, “Diseño óptimo de mecanismos de cuatro barras para la generación de movimiento con restricciones de montaje y ángulo de transmisión”, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Colombia, Colombia, Octubre de 2007.
- [23] J. Puga Martínez. (2016, Mayo 26). Mecanismo de cuatro eslabones. [En línea]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/jorgeeduardopuga/capitulo-3mecanismodecuatroeslabones> [Ultimo Acceso: 7 de Noviembre del 2020]
- [24] F. T. Sanchez Marin. (2020, Diciembre 19). Ley de Grashof. [En línea]. Disponible en: http://www.mecapedia.uji.es/ley_de_Grashof.html [Ultimo

Capítulo 7. Referencias

- Acceso: 22 de Diciembre del 2020].
- [25] A. Colla. Mecanismos Articulados. [En línea]. Disponible en: <http://mecafundamentos.blogspot.com/p/infofundamentos.html>. [Último Acceso: 8 de Diciembre del 2020].
- [26] D. A. Núñez Altamirano, “Desarrollo de una unidad de propulsión basada en un mecanismo de línea recta exacta aplicada en vehículos multipodos”, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, Agosto del 2016.
- [27] R. Adeva. (2020, Octubre 28). Todo lo que debes de saber sobre la impresión 3D y sus utilidades. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>. [Último Acceso: 3 de Noviembre del 2020].
- [28] S. Sánchez Restrepo. (2020, Junio 17). Guía Completa: Plásticos en la impresión 3D. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/#!> [Último Acceso: 3 de Noviembre del 2020].
- [29] Ingeniería Mecafenix. (2017, Abril 17). Motor de Corriente Continua (CD). [En línea]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-corriente-continua/> [Último Acceso: 15 de Diciembre del 2020].
- [30] Parada Creativa. (2018, Octubre 25). ¿Cuál es el funcionamiento de un motorreductor? [En línea]. Disponible en: <https://tercesa.com/noticias/funcionamiento-motorreductor/>. [Último Acceso: 15 de Diciembre del 2020].
- [31] P. A. y. S. Herrera, Robótica industrial prototipo y sistemas de visión artificial, Ecuador: Editorial Academia Española, 2012.
- [32] Fotonostra. ¿Qué es la fotografía? [En línea]. Disponible en: <https://www.fotonostra.com/fotografia/>. [Último acceso: 30 de Diciembre del 2020].
- [33] R. C. Gonzales y R. E. Woods, Digital Image Processing, 4ta ed., USA: Pearson Prentice Hall, 2017.
- [34] D. Oralia, “Metodología para diseño de prácticas didácticas en sistemas de control”. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, Grupo Editorial Ediciones Futuro, La Habana Cuba, Noviembre 2019. Página 100.
- [35] Diseño Conceptual. [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/ingenieriadeldisenodiseno-conceptual>. [Último Acceso: 2 de Octubre del 2020].
- [36] “Selección del diseño Conceptual”, Trabajo Terminal 1 de O. Montes, Mecatrónica, UPIITA-IPN, 2021-2

Capítulo 7. Referencias

- [37] F. D. de la Peña Esteban. (2015, Abril 2016). Método AHP. Caso Práctico. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=yTZAgI-VeQQ>. [Ultimo Acceso: 10 de Diciembre del 2020].
- [38] Tera Electronics. (2018, Marzo 17). Calculo de Ancho de Pista según corriente. [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/watch/?ref=saved&v=1794616934175654>. [Ultimo Acceso: 2 de Enero del 2021].
- [39] “Ruta Crítica”. Trabajo Terminal 1 de O. Montes, Mecatrónica, UPIITA-IPN, 2021-1.
- [40] “Análisis de Riesgo”. Trabajo Terminal 1 de O. Montes, Mecatrónica, UPIITA-IPN, 2021-1

CAPITULO VIII

APENDICES Y ANEXOS

8. Apéndices y Anexos

8.1 Apéndices

APENDICE A. Administración del proyecto

Cronograma

Para llevar a cabo la ejecución de nuestro proyecto se realizó un cronograma, el cual se fue ajustando tomando en cuenta los retrasos a los que nos enfrentamos, esto debido principalmente a dos causas, la primera es que al desarrollar el prototipo nos dimos cuenta que faltaban más actividades por realizar por lo que al aumentar el número de actividades también se aumentó el periodo de entrega, y la segunda causa es debido a que hubo actividades más tardadas de lo previsto. Finalmente, el cronograma desarrollado se observa en la tabla 20 y 21.

PROGRAMACIÓN EN SEMANAS DE TT1																	
	Mes	S e p	Octubre					Noviembre				Diciembre				Enero	
Actividad	Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Objetivo 1	Diseñar y validar el sistema de Locomoción.																
Actividad 1	Hacer grabaciones de la locomoción de la tortuga desde distintos ángulos y de todas sus extremidades.																
Actividad 2	Analizar las grabaciones con un software para determinar diferentes trayectorias.																
Actividad 3	Con base al análisis realizado, diseñar mecanismos que puedan emular el funcionamiento utilizando barras, eslabones y actuadores.																
Actividad 4	Comparar dichos mecanismos para encontrar el que nos de mejores resultados.																

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

	para que se puedan integrar adecuadamente los demás sistemas																		
Actividad 2	Imprimir la parte derecha del prototipo para comprobar que la disposición sea la correcta																		
Actividad 3	Hacer modificaciones si es necesario																		
Actividad 4	Imprimir el resto del prototipo																		
Actividad 5	Unir las piezas impresas y hacer hermético el prototipo																		
Actividad 6	Montar los demás sistemas en el prototipo																		
Actividad 7	Pruebas de funcionamiento																		
Actividad 8	Modificaciones en caso de ser necesario																		
Actividad 9	Reunión con los asesores.																		
Realizar Reporte Escrito de Trabajo terminal 2																			

Tabla 21. Cronograma de TT2

Ruta Crítica

Ademas, para conocer algunos de las de los retrasos posibles que pueden surgir en el desarrollo del proyecto y el como estos afectarian a su concluion, se analizara la ruta critica considerando las actividades principales a desarrollar en el proyecto y su duración, las cuales se enlistan en tabla 22.

Actividad	Área Funcional	Descripción	Predecesor	Duración (semanas)
1	AF1: Desplazar el prototipo	Hacer grabaciones de la locomoción de la tortuga	-	1
2		Analizar las grabaciones con un software	1	2
3		Diseñar, simular y validar el mecanismo que realice la trayectoria obtenida	2	4
4		Tomar medidas a la tortuga y esclarlas	-	1
5		Diseño de la estructura zoomorfa	4	4
6	AF2:	Proponer mecanismos de recolección	-	3
7	Recolectar y	Diseñar y simular el mecanismo elegido	6	3

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

	almacenar los residuos			
8	AF3: Procesar imágenes	Realizar el detector y comprobar su funcionamiento	-	3
9		Hacer los cambios pertinentes y validar el funcionamiento del detector "a bordo"	8	4
10	AF4: Comunicar y controlar los sistemas	Definir los movimientos	3, 7 y 9	1
11		Programar y validar la comunicación	10	3
12	AF5: Suministrar Energía	Realizar los cálculos energéticos	5, 11	1
13		Simular y validar el funcionamiento	12	2
14	Reporte Escrito		12	3

Tabla 22. Ruta Crítica

La tabla ahora se traduce a una forma grafica como se puede observar en la figura 88.

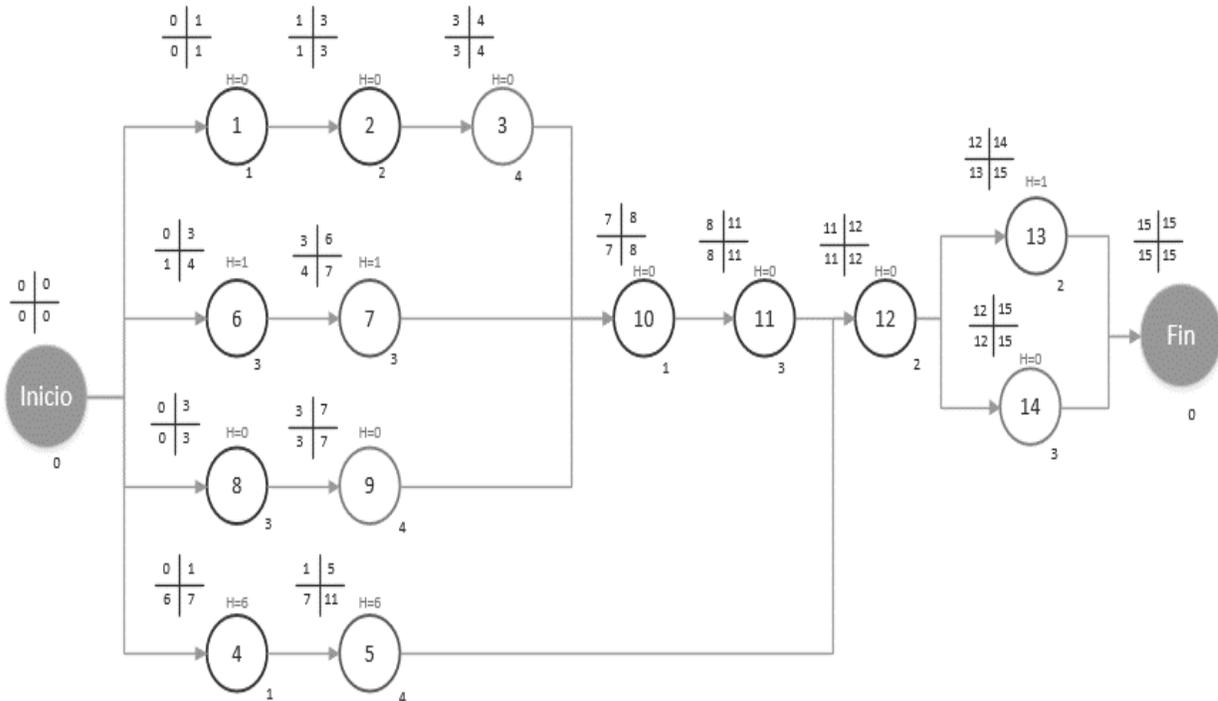


Figura 88. Ruta Crítica

Las actividades que no pueden tener retraso tienen una holgura de 0, mientras que las que tienen una holgura mayor a cero si pueden tener un retraso, por ejemplo las actividades 4 y 5 correspondientes a la estructura zoomorfa.

Las actividades encerradas en rojo las considere como fundamentales y que no pueden tener ningún retraso debido a que de ellas se derivan las actividades de una nueva área funcional, por el contrario, las actividades en verde pueden ser las de mayor retraso aunque sean muy importantes, y por eso decidimos señalarlas [39].

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

Análisis de Riesgos

Finalmente, para conocer algunos escenarios que podrían surgir en el transcurso del desarrollo del proyecto se realizó un análisis de riesgos, el cual nos ayudara a prestar más atención a estos escenarios y a tener una idea de cómo poder solucionarlos. (ver tablas 23 - 27).

Categorías de riesgo

Categorías en las que se puede dividir el proyecto en base a su naturaleza

- Riesgo en el cumplimiento de objetivos
- Riesgos económicos
- Riesgos de Obtención de Materiales
- Riesgos en el uso del ser vivo
- Riesgos de organización

Definición de la probabilidad y el impacto de los riesgos.

Impacto		Probabilidad	
Descripción	Escala Numérica	Descripción	Escala Numérica
Muy bajo	0.05	10%	0.1
Bajo	0.1	30%	0.3
Moderado	0.2	50%	0.5
Alto	0.4	70%	0.7
Muy alto	0.8	90%	0.9

Tabla 23. Ponderación de Impacto

Herramienta de Análisis de Riesgo

Categoría	Evento	Impacto
Cumplimiento de Objetivos		
O1	Falta de conocimiento	Tener que aprender cosas nuevas
O2	Metas muy altas	Reducir las expectativas
O3	Falta de comunicación con los asesores	Realizar todo por nuestra cuenta sin los consejos del asesor
O4	Diseño erróneo	Rediseño y atraso
Económicos		
E1	Falta de presupuesto	Prototipo no realizable
E2	Aumento en precios	Conseguir más presupuesto
E3	Cotización errónea	Conseguir más presupuesto
E4	Gastos imprevistos	Conseguir más presupuesto
Obtención de Materiales		
M1	Cierre de fronteras	Cambio de materiales a utilizar
M2	Escases de material	Cambio de materiales a utilizar
M3	Producto discontinuado	Cambio de materiales a utilizar
Uso del ser vivo		
V1	Hibernación	Conseguir videos y modelos de otra forma

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

V2	Timidez o agresividad	Utilizar otra tortuga
V3	Dificultad para grabar	Conseguir videos y modelos de otra forma
Organización		
T1	Falta de tiempo	Retraso en el proyecto
T2	Mala distribución de los recursos humanos	Inconformidad en los miembros del equipo
T3	Incumplimiento de deberes	Incumplimiento de objetivos
T4	Desintegración del equipo	Proyecto no realizable
T5	Retraso en la producción	Retraso en el proyecto

Tabla 24. Herramienta de Análisis de Riesgo

Análisis Cualitativo

Asignamos prioridades a algunos aspectos para reducir el nivel de incertidumbre y centrarse en tareas de alta prioridad.

Se clasificaran los riesgos con base al impacto a cada riesgo que tendrán sobre los objetivos, cronograma, costo y resultado esperado.

Riesgo	Impacto				Probabilidad
	Objetivos	Cronograma	Costo	Resultado Esperado	
O1	0.4	0.4	0.05	0.4	0.5
O2	0.2	0.2	0.1	0.4	0.3
O3	0.2	0.2	0.05	0.2	0.3
O4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.5
E1	0.4	0.05	0.8	0.4	0.1
E2	0.2	0.05	0.8	0.2	0.5
E3	0.2	0.1	0.04	0.4	0.3
E4	0.05	0.05	0.4	0.01	0.3
M1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3
M2	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3
M3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
V1	0.4	0.4	0.05	0.2	0.7
V2	0.4	0.2	0.05	0.2	0.7
V3	0.4	0.4	0.05	0.4	0.5
T1	0.8	0.8	0.05	0.4	0.5
T2	0.4	0.4	0.05	0.4	0.3
T3	0.4	0.4	0.05	0.2	0.3
T4	0.8	0.8	0.05	0.8	0.1
T5	0.8	0.4	0.2	0.4	0.3

Tabla 25. Análisis Cualitativo

Para conseguir la puntuación de riesgo de acuerdo con cada área de impacto se multiplica la probabilidad de riesgo a que suceda con el impacto por área que tendrá, de esta forma se obtiene la puntuación por riesgo por área de análisis. }

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

Riesgo	Impacto			
	Objetivos	Cronograma	Costo	Resultado Esperado
O1	0.2	0.2	0.025	0.2
O2	0.06	0.06	0.03	0.12
O3	0.06	0.06	0.015	0.06
O4	0.1	0.2	0.05	0.2
E1	0.04	0.005	0.08	0.04
E2	0.1	0.025	0.4	0.1
E3	0.06	0.03	0.012	0.12
E4	0.015	0.015	0.12	0.003
M1	0.06	0.12	0.06	0.06
M2	0.12	0.06	0.03	0.06
M3	0.01	0.01	0.02	0.01
V1	0.28	0.28	0.035	0.14
V2	0.28	0.14	0.035	0.14
V3	0.2	0.2	0.025	0.2
T1	0.4	0.4	0.025	0.2
T2	0.12	0.12	0.015	0.12
T3	0.12	0.12	0.015	0.06
T4	0.08	0.08	0.005	0.08
T5	0.24	0.12	0.06	0.12

Tabla 26. Evaluación de Riesgo

Plan de Respuesta de Riesgos.

Una vez obtenida la probabilidad de cada uno de los riesgos, hay que separar los riesgos a mitigar, evitar o aceptar. Los riesgos con al menos una puntuación en rojo, serán los que tendrán que ser evitados, los amarillos deberán de ser mitigados y los verdes no generan mayor conflicto [40].

Riesgo	Estrategia
O1	Con base al conocimiento de nuestros fortalezas y debilidades, es necesario repasar algunos temas de utilidad que no conozcamos muy bien y en los que nos surjan dudas, esto también va de la mano con la elección de nuestros asesores para que nos puedan apoyar en donde sabemos que fallamos mas
E2	Lo único que se puede hacer en este aspecto, es ir cotizando otras opciones, la venta en más páginas web y el ahorra de más dinero del presupuestado para tenerlo a la mano en caso de ser requerido
V1	Lo que se puede hacer es calentar más el agua para que engañes a su cerebro y sean más activas, utilizar el pleno sol para lograr esto.
V2	Debido a que se cuentan con 4 espécimen (2 muy parecidos entre sí), se puede hacer uso de otros en caso de que alguno este muy pasivo o demasiado inquieto
V3	En caso de ser muy difícil la grabación lateral, utilizar un estanque transparente o buscar videos de la locomoción de tortugas de agua dulce ya que son muy parecidas

T1	Sera necesario organizar las demás actividades a realizar durante el semestre y darle más prioridad a cuestiones más importantes, además aprovechar los fines de semana o puentes
T5	Esto es más un riesgo que se puede presentar en TT2 y la alternativa es empezar a hacer la fabricación una vez validadas y aprobados los sistemas de TT1 para no perder más tiempo.

Tabla 27. Plan de Riesgo

APENDICE B. Códigos

Código Raspberry

```

from skimage import data,io
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(38,GPIO.OUT)
GPIO.setup(13,GPIO.OUT)
GPIO.setup(15,GPIO.OUT)
GPIO.setup(40,GPIO.OUT)

video=cv2.VideoCapture(0)
while True:

    check, color=video.read()
    #plt.figure(1)
    color=cv2.resize(np.uint8(color),(96,72))
    #plt.imshow(color)
    #cv2.imshow('imagen',color)
# color=io.imread('estrella1.jpg')
[fil, col, k]=color.shape
R=np.zeros([fil,col])
G=np.zeros([fil,col])
B=np.zeros([fil,col])
CR=0
CG=0
CB=0
CN=0

capaR=color[:, :,2]
capaG=color[:, :,1]

```

```

capaB=color[:,:,0]

R=((capaR>210) & (capaG<=230) & (capaB<=190))*1
CR=sum(sum(R))
G=((capaR>180) & (capaG>180) & (capaB<=140))*1
CG=sum(sum(G))
B=((capaR<=200) & (capaG>100) & (capaB>230))*1
CB=sum(sum(B))

cont=np.concatenate((CR, CG, CB), axis=None)
pos=np.uint8(np.where(cont == np.amax(cont)))
img=np.zeros([fil,col],dtype=np.uint8())

if pos[0,0]==0:
    img=R
elif pos[0,0]==1:
    img=G
elif pos[0,0]==2:
    img=B

E=np.ones((3,3),np.uint8)
E1=np.ones((3,3),np.uint8)
morf=cv2.dilate(cv2.erode(np.uint8(img),E),E1)

# plt.figure(2)
# plt.imshow(morf,cmap='gray')

F=np.double(morf/255)

[x, y] = np.meshgrid(np.linspace(1,col,col), np.linspace(1,fil,fil))

x = np.reshape(np.transpose(x),(fil*col,1))
y = np.reshape(np.transpose(y),(fil*col,1))
F = np.reshape(np.transpose(F),(fil*col,1))

m00 = sum(F);

if (m00 == 0):
    m00 = 2.220446049250313e-16

# momentos centrales:
m10 = sum(x * F)
m01 = sum(y * F)
m11 = sum(x * y * F)
m20 = sum(x**2 * F)
m02 = sum(y**2 * F)

```

Capítulo 8. Apéndices y Anexos

```
m30 = sum(x**3 * F)
m03 = sum(y**3 * F)
m12 = sum(x * y**2 * F)
m21 = sum(x**2 * y * F)
```

```
xbar = m10 / m00;
ybar = m01 / m00;
```

```
eta11 = (m11 - ybar*m10) / m00**2
eta20 = (m20 - xbar*m10) / m00**2
eta02 = (m02 - ybar*m01) / m00**2
eta30 = (m30 - 3 * xbar * m20 + 2 * xbar**2 * m10) / m00**2.5
eta03 = (m03 - 3 * ybar * m02 + 2 * ybar**2 * m01) / m00**2.5
eta21 = (m21 - 2 * xbar * m11 - ybar * m20 + 2 * xbar**2 * m01) / m00**2.5
eta12 = (m12 - 2 * ybar * m11 - xbar * m02 + 2 * ybar**2 * m10) / m00**2.5
```

```
phi=np.zeros([7,1])
phi[0] = eta20 + eta02
phi[1] = (eta20 - eta02)**2 + 4*eta11**2;
phi[2] = (eta30 - 3*eta12)**2 + (3*eta21 - eta03)**2;
phi[3] = (eta30 + eta12)**2 + (eta21 + eta03)**2;
phi[4] = (eta30 - 3*eta12) * (eta30 + eta12) * ( (eta30 + eta12)**2 - 3*(eta21 + eta03)**2 )
+ (3*eta21 - eta03) * (eta21 + eta03) * ( 3*(eta30 + eta12)**2 - (eta21 + eta03)**2 )
phi[5] = (eta20 - eta02) * ( (eta30 + eta12)**2 - (eta21 + eta03)**2 ) + 4 * eta11 * (eta30 +
eta12) * (eta21 + eta03)
phi[6] = (3*eta21 - eta03) * (eta30 + eta12) * ( (eta30 + eta12)**2 - 3*(eta21 + eta03)**2 )
+ (3*eta12 - eta30) * (eta21 + eta03) * ( 3*(eta30 + eta12)**2 - (eta21 + eta03)**2 )
```

```
if (pos[0,0]==0) & (CR>250) & (phi[6] >1) & (phi[0] >20):
    #print('\n Estrella roja\n')
    GPIO.output(38,GPIO.LOW)
    GPIO.output(40,GPIO.HIGH)
    time.sleep(2)
elif (pos[0,0]==1) & (CG>250) & (phi[0]<18) & (phi[6]<0):
    #print('\n Circulo verde\n')
    GPIO.output(38,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(40,GPIO.LOW)
    time.sleep(2)
elif (pos[0,0]==2) & (CB>250) & (phi[0]>18) & (phi[6]<0.5):
    #print('\n Triangulo azul\n')
    GPIO.output(38,GPIO.LOW)
    GPIO.output(40,GPIO.LOW)
    time.sleep(2)
else:
    #print('\n No se identifico\n ')
    GPIO.output(38,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(40,GPIO.HIGH)
```

8.2 Anexos

Especificaciones Raspberry Pi 3 modelo B

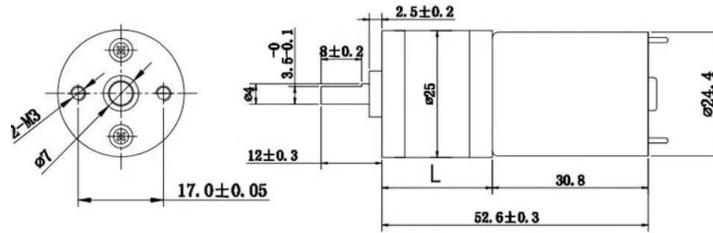
- CPU de 4 núcleos a 1,2 GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1 GB de RAM
- LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE)
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2.0
- HDMI
- Puerto CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos (min 8GB)
- Fuente de alimentación micro USB (5V - 2.1A Max: 2,5 A)



Especificaciones motorreductor:

- Motor DC de 12V de alta potencia
- 1.2 A Corriente Pico y 50 mA sin carga,
- Caja de engranes cuyo diámetro es de 25mm
- Eje de salida en forma de "D" de 4mm de diámetro.
- Peso aproximado de entre 80 a 94gr (dependiendo del motor).
- Torque: 7.2 kg-cm, relación 171:1
60 RPM

Size:



Reduction ratio	Rated Volt	No Load		AT Load			STALL		Gearbox Length
		SPEED	CURRENT	Torque	SPEED	Current	TOGQCE	CURRENT	
	V	RPM	mA	KG.cm	RPM	A	KG.CM	A	mm
4.4	6	1360	100	0.1	1000	0.45	0.35	1.8	17
9.6	6	620	100	0.22	450	0.45	0.75	1.8	17
21.3	6	280	100	0.5	220	0.45	1.7	1.8	19
35	6	170	100	0.8	130	0.45	2.8	1.8	21
46	6	130	100	1	100	0.45	3.6	1.8	21
78	6	77	100	1.8	60	0.45	6.2	1.8	23
103	6	60	100	2.4	46	0.45	8.2	1.8	23
171	6	35	100	4	27	0.45	9	1.8	25
226	6	26	100	5.2	20	0.45	9	1.8	25
377	6	16	100	8.4	12	0.45	9	1.8	27
500	6	12	100	9	9	0.45	9	1.8	27
4.4	12	1360	60	0.1	1000	0.45	0.35	1.3	17
9.6	12	620	60	0.22	450	0.45	0.75	1.3	17
21.3	12	280	60	0.5	220	0.45	1.7	1.3	19
35	12	170	60	0.8	130	0.45	2.8	1.3	21
46	12	130	60	1	100	0.45	3.6	1.3	21
78	12	77	60	1.8	60	0.45	6.2	1.3	23
103	12	60	60	2.4	46	0.45	8.2	1.3	23
171	12	35	60	4	27	0.45	9	1.3	25
226	12	26	60	5.2	20	0.45	9	1.3	25
377	12	16	60	8.4	12	0.45	9	1.3	27
500	12	12	60	9	9	0.45	9	1.3	27

Especificaciones MPU6050

	MPU-6000/MPU-6050 Product Specification	Document Number: PS-MPU-6000A-00 Revision: 3.4 Release Date: 08/19/2013
---	--	---

- MEMS structure hermetically sealed and bonded at wafer level
- RoHS and Green compliant

5.4 MotionProcessing

- Internal Digital Motion Processing™ (DMP™) engine supports 3D MotionProcessing and gesture recognition algorithms
- The MPU-60X0 collects gyroscope and accelerometer data while synchronizing data sampling at a user defined rate. The total dataset obtained by the MPU-60X0 includes 3-Axis gyroscope data, 3-Axis accelerometer data, and temperature data. The MPU's calculated output to the system processor can also include heading data from a digital 3-axis third party magnetometer.
- The FIFO buffers the complete data set, reducing timing requirements on the system processor by allowing the processor burst read the FIFO data. After burst reading the FIFO data, the system processor can save power by entering a low-power sleep mode while the MPU collects more data.
- Programmable interrupt supports features such as gesture recognition, panning, zooming, scrolling, tap detection, and shake detection
- Digitally-programmable low-pass filters
- Low-power pedometer functionality allows the host processor to sleep while the DMP maintains the step count.

5.5 Clocking

- On-chip timing generator $\pm 1\%$ frequency variation over full temperature range
- Optional external clock inputs of 32.768kHz or 19.2MHz

6.9 Absolute Maximum Ratings

Stress above those listed as "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to the absolute maximum ratings conditions for extended periods may affect device reliability.

Parameter	Rating
Supply Voltage, VDD	-0.5V to +6V
VLOGIC Input Voltage Level (MPU-6050)	-0.5V to VDD + 0.5V
REGOUT	-0.5V to 2V
Input Voltage Level (CLKIN, AUX_DA, AD0, FSYNC, INT, SCL, SDA)	-0.5V to VDD + 0.5V
CPOUT (2.5V \leq VDD \leq 3.6V)	-0.5V to 30V
Acceleration (Any Axis, unpowered)	10,000g for 0.2ms
Operating Temperature Range	-40°C to +105°C
Storage Temperature Range	-40°C to +125°C
Electrostatic Discharge (ESD) Protection	2kV (HBM); 250V (MM)
Latch-up	JEDEC Class II (2), 125°C $\pm 100\text{mA}$

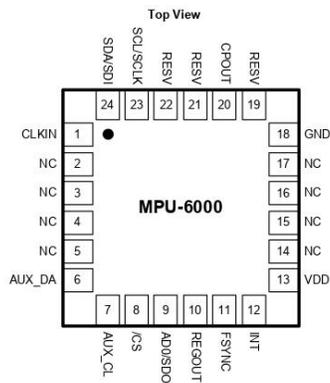
Capítulo 8. Apéndices y Anexos

	MPU-6000/MPU-6050 Product Specification	Document Number: PS-MPU-6000A-00 Revision: 3.4 Release Date: 08/19/2013
---	--	---

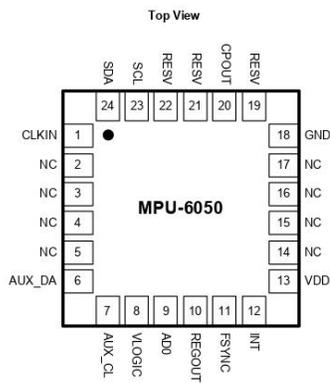
7 Applications Information

7.1 Pin Out and Signal Description

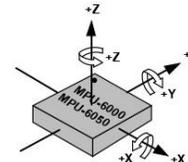
Pin Number	MPU-6000	MPU-6050	Pin Name	Pin Description
1	Y	Y	CLKIN	Optional external reference clock input. Connect to GND if unused.
6	Y	Y	AUX_DA	I ² C master serial data, for connecting to external sensors
7	Y	Y	AUX_CL	I ² C Master serial clock, for connecting to external sensors
8	Y		/CS	SPI chip select (0=SPI mode)
8		Y	VLOGIC	Digital I/O supply voltage
9	Y		AD0 / SDO	I ² C Slave Address LSB (AD0); SPI serial data output (SDO)
9		Y	AD0	I ² C Slave Address LSB (AD0)
10	Y	Y	REGOUT	Regulator filter capacitor connection
11	Y	Y	FSYNC	Frame synchronization digital input. Connect to GND if unused.
12	Y	Y	INT	Interrupt digital output (totem pole or open-drain)
13	Y	Y	VDD	Power supply voltage and Digital I/O supply voltage
18	Y	Y	GND	Power supply ground
19, 21	Y	Y	RESV	Reserved. Do not connect.
20	Y	Y	CPOUT	Charge pump capacitor connection
22	Y	Y	RESV	Reserved. Do not connect.
23	Y		SCL / SCLK	I ² C serial clock (SCL); SPI serial clock (SCLK)
23		Y	SCL	I ² C serial clock (SCL)
24	Y		SDA / SDI	I ² C serial data (SDA); SPI serial data input (SDI)
24		Y	SDA	I ² C serial data (SDA)
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17	Y	Y	NC	Not internally connected. May be used for PCB trace routing.



QFN Package
24-pin, 4mm x 4mm x 0.9mm



QFN Package
24-pin, 4mm x 4mm x 0.9mm



Orientation of Axes of Sensitivity and
Polarity of Rotation

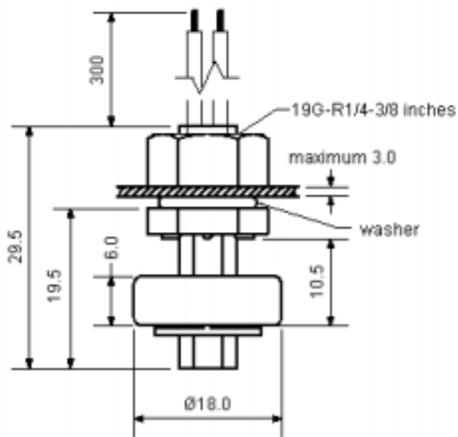
Especificaciones Sensor Nivel de Agua Arduino



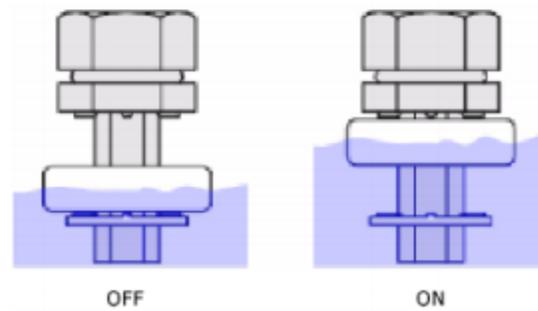
Electrical Characteristics at 25°C

Contact form		A
Contact material		Ru
Maximum contact rating	W/VA	10
Maximum switching current	A	0.7
Maximum carry current		1.0
Maximum switching voltage	V dc	180
	V ac	130
Minimum breakdown voltage	V dc	200

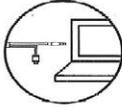
Dimensions



Operating diagram



Especificaciones Cámara Web

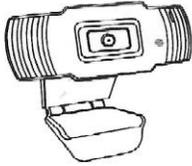


3, Connect USB data cable and audio cable
(no-plug audio cable for Laptop)

Detail parameter

Webcam parameters			
Driver type	Drive free (plug and play)	USB Line length	120cm
SCINTILLATION control	50Hz,60Hz	Resolution	1080P
Photo format	Bmp jpg	Interface type	USB2.0
Sensor type	cmos	Built in	Sound-absorbing and noise-reducing microphone
Contrast optimization engine	Contrast balance	Focusing range	20MM-Extreme
TWAN	Support Netmeeting and other video conferencing software		
VM engine	180M / BMP high speed processor		
Support Equipment	Support for mainstream computersXP2/LE , Vista , Win7 , Win8 , Win10 Operating System		

Product accessories



Webcam * 1

Webcams

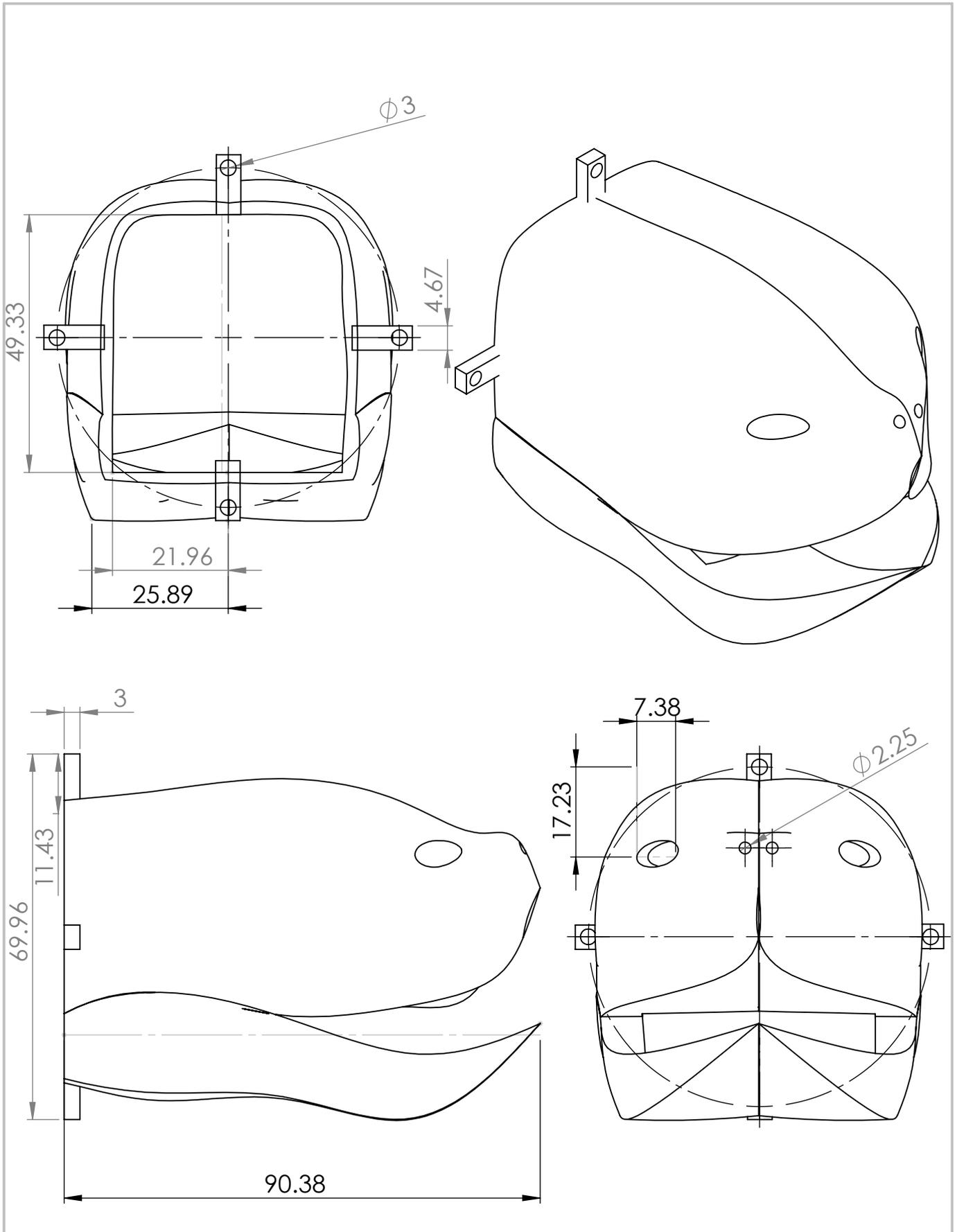
Product description

Webcam instructions * 1

Especificaciones PowerBank

	ACERCA DE ADATA	<i>XPG</i>	CONSUMIDOR	SOLUCIONES INDUSTRIALES	ILUMINACIÓN LED	SISTEMA DE PROPULSIÓN
Capacidad	10000mAh					
Batería	Batería de litio recargable					
Colores	Negro / Blanco					
Dimensiones (LA x AN x AL)	140 x 63 x 21,5mm (5,5 x 2,5 x 0,8")					
Peso	285g (10,1oz)					
Entrada	DC 5V / 2A (Micro USB)					
Salida	DC 5V / 1A (USB-A) DC 5V / 2,1A máx (USB-A)					

8.3 Planos Normalizados



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

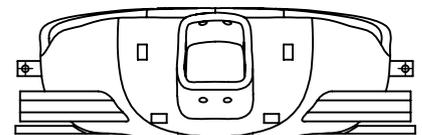
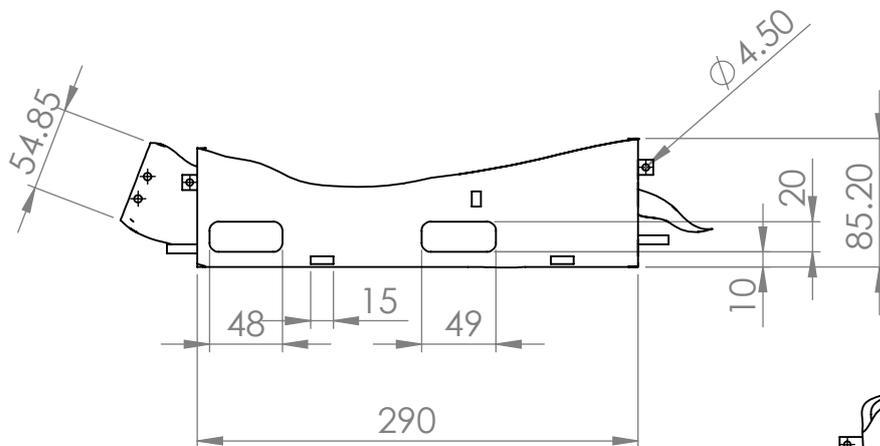
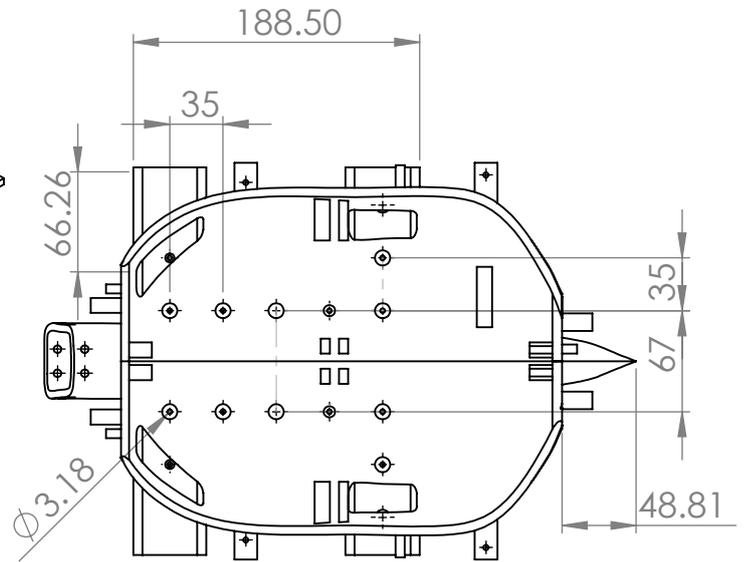
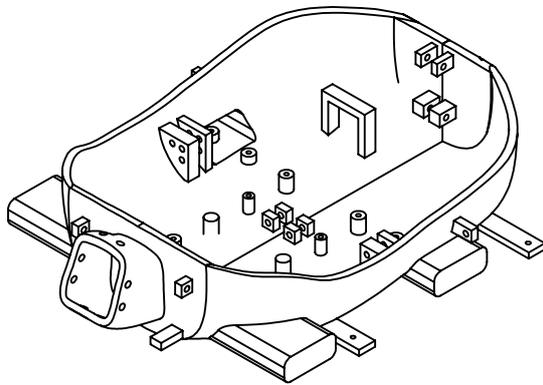
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Cabeza



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

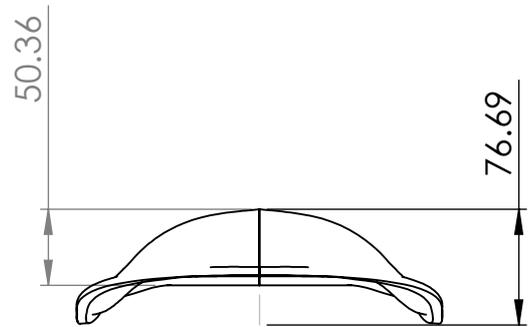
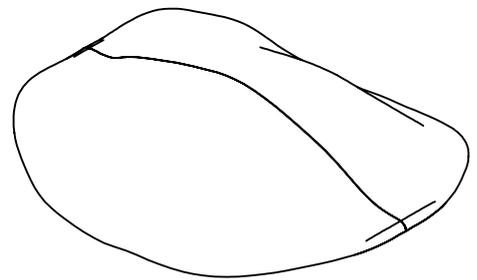
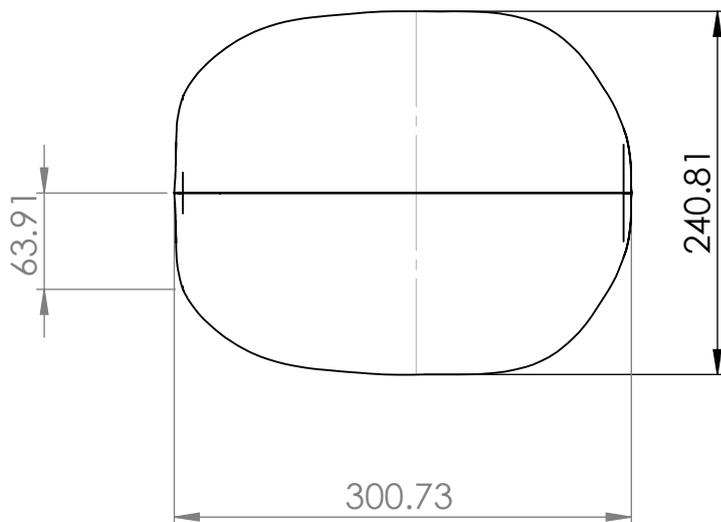
IPN

ESCALA: 1:5

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Base



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

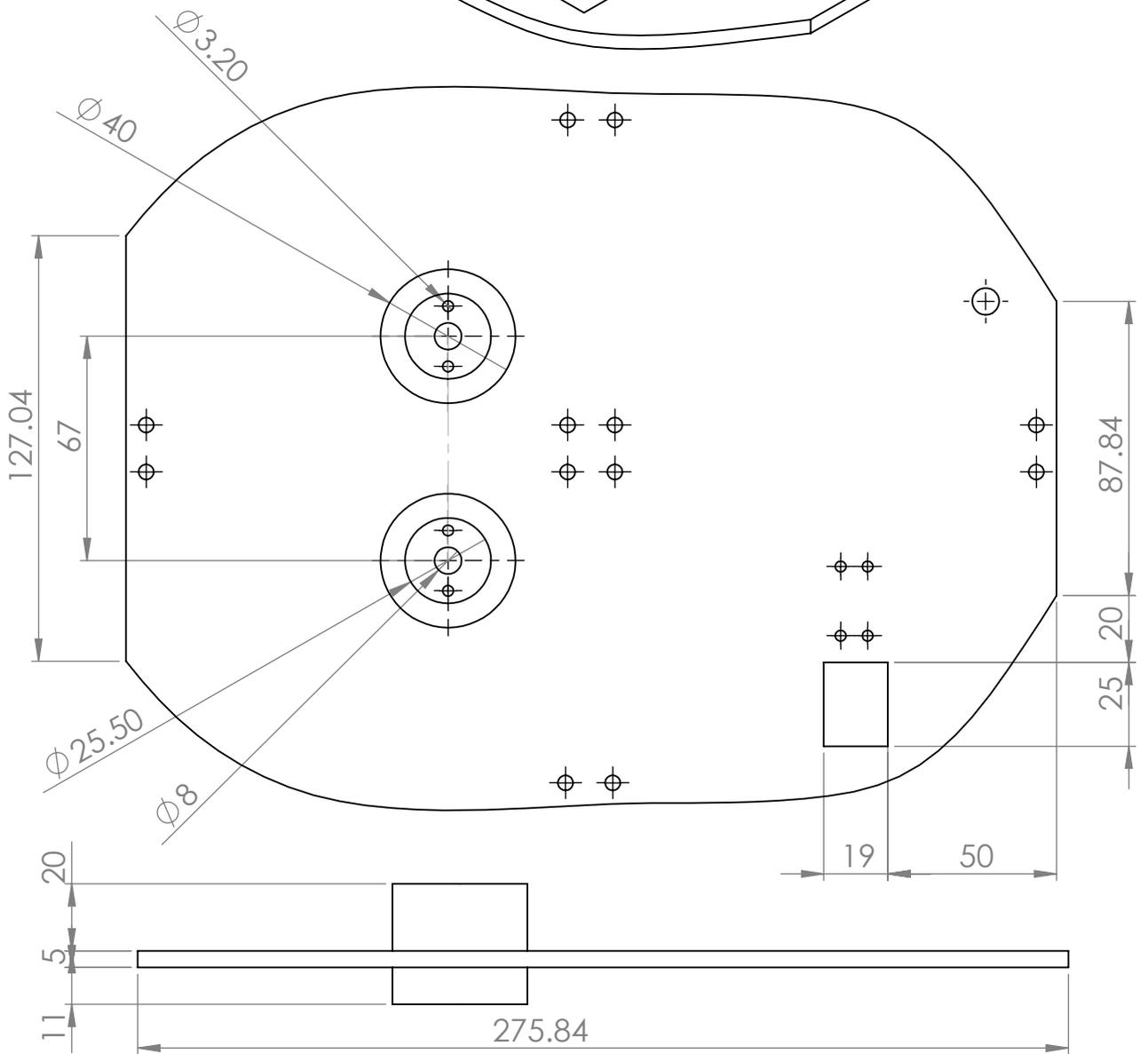
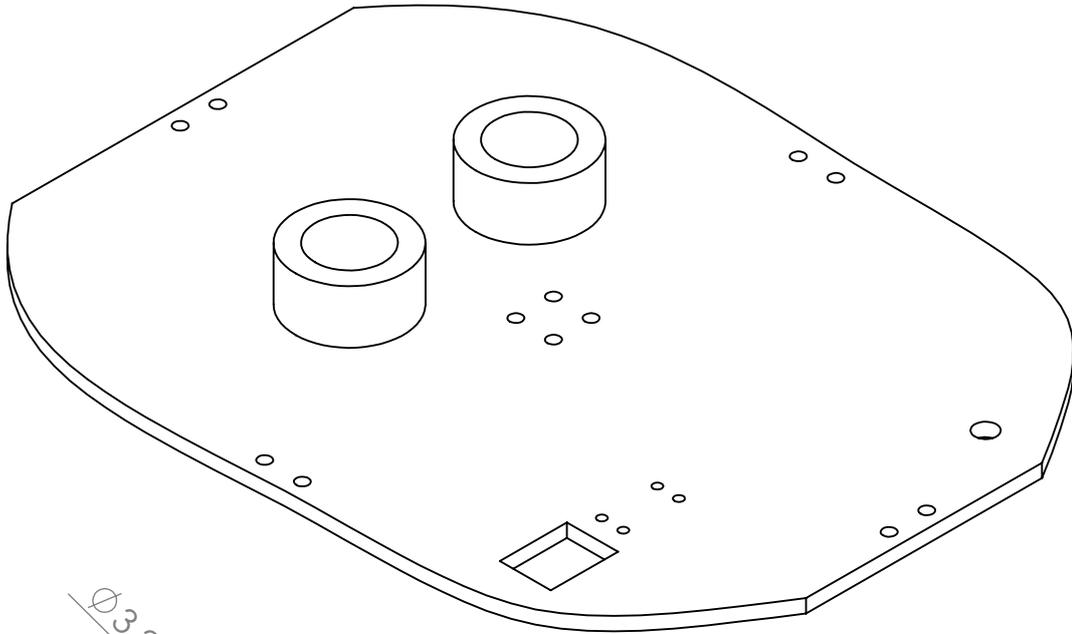
IPN

ESCALA: 1:5

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Tapa



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

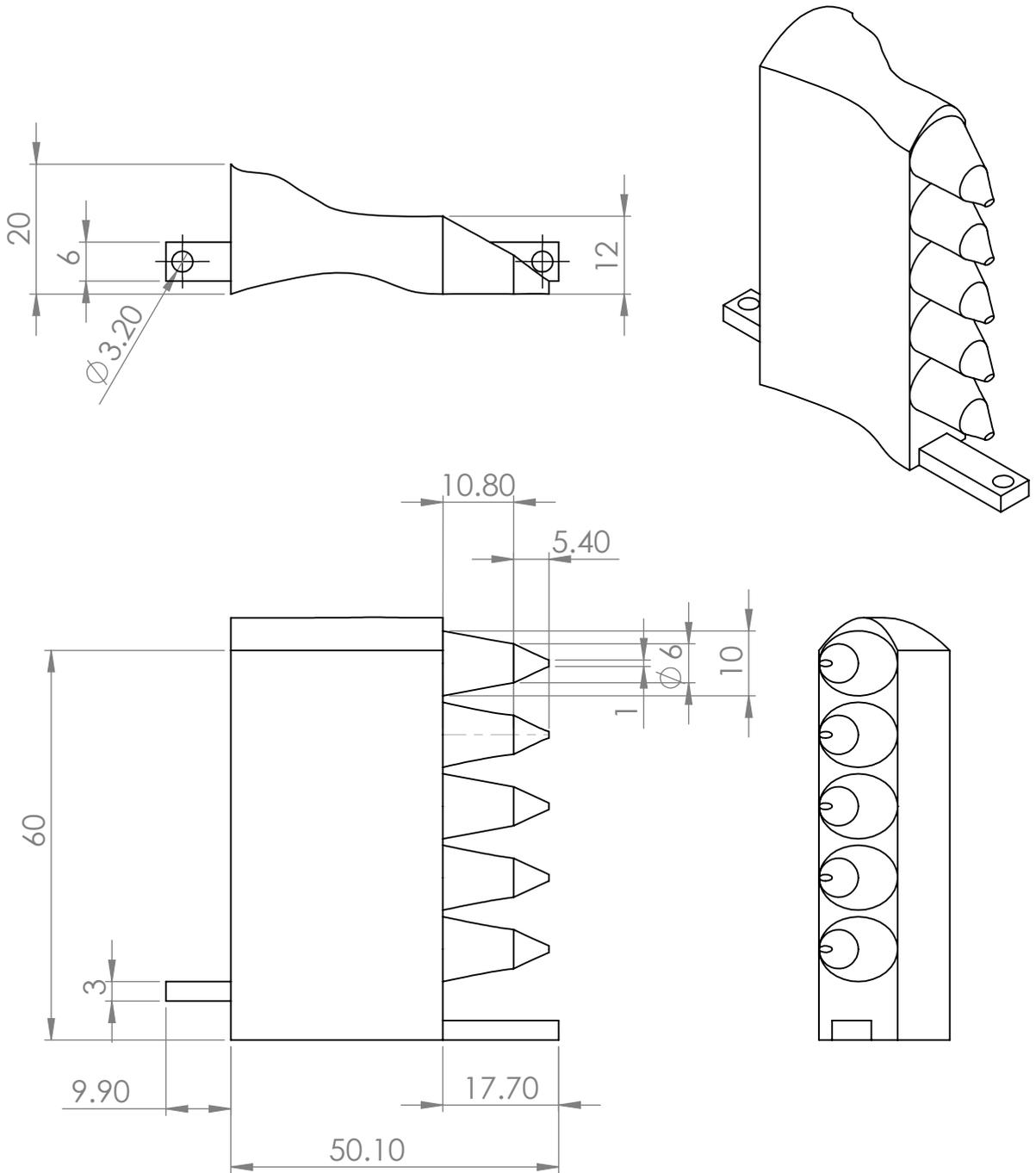
IPN

ESCALA: 1:2

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Mesa



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

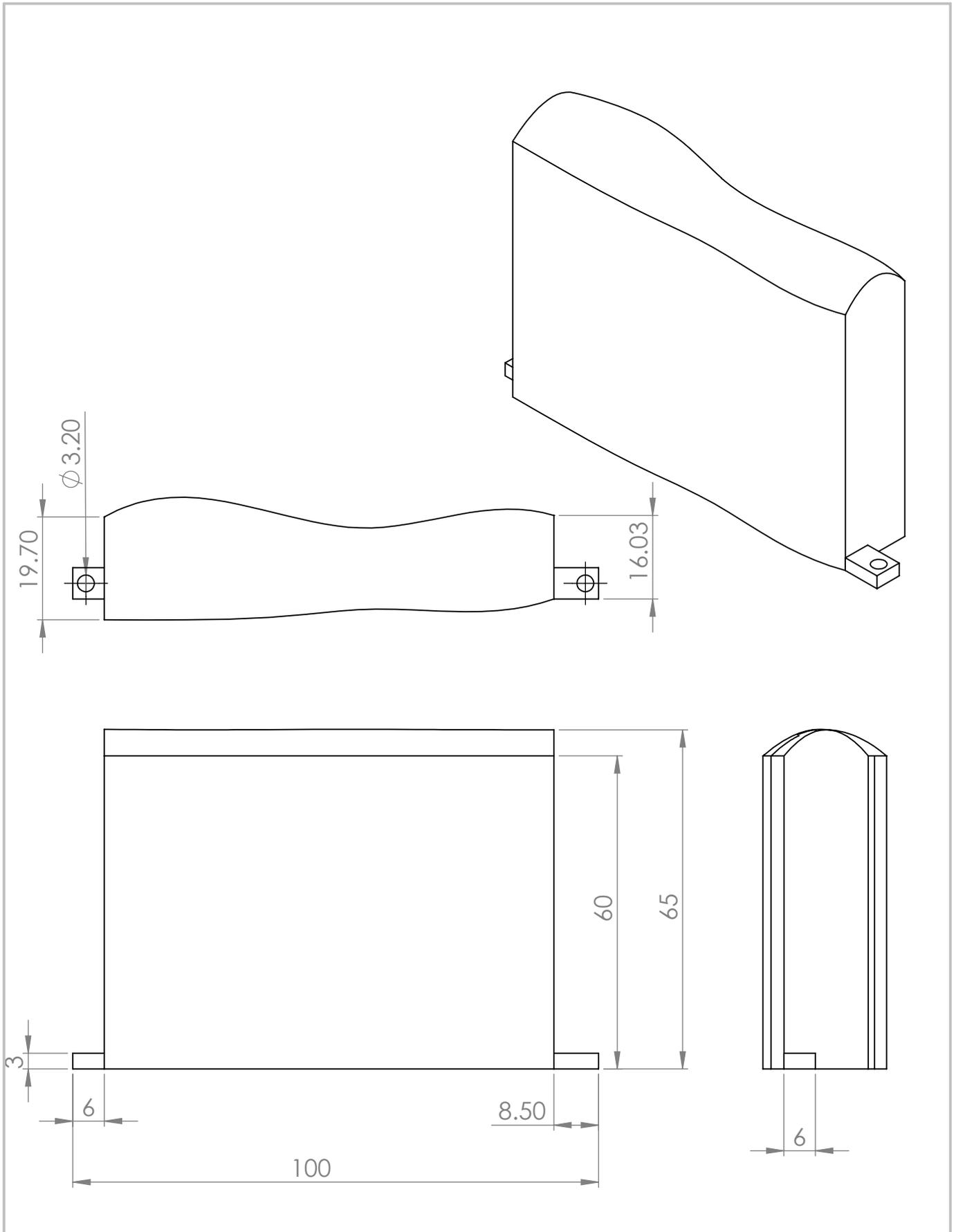
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Pata Exterior Trasera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

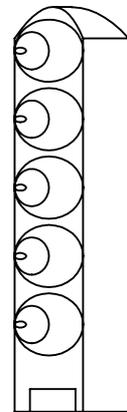
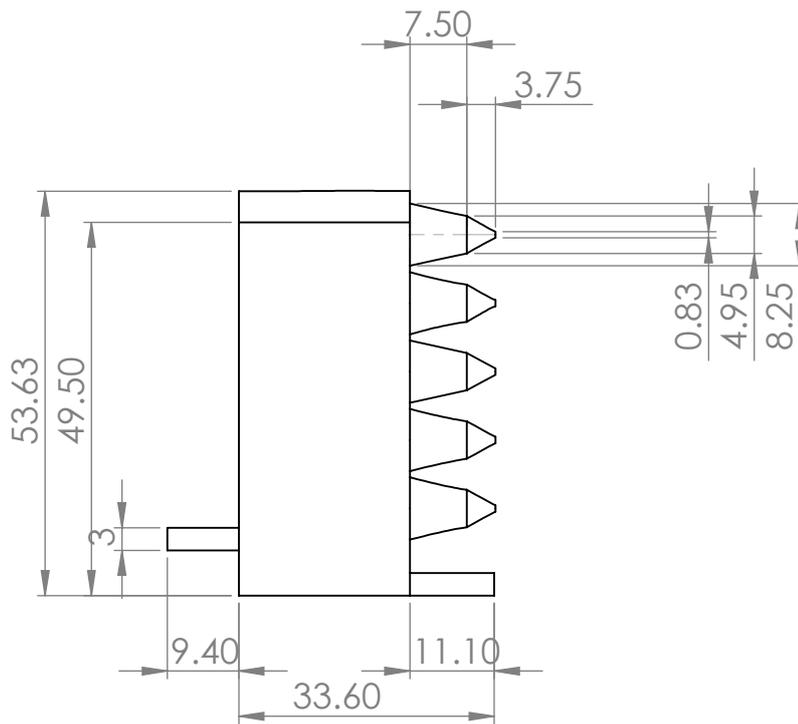
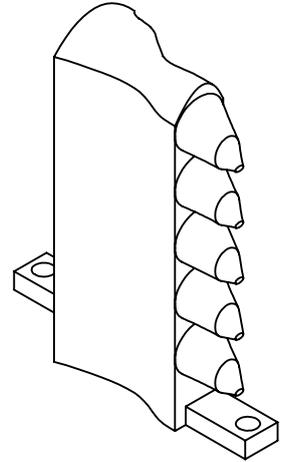
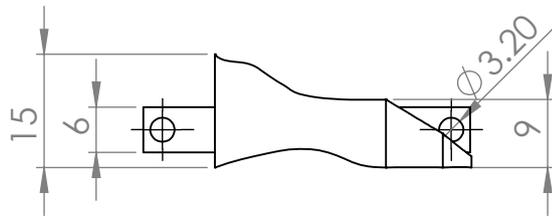
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Pata Interior Trasera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

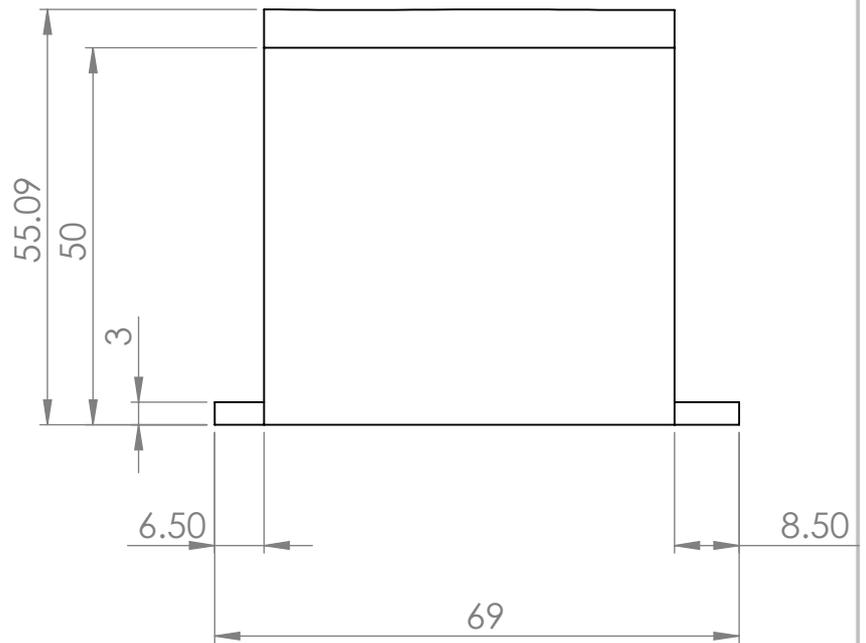
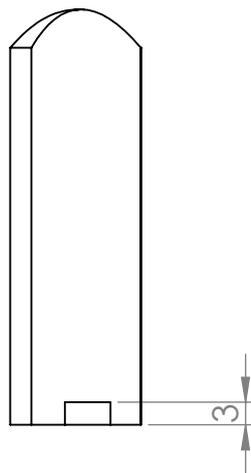
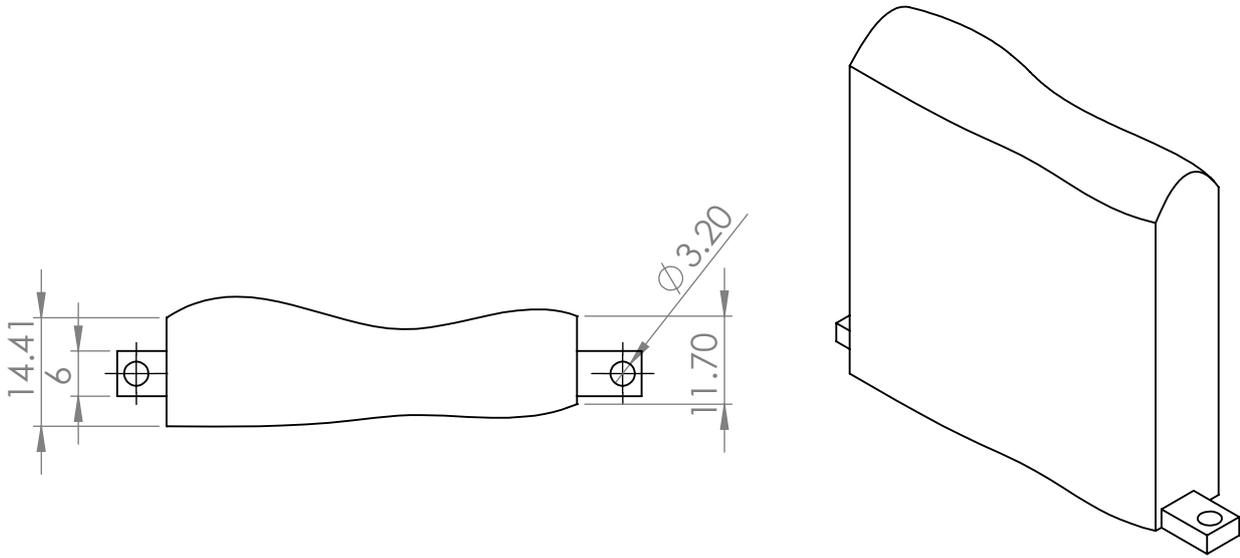
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Pata Exterior Delantera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

IPN

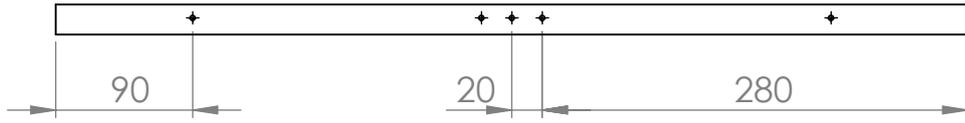
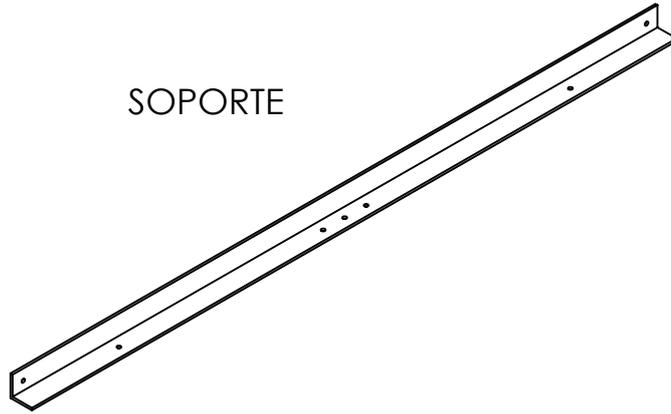
ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

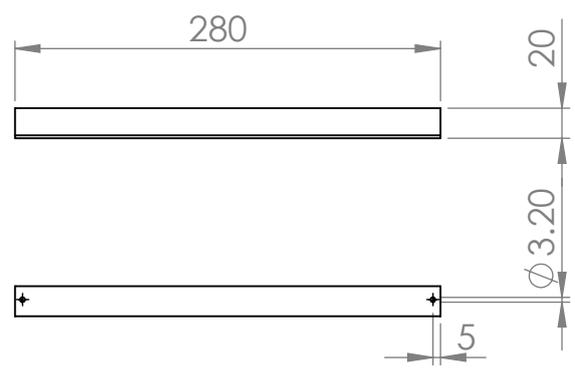
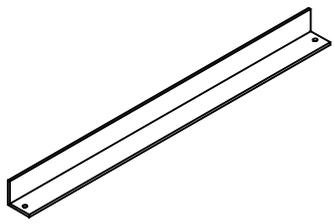
ACOTACION: mm

Pata Interior Delantera

SOPORTE



TRIANGULO



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

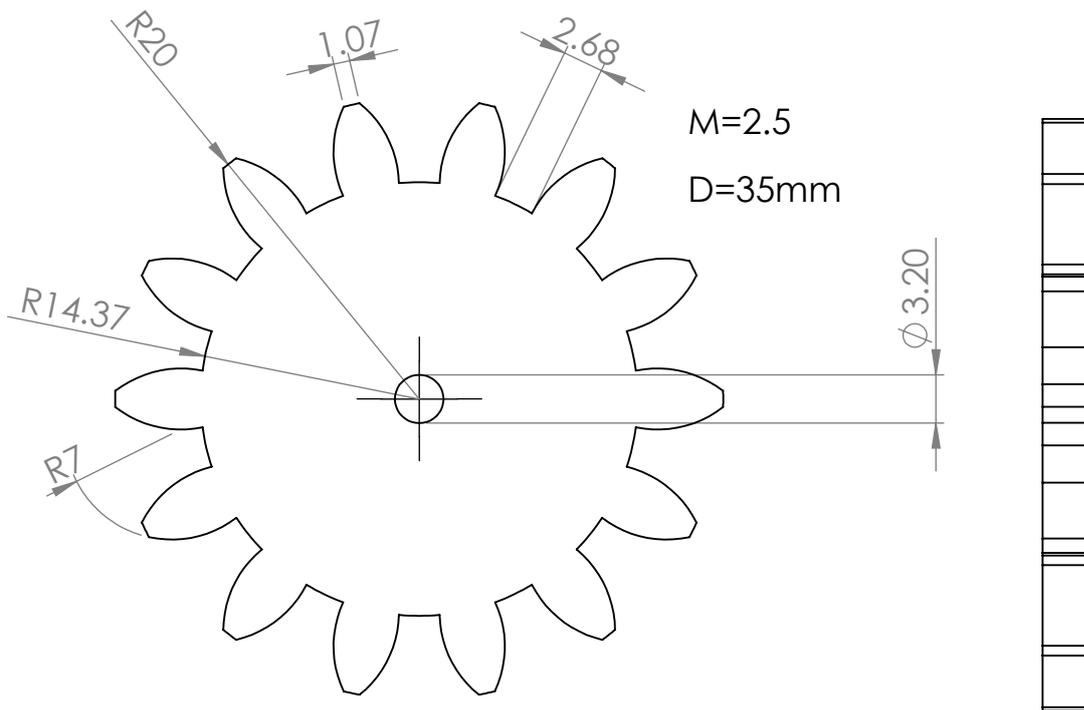
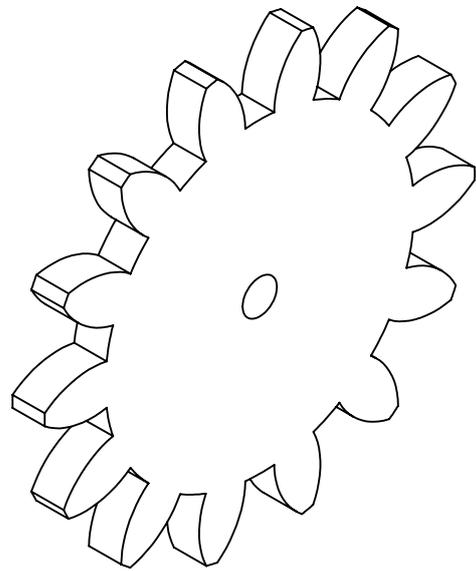
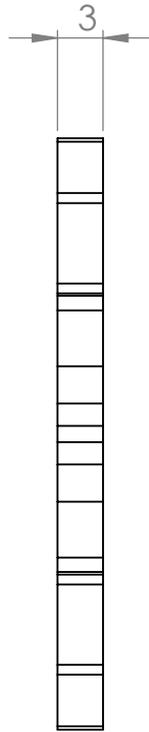
IPN

ESCALA: 1:5

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Soporte y Triangulo



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

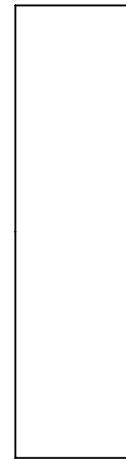
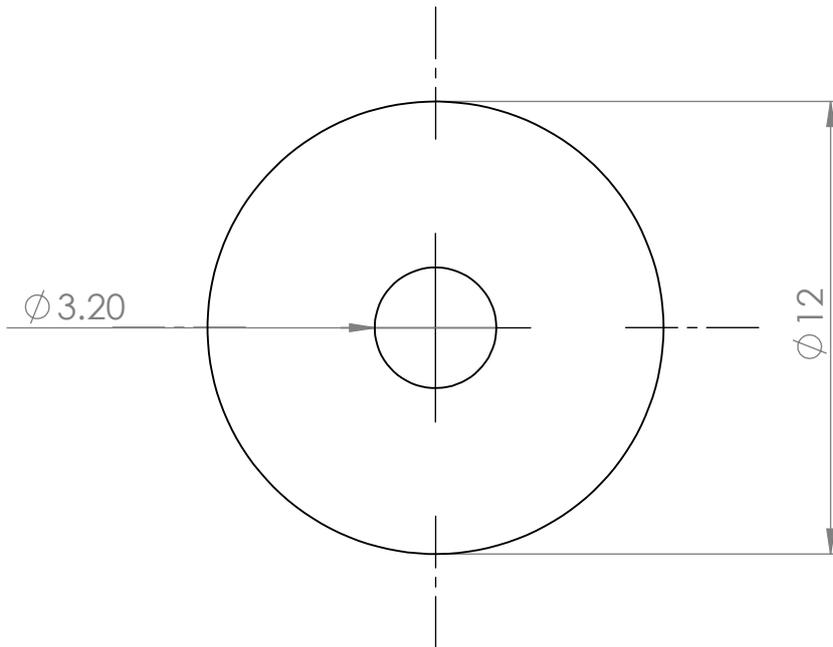
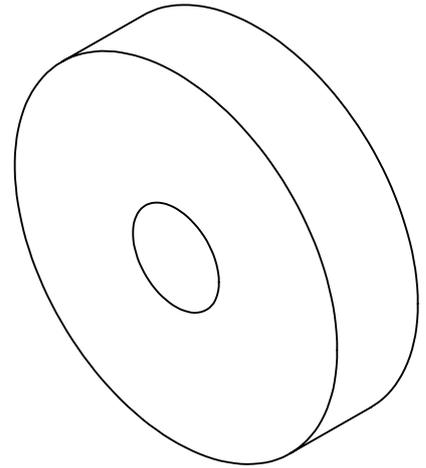
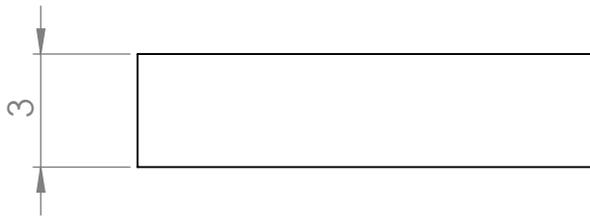
IPN

ESCALA: 2:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Engrane



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

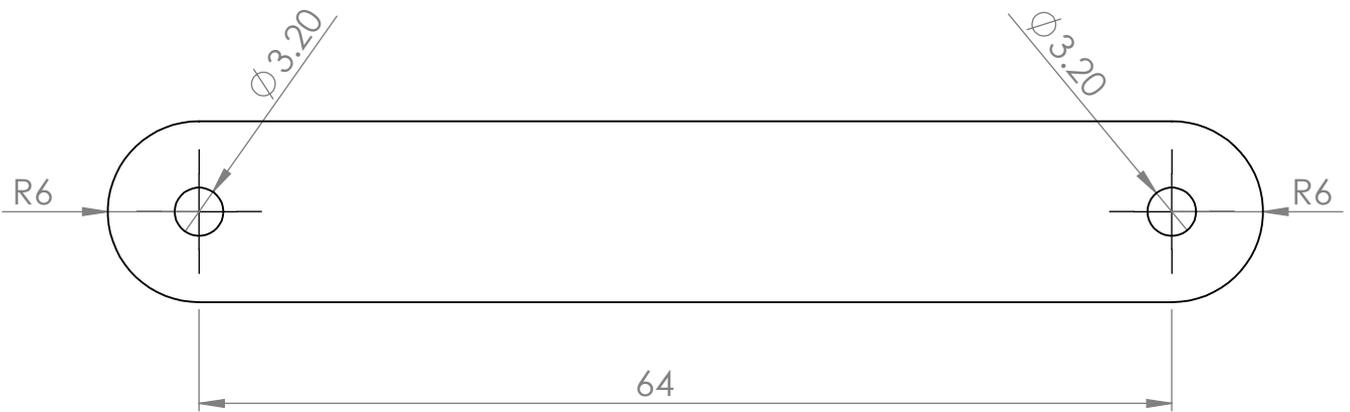
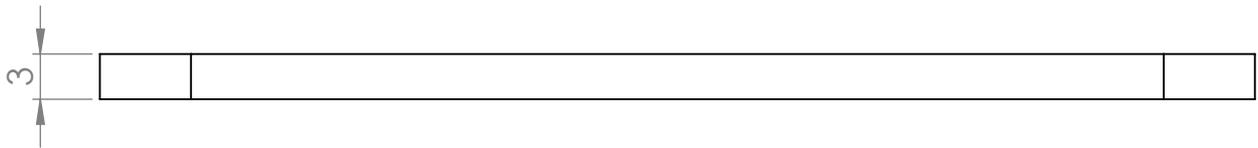
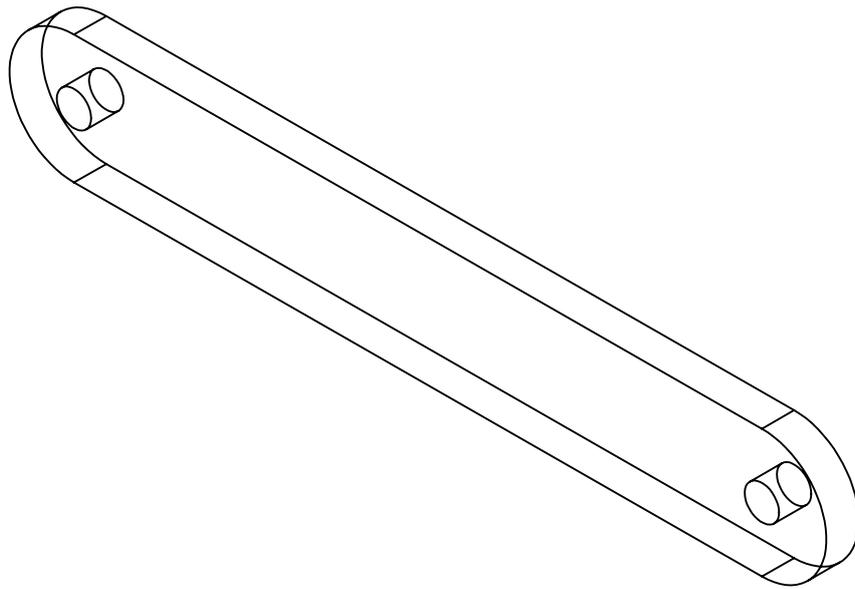
IPN

ESCALA: 5:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Tope



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

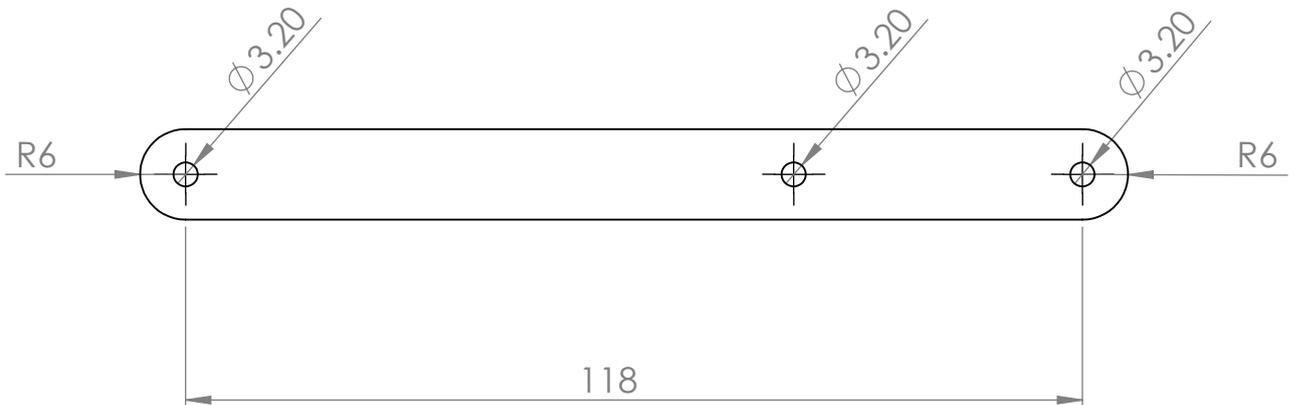
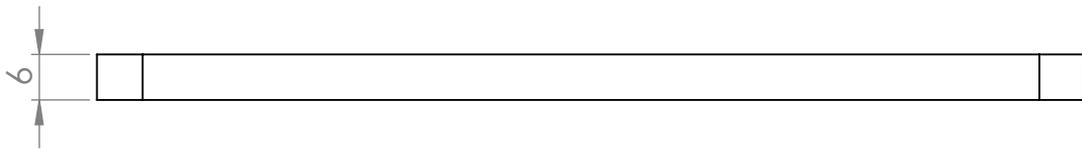
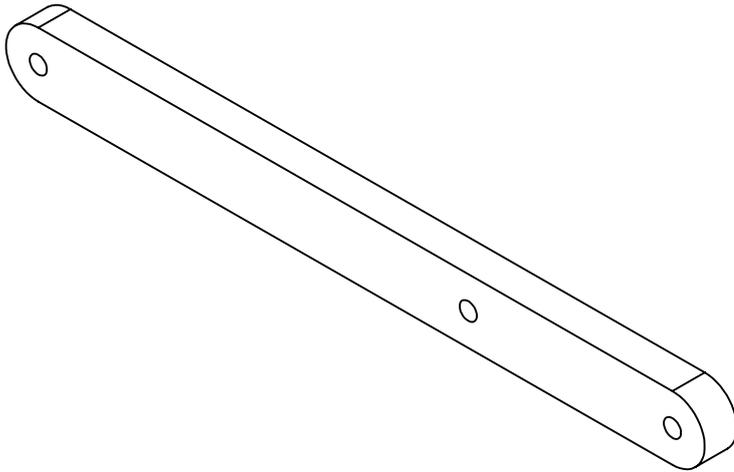
IPN

ESCALA: 2:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Balancin Delantero



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

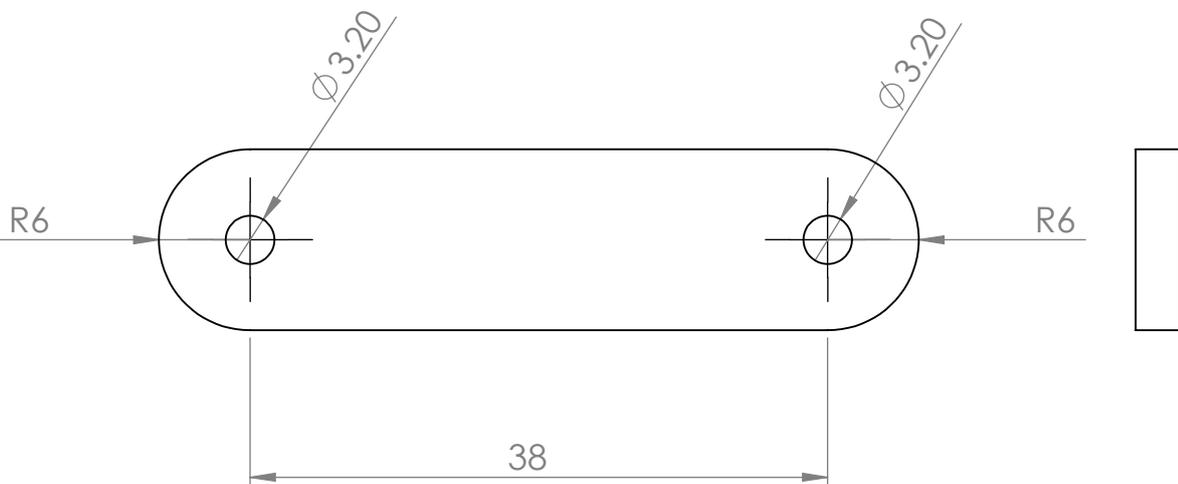
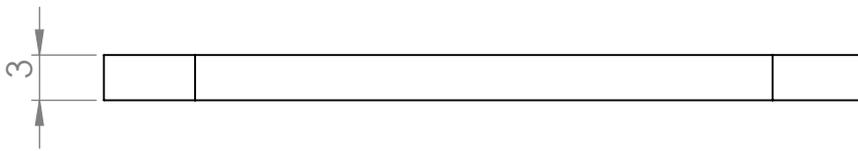
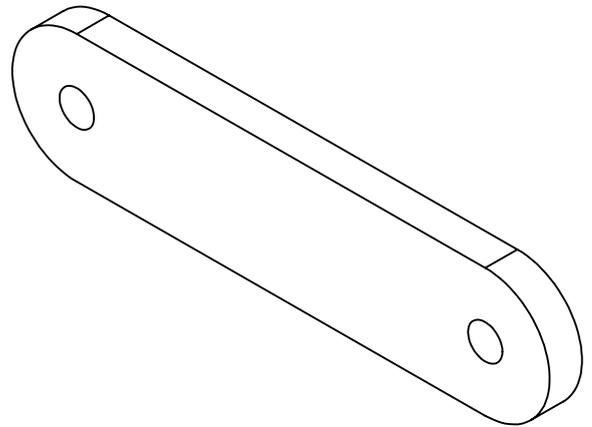
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Biela Delantera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

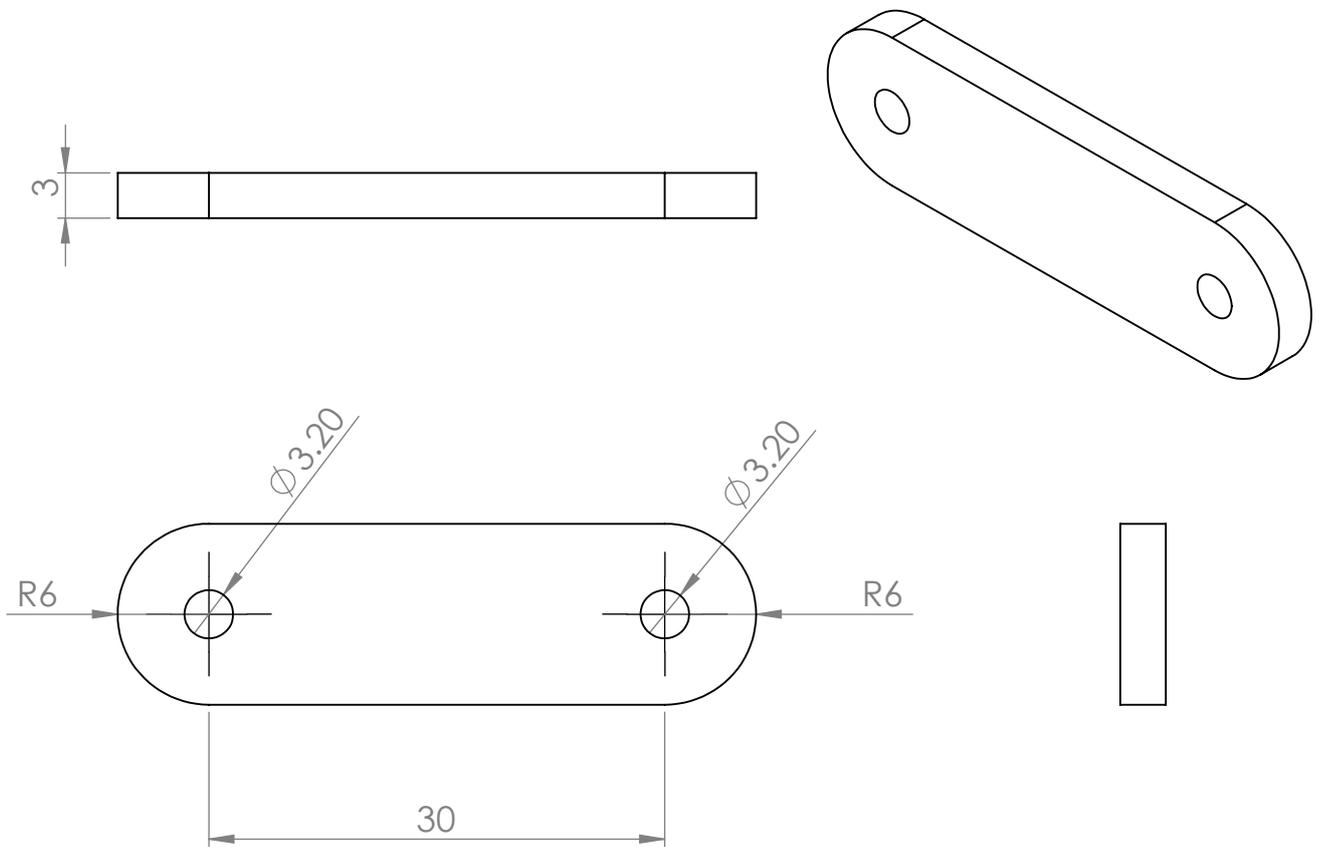
IPN

ESCALA: 2:1

ACOTACION: mm

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

Complemento Delantero



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

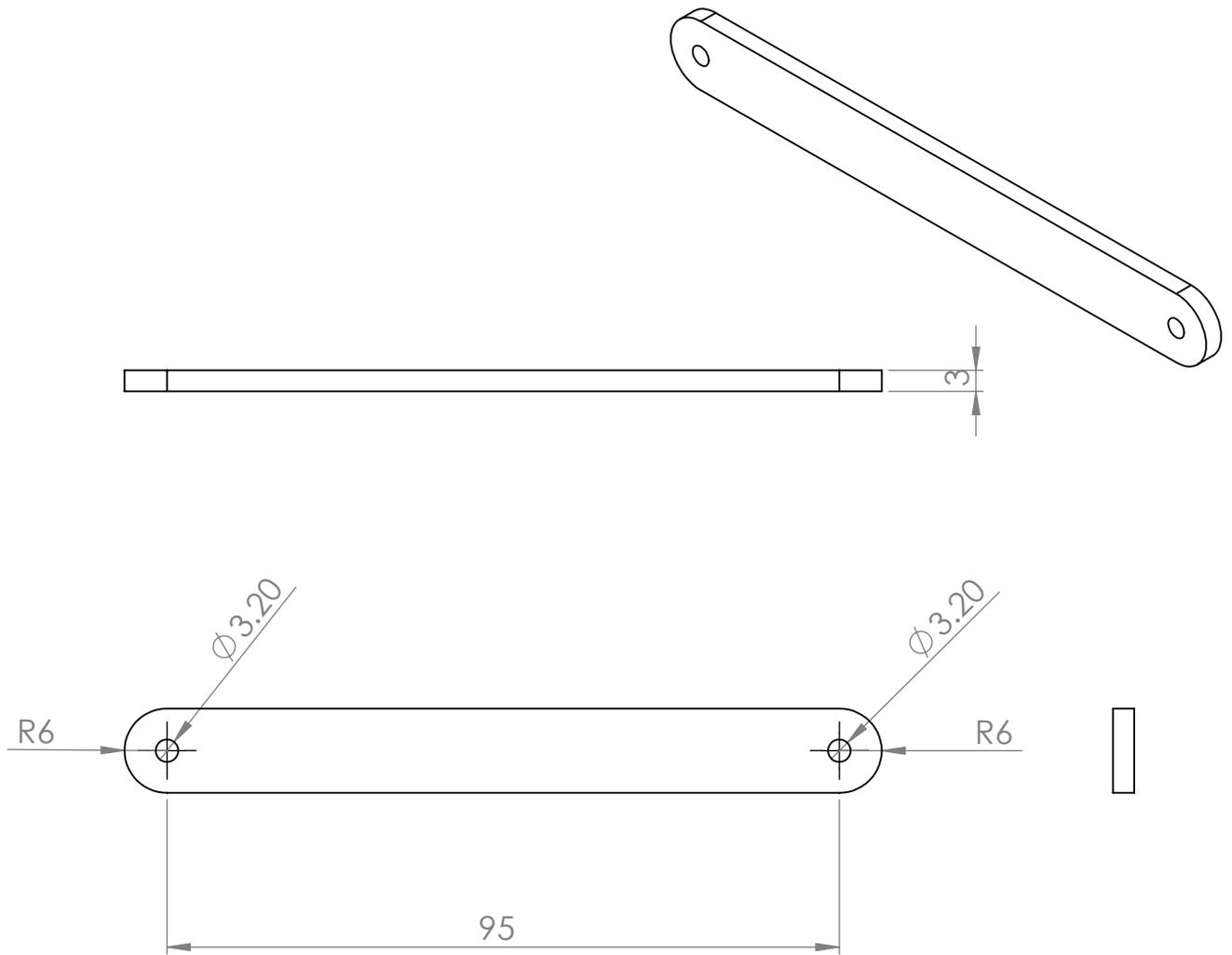
IPN

ESCALA: 2:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Manivela Delantera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

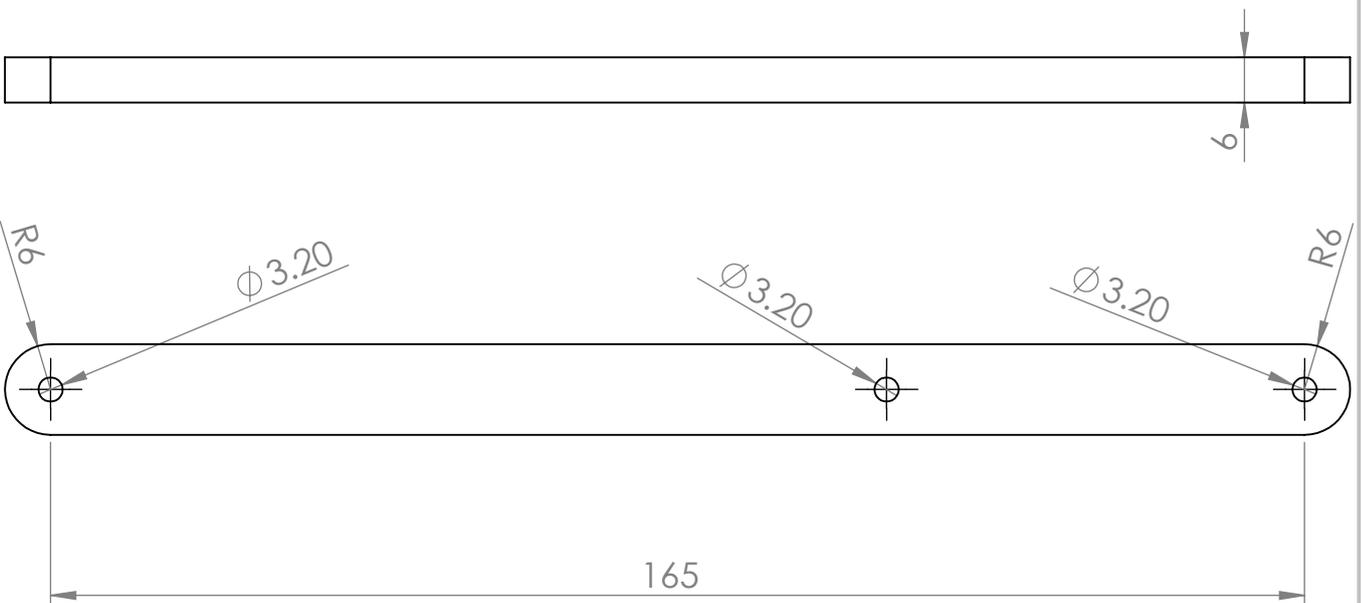
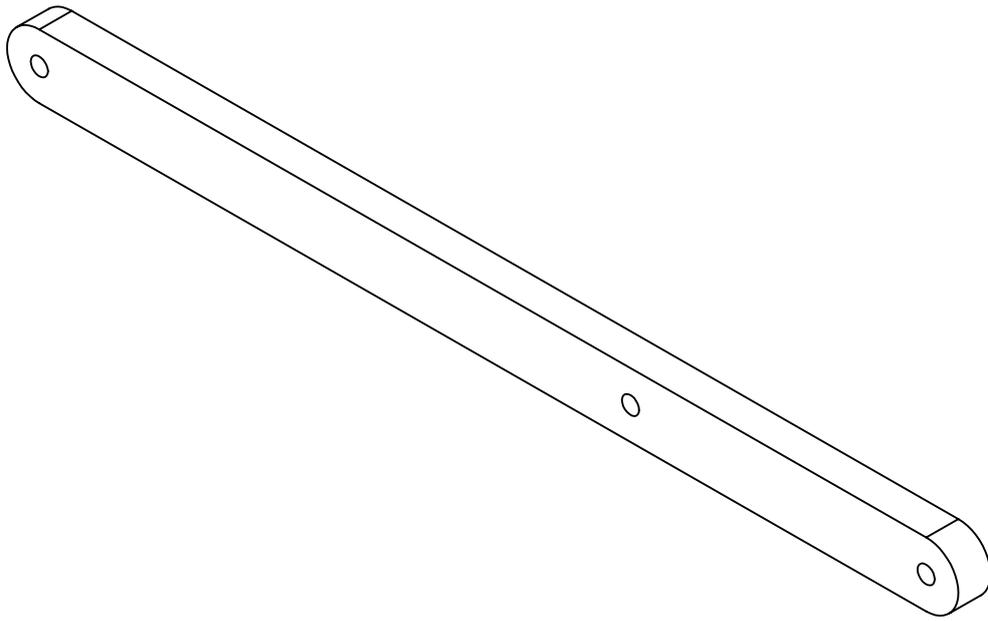
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Balancin Trasero



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

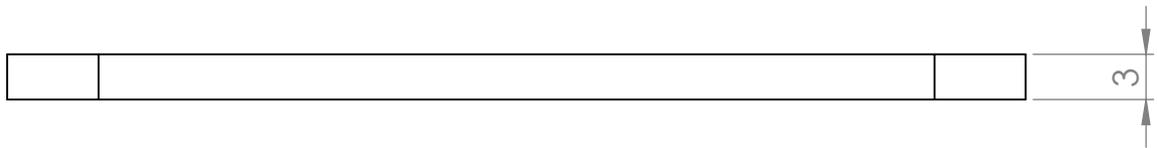
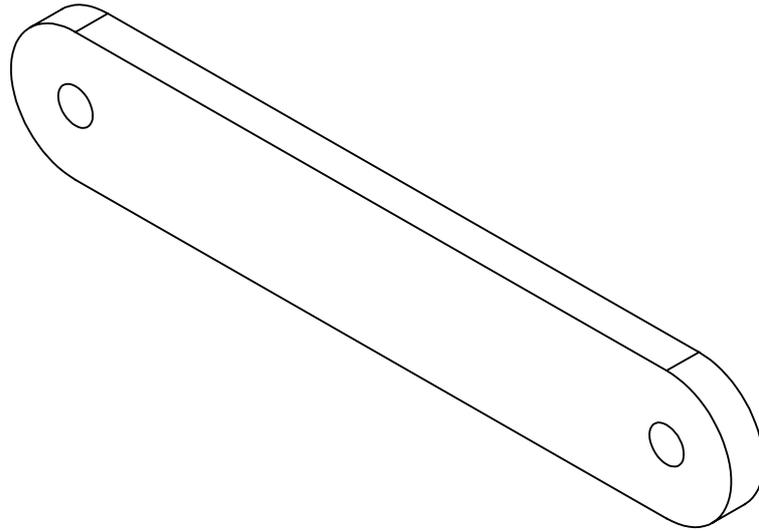
IPN

ESCALA: 1:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Biela Trasera



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

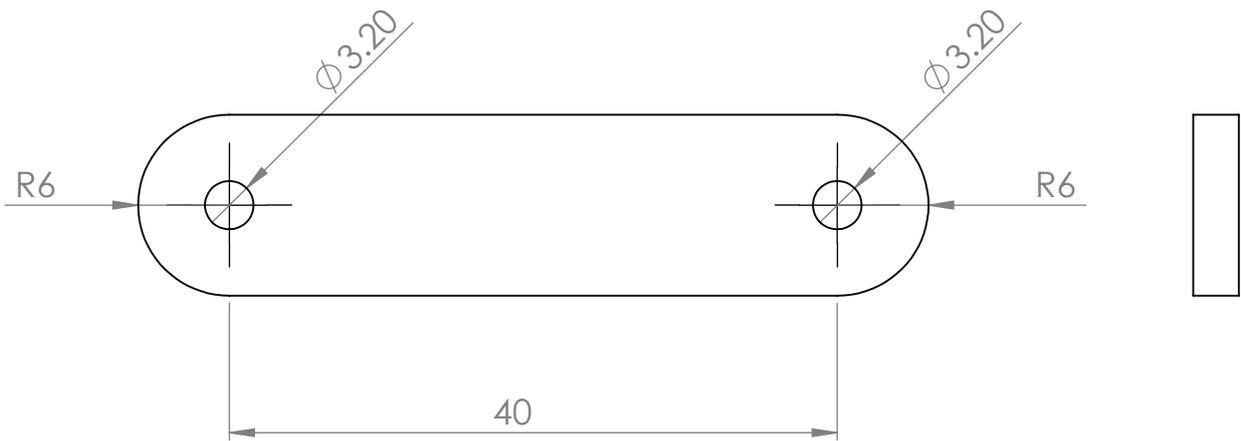
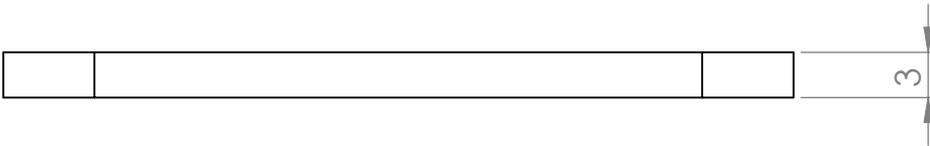
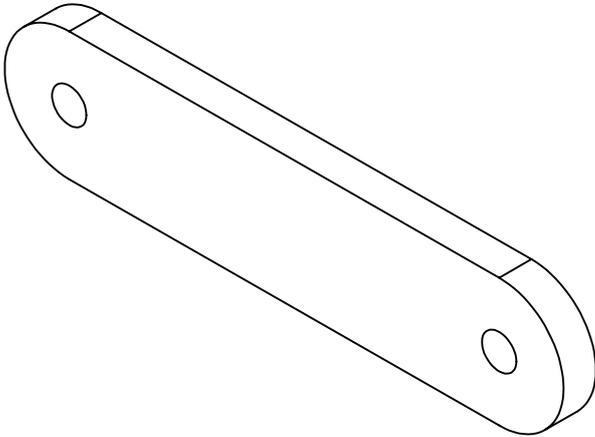
IPN

ESCALA: 2:1

ACOTACION: mm

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

Complemento Trasero



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS

IPN

ESCALA: 2:1

ELABORO: CEDILLO LEON - MARTINEZ GUERRA

ACOTACION: mm

Manivela Trasera