



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍAS AVANZADAS

Trabajo Terminal II

“Máquina para entrenamiento de aguilillas de Harris”

Que para obtener el título de
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presentan:

Mayra Fernanda Aguirre Vivo

Sebastian Vera Morales

Asesores:

Dr. Gastón Hugo Salazar Silva

M. en E. Elizabeth Rivas Bonilla

M. en C. Yves Jesús Pérez Delgado

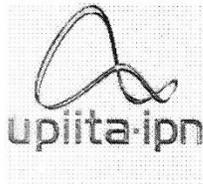
Presidente del Jurado: *Dr. Víctor Darío Cuervo Pinto*

Profesor Titular: *Dr. Leonel Germán Corona Ramírez*



Ciudad de México

Mayo, 2022



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Mayra Fernanda Aguirre Vivo
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los
derechos morales y patrimoniales de la obra titulada _____
Máquina para el entrenamiento de aguilillas de Harris

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 11 de mayo de 2022.

Atentamente



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Sebastian Vera Morales
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los
derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Máquina para
el entranamiento de aguilillas de Harris

_____, 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 11 de mayo de 2022.

Atentamente



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍAS AVANZADAS

Trabajo Terminal II

“Máquina para entrenamiento de aguilillas de Harris”

Que para obtener el título de:

“Ingeniero en Mecatrónica”

Presentan los alumnos

Mayra Fernanda Aguirre Vivo

Sebastián Vera Morales

Asesores

M. en E. Elizabeth Rivas Bonilla

Dr. Gastón Hugo Salazar Silva

M. en C. Yves Jesús Pérez Delgado

Presidente del Jurado

M. en C. Víctor Darío Cuervo Pinto

Profesor Titular

Dr. Leonel Germán Corona Ramírez

Dedicatorias

Ha pasado un año y medio desde que comenzamos a trabajar en este proyecto, y sigue siendo impresionante el crecimiento y el gran reto de implementación tras las condiciones mundiales; por ello comenzaré agradeciendo a mi equipo, mi compañero de trabajo terminal. Por todo su esfuerzo, insistencia, desvelos y apoyo durante este proyecto y toda nuestra formación profesional. Por la iniciativa de implementar nuestros conocimientos en esta área y por su gran compromiso con ello.

A nuestros asesores, que, a través de su conocimiento, nos guiaron y compartieron su valioso tiempo además de interés constante en nuestro proyecto a pesar de las circunstancias.

A mis padres, por enseñarme a cuestionarme, comprenderme y apoyarme en cada decisión tomada durante mi corta vida. Por enseñarme a construir mi criterio, confianza, y a trabajar por lo que quiero. Pero, sobre todo, agradezco la enseñanza de hacerlo todo con responsabilidad y con mucho amor.

A mi hermana, por haber estado en los momentos más difíciles apoyándome con sus risas y también con su existencia desde el 2001.

A mis familiares que me apoyaron en todo momento en la carrera sosteniéndome en momentos difíciles y celebrando mis triunfos como propios. Pero sobre todo a aquellos que no pudieron compartir hasta el final este momento conmigo. Aun estando lejos, los llevo siempre presentes en cada una de sus bendiciones, consejos y ánimos para seguir adelante.

A mis amigos, tanto aquellos que me acompañaron en las aulas, como aquellos que se volvieron mis compañeros de departamento, además de aquellos que me acompañan antes y fuera de mi formación profesional. Por la vida, experiencias, pláticas, proyectos, prácticas, tardes de estudio en la biblioteca, juegos de básquet, comidas, hackáthones, amistad, amor, apoyo y todas las noches de desvelo. Todas y cada una de estas personas excepcionales me inspiraron desde su persona a mantenerme fiel a mis objetivos. Los llevo en mi corazón.

Finalmente me gustaría dedicarme este trabajo. Por todo el esfuerzo y estrategia aplicada en estos últimos años. Por lo resiliencia y determinación con la que te has mantenido. Por todos esos éxitos y los fracasos.

Mayra Fernanda Aguirre Vivo.

Este trabajo va dedicado principalmente a mis padres Gerardo y Maribel, los cuáles me han dado todo el apoyo para que siga con mis estudios y mis metas, ya que desde pequeño pusieron todo su esfuerzo, dedicación desvelos y tiempo para convertirme en la persona que soy actualmente. A ellos les agradezco infinitamente por toda la paciencia, el cariño, el amor y el apoyo que siempre me han brindado incondicionalmente, en las buenas, en las malas y en las peores. Siempre serán mi inspiración, mi orgullo y mi ejemplo a seguir, los amo con todo mi corazón y no me alcanzará la vida para poder agradecerles todo lo que me han dado.

A mi hermana Quetzalli, que siempre me ha apoyado, regañado, aconsejado, hemos reído, llorado y disfrutado momentos maravillosos juntos, además de haber estado ahí cuando más la necesité. Hermanita, siempre estaré orgulloso de la mujer en la que te estas convirtiendo y lo mucho que vas a lograr y alcanzar, y de la misma manera espero haber sido un buen ejemplo para ti y que tú te sientas orgullosa de mí. Te amo.

A mis abuelitos Francisco, Maribel y Carmelita, por todo el amor apoyo y cariño que siempre me han dado desde el día que llegué a este mundo, por todas sus enseñanzas, experiencias vividas con ellos, viajes y momentos hermosos que hemos pasado. Gracias por confiar, creer en mí y quererme, espero se sientan orgullosos de mí siempre, así como también espero tenerlos muchos años conmigo para que me vean crecer y seguir alcanzando muchas más metas.

A mis tíos Francisco Javier, Juan Ignacio, Tizoc y Hugo, por ser como mis padres durante toda mi niñez, gracias por haberme enseñado muchas cosas, haberme regañado cuando lo necesitaba, haberme guiado y haber compartido muchas experiencias juntos, de igual manera espero se sientan orgullosos de verme crecer y alcanzar mis metas, así como me siento orgulloso de ser su sobrino. Los amo.

A mi tía Mónica, que ha sido una segunda mamá para mí, que me ha protegido, cuidado, procurado y ayudado siempre incondicionalmente, gracias infinitamente por todo el amor que me has dado. Gracias, porque siempre es una dicha tener una mamá, pero en esta ocasión Dios me bendijo con dos. Te amo con todo mi corazón.

A mis tías Isaura, Rosa María, por enseñarme, ayudarme, apoyarme, ser un gran ejemplo en mi vida y confiar en mí, espero que se sienta orgullosas de verme crecer y alcanzar mis sueños y metas. A mis tías Guadalupe y Cecilia y mi tío Eduardo, por apoyarme, echarme porras y siempre quererme. Los amo.

A mi tío Jesús, por la buena relación que comenzamos a llevar, la ayuda que me ha brindado, así como todo lo que aprendido de él. Gracias, lo aprecio mucho.

A mis tías Irene y Blanca, por todas las enseñanzas y experiencias vividas, así como los consejos que me han servido en mi vida. Las quiero.

Especialmente a mis primos hermanos, Damián, Leonardo, Montserrat, Carolina, Nayla, Esmeralda, José Carlos, Daniela, Jesús, por convivir conmigo, vivir hermosas experiencias, risas, llantos, por estar ahí en los momentos importantes y siempre apoyarnos unos a otros en las situaciones difíciles, gracias por ser mis amigos y tener la dicha de haber crecido juntos y gracias por siempre creer en mí. De la misma manera a mis primos, Cesar, Ivette, Irene, Ángel, Brenda,

Andrea, Karen, Berenice, Jonathan, por siempre haber confiado en que este logro se concretaría y siempre haber sido muy buenos conmigo y por todas esas palabras de aliento que siempre recibí de ustedes. A todo los amo.

A toda la gran familia Salud, la familia Vera y la familia Morales cuyo cariño es muy especial tanto a mis tíos que ya no están aquí como a los que siguen con nosotros, a mis primos que tengo años sin ver pero que han sido una gran inspiración en todos los sentidos tanto en mi desarrollo como en mi vida personal. Los amo a todos.

A mi compañera Mayra Fernanda con la que pasé toda la carrera y con quien viví experiencias increíbles, pasamos momentos hermosos y difíciles. Crecimos, aprendimos, conocimos y disfrutamos cosas maravillosas. Gracias por estar siempre ahí conmigo, por regañarme cuando lo necesitaba, por enseñarme, por darme la oportunidad de enseñarte y por siempre ser una estrella en mi camino guiándome y ayudándome, nunca olvidaré todo lo que vivimos y compartimos, sé que alcanzaremos cosas grandiosas, este solamente es un logro más de tantos que sé que vendrán. Siempre estarás en mi corazón. Te amo.

A todos mis profesores, que me han formado académicamente y que han sido mis mentores, tanto en la carrera como en la vida. Agradezco todas las enseñanzas y aprendizaje el cuál tuve la dicha de adquirir, agradezco haber sido su alumno y haber sufrido y disfrutado durante estos 5 largos años.

A mis compañeros y amigos que pude conocer y con los que conviví toda la carrera, gracias por esos buenos momentos y por todo ese cariño y consideración que siempre me brindaron tanto en las buenas como en las malas. Los quiero a todos y siempre estarán en mi corazón.

Este pequeño gran logro es gracias a cada uno de ustedes que me ha hecho aprender a lo largo de toda mi vida, y con quien he compartido experiencias tanto buenas como malas, son a quienes siempre llevo en mi mente y en mi corazón, a los que agradeceré infinitamente y siempre estaré en deuda. No me alcanzan las palabras para describir mi cariño hacia ustedes y toda mi gratitud. Gracias infinitas.

Sebastian Vera Morales.

Agradecimientos

A nuestros asesores. A la profesora Elizabet Rivas Bonillas, el profesor Yves Jesús Pérez Delgado y el profesor Gastón Hugo Salazar Silva. Por compartir sus conocimientos y experiencias adquiridas a través de los años. Por todas las horas prestadas a este proyecto en consultas, atención al detalle, sugerencias y revisiones. Por su paciencia y compromiso con este trabajo terminal hasta su entrega pese a las adversidades.

Al profesor y titular del módulo Trabajo Terminal Leonel Corona Ramírez. Por su guía, paciencia, apoyo y esfuerzo a lo largo de este proyecto.

A todas las personas que nos brindaron apoyo con maquinaria y espacio para la manufactura de este proyecto.

A los profesores a lo largo de nuestra carrera, por brindarnos herramientas y guías para desarrollar proyectos a lo largo de nuestra formación, incluyendo este trabajo terminal.

A la UPIITA y al Instituto Politécnico Nacional por habernos permitido la oportunidad de formarnos profesionalmente en sus instalaciones y dentro de su comunidad.

Contenido

Dedicatorias	5
Agradecimientos	8
Índice de figuras	13
Índice de tablas	17
Resumen	19
Abstract	20
Simbología	21
1 Introducción	25
1.1 Planteamiento del problema	25
1.2 Justificación	25
1.3 Objetivos	27
1.3.1 General	27
1.3.2 Específicos	27
2 Marco de referencia	29
2.1 Sobre la cetrería	29
Definición de Cetrería	29
Cetrería en México	29
Entrenamiento de aves rapaces	29
Medidas de seguridad al trabajar con aves rapaces	31
Modalidades de caza	34
2.2 Sobre el aguililla de Harris	35
<i>Aguililla de Harris</i>	35
2.3 Sobre los señuelos mecánicos	36
Primeros prototipos	36
Señuelos o liebres mecánicas	38
Señuelos mecánicos comerciales	39
Bull-x.....	39
2.4 Marco teórico	40
Motor de corriente directa	40
Modelo del motor de corriente continua	40
Controlador PID	42

Cinemática del enrollado de un carrete	43
Modulación por ancho de pulso (PWM)	44
Puente H	44
Polinomios de tercer grado para seguimiento de trayectorias	44
2.5 Marco procedimental	47
2.5.1 Metodología de Diseño	47
2.5.2 IDEF0	49
3 Diseño del sistema.....	50
3.1 Necesidades del sistema	50
3.1.2 Requisitos del cliente	50
3.1.3 Proceso de análisis jerárquico	51
3.2 Áreas Funcionales	54
3.3 Diseño conceptual	56
3.3.1 Matriz morfológica	57
3.3.2 Selección del diseño conceptual.....	62
3.3.2 Arquitectura física	62
3.3.3 Transmisión de movimiento	64
3.4 Diseño detallado	65
3.4.1 Configurar velocidad.....	65
3.4.2 Arrastrar señuelo	75
3.4.3 Detener señuelo mecánico	89
3.4.4 Exponer resultados	90
3.4.5 Estructura.....	91
3.5 Manufactura.....	92
3.5.1 Configurar velocidad	92
3.5.2 Arrastrar señuelo	92
3.5.3 Detener señuelo mecánico	95
3.5.4 Exponer resultados	97
3.5.5 Estructura.....	98
4 Implementación del sistema	101
4.1 Implementación del área funcional 1: Configurar velocidad	101
4.2 Implementación del área funcional 2: Arrastrar señuelo	102

4.3 Implementación del área funcional 3: Detener señuelo mecánico	103
4.3.1 Implementación del control	103
4.5.2 Implementación de circuito de control	104
4.4 Implementación del área funcional 4: Exponer resultados	105
5 Análisis de ingeniería	107
5.1 Área 2: Arrastrar señuelo	107
5.2 Área estructural	108
Costos	111
Cronogramas	112
Conclusiones	113
Trabajos y recomendaciones a futuro	114
Referencias	115
Apéndices	119
A. Programa del control PI	119
B. Encoder incremental rotativo	124
C. Motor de Corriente Directa	124
D. Aplicación móvil	125
E. Programa del polinomio de tercer grado	147
F. Conexión bluetooth entre teléfono y tarjeta de desarrollo	149
H. Explosionado del señuelo mecánico	151
I. Módulo BTS7960	152
J. Diodo de conmutación rápida FFH75H60S	153

Índice de figuras

<i>Imagen 1. Cadete del colegio militar de México sosteniendo un águila real [4].</i>	29
<i>Imagen 2. Diagrama de flujo del entrenamiento básico de aves rapaces [1].</i>	30
<i>Imagen 3 Halcón devorando a su presa sobre el guante del cetrero [12].</i>	31
<i>Imagen 4 Caperuza holandesa(izquierda), caperuza anglo-india(derecha) [41, 42].</i>	32
<i>Imagen 5 Guante para cetrería [6].</i>	32
<i>Imagen 6 Par de pihuelas [43].</i>	33
<i>Imagen 7 Destorcedor unido en su extremo con una lonja [44].</i>	33
<i>Imagen 8 Perchas para aves de presa [42].</i>	34
<i>Imagen 9 Halcón peregrino cayendo en picada para matar a su presa [45].</i>	34
<i>Imagen 10 Aguililla de Harris atrapando a su presa [46].</i>	35
<i>Imagen 11. Aguililla de Harris posada en una rama [7].</i>	36
<i>Imagen 12. Boceto de una máquina para señuelos [9].</i>	37
<i>Imagen 13 Liebre mecánica con interruptor para variar velocidad [51].</i>	38
<i>Imagen 14 Señuelo mecánico con control a distancia [52].</i>	38
<i>Imagen 15 Señuelo mecánico estándar marca Bull-X [17].</i>	39
<i>Imagen 16. Máquina de entrenamiento de aves de presa y perros marca Bull-x [18].</i>	39
<i>Imagen 17 Modelo electromecánico de un motor de corriente directa.</i>	40
<i>Imagen 18. Ciclos del PWM</i>	44
<i>Imagen 19 Diagrama de la metodología de diseño mecatrónico en V [29]</i>	47
<i>Imagen 20 Diagrama de la metodología de diseño mecatrónico en V [29]</i>	48
<i>Imagen 21 Ajuste de la confección del resultado por medio de una sucesión de macrociclos [31]</i>	48
<i>Imagen 22 Diagrama IDEF0</i>	49
<i>Imagen 23 Diagrama IDEF0 general del proyecto.</i>	54
<i>Imagen 24 Diagrama IDEF0 con detallando las áreas funcionales.</i>	55
<i>Imagen 25. Primera propuesta de estructura con forma de "Media luna" prismática.</i>	57
<i>Imagen 26. Segunda propuesta de estructura con forma de "Media luna" en su sección transversal.</i>	58
<i>Imagen 27. Tercera propuesta de estructura en forma de arco con lados rectos.</i>	59
<i>Imagen 28. Cuarta propuesta de estructura con vista superior en "L".</i>	60
<i>Imagen 29 Quinta propuesta de estructura.</i>	61
<i>Imagen 30 Diagrama del acople entre ejes.</i>	64
<i>Imagen 31 Tarjeta de desarrollo NUCLEO-64 STM32446RE [32]</i>	65
<i>Imagen 32 Módulo HC-05 [33].</i>	66
<i>Imagen 33 Diagrama de flujo del programa para la conexión bluetooth.</i>	66
<i>Imagen 34 Formato de los datos enviados por la aplicación.</i>	67
<i>Imagen 35 Perfil de velocidad del recorrido completo.</i>	68
<i>Imagen 36 Polinomio de velocidad correspondiente al arranque.</i>	69
<i>Imagen 37 Diagrama de flujo del programa para la generación del perfil de velocidad.</i>	70
<i>Imagen 38 Diagrama de flujo correspondiente al programa del control PI.</i>	71

<i>Imagen 39 Encoder incremental de 400 pulsos por revolución [35].</i>	72
<i>Imagen 40 Medidas de la polea dentada de 8mm acoplada al eje del motor [49].</i>	73
<i>Imagen 41 Medidas de la polea dentada de 6.35mm acoplada al encoder [49].</i>	73
<i>Imagen 42 Polea dentada de 8mm a la izquierda y polea dentada de 6mm a la derecha.</i>	74
<i>Imagen 43. Ángulos presentados en la línea de pesca antes del recorrido con respecto del eje..</i>	75
<i>Imagen 44. Ángulos presentados en la línea de pesca después del recorrido con respecto del eje.</i>	76
<i>Imagen 45. Modelo 3D de carrete.</i>	79
<i>Imagen 46. Motor 63ZYT03C-12V [36]</i>	82
<i>Imagen 47. Diagrama de motor con sus cargas y disposición del carrete.</i>	83
<i>Imagen 48. Diagrama de cargas y momentos en el plano zy.</i>	84
<i>Imagen 49. Diagrama de cargas y momentos en el plano zx</i>	85
<i>Imagen 50 Módulo BTS7960</i>	87
<i>Imagen 51 Datos del transistor de conmutación rápida FFH75H60S.</i>	88
<i>Imagen 52 Disipador de calor con ventilador.</i>	88
<i>Imagen 53 Polinomios de desaceleración para el paro.</i>	89
<i>Imagen 54 Acerca de la versión del software utilizado.</i>	90
<i>Imagen 55. Interfaz de usuario de la aplicación vista desde el emulador del software de desarrollo.</i>	90
<i>Imagen 56. Estructura manufacturada, forrada en vinil.</i>	91
<i>Imagen 57 Acoplamiento entre el motor y el encoder mediante las poleas dentadas y la banda.</i>	92
<i>Imagen 58 Eje de acero.</i>	92
<i>Imagen 59 Acople de 8x12.</i>	93
<i>Imagen 60 Chumacera de 12mm.</i>	93
<i>Imagen 61 Acoplamiento del eje, acople y chumacera.</i>	93
<i>Imagen 62. Soporte impreso en 3D para el motor y el encoder.</i>	94
<i>Imagen 63 Diseños 3D de los soportes para el motor (lado izquierdo) y encoder (lado derecho).</i>	94
<i>Imagen 64 Trozo de perfil de aluminio y disipador de calor con perforaciones de 1/8".</i>	95
<i>Imagen 65 Puente H BTS7960 modificado.</i>	95
<i>Imagen 66 Placa terminada después de la eliminación del cobre.</i>	96
<i>Imagen 67 Soldado de los componentes a la placa fenólica terminada.</i>	96
<i>Imagen 68 Circuito terminado con los disipadores de calor añadidos.</i>	96
<i>Imagen 69 Versión de Software de desarrollo</i>	97
<i>Imagen 70 Diagrama de flujo del funcionamiento general del señuelo mecánico.</i>	97
<i>Imagen 71. Proceso de corte y unión estructural</i>	98
<i>Imagen 72. cubierta frontal soldada, desbastada y colocada.</i>	99
<i>Imagen 73. Lámina trasera colocada con una sujeción no permanente.</i>	99
<i>Imagen 74. Presentación de lámina inferior en conjunto con el mecanismo de anclaje.</i>	99
<i>Imagen 75. presentación de la estaca previa al ajuste y acondicionamiento.</i>	100
<i>Imagen 76. Estaca soldada y finalizada.</i>	100
<i>Imagen 77 Estructura terminada.</i>	100
<i>Imagen 78 Gráfica de los datos obtenidos mediante la NUCLEO 64</i>	101

<i>Imagen 79 Soporte montado y presentado en el interior de la estructura.</i>	102
<i>Imagen 80 corte en diagonal de banda para ajuste y vulcanización y montaje con encoder y motor.</i>	102
<i>Imagen 81 Señal de salida en el encoder alimentado directamente</i>	103
<i>Imagen 82 Señal de salida en el encoder implementando un control de lazo abierto.</i>	103
<i>Imagen 83 trayectoria de velocidad programada junto con el control.</i>	104
<i>Imagen 84 Conexiones para la prueba de integración de áreas y módulos.</i>	104
<i>Imagen 85 Ventana perteneciente a la clase Main.</i>	105
<i>Imagen 86 Ventana perteneciente a la clase RaubVogel</i>	106
<i>Imagen 87. Análisis de esfuerzos en subensamble de eje para carrete.</i>	107
<i>Imagen 88. Acercamiento al gráfico de factor de seguridad del análisis estático.</i>	108
<i>Imagen 89 Análisis de esfuerzos en el soporte del motor.</i>	108
<i>Imagen 90. Gráficos de análisis de esfuerzos en el soporte para motor.</i>	109
<i>Imagen 91. Gráfico de Factor de seguridad del soporte del motor.</i>	109
<i>Imagen 92. Análisis estático de esfuerzos, estructura de señuelo mecánico.</i>	110
<i>Imagen 93. Factor de seguridad en la estructura del señuelo mecánico.</i>	110

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Requisitos del cliente.</i>	50
<i>Tabla 2. Criterios de evaluación.</i>	51
<i>Tabla 3 Ponderaciones y criterios para la evaluación.</i>	52
<i>Tabla 4. Matriz de paridad.</i>	52
<i>Tabla 5. Ponderación de los criterios</i>	53
<i>Tabla 6. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 1</i>	57
<i>Tabla 7. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 2</i>	58
<i>Tabla 8. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 3</i>	59
<i>Tabla 9. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 4.</i>	60
<i>Tabla 10. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 5.</i>	61
<i>Tabla 11. Asignación de porcentajes.</i>	62
<i>Tabla 12. Opciones de morfología para el soporte con ventajas y desventajas</i>	63
<i>Tabla 13 Selección del tipo de encoder.</i>	72
<i>Tabla 14. Datos sobre la línea de pesca.</i>	77
<i>Tabla 15. Masa de carrete.</i>	78
<i>Tabla 16. Modelado de carrete embobinado.</i>	79
<i>Tabla 17. Par torsor.</i>	80
<i>Tabla 18 Descripción de la puntuación.</i>	81
<i>Tabla 19. Motores y sus características principales.</i>	81
<i>Tabla 20. Selección de motor.</i>	82
<i>Tabla 21. Parámetros del motor</i>	82
<i>Tabla 22. Factores de corrección para el eje del carrete.</i>	86

Resumen

Dentro de la cetrería – el antiguo arte de cazar con aves de presa – el mantenimiento hacia las aves es importante para su conservación e implementación en actividades se ve reflejado en conservarlas sanas brindándoles una buena alimentación junto con una serie de ejercicios físicos. Dentro de los mecanismos de entrenamiento se encuentra la implementación de máquinas llamadas señuelos mecánicos como el presentado en el siguiente documento, el cual cuenta del desarrollo de un señuelo mecánico manufacturado con perfil angular en su mayoría y de peso total 10 kilogramos, que permita al usuario ser capaz de medir y controlar los parámetros de velocidad por medio de una aplicación desarrollada en Android, así como también de almacenarlos con el objetivo de obtener datos que permitan darle un mejor entrenamiento al ave hasta una velocidad lineal de entrenamiento equivalente a 1500 rpm, implementando un control de velocidad a un motor de corriente directa de 12 V.

Palabras clave: Cetrería, máquina, señuelo, aves de presa, control, velocidad, aplicación móvil, señuelo mecánico.

Abstract

Within the cetrery – the ancient art of hunting with birds of prey – the birds' maintenance is important for their conservation and implementation in activities is reflected in keeping them healthy by providing them with a good diet along with a physical exercises series. Among the training mechanisms is the machines implementation called Lure Machines such as the one presented in the following document, which counts on the development of a manufactured lure machine with an angular profile structure and a total weight of 10 kilograms, which allows the user to measure and control speed parameters through an application developed in Android, as well as to store them with the objective of obtaining data to enable better bird of prey training up to a linear training speed equivalent to 1500 rpm by implementing speed control to a 12 V direct current motor.

Keywords: Falconry, machine, lure, birds of prey, control, speed, mobile application, lure machine.

Simbología

T	tensión en la línea de pesca
T_x	tensión en la línea de pesca en el eje x
T_y	tensión en la línea de pesca en el eje y
m_c	masa de la carnada
m_o	masa inicial de la línea de pesca enrollada
m_f	masa final de la línea de pesca enrollada
g	aceleración de la gravedad
W_c	peso de la carnada
N_c	fuerza normal de la carnada
μ_p	coeficiente de fricción del piso
F_f	fuerza de fricción
v_0	velocidad lineal inicial
v_F	velocidad lineal final
s_0	distancia lineal inicial
s_F	distancia lineal final
a_{mc}	aceleración lineal de la carnada
r	radio en el instante de tiempo
r_0	radio interno de la polea
r_f	radio final de la línea de pesca enrollada
h	paso constante, diámetro de línea de pesca
θ	posición angular en radianes
d_l	distancia lineal
α_c	aceleración angular del carrete
I_{zz}	momento de inercia del carrete sobre su eje z
τ_m	par torsor necesario por parte del motor
ω_c	velocidad angular del carrete
v_l	velocidad angular de la carnada
P	potencia mecánica
τ_{ADM}	esfuerzo cortante admisible
$\tau_{m\acute{a}x}$	esfuerzo normal máximo
τ_e	esfuerzo cortante en el eje
σ	esfuerzo normal
F_T	fuerza de la tensión generada por el arrastre del señuelo
F_{PP}	fuerza generada por el peso del carrete
F_{LP}	fuerza generada por el peso de la línea de pesca
R_c	factor de corrección por fluencia por torsión
R_u	factor de corrección por fatiga
$F. S.$	factor de seguridad
M_f	momento resultante o momento flector
M_t	momento torsor

M_{max1}	momento máximo del plano correspondiente
M_{max2}	momento máximo del plano correspondiente
d	diámetro del eje
R	resistencia del devanado de armadura
i	corriente de armadura
L	inductancia del devanado de armadura
e_a	diferencia de potencial en la armadura
V	tensión del devanado de armadura
R_f	resistencia de campo
i_f	corriente de campo
L_f	inductancia del devanado generador
V_f	tensión de entrada del motor
J	momento de inercia
α	aceleración angular
τ_{ind}	par electromagnético
τ_L	par de carga del motor
B	coeficiente de fricción viscosa
ω	velocidad angular del motor
K_v	constante de voltaje
K_t	constante de campo
u_p	control proporcional
u_i	control integral
u_d	control derivativo
u	control proporcional integral derivativo
k_p	ganancia proporcional
k_i	ganancia integral
k_d	ganancia derivativa
e	función del error
T_i	tiempo integral
T_d	tiempo derivativo
P	polinomio de tercer grado de posición
$P^{\dot{\cdot}}$	polinomio de tercer grado de velocidad
a_0	primer coeficiente del polinomio
a_1	segundo coeficiente del polinomio
a_2	tercer coeficiente del polinomio
a_3	cuarto coeficiente del polinomio
t	tiempo
t_0	tiempo inicial
t_f	tiempo final
θ_0	posición inicial
$\theta_0^{\dot{\cdot}}$	velocidad inicial

θ_f
 $\dot{\theta}_f$

posición final
velocidad final

1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Para el adiestramiento de aves rapaces se utilizan técnicas de cetrería, que consisten en amansamiento del ave y la introducción a la cacería, ambos procesos constan a grandes rasgos en adiestrar al ave y más adelante en simular un escenario de caza en un hábitat similar al que el ave tendría en libertad por medio de un señuelo, posteriormente se deja al ave de presa en un lugar a 2 m del suelo (generalmente en un árbol) para que pueda identificar al señuelo y por medio de una línea de pesca moverlo de tal manera que el ave lo persiga hasta atraparlo [1]. Para poder garantizar que un ejemplar de ave de presa sea entrenado correctamente, se utilizan artefactos para simular dicha actividad, brindando un mejor rendimiento comparado con las técnicas tradicionales de lanzamiento de carnada por medio de los señuelos mecánicos.

Los aficionados a la cetrería que se encuentran dentro de la república mexicana se han interesado en la adquisición de un señuelo mecánico y exponen que la problemática recae en el tiempo de obtención de la máquina, que varía de 1 a 3 meses de entrega, la sobrevaloración debido a los costos de importación, dado que no son comerciales en México, únicamente se encuentran disponibles en países como Inglaterra, Estados Unidos, Portugal, España, y Ucrania, aunado a esto el diseño de este tipo de máquinas denominadas señuelos mecánicos (nombradas en el país de origen como *lure machines*), cuenta con un diseño simple que no resguarda el bienestar del ave en vista de que en cuanto atrapa el cebo, la máquina sigue jalando el señuelo a consecuencia de la inercia, lo que puede derivar en un percance hacia el pájaro, además el cliente tiene la necesidad de medir parámetros como la velocidad, la trayectoria del ave, la distancia y el tiempo de recorrido; y ha manifestado que lo ha podido resolver mediante el uso de un brazalete con Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) que le indica la trayectoria y posición, siendo un gran complemento para el entrenamiento, sin embargo el uso de este equipo no le proporciona los demás datos que les interesa conocer durante los entrenamientos.

Es así como se propone el desarrollo de un señuelo mecánico realizando la selección de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, manipulado de manera inalámbrica por medio de una aplicación móvil que presente los parámetros requeridos por el cliente con quien se tiene un acuerdo comercial a corto plazo, contando con dos modos de operación: modo manual, cuya acción consta de variar la velocidad de funcionamiento a voluntad del usuario; y modo automático, en el que se introduzca una referencia de velocidad a la que se desea llegar, y esta se mantenga por un lapso determinado. Ambos modos cuentan con la interrupción casi inmediata de operaciones en cuanto el ave atrape al señuelo o al activar el paro de emergencia. Todas las características antes planteadas aunado al peso, duración de batería y dimensiones, fueron acotadas por las necesidades de los clientes.

1.2 Justificación

Se plantea diseñar y construir una máquina para el entrenamiento de vuelo de aguilillas de Harris con el propósito de ofrecer una alternativa con respecto a la oferta comercial, por lo que se plantea

un producto que agilice el entrenamiento del ave brindando datos confiables del ejercicio mediante la armonización del sistema electromecánico que tracciona el señuelo con una aplicación móvil por medio de la implementación de sensores en el señuelo, permitiendo la configuración, control de velocidad y paro de funciones.

Además, de ser proveedores de servicios beneficiando directamente al cliente por las nuevas facilidades al incorporar una interfaz para la manipulación del sistema automatizado por medio de una aplicación móvil, que brinda la selección entre la opción manual que es utilizada para introducir la interacción del ave con el señuelo mecánico. De la misma forma, se muestra el tiempo de acuerdo a la distancia recorrida, además de la velocidad alcanzada según el recorrido con la intención de ofrecer al usuario una forma de medir el progreso del ave en cada ejercicio monitoreando los datos anteriormente mencionados y generando el paro de operaciones al detectar la acción del ave sobre el señuelo o por defecto si el operario nota una situación que ponga en peligro al espécimen activando el paro de emergencia manualmente, garantizando así la integridad del animal.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar y construir una máquina para el entrenamiento de aves de presa enfocándose en el aguililla de Harris con el propósito de ofrecer una alternativa competitiva en velocidad, peso y arrastre con respecto a la oferta comercial.

1.3.2 Específicos

Objetivos específicos de Trabajo terminal I

1. Diseñar la carcasa de la máquina de forma que no exceda las especificaciones dadas por el cliente.
2. Diseñar un sistema de agarre al piso para la carcasa de la máquina.
3. Elegir el material de tal manera que el peso de la máquina sea menor a 15 kilogramos.
4. Calcular las características de carga del motor eléctrico, que cumpla con las dimensiones de la carcasa, el voltaje de la batería y la velocidad requerida por el cliente.
5. Calcular los esfuerzos presentes en las poleas y elementos de unión en función de las características del motor.
6. Diseñar una aplicación móvil para el control a distancia de la máquina, que manipule y mida la velocidad del señuelo, así como también mida la distancia y el tiempo del recorrido del ave para su monitoreo.
7. Elegir un controlador de velocidad adecuado para los dos modos que se implementaran en la máquina además de ajustarse a las características de la batería.
8. Definir los componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y controladores más convenientes para la construcción de la máquina.
9. Diseñar los circuitos correspondientes para los controles de velocidad para el motor eléctrico.
10. Validar los subsistemas por medio de análisis computacional.
11. Elaborar una cotización de los materiales para la construcción de la máquina.

Objetivos específicos de Trabajo terminal II

1. Manufacturar la carcasa de la máquina con las dimensiones especificadas.
2. Maquinar el eje para transmisión con base en los cálculos de esfuerzo.
3. Programar el sensor de velocidad para contabilizar la distancia recorrida.
4. Implementar el sensor de velocidad para contabilizar la distancia recorrida.
5. Fabricar las placas de circuito impreso y soldar los de componentes.
6. Probar los controles de velocidad y reajustar los parámetros correspondientes para su correcto funcionamiento.
7. Ensamblar los subsistemas de la máquina.
8. Emplear y hacer uso de la aplicación para el control de la máquina.
9. Implementar pruebas para comprobar la exactitud de los elementos de medición en la máquina.
10. Emplear demostraciones del desempeño de la máquina.

2 Marco de referencia

2.1 Sobre la cetrería

Definición de Cetrería

La Real Academia Española define a la cetrería como el arte de criar, domesticar, enseñar y curar a los halcones y demás aves que sirven para la caza de volatería. También es considerado como un deporte donde adiestran a las aves de presa, entre las que se encuentran aguilillas, azores, gavilanes y algunas águilas, para atrapar otras especies de aves y mamíferos pequeños [2].

Cetrería en México

La cetrería en México se da desde la llegada de los españoles a la gran Tenochtitlan, aunque se sugiere que pudo haber una relación muy estrecha entre las aves de presa y la antigua civilización mexicana; en consecuencia el águila real era venerada por los mexicas, no hay vestigios y tampoco información que respalde esta teoría, por lo que muy probablemente sea a causa de la colonización, por consecuencia México no tiene una gran historia, práctica y mucho menos una investigación profunda acerca de la cetrería aunque se encuentra entre los países con mayores practicantes en el mundo [3].



Imagen 1. Cadete del colegio militar de México sosteniendo un águila real [4].

Entrenamiento de aves rapaces

El entrenamiento de aves rapaces comprende un proceso largo que da como resultado la comunión y confianza de un ave de presa con el cetrero, el proceso llega a durar de 2 a 3 meses debido a los extremos cuidados que deben de tener hacia con el ave [1].

A continuación, se presenta un diagrama de flujo explicando de manera sintetizada el proceso de entrenamiento básico para aves de presa [1, 5].

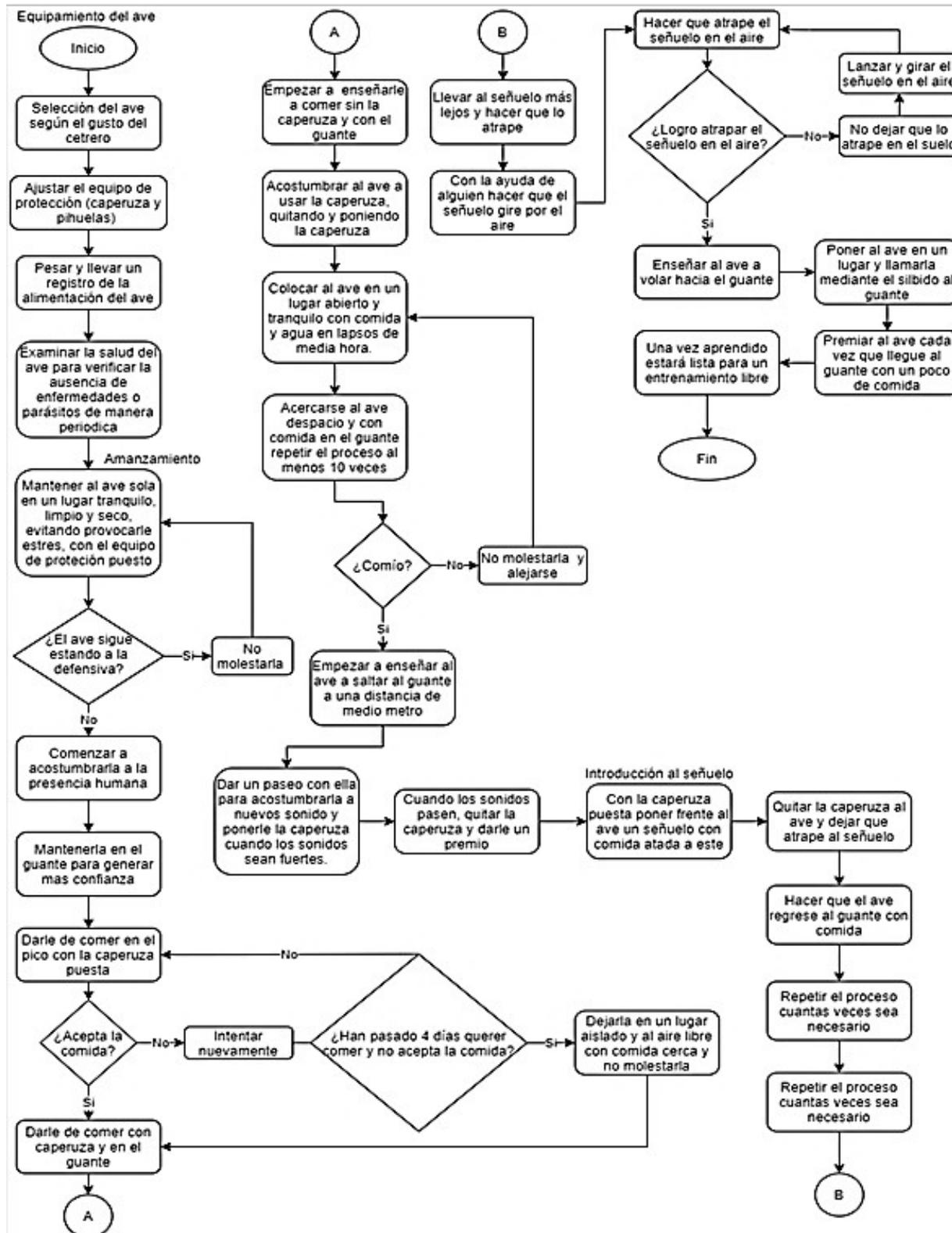


Imagen 2. Diagrama de flujo del entrenamiento básico de aves rapaces [1].

Medidas de seguridad al trabajar con aves rapaces

El trabajo con aves rapaces radica en el estado en que se encontró al espécimen. El procedimiento de entrenamiento y preparación se hace en base a premios no punitivos; que se dan en forma de comida, sin embargo, primero se debe acostumbrar al espécimen a comer en el guante o lúá especial con refuerzo en el área que normalmente va perchada el ave, para que relacione la acción con la ubicación, generando asociación de movimiento hacia él por medio de chasquidos y una pequeña porción de alimento. Una vez dominado esto su trabajo se considera más seguro el escenario debido a que el ave tiene confianza en el cetrero [5]. Del mismo modo se aconseja utilizar un guante diferente para cada ave a entrenar para evitar la transmisión de enfermedades al igual que desinfectar después de cada ejercicio [1].



Imagen 3 Halcón devorando a su presa sobre el guante del cetrero [12]

No obstante, el equipo básico para el entrenamiento y manejo de aves rapaces según el *Manual básico de Cetrería* recomienda el uso de equipo y material debido para asegurar el bienestar tanto del ave como del cetrero, comenzando por el empleo de caperuza para evitar daño en los ojos y pico del ave [1], la cual cumple con privar de la vista de forma rápida, cómoda y tranquila. Son fabricadas especialmente a cada ejemplar tomando en cuenta su sexo, edad y complejión. Existen muchos tipos caperuzas, pero las más ocupadas en México son las holandesas y anglo-indias [5].



Imagen 4 Caperuza holandesa(izquierda), caperuza anglo-india(derecha) [39, 40].

Por parte del cetrero, es necesario que cuente con un guante de carnaza que le permita protegerse de las garras del ave, ya que el ave se posa sobre su mano para poder ser trasladada, para alimentarla o darle premios, y en el caso más importante para ponerle el equipo de protección [1, 6].



Imagen 5 Guante para cetrería [6].

Aparte se emplean pihuelas que son correas de piel suave y resistente que van ajustadas al tarso del ave para prevenir heridas en las patas [1, 5].



Imagen 6 Par de pihuelas [42].

De igual modo se ocupan correas largas que unidas con el destorcedor, que consta de un tornillo con dos anillos soldados, y une las pihuelas a la percha.



Imagen 7 Destorcedor unido en su extremo con una lonja [43].

Además, se recomienda el uso de una percha o bancos como posadero donde se ate de manera correcta al ave para evitar embrollos en los que resulte dañada el ave [1]. Del mismo modo se recomienda la disposición de un sistema anti pérdida en caso de mantener al ave ajardinada.



Imagen 8 Perchas para aves de presa [41].

Modalidades de caza

En general, la manera de cazar de las aves de presa es parecida, puesto que consiste en salir volando de un punto alto; ya sea un árbol, acantilado o en el caso de la cetrería, del guante del cetrero, perseguir a su presa hasta atraparla con sus afiladas garras y darle muerte, sin embargo, se considera la división de dos tipos de caza definidas como de alto vuelo y bajo vuelo [1].

La categoría de caza en alto vuelo comprende a los especímenes que se elevan a alturas que oscilan los 200m a 400m; como el Halcón Peregrino, y caen en picada para embestir a su presa, matarla y devorarla en el suelo [1].



Imagen 9 Halcón peregrino cayendo en picada para matar a su presa [44].

La categoría de caza en bajo vuelo comprende a especímenes; como el Aguililla de Harris, el Águila Real, incluso los Halcones, que vuelan aproximadamente a 3m o menos por encima del suelo, y caen de esa altura con las garras por delante para atrapar a su presa y someterla en el suelo hasta matarla [1].



Imagen 10 Aguililla de Harris atrapando a su presa [45].

2.2 Sobre el aguililla de Harris

Aguililla de Harris

El Aguililla de Harris de nombre científico *Parabuteo unicinctu*, también conocida como Águila rojinegra, pertenece a la especie Accipitriforme, tal como lo es el Águila pescadora y es de la familia Accipitridae [7]. Es una aguililla oscura de plumaje marrón o color pardo oscuro, cuyas dimensiones oscilan entre 48 a 53.5 centímetros de longitud total con una extensión de 102 a 120 centímetros; ambos sexos presentan similitud en sus alas anchas y redondeadas al igual que comparten la forma alargada y tenuemente redondeada en su cola. Sin embargo, las hembras presentan un peso entre los 834 a 1047 gramos, mientras que los machos su máximo peso es de 725 gramos [7]. Además, los especímenes jóvenes se diferencian de los adultos por tener más moteadas sus partes inferiores y el color de sus plumas terciarias, ubicadas por sus hombros, de un color que presenta el óxido conservando su respectiva línea blanca en la cola, en la base de esta [8].



Imagen 11. Aguililla de Harris posada en una rama [7].

En cuanto a su interacción con otras especies, no se presentan problemas de convivencia dado que forma grupos de reproducción y cacería, no obstante, compite por el terreno de caza con aves rapaces como el Aguililla de *Swainson*.

Dentro de sus costumbres está anidar en estructuras altas evitando a sus depredadores donde se encuentran como principales los coyotes, cuervos y búho cornudo; además del ser humano quien captura ilegalmente a esta ave con fines de cetrería y para su venta como mascota, lo cual la puso en una situación sujeta a protección especial [8].

Su dieta es semejante a los hábitos alimenticios que presentan las águilas generalmente y consta desde pequeños animales, roedores, mamíferos, reptiles y carroña en tiempos difíciles; además de insectos grandes y aves que atrapan en pleno vuelo. Una vez que se ve saciada su necesidad alimenticia tiene por hábito reservar los restos de la comida que ha cazado [8].

2.3 Sobre los señuelos mecánicos

Primeros prototipos

Los señuelos mecánicos o máquinas para señuelos se remontan al principio de la caña de pescar que consta de un carrete con una línea de pesca atada a un extremo de un señuelo, traccionado por las revoluciones hechas por el humano por medio de una palanca, sin embargo, de los primeros prototipos desarrollados para actividades de caza de señuelos [9] en 1930 es patentada por Harry Overberg una transportadora de señuelos con el objetivo de proporcionar mejoras en las carreras de perros proponiendo un sistema mecánico y eléctrico para evitar su difícil retiró de la pista después del recorrido proponiendo rieles para su movilidad así como para su alimentación, así como la disminución de su peso, haciendo referencia y mejora a los prototipos anteriormente propuestos que corrían en canales extendidos debajo de las pistas de carreras implicando alza en el costo de la infraestructura [10].

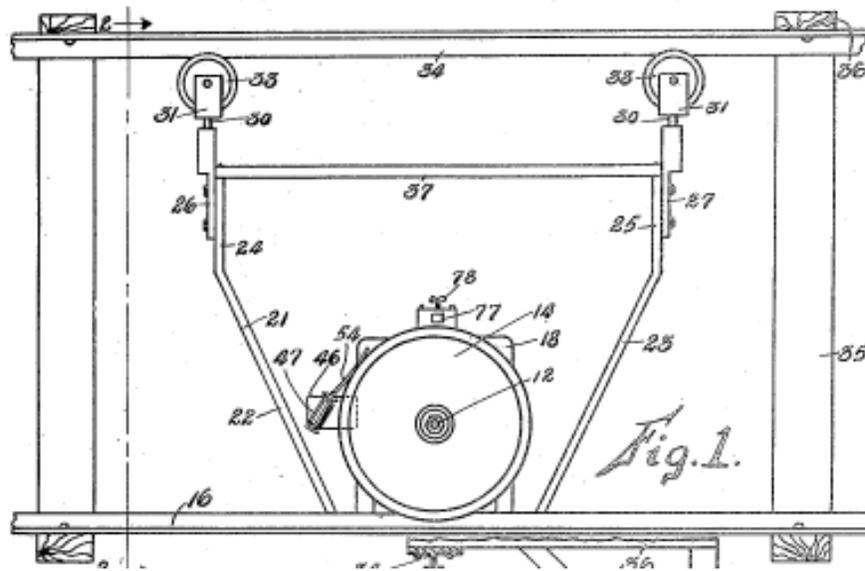


Imagen 12. Boceto de una máquina para señuelos [9].

A pesar de ello, se siguen implementando y adaptando este tipo de máquina por su sencillez y potencia brindada con componentes comunes, ya que consta de un sedal de hilo de pesca trenzado alrededor de series de poleas clavadas en el suelo dentro de un campo de aproximadamente 5 acres. El señuelo es colocado en un extremo de la línea de pesca y el sistema compuesto por un motor de arranque de corriente continua marca Ford de modelo 1955 a 1962, es accionado para la tracción del señuelo que normalmente consta de un señuelo artificial, generalmente una bolsa blanca de basura de cocina, a veces pieles de conejo curtidas o tiras de pieles falsas [11].

El motor antes mencionado es alimentado baterías marinas de 12 voltios de ciclo profundo, lo que es 2 o 3 baterías de coche conectadas en paralelo, a veces, conectadas por cables de arranque que van a un coche o tractor en marcha; y es conectado al lado de baja corriente del solenoide de arranque, el cual es controlado mediante un interruptor de pulgar del tipo encendido/apagado.

Para este tipo de máquinas, se ha propuesto el uso de motores de lavadora de corriente alterna, pero carecen de la potencia requerida para acelerar el señuelo con la suficiente rapidez, ya que las máquinas deben tener la capacidad de traccionar el señuelo a 40 millas por hora.

En cuanto a su estructura, el motor de arranque está montado en un bastidor y cuenta con un largo eje de transmisión sobre el cual está acoplada una rueda motriz que se asemeja a dos placas de pastel muy resistentes soldadas una con otra en donde la línea de pesca corre en la ranura entre ellas. Para su control, emplean un interruptor de timbre doméstico montado en una empuñadura hecha de un mango de bicicleta [12] y algunos otros prototipos se han hecho controles remotos cuya diferencia ahora es solo el accionamiento de un gatillo sobre un control que permite un distanciamiento del operador con respecto a la máquina [13].

Señuelos o liebres mecánicas

Son máquinas utilizadas para arrastrar un cebo, carnada real o hasta pañuelos de tela, con la finalidad de que el animal lo persiga hasta atraparlo consiguiendo que en el proceso se ejercite y muscule. Pueden ser utilizados para el entrenamiento de perros de carrera o caza, aves de presa, chitas y para atrapar peces [14].

Consisten generalmente en un motor de 12V de corriente directa que va conectado a una batería de arranque de automóvil, y ya sea mediante un circuito de control de tensión variable controlado a distancia o un interruptor se acciona el motor para que gire a cierta velocidad, esto genera que la polea o carrete que se encuentre acoplado dentro del eje del motor gire y enrolle una línea de pesca de una longitud de aproximadamente 500m, haciendo que el señuelo amarrado en un extremo comience a moverse [14].



Imagen 14 Señuelo mecánico con control a distancia [52].



Imagen 13 Liebre mecánica con interruptor para variar velocidad [51].

Señuelos mecánicos comerciales

Las máquinas que actualmente se encuentran en el mercado internacional son variadas y no solamente son usadas para el entrenamiento de aves rapaces puesto que animales como perros y guepardos también son entrenados con este tipo de máquinas [15, 16].



Imagen 15 Señuelo mecánico estándar marca Bull-X [17].

El principio de funcionamiento de los señuelos mecánicos es prácticamente el mismo que los caseros la diferencia recae en la manera de controlar el motor de corriente directa pues tiene un variador de velocidad que a su vez está dirigido por un control a distancia dándole la posibilidad al usuario de comandar la máquina a 300 metros de distancia pues la mayoría usan radiofrecuencia como medio para el envío y recepción de señales [5][6].

Bull-x

Hecha en Derbyshire, Reino Unido de la marca homónima en 2015 por un grupo de criadores de aves rapaces y perros de caza, es una de las marcas más conocidas internacionalmente ya que exportan a varias partes del mundo. Máquina para el entrenamiento de aves de presa y perros, cuenta con las siguientes características [17].

- Control remoto de velocidad de 16.1 km/h a 112.6 km/h
- Batería de 12 V y 22 Ah capacidad.
- Peso total de 15 kg
- Capacidad de arrastre de 1.8 kg.
- Distancia de la señal de radio control de 300 m.



Imagen 16. Máquina de entrenamiento de aves de presa y perros marca Bull-x [18].

2.4 Marco teórico

Motor de corriente directa

Es una máquina eléctrica perteneciente a la subcategoría de las máquinas eléctricas alimentadas por corriente directa. Se encarga de la conversión de energía eléctrica a energía mecánica en forma de movimiento rotatorio debido a la repulsión y atracción de los polos dentro del motor por la presencia del campo magnético generado [18].

Modelo del motor de corriente continua

El modelado de un sistema es de gran ayuda puesto que permite el control de parámetros específicos de tal manera que las variables restantes sean consideradas dentro del análisis y por pequeñas que sean aún intervienen en el comportamiento de todo el conjunto, específicamente se enfoca la parte dinámica pues además de relacionar los parámetros internos, también considera parámetros externos [19].

Para el modelado y caracterización del proyecto se utilizará el modelo de un motor de corriente directa de imanes permanentes.

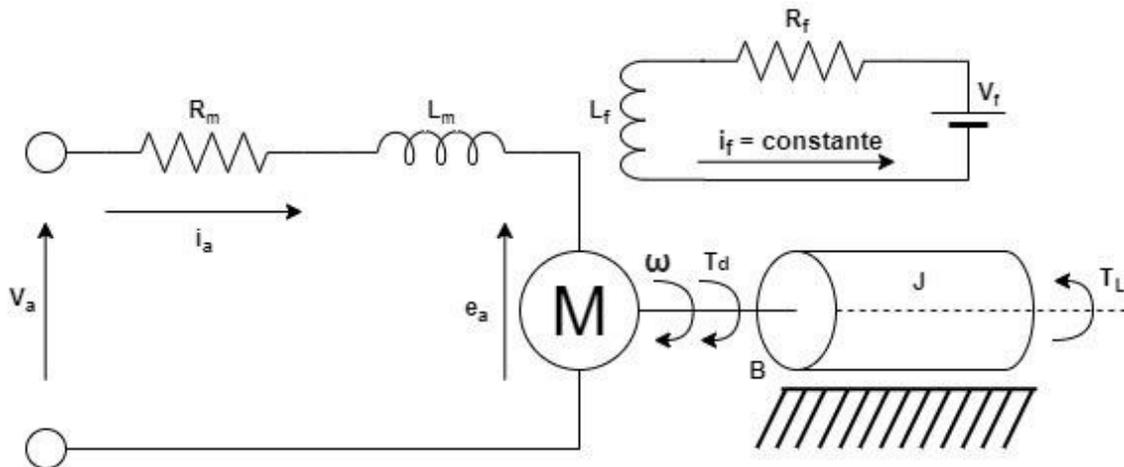


Imagen 17 Modelo electromecánico de un motor de corriente directa.

Aplicando LVK al circuito de la armadura del motor se obtiene la siguiente expresión:

$$R_m i_a + L_m \frac{di}{dt} + e_a = V_a \quad (1)$$

De la misma forma se aplica de nuevo LVK al circuito de campo

$$R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} = V_f \quad (2)$$

Como la tensión en el circuito de campo es constante la corriente también lo es, entonces la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$R_f i_f = V_f \quad (3)$$

Ahora analizando la parte mecánica del motor:

$$J\dot{\omega} = \tau_{ind} - \tau_L - B\omega \quad (4)$$

Las expresiones que relacionan las ecuaciones mecánicas con las ecuaciones eléctricas son las siguientes:

$$\tau_{ind} = k_t i_f i_a = k_t i_a \quad (5)$$

$$e_a = k_v i_f \omega = k_v \omega \quad (6)$$

Analizando las ecuaciones principales en estado estacionario y sustituyendo las ecuaciones anteriores se obtienen las siguientes expresiones:

$$R_m i_a + k_v \omega = V_a \quad (7)$$

$$\tau_{ind} = \tau_L + B\omega = k_t i_a \quad (8)$$

Para obtener el modelo dinámico a partir de las ecuaciones anteriores es necesario despejar el elemento de mayor grado.

$$L_m \frac{di}{dt} + = -R_m i_a - e_a + V_a \quad (9)$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R_m}{L_m} i_a - \frac{k_v}{L_m} \omega + \frac{V_a}{L_m} \quad (10)$$

Ahora se hace el mismo procedimiento con la ecuación mecánica

$$\dot{\omega} = \frac{k_t}{J} i - \frac{1}{J} \tau_L - \frac{B}{J} \omega \quad (11)$$

Aplicando la transformada de Laplace

$$L_m s I_a(s) + R_m I_a(s) + k_v \omega(s) = V_a(s) \quad (12)$$

$$E_a(s) = k_v \omega(s)$$

$$J s \omega(s) = k_t I_a(s) - \tau_L(s) - B \omega(s) \quad (13)$$

$$\tau_{ind} = k_t I_a(s)$$

Simplificando las ecuaciones anteriores y despejando el término común en ambas:

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - E_a(s)}{(L_m s + R_m)} \quad (14)$$

$$\omega(s) = \frac{k_t I_a(s) - \tau_L(s)}{(J s + B)} \quad (15)$$

Con las ecuaciones ya simplificadas y en términos de una sola variable se puede construir el diagrama a bloques del modelo.

Con el diagrama de bloques anterior es posible obtener la función de transferencia siguiente [19].

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_i}{(L_m J)s^2 + (R_m J + L_m B)s + (R_m B + K_v K_i)} \quad (16)$$

Controlador PID

Es un controlador integrado por tres acciones, cada una de ellas aporta sus ventajas y desventajas, sin embargo, al conjuntar las tres acciones, proporcional, integral y derivativa el control del sistema presenta una respuesta mucho mejor. A continuación, se explican cada una de las acciones que integran al controlador [20].

Acción Proporcional

Es aquella que le proporciona energía al sistema con la finalidad de llegar a la referencia deseada y mientras más energía se inyecte más pequeño será el error, sin embargo, el error en estado estacionario no desaparece por más pequeño que este sea. Se define con la siguiente expresión [20].

$$u_p = K_p * e(t) \quad (17)$$

Acción Integral

Hace la función de corregir el error pasado, puesto que al tener una integral hace la suma del error acumulado lo que da como resultado que el error en estado estacionario desaparezca y como consecuencia puede presentar sobrepasos si es que la K_i tiene un valor alto [20].

$$u_i = K_i * \int_0^t e(t)dt \quad (18)$$

Acción Derivativa

Es la encargada de funcionar como un freno, la derivada hace una predicción sobre el comportamiento del error antes de que este ocurra, es decir, verifica la velocidad con la que el error cambia para así poder controlar y compensar ese cambio y evitar que el error crezca.

$$u_d = K_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (19)$$

El controlador PID contiene cada una de las características antes mencionadas que en conjunto pueden mejorar el comportamiento de un sistema.

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(t)dt + K_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (20)$$

La ecuación anterior puede reescribirse como:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t)dt + K_p T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (21)$$

Cinemática del enrollado de un carrete

En el enrollado de la cuerda con una cuerda de espesor no nulo se presenta la espiral de Arquímedes con un paso constante del diámetro de la cuerda, por lo que el radio final se ve descrito por

$$r = r_0 + \frac{h}{2\pi} \theta \quad (22)$$

Por lo que si describimos la velocidad lineal que lleva la cuerda en el extremo del radio en el instante de tiempo tenemos

$$v^2 = \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \quad (23)$$

$$v^2 = \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + r^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$
$$v = r \frac{d\theta}{dt} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{2\pi r}\right)^2} \quad (24)$$

Como el espesor h de la cuerda es pequeño ante el radio, se aproxima que su velocidad es

$$v \approx r \frac{d\theta}{dt} \left(1 + \frac{h^2}{8\pi r^2} + \dots\right) \approx r \frac{d\theta}{dt} \quad (25)$$

Lo anterior indica que se desprecia la componente radial de la velocidad.

Para el enrollado y desenrollado se comparte el análisis.

Si su velocidad lineal es constante, el radio r incrementa con el tiempo de la forma

$$v = r \frac{2\pi}{h} \frac{dr}{dt} \quad (26)$$

Despejando r e integrando por ambas partes

$$\int_{r_0}^r r dr = \frac{h}{2\pi} \int_0^v v dt$$

Finalmente se obtiene la expresión que representa como cambia el radio en función del tiempo y la velocidad a la que se enrolla [21].

$$r^2 = r_0^2 + \frac{hv}{\pi} t \quad (27)$$

Modulación por ancho de pulso (PWM)

La técnica de modulación por ancho de pulso consiste en variar el ciclo de trabajo de una señal, es decir, se cambia el tiempo en el que una señal se mantiene encendida y apagada, generando que la tensión cambie según el ciclo de trabajo; que es la relación entre el tiempo de encendido y el periodo de la señal [22].

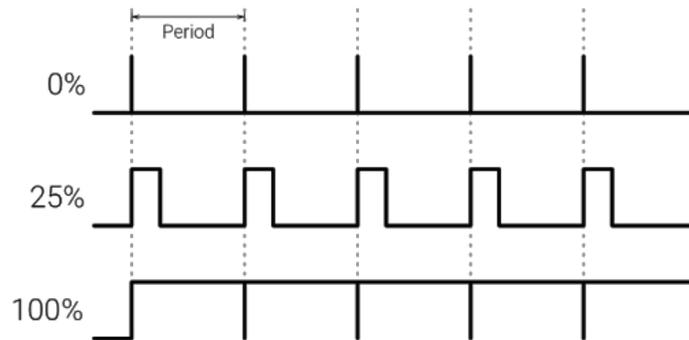


Imagen 18. Ciclos del PWM

Mediante esta técnica es posible la variación de la tensión. Generalmente esta es la técnica más usada para la variación de tensión por su sencillez en la programación e implementación.

Puente H

Es un arreglo de cuatro transistores que generalmente son de tipo NPN, un par de ellos están unidos por su base igual que el otro par restante, también se pueden hacer con transistores de tipo MOSFET. Este circuito permite al motor que pueda ser controlado mediante dos señales, las cuales hacen que los transistores modifiquen la polaridad de la fuente permitiendo que el motor gire hacia un lado, se detenga o invierta su giro. Si estas señales se combinan con el método de modulación por ancho de pulso por sus siglas en inglés PWM, también es posible variar la velocidad del motor en los dos sentidos [23].

Polinomios de tercer grado para seguimiento de trayectorias

Son funciones polinómicas definidas mediante parámetros dados como lo son la posición, velocidad, aceleración, tiempo inicial y final. Particularmente son utilizadas en robótica, donde se requiere que el robot manipulador alcance una trayectoria mediante la manipulación de sus variables articulares en función de los parámetros antes mencionados. Comúnmente las trayectorias son polinomios de tercer, quinto y séptimo grado, donde a mayor grado la precisión y suavidad de los movimientos, velocidades y aceleraciones es mejor, sin embargo, para muchas aplicaciones industriales es suficiente el uso de polinomios de tercer y quinto grado [24].

Se define el polinomio de tercer grado que determina la posición con la siguiente expresión.

$$P(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (28)$$

Ahora se toman condiciones iniciales para un tiempo inicial y final.

$$P(t_0) = \theta_0 ; t_0 = 0$$

$$P(t_f) = \theta_f$$

Ahora se evalúan ambos puntos en la ecuación 30 y queda de la siguiente manera.

$$P(t_0) = a_0 + a_1 t_0 + a_2 t_0^2 + a_3 t_0^3 = \theta_0 \therefore a_0 = \theta_0$$

$$P(t_f) = a_0 + a_1 t_f + a_2 t_f^2 + a_3 t_f^3 = \theta_f \quad (29)$$

Posteriormente se deriva la ecuación 30 para obtener el polinomio que describe la velocidad.

$$P(\dot{t}) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (30)$$

Y se vuelven a considerar las siguientes condiciones iniciales.

$$P(\dot{t}_0) = \dot{\theta}_0 ; t_0 = 0$$

$$P(\dot{t}_f) = \dot{\theta}_f$$

Ahora se evalúan las condiciones iniciales en la ecuación 32.

$$P(\dot{t}_0) = a_1 + 2a_2 t_0 + 3a_3 t_0^2 = \dot{\theta}_0 \therefore a_1 = \dot{\theta}_0$$

$$P(\dot{t}_f) = a_1 + 2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 = \dot{\theta}_f \quad (31)$$

Finalmente, con los resultados se obtienen las variables faltantes. Para obtener a_2 se sustituye $\dot{\theta}_0 = 0$ y $\dot{\theta}_f = 0$ en la ecuación 33.

$$\dot{\theta}_0 + 2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 = \dot{\theta}_f$$

$$2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 = 0$$

$$a_2 = -\frac{3}{2} a_3 t_f$$

Ahora se sustituye el valor antes obtenido en la ecuación 31

$$\theta_0 + (0)t_f + \left(-\frac{3}{2} a_3 t_f\right) t_f^2 + a_3 t_f^3 = \theta_f$$

$$\theta_0 - \frac{1}{2} a_3 t_f^3 = \theta_f$$

$$a_3 = -\frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0)$$

Se sustituye el valor de a_3 en el valor de a_2 para obtener su valor en función de la posición inicial y la posición final.

$$a_2 = -\frac{3}{2} \left(-\frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0) \right) t_f$$

$$a_2 = \frac{3}{t_f^2} (\theta_f - \theta_0)$$

Con los valores de los coeficientes la ecuación 30 y 32 el polinomio de tercer grado queda definido de la siguiente manera.

$$P(t) = \theta_0 + \theta_0 \dot{t} + \frac{3}{t_f^2} (\theta_f - \theta_0) t^2 - \frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0) t^3 \quad (32)$$

2.5 Marco procedimental

2.5.1 Metodología de Diseño

Para abordar la solución al problema antes planteado y contextualizado se propone la aplicación de la metodología de diseño en V. Esta metodología que originalmente fue concebida para la ingeniería de software y describe el procedimiento que se debe de seguir para el diseño de sistemas mecatrónicos el cual consiste en especificar las tareas de diseño individuales de cada subsistema [25].

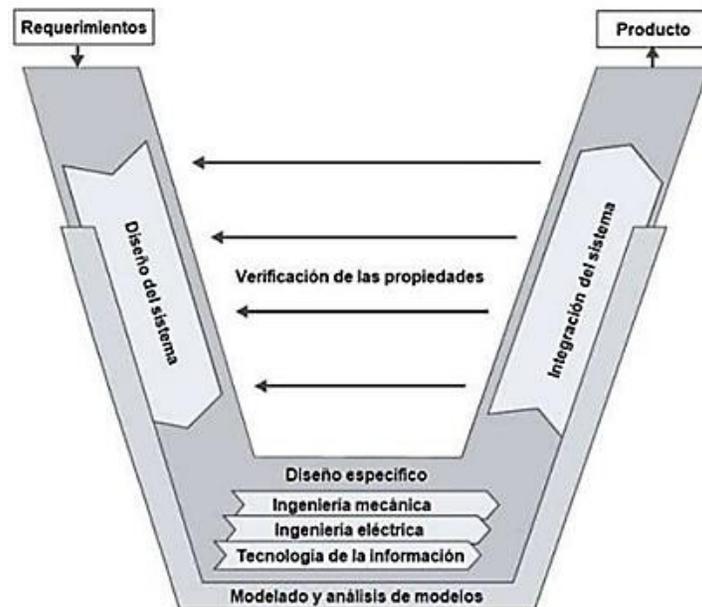


Imagen 19 Diagrama de la metodología de diseño mecatrónico en V [25]

En esta metodología de diseño mecatrónico en V se puede dividir en 3 fases principales tomando en cuenta las metodologías de desarrollo *Descendente (Arriba-Abajo)* y *Ascendente (Abajo-Arriba)* [26].

El primer paso de la metodología en V es la generación de una lista de requisitos los cuales sirven para acotar y aterrizar algunos parámetros mensurables del proyecto.

Bajo el procedimiento *Arriba-Abajo*, se desarrolla el diseño del sistema donde se establece las soluciones de manera conceptual describiendo las características de operación físicas y lógicas para definir todas las funciones del sistema, así como sus subsistemas operacionales del producto a desarrollar.

Posteriormente en la base del diagrama uniendo la parte conceptual a la de desarrollo se encuentra el diseño de dominio específico en donde se concentra la interpretación detallada de los cálculos necesarios para asegurar las funciones de las 3 áreas principales de la ingeniería mecatrónica.

Posteriormente al diseño se procede a hacer la integración de sistemas donde se ven todos los resultados del sistema en general en coordinación con lo previamente investigado y se puede

subdividir en 4 puntos: validación de componentes, validación de subsistemas, validación de sistemas y validación de funciones [25, 26].

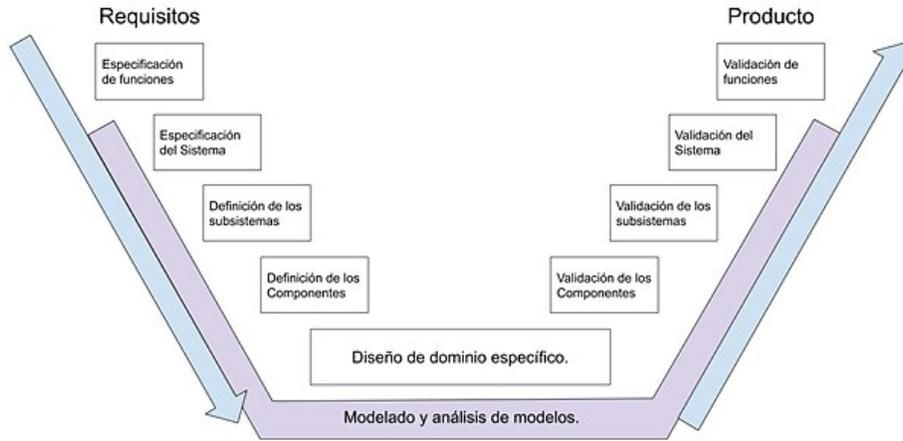


Imagen 20 Diagrama de la metodología de diseño mecatrónico en V [25]

Ambas etapas de desarrollo son abrazadas por la salvaguarda de las propiedades constante para asegurar las propiedades del sistema deseado, aunado al análisis y modelado del sistema que se forma de la descripción matemática del sistema por medio de modelos matemáticos y adición de herramientas computacionales para la simulación de su funcionamiento.

El resultado de este ciclo es un producto, no implicando que sea el producto finalizado, esto ayuda a concretar y ver mejoras ya que en un producto mecatrónico generalmente se necesita más de un macrociclo [27].

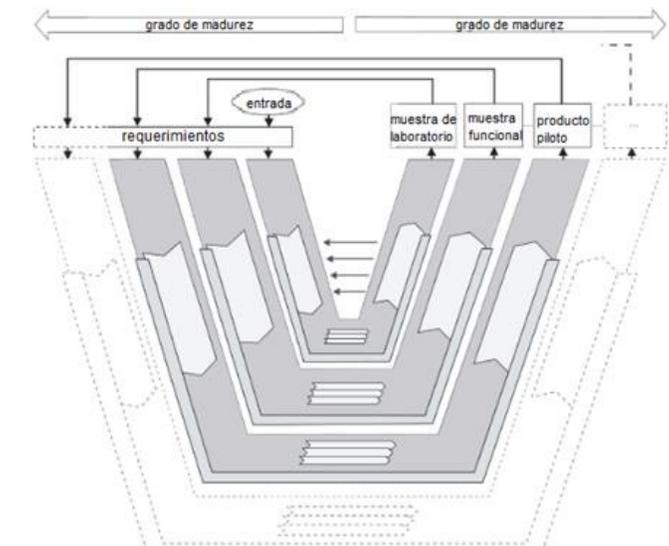


Imagen 21 Ajuste de la confección del resultado por medio de una sucesión de macrociclos [27]

2.5.2 IDEF0

El IDEF0 es una herramienta la cual permite la división de un sistema en sus áreas funcionales, de tal manera que puedan ser analizadas por separado para posteriormente comenzar el diseño individual de cada área y al finalizar integrar cada uno de ellos con el propósito de obtener un sistema mejor estructurado y funcional [28].

El IDEF0 puede ser tan general o específico como se quiera, pudiendo llegar hasta las subáreas de las propias áreas funcionales, dando así una mayor claridad en cuanto a la estructura del proyecto y la relación que cada una tiene y realiza con las otras subáreas o áreas funcionales [28].

El IDEF0 consiste en una serie de recuadros los cuales representan las actividades o tareas a realizar, y cuatro flechas, la primera que entra al recuadro del lado izquierdo representa la entrada de actividades, tareas, procesos, o señales, la flecha que sale por la derecha del recuadro, representa la salida del resultado de dicha actividad o proceso, la flecha que entra en la parte superior representan las reglas, restricciones o controles que gobiernan a la actividad en cuestión, y por último, la flecha que sale en la parte inferior representa los recursos, mecanismo o herramientas necesarias que se necesitan para hacer ese proceso. Cabe recalcar que puede haber más de una entrada en cada caso mencionado anteriormente y es posible representarlas con una flecha por cada señal, de igual manera un recuadro por tarea [28].

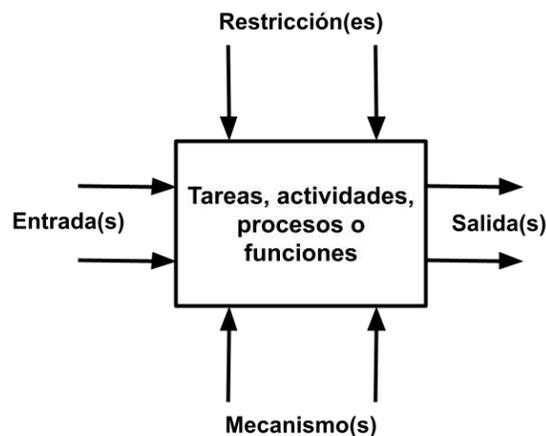


Imagen 22 Diagrama IDEF0

3 Diseño del sistema

Dentro de las posteriores secciones se desarrolla el proceso que se llevó a cabo para el diseño del proyecto, comenzando por definir las necesidades y requerimientos del sistema con base en los requerimientos del cliente, posteriormente se comienza con el diseño conceptual y finalmente se desarrolla el diseño detallado tomando en cuenta el diseño ganador tomando en cuenta las modificaciones necesarias para su correcta funcionalidad.

3.1 Necesidades del sistema

A continuación, se muestra de manera genérica, las necesidades del sistema.:

- 1. Accesibilidad para mantenimiento:** El diseño debe permitirle al usuario que la accesibilidad a los componentes sea de manera fácil y sencilla, evitando desconexiones entre módulos o fuentes de alimentación.
- 2. Costo moderado:** El costo de inversión para la construcción del prototipo debe de estar por debajo del presupuesto dado por el cliente que es de \$15,000 MXN
- 3. Configuración móvil:** El diseño debe permitir el fácil transporte de la máquina, es decir que se pueda posicionar y comenzar a utilizar.
- 4. Interfaz intuitiva:** Diseñar una interfaz mediante la cual el usuario se comunice con la máquina y que esta no sea confusa o difícil de entender para quien la utilice.
- 5. Paro inmediato de operaciones:** Permitir que la máquina pueda de la manera más rápida posible detenerse y evitar ocasionar un percance en los recorridos.

3.1.2 Requisitos del cliente

Una vez elegida la metodología de diseño ingenieril, se construyó una tabla de especificaciones de diseño del producto (PDS, por sus siglas en inglés) en donde se definen las especificaciones del señuelo mecánico, tomándose en cuenta los requisitos del cliente.

Tabla 1 Requisitos del cliente.

Número	Métrica	Unidad	Valor
1	Peso	kilogramos	≤ 10
2	Ancho	centímetros	≤ 35
3	Alto	centímetros	≤ 30
4	Largo	centímetros	≤ 35
5	Duración de batería	horas	≥ 3
6	Control de velocidad		
7	Interfaz y control por aplicación móvil		
8	Capacidad de arrastre	kilogramos	≤ 3
9	Velocidad máxima	kilómetros por hora	≥ 100
10	Alcance de señal RC	metros	≥ 300
11	Medidor de velocidad		

3.1.3 Proceso de análisis jerárquico

Con los requisitos y necesidades del cliente ya determinados, fue posible definir los criterios de evaluación con los que el sistema debe de contar, así como también la jerarquía que deben de tener para su posterior implementación. En la tabla siguiente se muestran una serie de criterios y su conceptualización acorde con el proyecto.

Tabla 2. Criterios de evaluación.

Precio	Todos los costos de producción. La forma más económica de elaborar el dispositivo acorde con la cantidad de material y herramienta que es necesaria para su desarrollo.
Seguridad	Libertad del riesgo al ave con los cambios en su operación. Eso es seguridad.
Portabilidad	La cualidad de ser ligero y lo suficientemente pequeño para ser fácilmente transportado, movido y almacenado.
Compatibilidad	Compatibilidad con piezas comerciales para su mantenimiento preventivo y correctivo en su caso.
Manejo	El uso de la máquina tiene que ser simple y fácil de controlar por el usuario.
Complejidad	Calificamos la mejor opción como el diseño conceptual que tenga la menor cantidad de piezas.
Material	Este criterio se refiere al tipo de material que necesitamos utilizar, teniendo en cuenta que el mejor es un material que sea barato y resistente a las condiciones del medio.
Mantenimiento	El trabajo necesario para mantener la máquina en buen estado. Donde el dispositivo que no necesita mucho mantenimiento va a ser de mayor grado.
Proceso de fabricación	En este caso tomamos como cualidades positivas, que el proceso de fabricación es más fácil que los otros incluyendo el diseño de software como de hardware.
Disposición de componentes	Se elige el diseño conceptual que sea más cómodo para instalar sus componentes como para el acceso a su interior para mantenimiento.

De lo que se obtienen los porcentajes proporcionales a cada uno de los criterios.

Tabla 5. Ponderación de los criterios

	Requerimiento	Número de puntos	Porcentaje equivalente
<i>A</i>	Precio	10.37	5.84
<i>B</i>	Seguridad	56.00	31.54
<i>C</i>	Portabilidad	10.62	5.98
<i>D</i>	Compatibilidad	20.20	11.38
<i>E</i>	Manejo	18.70	10.53
<i>F</i>	Complejidad	12.37	6.97
<i>G</i>	Material	11.70	6.59
<i>H</i>	Mantenimiento	9.95	5.60
<i>I</i>	Proceso de fabricación	17.20	9.69
<i>J</i>	Disposición de componentes	10.45	5.89
		177.55	100.00

3.2 Áreas Funcionales

Debido a que el proyecto se inspira en gran parte por la metodología de diseño en V, es bien sabido que una de las etapas es el dividir el sistema completo en subsistemas para un mejor desarrollo, puesto que así es posible la creación de módulos que deben de coexistir para que el funcionamiento del proyecto sea óptimo, por lo tanto, el primer paso es determinar las áreas funcionales del proyecto.

A continuación, se presenta el IDEF0 general de todo el sistema y desglosando las áreas funcionales del sistema y sus respectivas señales.

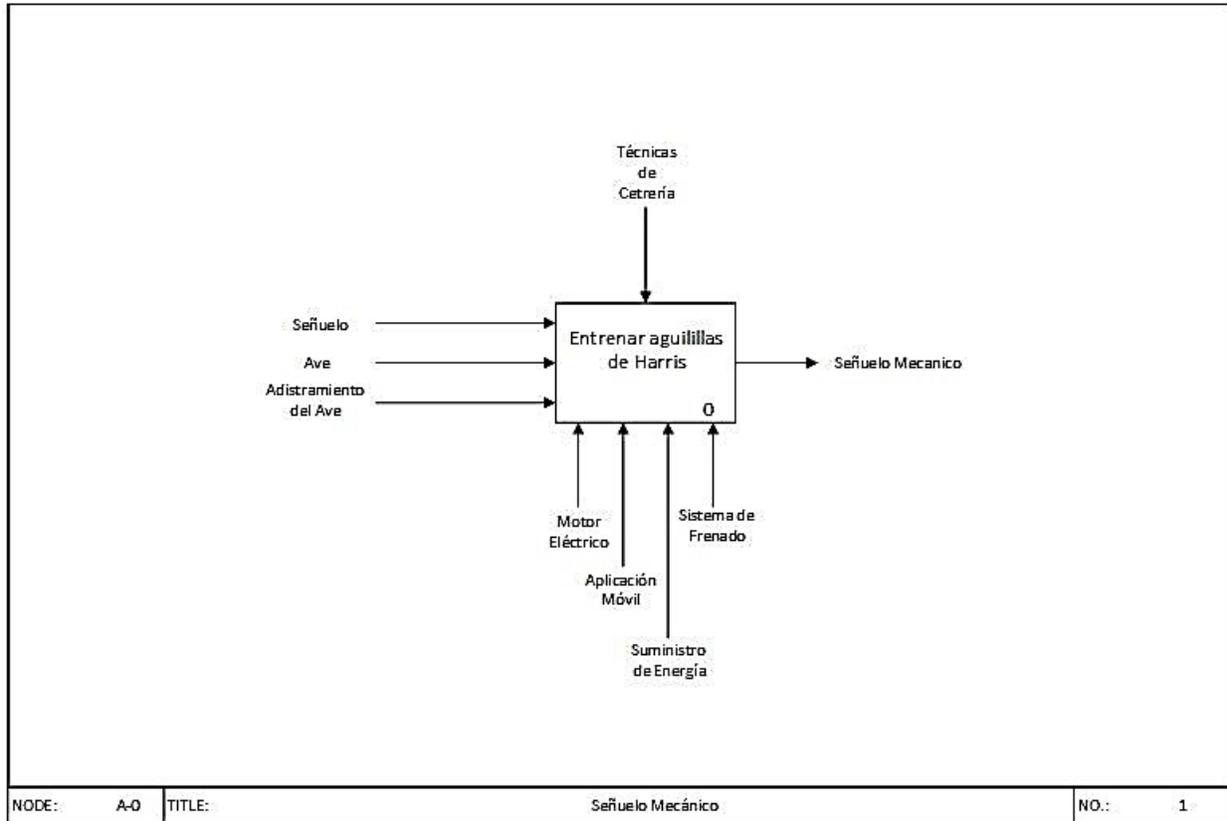


Imagen 23 Diagrama IDEF0 general del proyecto.

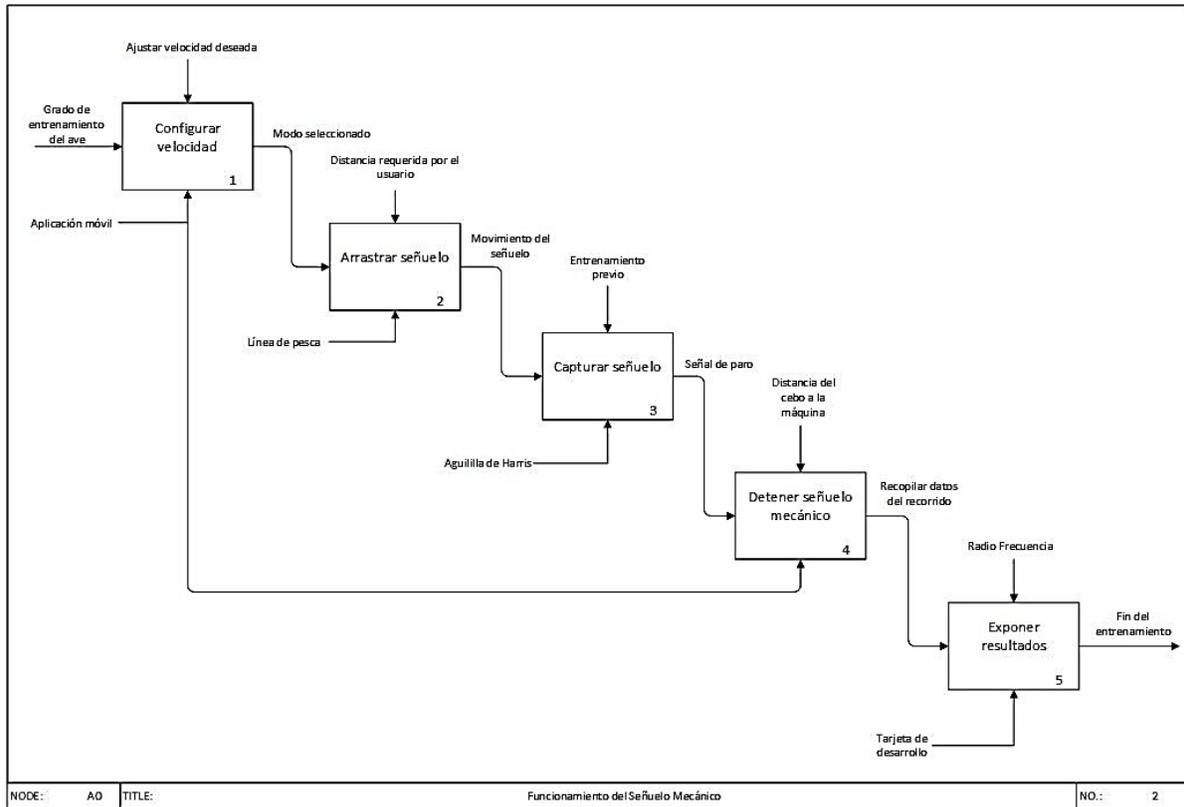


Imagen 24 Diagrama IDEF0 con detallando las áreas funcionales.

3.3 Diseño conceptual

Para la generación del diseño conceptual, se empleó un análisis morfológico tomando en cuenta los principales aspectos físicos relacionados con los requisitos a cumplir. Estos puntos son:

- **Soportar motor:** Se refiere a la manera en la que se va a soportar el motor dentro de la estructura.
- **Anclar estructura:** Se refiere a la manera en la cual se sujeta de la estructura al suelo.
- **Forma de la carcasa:** Es la morfología de la carcasa exterior, la cual debe ser funcional además de estética.
- **Forma del carrete:** Se refiere a la morfología y tipo de carrete que se pretende implementar.
- **Ubicación de la fuente de alimentación:** Es el lugar donde se va a ubicar la fuente de alimentación.
- **Transmisión de movimiento:** Es la manera por la cual se va a transmitir el movimiento del motor hacia la polea.

3.3.1 Matriz morfológica

Para algunos diseños conceptuales se tomó como inspiración las morfologías de las máquinas que actualmente se encuentran en el mercado.

A continuación, se exponen las combinaciones construidas considerando las combinaciones posibles.

Tabla 6. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 1

Opción 1				
Áreas funcionales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Soportar de motor	Soporte en ángulo	Soporte soldado	Soporte recto	Soporte en impresión 3D
Anclar estructura	Estaca	Tirantes	Anclaje fijo	
Forma de la carcasa	Arco con lado en ángulo recto	Media Luna	En forma de L	Media Luna prismático
Forma del carrete	Carrete cilíndrico	Carrete hueco	Carrete con perfil curvo	Carrete con perfil plano
Ubicación de fuente de alimentación	Dentro de la carcasa	Externa		
Transmisión de movimiento	Poleas	Engranajes	Eje y acople	Poleas dentadas

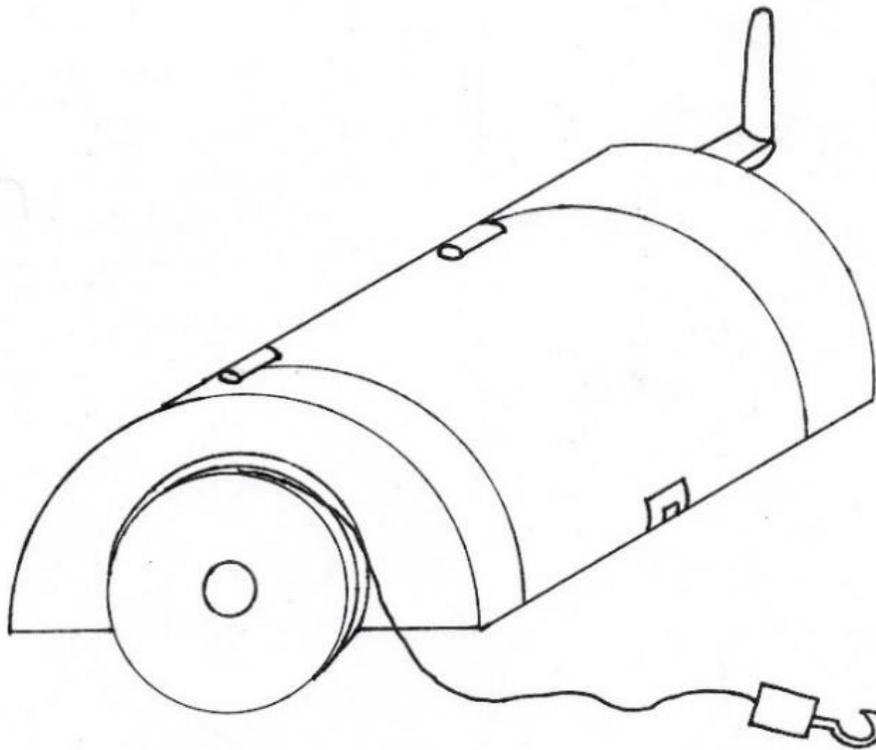


Imagen 25. Primera propuesta de estructura con forma de "Media luna" prismática.

Tabla 7. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 2

Opción 2				
Áreas funcionales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Soportar motor	Soporte en ángulo	Soporte soldado	Soporte recto	Soporte en impresión 3D
Anclar estructura	Estaca	Tirantes	Anclaje fijo	
Forma de la carcasa	Arco con lado en ángulo recto	Media Luna	En forma de L	Media Luna prismático
Forma del carrete	Carrete cilíndrico	Carrete hueco	Carrete con perfil curvo	Carrete con perfil plano
Ubicación de fuente de alimentación	Dentro de la carcasa	Externa		
Transmisión de movimiento	Poleas	Engranés	Eje y acople	Poleas dentadas

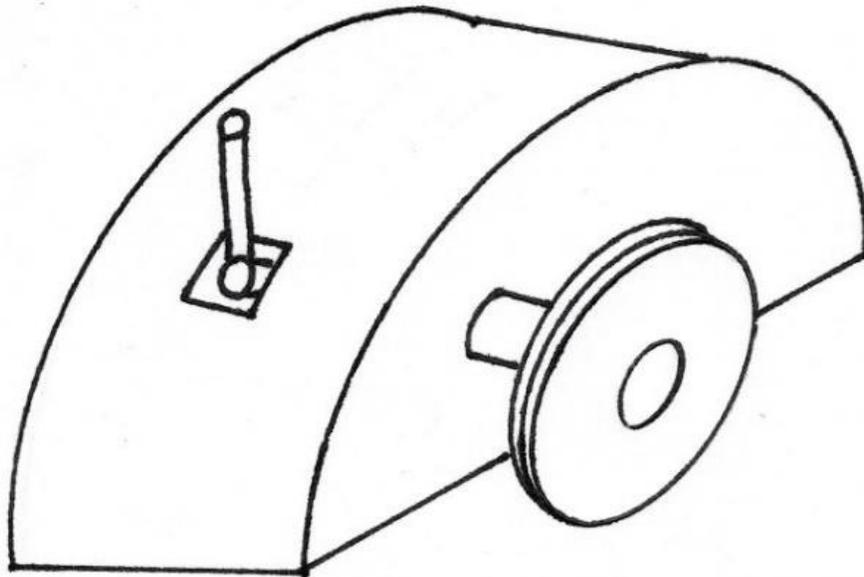


Imagen 26. Segunda propuesta de estructura con forma de "Media luna" en su sección transversal.

Tabla 8. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 3

Opción 3				
Áreas funcionales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Soportar de motor	Soporte en ángulo	Soporte soldado	Soporte recto	Soporte en impresión 3D
Anclar estructura	Estaca	Tirantes	Anclaje fijo	
Forma de la carcaza	Arco con lado en ángulo recto	Media Luna	En forma de L	Media Luna prismático
Forma del carrete	Carrete cilíndrico	Carrete hueco	Carrete con perfil curvo	Carrete con perfil plano
Ubicación de fuente de alimentación	Dentro de la carcaza	Externa		
Transmisión de movimiento	Poleas	Engranés	Eje y acople	Poleas dentadas

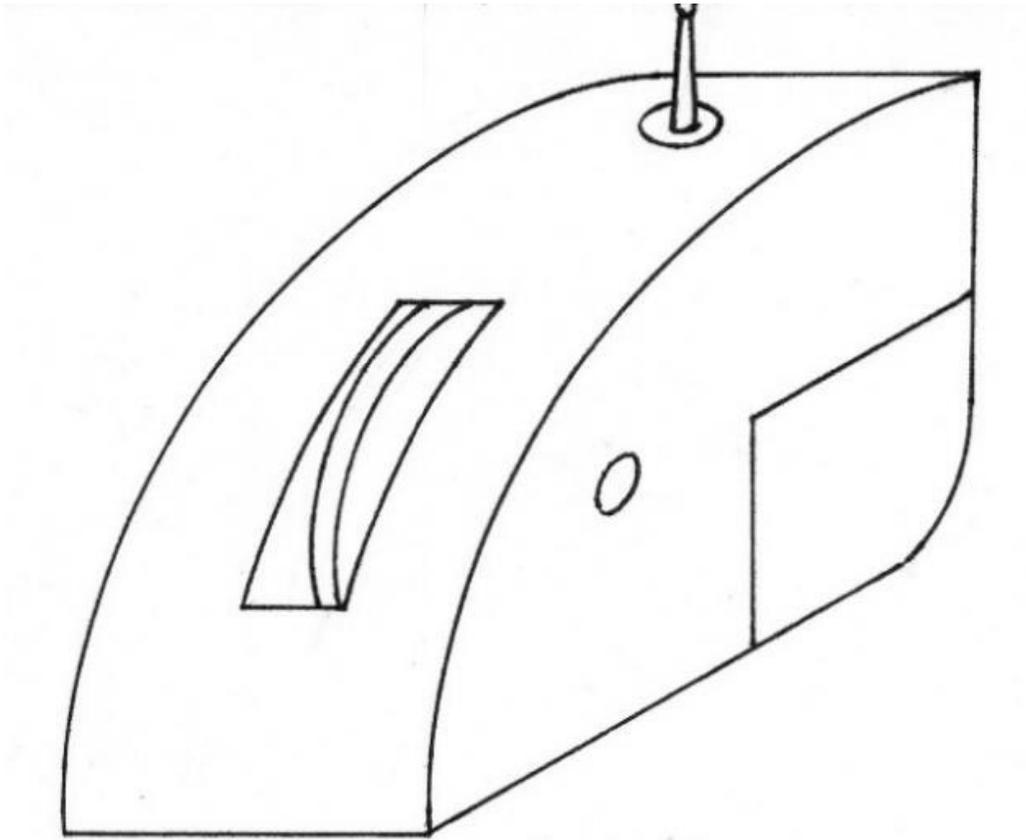


Imagen 27. Tercera propuesta de estructura en forma de arco con lados rectos.

Tabla 9. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 4.

Opción 4				
Áreas funcionales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Soportar de motor	Soporte en ángulo	Soporte soldado	Soporte recto	Soporte en impresión 3D
Anclar estructura	Estaca	Tirantes	Anclaje fijo	
Forma de la carcasa	Arco con lado en ángulo recto	Media Luna	En forma de L	Media Luna prismático
Forma del carrete	Carrete cilíndrico	Carrete hueco	Carrete con perfil curvo	Carrete con perfil plano
Ubicación de fuente de alimentación	Dentro de la carcasa	Externa		
Transmisión de movimiento	Poleas	Engranés	Eje y acople	Poleas dentadas

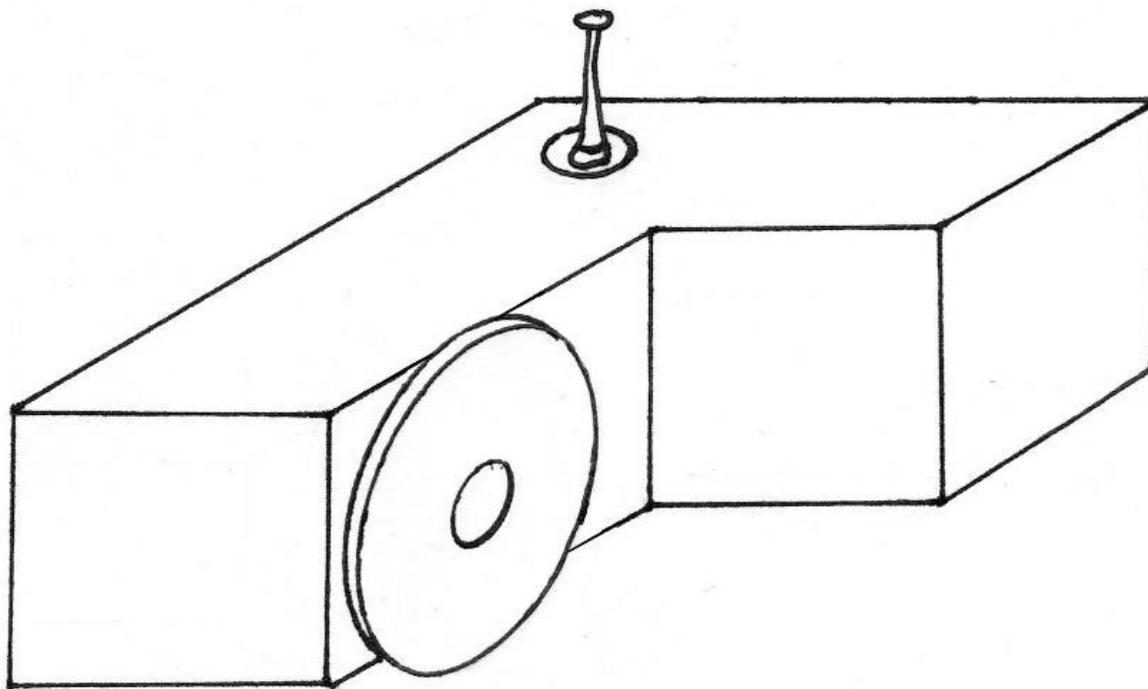


Imagen 28. Cuarta propuesta de estructura con vista superior en "L".

Tabla 10. Ruta seleccionada para el diseño conceptual 5.

Opción 5				
Áreas funcionales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Soportar de motor	Soporte en ángulo	Soporte soldado	Soporte recto	Soporte en impresión 3D
Anclar estructura	Estaca	Tirantes	Anclaje fijo	
Forma de la carcasa	Arco con lado en ángulo recto	Media Luna	En forma de L	Media Luna prismático
Forma del carrete	Carrete cilíndrico	Carrete hueco	Carrete con perfil curvo	Carrete con perfil plano
Ubicación de fuente de alimentación	Dentro de la carcasa	Externa		
Transmisión de movimiento	Poleas	Engranés	Eje y acople	Poleas dentadas

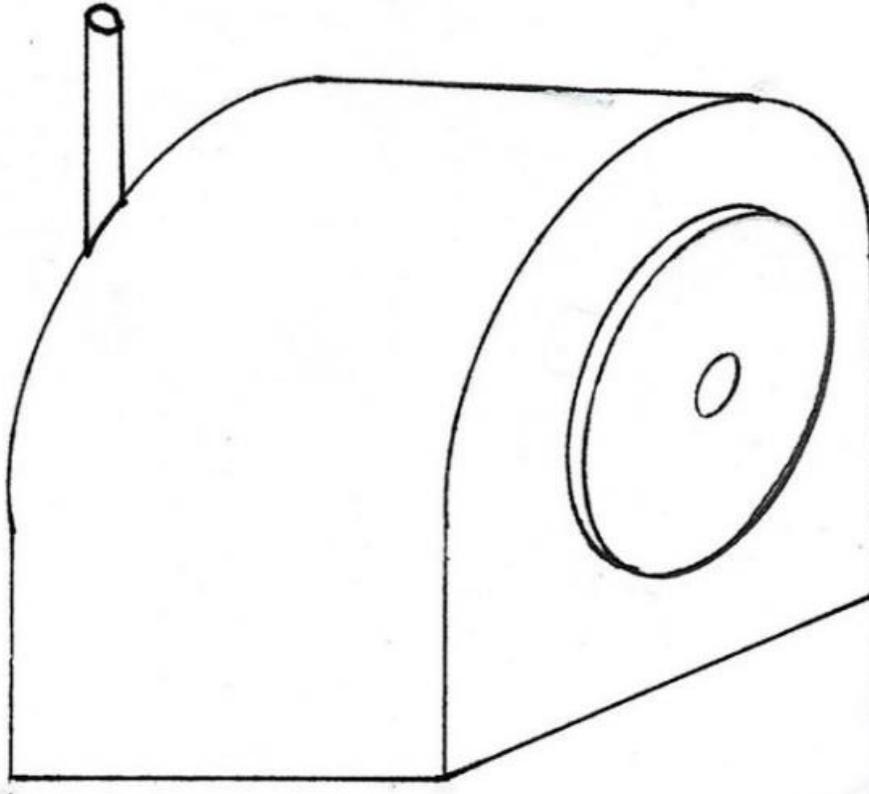


Imagen 29 Quinta propuesta de estructura.

3.3.2 Selección del diseño conceptual

De acuerdo con la jerarquización de los criterios obtenidos en la sección 3.1.3 Proceso de análisis jerárquico se generó la siguiente asignación de porcentajes a cada uno de los diseños conceptuales para determinar el diseño ganador.

Tabla 11. Asignación de porcentajes.

	Requerimiento	Diseño conceptual 1	Diseño conceptual 2	Diseño conceptual 3	Diseño conceptual 4	Diseño conceptual 5
A	Precio	1.75	2.34	2.92	4.67	4.67
B	Seguridad	12.62	22.08	18.92	25.23	25.23
C	Portabilidad	3.59	4.19	4.78	4.78	4.78
D	Compatibilidad	2.28	9.10	7.96	3.41	9.10
E	Manejo	5.27	9.48	7.37	5.27	9.48
F	Complejidad	6.27	5.57	2.79	4.18	6.27
G	Material	3.29	5.93	4.61	4.61	5.93
H	Mantenimiento	2.24	2.80	4.48	3.36	4.48
I	Proceso de fabricación	7.75	5.81	2.91	5.81	7.75
J	Disposición de componentes	45.05	67.30	56.75	61.33	77.70

De acuerdo con la evaluación anterior hecha por las tablas ponderadas se llegó a la conclusión que el diseño conceptual 5 es la opción ganadora en la cual se basa el diseño del proyecto, debido a que se acopla a las dimensiones y formas que requiere el proyecto para su implementación.

3.3.2 Arquitectura física

Debido a que el proyecto está compuesto de subsistemas mecánicos, electrónicos y de programación, la sección actual se enfoca en presentar los primeros pasos del diseño y selección de elementos físicos que están presentes en el sistema, así como los criterios que se tomaron para cada subsistema.

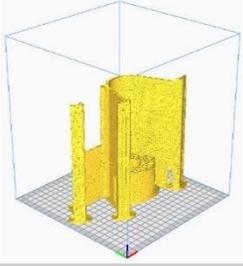
3.3.2.1 Carcasa

Para la generación de la carcasa se inspiró principalmente en los modelos que actualmente se comercializan, los cuales se limitan a tener formas de paralelepípedos rectangulares o cúbicas, con algunas variaciones y en algunos casos solamente son estructuras sin carcasa. La idea principal es que el diseño sea compacto y se adecue a las necesidades del cliente. A continuación, se muestran algunos diseños de los cuáles se tomaron ideas para el diseño conceptual de la carcasa que están representados en la sección 3.3.2 Selección del diseño conceptual.

3.3.2.2 Soporte del motor

Con respecto a la morfología se propusieron opciones comerciales como el diseño del soporte dependiendo de las dimensiones, disposición y peso del motor a seleccionar.

Tabla 12. Opciones de morfología para el soporte con ventajas y desventajas

Opciones	Ventajas	Desventajas
 <p>Soporte recto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menor espacio en la instalación. • Adaptable. • Soporta esfuerzos mecánicos considerables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las dimensiones y formas están sujetas a los motores más comerciales. • Tiempo de obtención. • Compatibilidad con el motor.
 <p>Soporte en ángulo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor área de soporte a una base fija. • Soporta esfuerzos mecánicos considerables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las dimensiones y formas están sujetas a los motores más comerciales. • Tiempo de obtención. • Compatibilidad con el motor.
 <p>Soporte impreso en 3D</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Libertad de dimensiones. • Libertad de puntos de sujeción. • Diseño flexible. • Opción de elegir material de impresión más fuerte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptibilidad a grandes esfuerzos mecánicos. • Errores de impresión.

Finalmente se optó por utilizar el soporte impreso en 3D debido a la facilidad y libertad de generar el diseño a la medida del motor y facilidad de obtención.

3.3.3 Transmisión de movimiento

Existen diversos mecanismos de transmisión de movimiento como engranes o poleas, algunos de ellos son utilizados específicamente para generar tracción en elementos grandes y que requieren mayor potencia [29], por esta razón se descartó la utilización de estos mecanismos para la transmisión de la velocidad principal, por lo tanto, se plantea el uso de un acople, el cual permite la transmisión del movimiento del motor hacia el carrete evitando pérdidas significativas por la fricción entre los componentes. El acople entre ejes se representa en la siguiente imagen.



Imagen 30 Diagrama del acople entre ejes.

3.4 Diseño detallado

Dentro de esta área se presentan los criterios y consideraciones que se tomaron para la generación de los subsistemas, como son los cálculos de esfuerzo para la selección del motor, piezas mecánicas, componentes electrónicos y demás piezas que se desarrollaron a detalle en cada sección. Cabe resaltar que en algunas secciones se optó por seleccionar componentes debido a que son comerciales, de fácil acceso y con un costo menor comparado con el costo de desarrollarlos desde cero.

3.4.1 Configurar velocidad

3.4.1.1 Tarjeta de desarrollo

La tarjeta de desarrollo que se seleccionó para el control y cálculo de los datos es la STM32F446RET6 debido a su facilidad para la programación y su interfaz amigable, por otra parte, una las características esenciales que se tomó en cuenta fue el bajo consumo que requiere para trabajar [30].

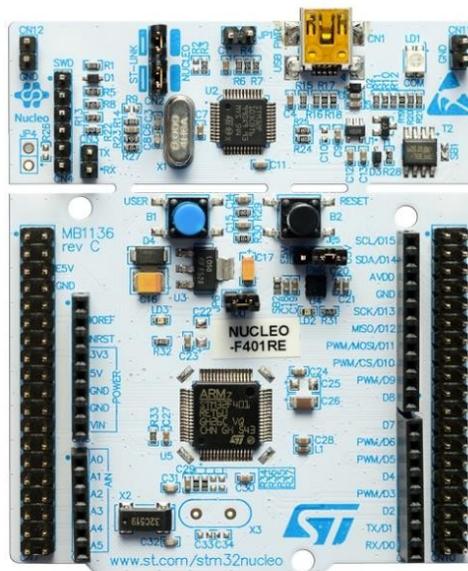


Imagen 31 Tarjeta de desarrollo NUCLEO-64 STM32446RE [30]

3.4.1.2 Conexión inalámbrica con módulo Bluetooth

Por solicitud del cliente, el proyecto se debe de comunicar mediante bluetooth para controlar el sistema y recabar datos que ayuden a cuantificar la mejora del ave con cada entrenamiento. Por lo comentado anteriormente se utilizó un módulo de conexión bluetooth el HC-05 que funge como el interlocutor entre la tarjeta de desarrollo núcleo 64 y el dispositivo móvil [31].



Imagen 32 Módulo HC-05 [31].

En la siguiente imagen se representa el diagrama de flujo que consiste en generar la conexión entre la aplicación móvil y obtener los datos para posteriormente ser separados y enviados a al siguiente proceso en caso de que cumplan con un formato que se definió.

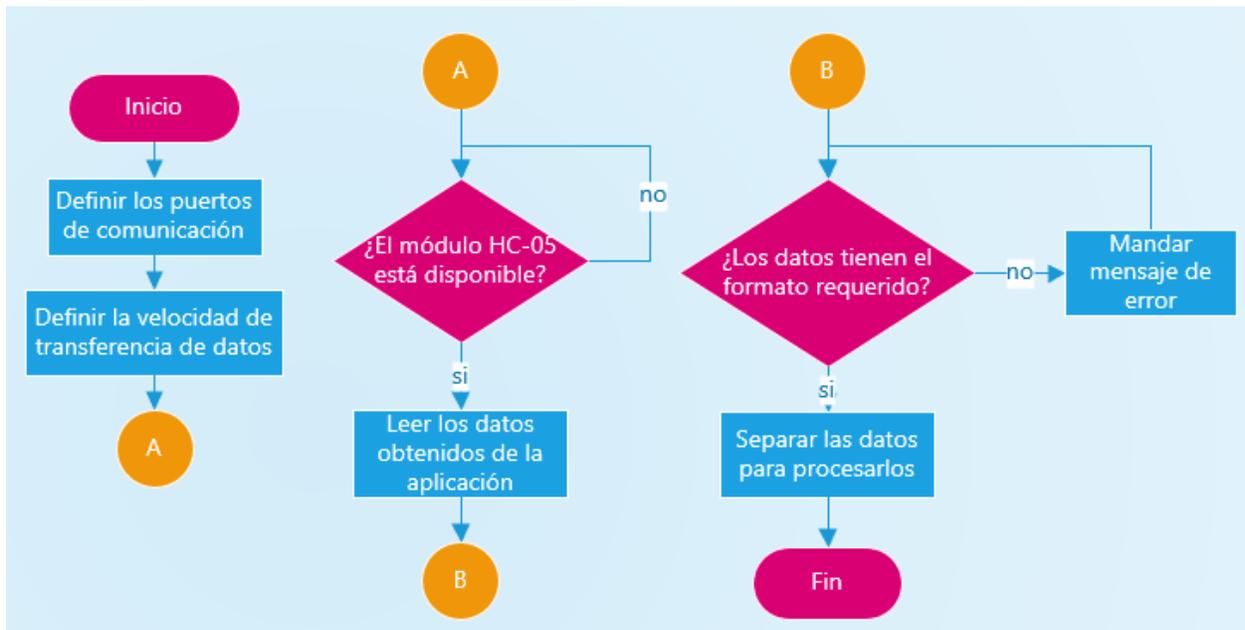


Imagen 33 Diagrama de flujo del programa para la conexión bluetooth.

La programación para la conexión inalámbrica por medio de bluetooth consiste en los siguientes pasos. Primero se definieron dentro de la programación los puertos de la tarjeta núcleo utilizados como transmisor y receptor de datos, para este caso en particular se utilizaron los puertos PC_10 y PC_1. Posteriormente se definió la velocidad de comunicación entre la tarjeta de desarrollo y el módulo HC-05 a un valor de 115200 baudios. Mediante una condición se pregunta si el módulo está disponible para poder obtener los datos que mande la aplicación móvil, en caso contrario se espera por su disponibilidad. Debido a que la transmisión de datos es de forma inalámbrica cabe la posibilidad de que se puedan recibir datos no deseados e incorrectos, es decir, datos basura que provoquen errores en el procesamiento de los datos, por lo tanto, se propuso un formato en el que los datos son empaquetados y enviados y así condicionar al programa a solo recibir aquella información que cumpla con dicho requisito. El formato de la cadena de datos consiste en 8 datos de los cuales 2 son identificadores de inicio y fin y los otros 6 se r

Una vez se haya cumplido con la condición anterior los datos son guardados en un arreglo de caracteres con una longitud de 9 elementos, la razón es por que

Debido a que la transmisión de datos será de forma inalámbrica cabe la posibilidad de que se puedan recibir datos no deseados e incorrectos, es decir, datos basura que provoquen errores en el procesamiento de los datos, por lo tanto, se propuso un formato en el que los datos serán empaquetados y enviados y así condicionar al programa a solo recibir aquella información que cumpla con dicho requisito. El formato de la cadena de datos consiste en 8 datos de los cuales 2 son identificadores de inicio y fin, de los 6 restantes, 3 son las banderas de inicio de operaciones, paro de operaciones y de modo de operación, y los últimos 3 pertenecen al valor de la velocidad, en la siguiente imagen se muestra de manera más clara dicho formato.

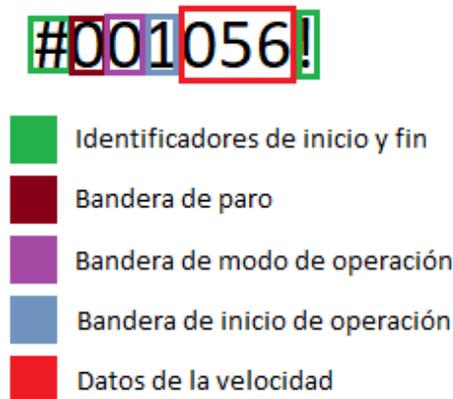


Imagen 34 Formato de los datos enviados por la aplicación.

El identificador de inicio es el carácter “#” y el de fin “!”, los valores para las banderas son únicamente 0 para desactivarla y 1 para activarla, y en el caso de la bandera de modo de operación 0 significa modo automático y 1 modo manual, finalmente los últimos 3 dígitos corresponden al valor de la velocidad que se desea alcanzar. De esta manera es posible evitar datos basura y errores al momento de la obtención de los valores de velocidad y por ende del cálculo de los polinomios.

El programa se encuentra en el apéndice [G. Conexión bluetooth entre teléfono y tarjeta de desarrollo](#)

3.4.1.3 Polinomios de velocidad

Por la naturaleza de la actividad es necesario que en todo momento la velocidad del señuelo sea controlada para evitar de cualquier forma un percance para el animal cuando se esté usando el modo automático del señuelo mecánico. Por lo tanto, es necesario que las velocidades y tiempos dentro del recorrido estén previamente definidos por el usuario. En seguida se muestra el perfil de velocidad propuesto para el recorrido.

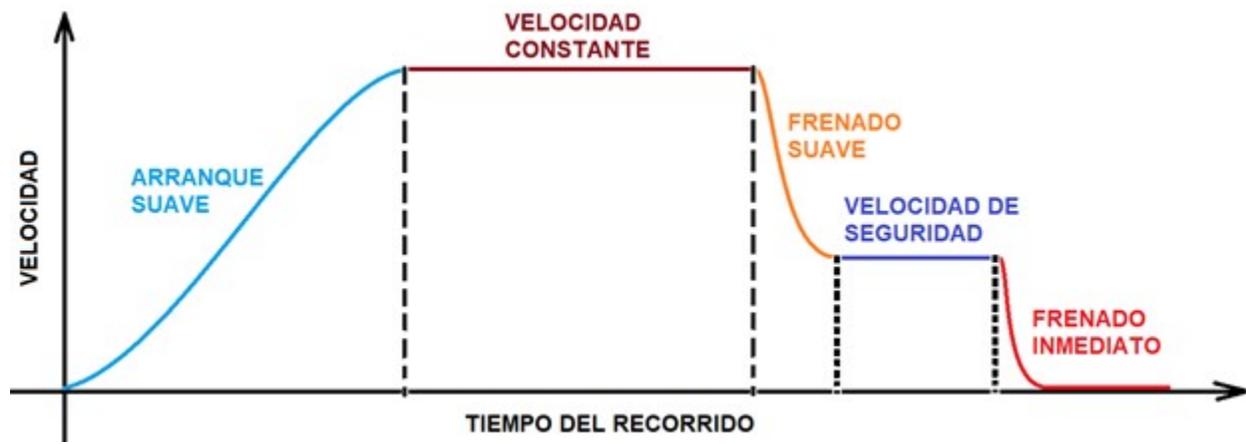


Imagen 35 Perfil de velocidad del recorrido completo.

De acuerdo con el diagrama de la imagen anterior, el recorrido consiste en las siguientes etapas, primero se comienza con un arranque suave hasta llegar a una velocidad definida por el usuario, posteriormente se mantiene esa velocidad por un periodo, una vez el ave esté lo suficientemente cerca del señuelo se comienza a bajar la velocidad gradualmente, hasta llegar a una velocidad segura, la cual se mantiene por otro tiempo y finalmente con una velocidad suficientemente baja el frenado se hace inmediatamente.

Es necesario que el arranque y el frenado se efectúen de manera gradual puesto que en el caso contrario pueden derivar en picos de corriente, dañando así la circuitería encargada de controlar al motor. Por lo anterior es importante implementar un arranque mediante polinomios de tercer grado que usualmente se utilizan para el seguimiento de trayectorias dentro de sistemas robóticos [32] para este caso en particular se utiliza para generar un arranque de manera gradual.

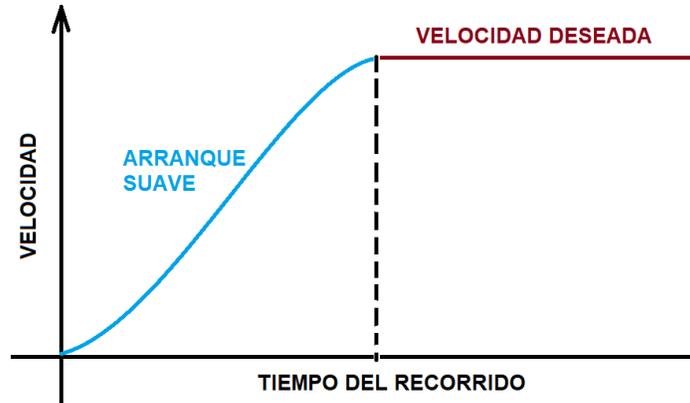


Imagen 36 Polinomio de velocidad correspondiente al arranque.

La ecuación 32 comúnmente es usada para generar una trayectoria deseada que debe de seguir un robot manipulador para llegar de una posición inicial a una final, considerando parámetros como el tiempo y las velocidades angulares. En este caso en particular, se toma la misma ecuación que originalmente determina la posición de un punto deseado en el robot, para determinar una función que represente la velocidad al momento del arranque. De acuerdo con lo dicho anteriormente entonces es posible generar la función de arranque que dependa de 3 variables muy importantes, las cuales son el tiempo final, la velocidad inicial y final. Puesto que se considera siempre que la velocidad inicial es cero debido a que siempre se parte del reposo, solo quedan el tiempo de recorrido y la velocidad final.

Para la generación del polinomio se implementó una función para calcular los datos correspondientes al arranque. En seguida, se presenta el diagrama de flujo correspondiente.



Imagen 37 Diagrama de flujo del programa para la generación del perfil de velocidad.

La función generada tiene la ventaja de poder ser usada tanto en arranque como en paro.

En el apéndice Programa del polinomio de tercer grado se presenta el código empleado para la generación de los polinomios.

3.4.1.4 Control de velocidad

Puesto que el algoritmo anterior únicamente genera el perfil de velocidad, es necesario complementarlo con un control de velocidad para el modo automático, por lo tanto, se propone la implementación de un control PI para el control de la velocidad dentro del perfil antes presentado.

Para

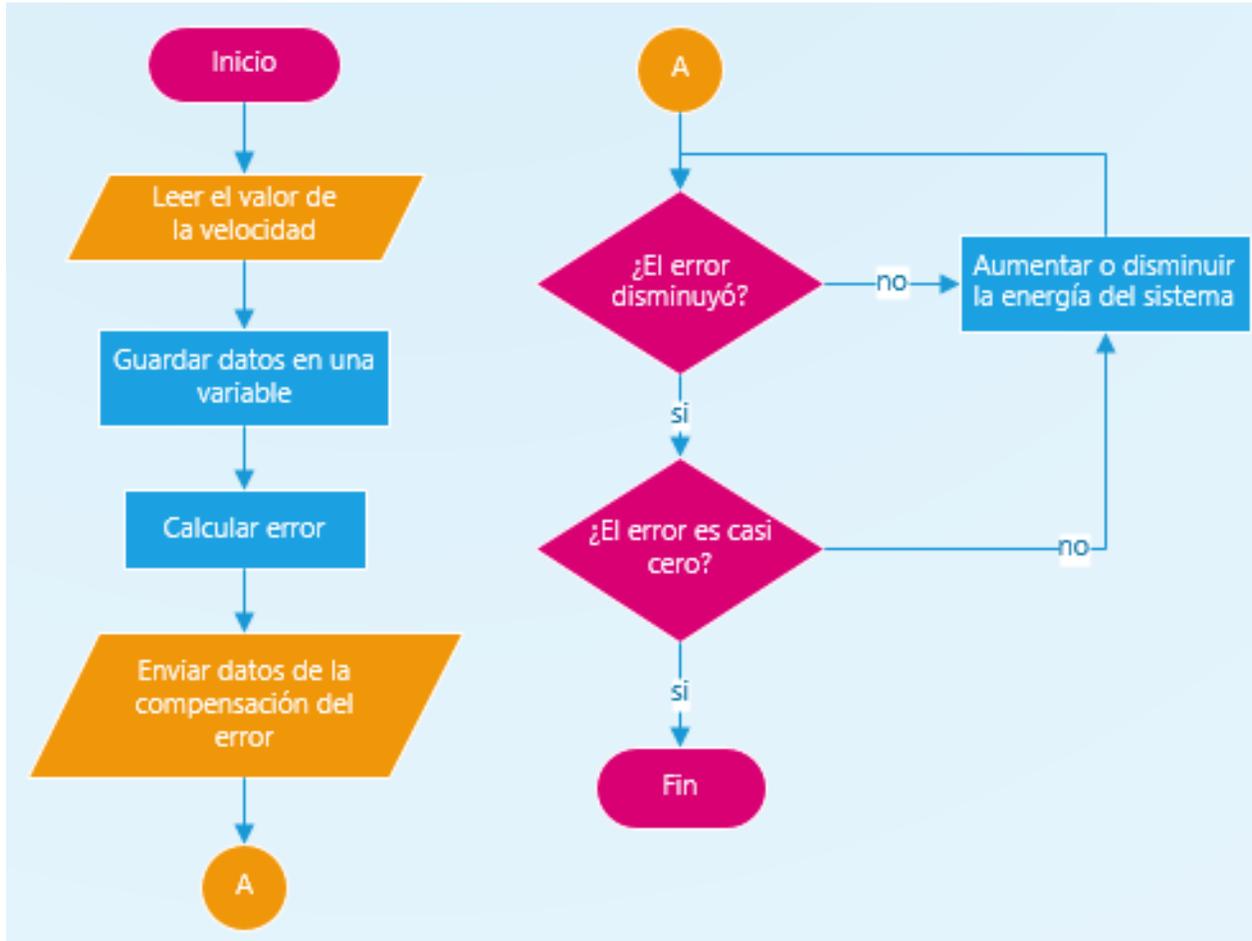


Imagen 38 Diagrama de flujo correspondiente al programa del control PI.

Debido a que se está trabajando con velocidades en el rango de hasta 5000 RPM que es el valor máximo que alcanza el motor elegido, no es necesario que la referencia del motor llegue a una velocidad exacta.

Puesto que se implementó un control es necesario el medir la velocidad para que se pueda generar la retroalimentación, por lo tanto, es necesario determinar que opción es la más factible acorde con las opciones que se presentan en seguida.

Tabla 13 Selección del tipo de encoder.

Encoder					
Parámetros	Porcentaje de Relevancia	Encoder de 400 pulsos por revolución	Encoder rotativo	Encoder óptico	Encoder de efecto hall
Resolución	25.00%	1	0.8	0.6	1
Tamaño	25.00%	0.8	0.6	0.6	0.6
Tensión de alimentación	20.00%	0.8	1	1	1
Precio	10.00%	0.6	0.8	0.8	0.8
Tipo	20.00%	1	0.6	0.8	0.8
Total	100.00%	85.00%	75.00%	70.00%	84.00%

El ganador fue el encoder de incremental de 400 pulsos por revolución el cual tiene las siguientes características [33].

- Resolución de 400 pulsos por revolución.
- Alimentación de 5V a 24V.
- Velocidad máxima 5000 RPM



Imagen 39 Encoder incremental de 400 pulsos por revolución [33].

Debido a que las dimensiones del eje del motor seleccionado no son suficientes para que se pueda generar un acople de manera colineal al eje, es necesario que el acoplamiento se realice de otra manera. Es por lo que se propone un acoplamiento con poleas dentadas de la misma cantidad de dientes para no modificar la relación de vueltas y una banda dentada.

3.4.1.5 Elementos de acople.

En la sección de 3.4.1 Configurar velocidad se propuso la utilización de poleas dentadas para generar un acoplamiento entre el motor y el encoder para medir la velocidad a la que va el motor. Las poleas dentadas elegidas fueron de 6mm de diámetro interno y 8 mm respectivamente y con la misma cantidad de dientes para que la relación en las vueltas sea la misma.

En las imágenes 39 y 40 se muestran sus dimensiones de cada polea respectivamente

La polea acoplada al eje del motor tiene las siguientes medidas.

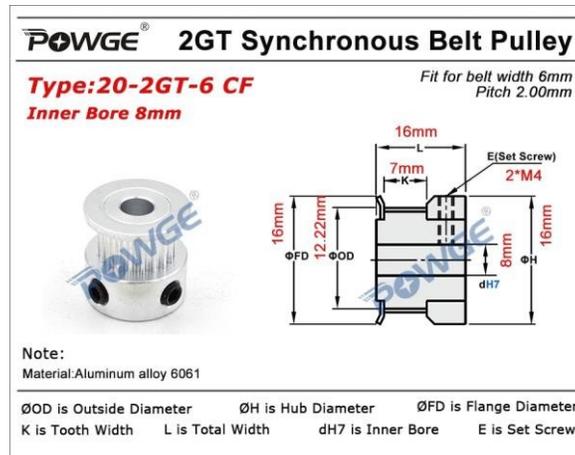


Imagen 40 Medidas de la polea dentada de 8mm acoplada al eje del motor [50].

La polea para el acople del encoder tiene las siguientes medidas.



Imagen 41 Medidas de la polea dentada de 6.35mm acoplada al encoder [50].



Imagen 42 Polea dentada de 8mm a la izquierda y polea dentada de 6mm a la derecha.

3.4.2 Arrastrar señuelo

3.4.2.1 Cálculo de las fuerzas y momentos

Para el arrastre del señuelo se debe modelar la posición de la línea de pesca con respecto del carrete, ya que se depende principalmente de un elemento: el motor; el cual debe ser seleccionado con respecto a la carga que se desee traccionar. En el caso de este señuelo mecánico se dio una especificación máxima de carga en el señuelo de *3 kilogramos* a una distancia máxima de recorrido de *300 metros*.

Se parte del diagrama de cuerpo libre del señuelo:

Se calculó su peso el cual tiene un valor de

$$W = m_c \cdot g \quad (33)$$

$$W = (3 \text{ kg}) (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 29.43 \text{ N}$$

Se investigó acerca del coeficiente de fricción que ofrece el pasto/suelo encontrando que tiene un valor de 0.4 [34], por lo que el valor de la normal es de:

$$N = (0.4)(29.43 \text{ N}) = 11.77\text{N}$$

Para la selección del motor, se partió del diseño de medialuna como propuesta para la disposición propuesta del motor con la polea, con lo que se obtienen los ángulos según las distancias críticas.

Con base en la velocidad lineal que se requiere a lo largo de la línea de pesca para su tracción, mediante el software de GeoGebra se simulan y calculan los ángulos en cada uno de los extremos:

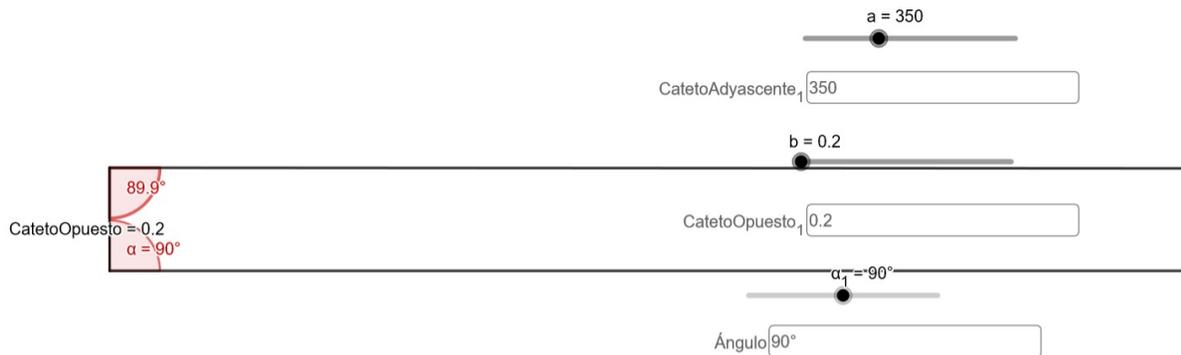


Imagen 43. Ángulos presentados en la línea de pesca antes del recorrido con respecto del eje.

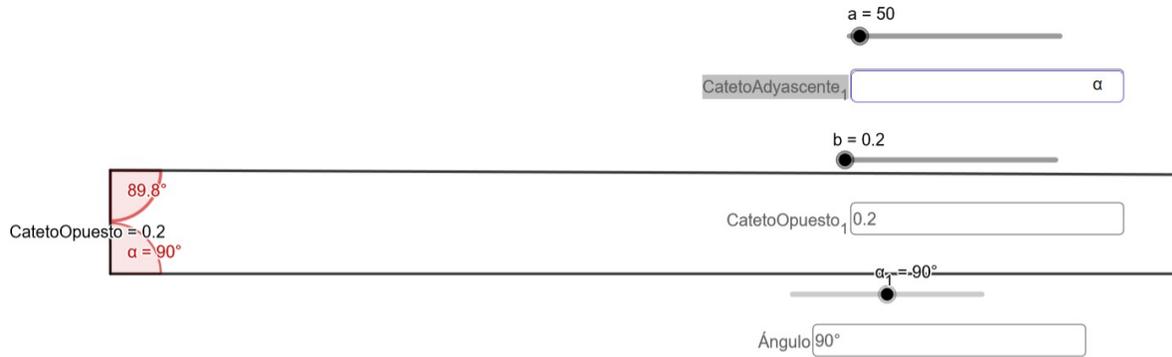


Imagen 44. Ángulos presentados en la línea de pesca después del recorrido con respecto del eje.

Con los anteriores ángulos se llega a la conclusión que el ángulo de inclinación que presenta la línea de pesca no representa un cambio significativo en la tensión aplicada en la componente horizontal, ya que:

$$F_{Tx} = T \cos(90 - \alpha) \quad (34)$$

$$F_{Tx} = F_T \cos(90 - 89.9) = F_T \cos(0.1) \approx F_T$$

En el caso de la distancia final,

$$F_{Tx} = F_T \cos(90 - \alpha) \quad (35)$$

$$F_{Tx} = F_T \cos(90 - 89.8) = F_T \cos(0.2) \approx F_T$$

Después del análisis en ambos ángulos presentados en la distancia máxima, se plantea las ecuaciones de dinámica para calcular la aceleración lineal.

$$v dv = a ds \quad (36)$$

$$\int_{v_0}^v v dv = a \int_{s_0}^{s_f} ds \quad (37)$$

$$\frac{v^2}{2} \Big|_{v_0}^v = a s \Big|_{s_0}^{s_f} \quad (38)$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2 (s_f - s_0)} \quad (39)$$

Sustituyendo los siguientes valores en la ecuación, se obtiene la aceleración lineal de la carnada, que es la misma a lo largo de la línea de pesca.

Velocidad inicial	V_o	0.00	$\frac{m}{s}$
Velocidad final	V_f	33.33	$\frac{m}{s}$
Distancia inicial	s_o	50.00	M
Distancia final	s_f	350.00	m
Aceleración de la carnada	a_{mc}	1.85	$\frac{m}{s^2}$

De las ecuaciones de dinámica

$$\sum F_x = m a_{mc} \quad (40)$$

$$-T + F_f = m a_{mc} \quad (41)$$

$$T = F_f - m a_{mc} \quad (42)$$

Sustituyendo los valores en la *Ecuación 43*.

$$T = 10.36 \text{ N}$$

Para el cálculo de masa variable en el carrete, se considera el material del que está construida la línea de pesca para la aproximación el peso de la línea de pesca. Dicho material es el polietileno de densidad alta el cual cuenta con una densidad promedio de $\rho = 955 \frac{kg}{m^3}$

Para el cálculo de la masa que aportaría al inicio de la carrera (con 150 metros enrollados) y al final de ella (con 500 metros enrollados),

Teniendo los siguientes datos:

Tabla 14. Datos sobre la línea de pesca.

	Cantidad	Unidad
Diámetro de Fibra	0.24	mm
Número de fibras	4	-
Longitud total de línea de pesca	500	m
Volumen total de línea de pesca de 500 m	9.05×10^{-5}	m^3

Con base en la razón de densidad con masa, se tiene que para una densidad $\rho = 955 \frac{kg}{m^3}$:

Tabla 15. Masa de carrete.

	Longitud [m]	Masa [kg]
Carrete completo	500	8.64×10^{-2}
Carrete enrollado al inicio de carrera	150	2.59×10^{-2}
Carrete enrollado al final de carrera	450	7.78×10^{-2}

Para modelar el aumento de radio en el carrete se considera presente el caso de la *Espiral de Arquímedes*, por lo que se tiene que su radio se encuentra descrito por la *Ecuación 22*.

Además, se considera la siguiente propuesta de figura, haciendo un corte transversal a la circunferencia de la polea teniendo una disposición de la cuerda de manera trapezoidal para asegurar el acomodo de la línea de la parte central hacia los lados.

Por propuesta e inicio de modelado se considera un área de trabajo de 17 centímetros de ancho en la polea, obteniendo la relación que en el ancho promedio de la polea se pueden colocar 354 veces la línea de pesca de 4 hilos, teniendo un paso aproximado de 0.24 milímetros.

Se parte de la fórmula de perímetro

$$d_l = 2\pi r \quad (43)$$

Planteando la distancia lineal que rodea la circunferencia de la polea, y a r como el radio en el instante t .

Sustituyendo la equivalencia del radio en la distancia lineal y tomando en cuenta la relación de número de veces que la línea de pesca, idealmente, es colocada en el carrete

$$d_l = 2\pi \left(r_o + \frac{h}{2\pi} \theta \right) \quad (44)$$

$$d_l = 2\pi (r_o + h \cdot \text{revoluciones}) \quad (45)$$

Despejando las revoluciones y tomando en consideración que en un carrete con 0.17 metros de espesor, se pueden colocar 354 revoluciones de una línea de pesca común de 0.48 milímetros de espesor:

$$\text{revoluciones} = \frac{1}{354 \cdot h} \left(\frac{d_l}{2\pi} - r_o \right) \quad (46)$$

Sustituyendo los siguientes valores en la *Ecuación 47* se obtiene que para los 150 metros inicialmente enrollados:

Radio inicial (Polea)	r_0	0.05 m
revoluciones para Rf	rev	36.3 revoluciones
Radio final con 150 metros enrollados	r_f	0.07 m

Para los 450 metros enrollados, se tiene:

Radio inicial (Polea)	r_0	0.05 m
revoluciones para Rf	rev	317 revoluciones
Radio final con 450 metros enrollados	r_f	0.18 m

Los radios finales son calculados con la fórmula del radio de la rueda de Maxwell con fines del diseño CAD.

Con los siguientes radios de calcula el momento de inercia de los casos con el aro de línea de pesca enrollada en su punto inicial y recorrido finalizado.

Tabla 16. Modelado de carrete embobinado.

Puntos críticos	Masa			Momento de inercia	
Masa, posición inicial	m_o	2.59×10^{-2}	kg	5.63×10^{-4}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Masa, recorrido finalizado	m_f	7.78×10^{-2}	kg	2.74×10^{-4}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

Una vez obtenidos los valores de la línea de pesca, se modeló del carrete a adaptar, siguiendo los límites en las medidas proporcionadas por el cliente en SolidWorks:

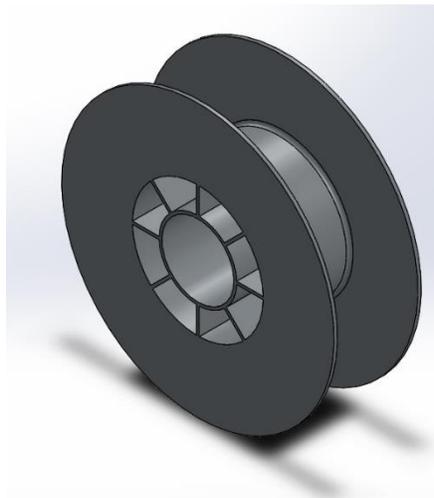


Imagen 45. Modelo 3D de carrete.

$$\begin{aligned} \text{Masa del carrete:} & \quad m_c = 2.34 \text{ kg} \\ \text{Momento de inercia del carrete:} & \quad I_{zz} = 0.015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

Posterior a ello, se calculan los momentos de inercia provocados por la tensión de la cuerda como una carga a la distancia de radio final de cada uno de los casos por lo que se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Momento de inercia. Masa puntual, carnada inicial} & \quad 2.88 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \\ \text{Momento de inercia. Masa puntual, carnada final} & \quad 2.59 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

Con base en los anteriores cálculos se hace la suma de momentos con respecto al eje z del eje y la polea con los que se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{Suma total de momentos de inercia con respecto a eje z (posición inicial)} & \quad 1.84 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \\ \text{Suma total de momentos de inercia con respecto a eje z (posición final)} & \quad 4.12 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

Una vez obtenidos estos valores se calcula el par necesario para movilizar la carga a la velocidad lineal requerida con base en la fórmula

$$\tau_m = I_{zz} \alpha_c \quad (47)$$

Se calcula:

Tabla 17. Par torsor.

Par torsor			
Aceleración de la carnada	a_{mc}	1.85	m/s ²
Velocidad final	V_f	33.33	m/s
Radio final	r_f	0.19	m
Aceleración angular en el carrete	α_c	9.75	rad/s ²
Par torsor, posición inicial	I_o	0.18	N · m
Par torsor, posición final	I_f	0.40	N · m

Analizando el par torsor con la velocidad angular en ambas posiciones considerando su velocidad lineal constante de valor 33.33 m/s.

$$\omega_c = v * r \quad (48)$$

Obteniendo los valores de

$$\begin{aligned} \text{velocidad angular, posición inicial} & \quad \omega_o = 494.28 \text{ rad/s} \\ \text{velocidad angular, posición final} & \quad \omega_f = 164.76 \text{ rad/d} \end{aligned}$$

De los datos anteriormente obtenidos, se calcula la potencia mecánica necesaria para la selección del motor con

$$P = \tau_m \cdot \omega_c \quad (49)$$

Aplicando la formula anterior se obtienen las potencias necesarias en ambos casos con su equivalencia de Watts a caballos de fuerza.

Potencia requerida	P_o	88.86 W	0.119 Hp
	P_f	66.18 W	0.089 Hp

3.4.2.2 Selección del motor

Con base en una tabla ponderada se designan los pesos en la siguiente tabla:

Tabla 18 Descripción de la puntuación.

Calificación de los parámetros	Puntuación
Nula	0.2
Mala	0.4
Regular	0.6
Buena	0.8
Excelente	1

Con ellos se evalúa dentro de los parámetros cinco posibles opciones de selección del motor mostrados en la tabla 18 además de tomar en cuenta los cálculos anteriormente realizados.

Tabla 19. Motores y sus características principales.

Motor de CD	Matrícula
Motor Magnético Permanente DC 1/4, 1/7 HP, Diseño del Motor CD Permanente Imán, 1750/3900 RPM Nominal, Voltaje 12/24VDC, Armazón No Estándar	4Z143
AmpFlow Brushed Electric Motor, 250W, 12V, 24V or 36 VDC, 3400 rpm	P40-250
Motor eléctrico de alta potencia DC 12V Cepillado 16mm Eje largo Micromotor de repuesto cilíndrico para generador pequeño (24V 5500rpm)	XD-63100
AmpFlow E30-150 Motor eléctrico cepillado, 12 V, 24 V o 36 V CC, 5600 rpm	E30-150
12V-DC Permanent-Magnet Electrical-Motor Servo CNC Brush Project Keyed 5000-RPM	63ZYT03C-12V

Todo esto con la finalidad de obtener aquel que cubra los requisitos principalmente de potencia y velocidad nominal necesarias en los picos presentados principalmente en el arranque. Esta

evaluación se muestra en la tabla 19 de la cual, por su evaluación cuantitativa, se puede concluir que la mejor opción de motor es el modelo **63ZYT03C-12V**, puesto que cumple con los requerimientos necesarios dentro del proyecto, y hasta los llega a superar sin ocasionar un rediseño dentro de los sistemas ya definidos dentro del proyecto.

Tabla 20. Selección de motor.

<i>Parámetros</i>	Porcentaje de Relevancia	<i>Motor</i>					
		4Z143	XD-63100	M30-450	P40-250	63ZYT03C-12V	E30-150
<i>Precio</i>	20.00%	0.4	0.6	0.6	0.8	1	0.8
<i>Voltaje de alimentación</i>	15.00%	1.0	1.0	0.4	0.2	1.0	1.0
<i>Potencia</i>	25.00%	0.8	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Velocidad</i>	25.00%	0.6	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
<i>Tiempo de envío</i>	15.00%	1.0	0.4	0.8	0.6	0.8	0.6
<i>Total</i>	100.00%	73.00%	68.00%	75.00%	73.00%	97.00%	90.00%

Las características del motor **63ZYT03C-12V** son las siguientes [35]:



Tabla 21. Parámetros del motor

Voltaje de alimentación 12-VDC		
Potencia de salida continua	Watts	~321
	HP	0.431
Velocidad continua	RPM	4090 ± 10%
Par continuo	N.m	0.75
Corriente continua	Amps	39.56
Par de arranque	N.m	3.79
Corriente de arranque	Amps	189.62
Velocidad sin carga	RPM	5000 ± 10%
Corriente sin carga	Amp	~1
Inercia del rotor	gcm²	750

Imagen 46. Motor 63ZYT03C-12V [35]

3.4.2.3 Cálculo del eje

Basados en la teoría del esfuerzo cortante máximo y la combinación de esfuerzos la cual está determinada por la siguiente ecuación:

$$\tau_{ADM} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + (\tau)^2} \quad (50)$$

Para el eje se propuso acero SAE 1020 y SAE 1045

A continuación, se muestran los cálculos de cada eje con los correspondientes tipos de acero propuestos.

Como primer paso se construye el diagrama de cuerpo libre del eje del motor. De acuerdo con las medidas del motor y el carrete se aproxima la longitud inicial del eje.

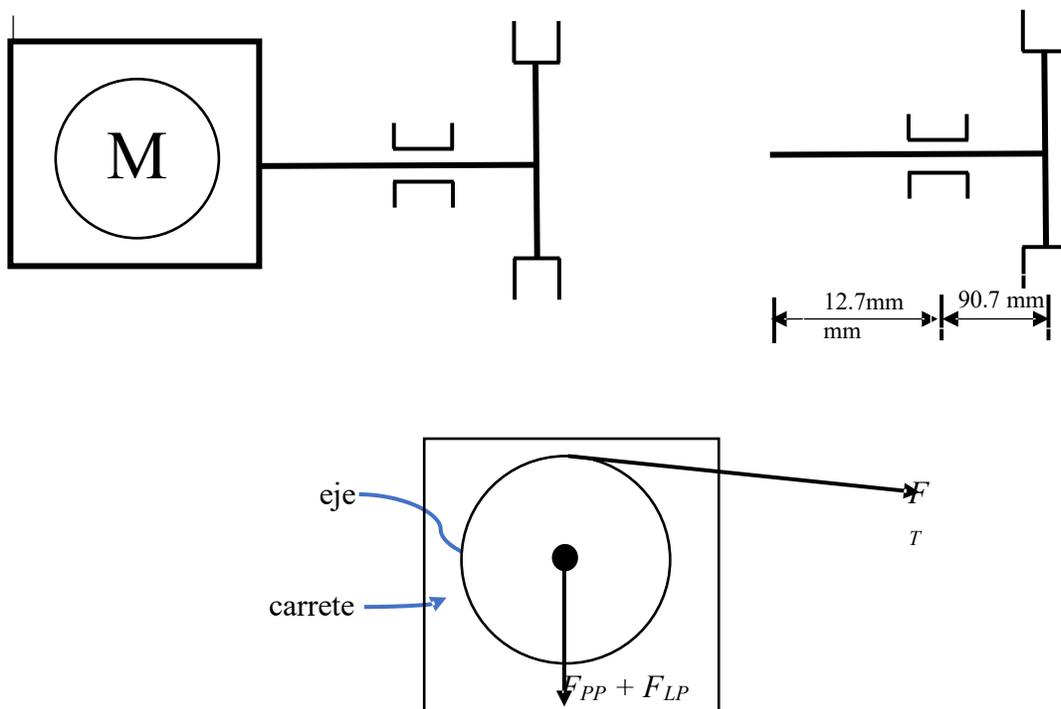


Imagen 47. Diagrama de motor con sus cargas y disposición del carrete.

Para analizar los esfuerzos en el eje de longitud de 215 mm es necesario analizarlo como si fuera una viga. Puesto que el eje no solamente está sometido a esfuerzos en un solo plano, es necesario analizarlo en los planos que contenga dichos esfuerzos.

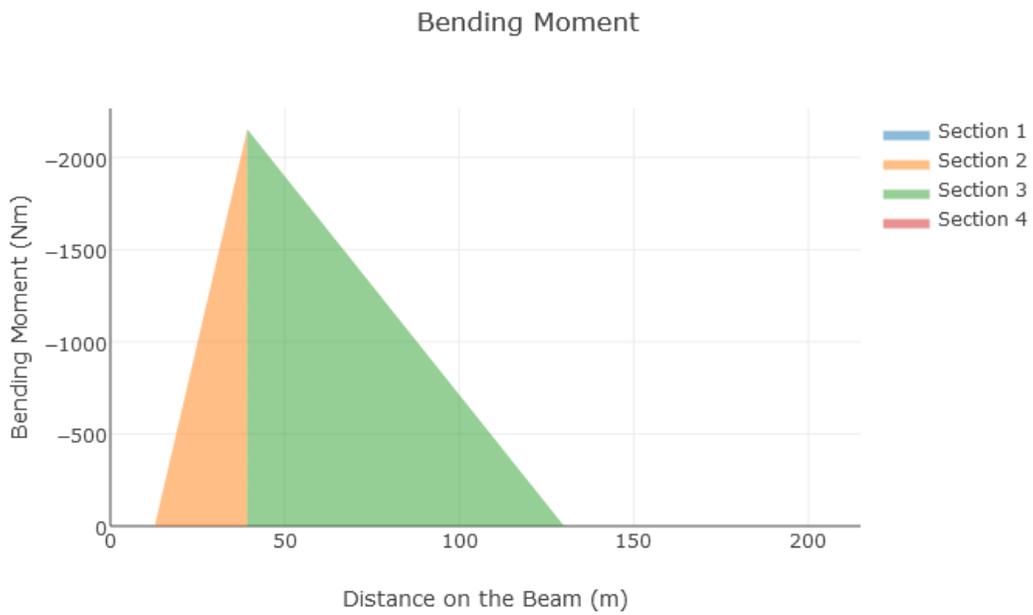
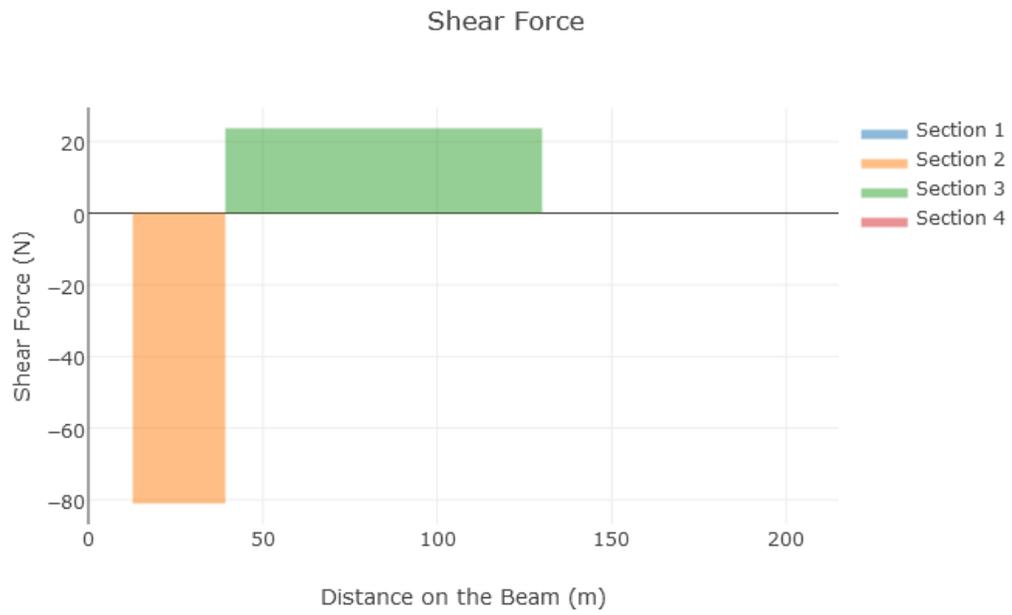


Imagen 48. Diagrama de cargas y momentos en el plano zy.

Obteniendo los valores máximos de los momentos en los dos planos donde actúan las fuerzas.

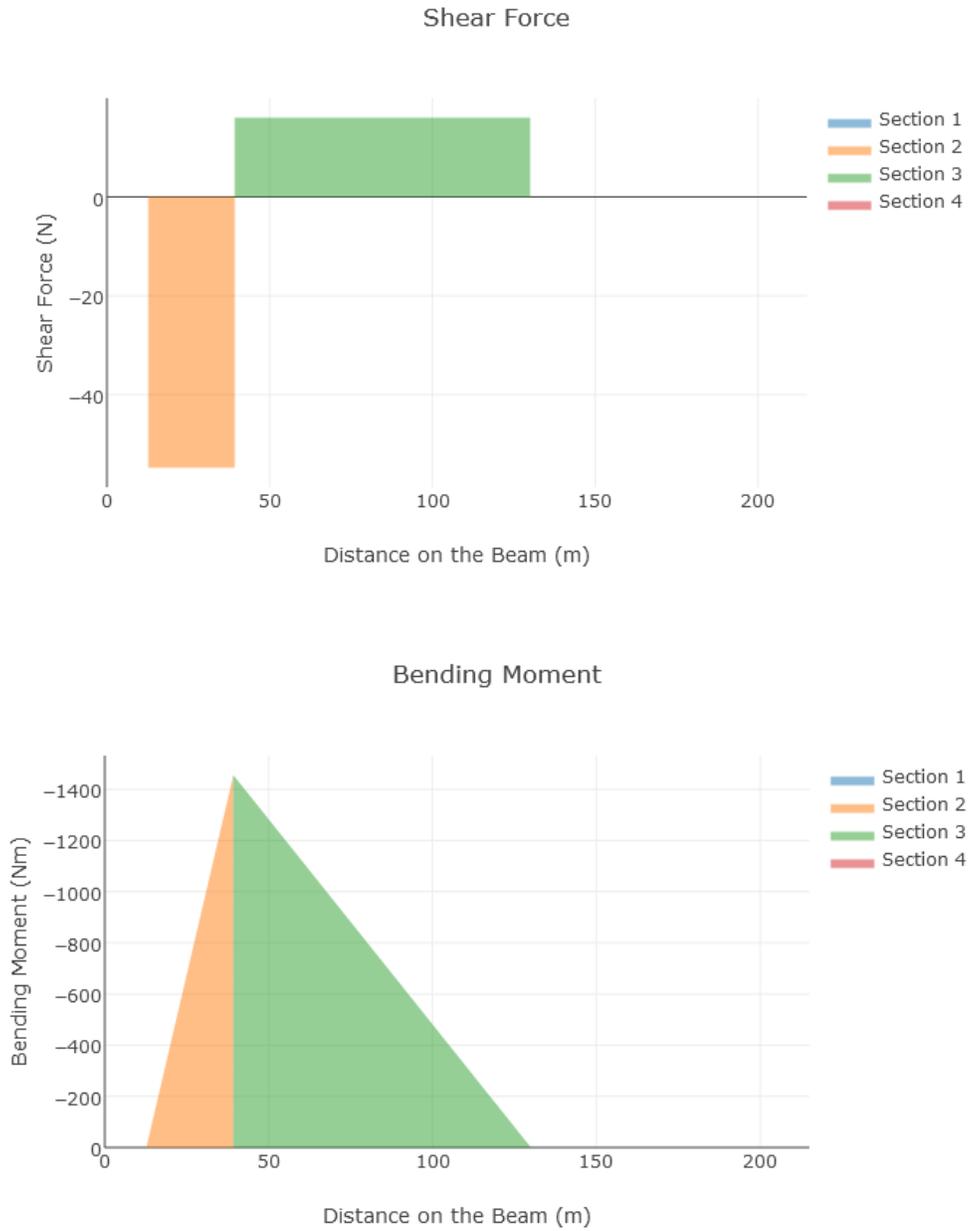


Imagen 49. Diagrama de cargas y momentos en el plano zx

Una vez obtenidos los valores de los momentos máximos en sus planos correspondientes se procede a determinar el momento resultante, el cual se define de la siguiente manera:

$$M_f = M_R = \sqrt{M_{max1}^2 + M_{max2}^2} \quad (51)$$

$$M_R = \sqrt{(-2.15 \text{ N} \cdot \text{m})^2 + (1.46 \text{ N} \cdot \text{m})^2} = 2.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con el momento resultante es posible calcular el esfuerzo normal máximo que está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_f}{0.1d^3} \quad (52)$$

$$\sigma_{MAX} = \frac{2.6 \text{ N} \cdot \text{m}}{d^3}$$

Con ello, se procede a determinar el esfuerzo cortante dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_{MAX} = \frac{M_t}{0.2d^3} \quad (53)$$

$$\tau_{MAX} = \frac{2.15 \text{ N} \cdot \text{m}}{d^3} \quad (54)$$

Se calcula también su resistencia a la fatiga tomando en cuenta los valores en cada factor que interviene dentro de sus condiciones de operación, expuestos en la tabla 21.

Tabla 22. Factores de corrección para el eje del carrete.

Factor	Variable	Cantidad	
Límite de fatiga de acero AISI 1020	S'_n	1.65×10^8	Pa
Factor de Corrección por Temperatura	C_b	1	
Factor de Corrección por Superficie	C_s	0.95	
Factor de Corrección funcional	C_r	0.7188	
Factor de corrección por esfuerzos residuales	C_o	1.3	

Con base en la siguiente ecuación se obtiene su valor de resistencia a la fatiga:

$$S_n = C_b C_s C_r C_o S'_n \quad (55)$$

$$S_n = 1.47 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Teniendo en cuenta los valores característicos del material en conjunto con un factor de seguridad, se hace uso de la ecuación de diseño para ejes de sección circular sólida,

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} \quad (56)$$

En nuestro caso, viendo los diagramas de cortante y momentos en el eje, se observa la presencia de los máximos valores en el rodamiento, así, sustituyendo los valores en la *Ecuación 57*

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 (3)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{(1.6)(2.6 \text{ N} \cdot \text{m})}{(1.47 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{(0.8 \text{ N} \cdot \text{m})}{(3.31 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}\right)^2}}$$

Considerando un valor de 1.6 para la concentración de esfuerzos (K_f) debido a la existencia de un chavetero, y un factor de diseño (N) de 3; obteniendo un valor de

$$d = 9.16 \text{ mm}$$

Este diámetro dentro de las medidas comerciales se puede incrementar hacia la dimensión de 10 milímetros, sin embargo, tras comparar los esfuerzos máximos y puntales en los estudios estáticos mediante software, se decidió tomar un diámetro de 12 [mm].

3.4.2.4 Controlador para el motor

Una de las alternativas que mejor se acomodó al presupuesto y al tiempo fue la elección de un controlador para motores, específicamente el puente H matrícula **BTS7960**. Las características del puente H se presentan a continuación [36].

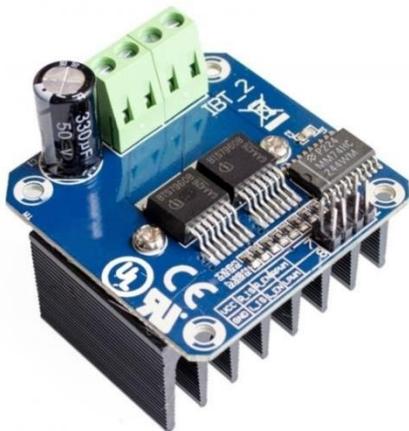


Imagen 50 Módulo BTS7960

- Voltaje de operación Motor: 5.5~27V
- Voltaje de Control: 5V
- Corriente de operación máxima: 43A
- Protección: Sobre corriente
- Baja corriente de reposo: 7uA a 25°C
- Entradas lógicas: Si
- Tasa de respuesta ajustable: EMI
- Señal PWM: Dos canales
- Frecuencia de reloj: 25KHz
- Dimensiones: 5.5x5x4cm

Debido a sus características de corriente y tensión que maneja es posible utilizarlo para el control del motor que fue elegido, sin embargo, se debe de modificar para darle una mejor protección en

cuanto a corriente y a la disipación de calor, debido a las altas temperaturas que se generarán. Estos objetivos anteriores quedan cubiertos mediante dos dispositivos, el primero es implementar 4 diodos de conmutación rápida con matrícula **FFH75H60S**, las características de los diodos se muestran a continuación [37].



Parameter	Symbol	Rating	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	600	V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	600	V
DC Blocking Voltage	V_R	600	V
Average Rectified Forward Current ($T_C = 105^\circ\text{C}$)	$I_{F(AV)}$	75	A
Non-repetitive Peak Surge Current 60 Hz Single Half-Sine Wave	I_{FSM}	750	A
Operating Junction and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-65 to 175	$^\circ\text{C}$

Imagen 51 Datos del transistor de conmutación rápida FFH75H60S.

Para la parte de la disipación de calor se empleó un disipador mucho más grande, el cual permite que su mayor área de contacto pueda disipar mucho mejor el calor generado en los transistores.



Imagen 52 Disipador de calor con ventilador.

3.4.3 Detener señuelo mecánico

El frenado del sistema de acuerdo con los requerimientos del proyecto debe de ser casi inmediato, sin embargo, tomando en cuenta que la máxima velocidad a la que puede llegar el motor es de 5000 RPM, entonces es importante recordar que a esas velocidades un paro inmediato podría derivar en un pico de corriente capaz de quemar los componentes e incluso generar daños en la máquina. Considerando lo antes mencionado, se propone nuevamente la utilización de dos polinomios de velocidad, pero ahora para generar el frenado.

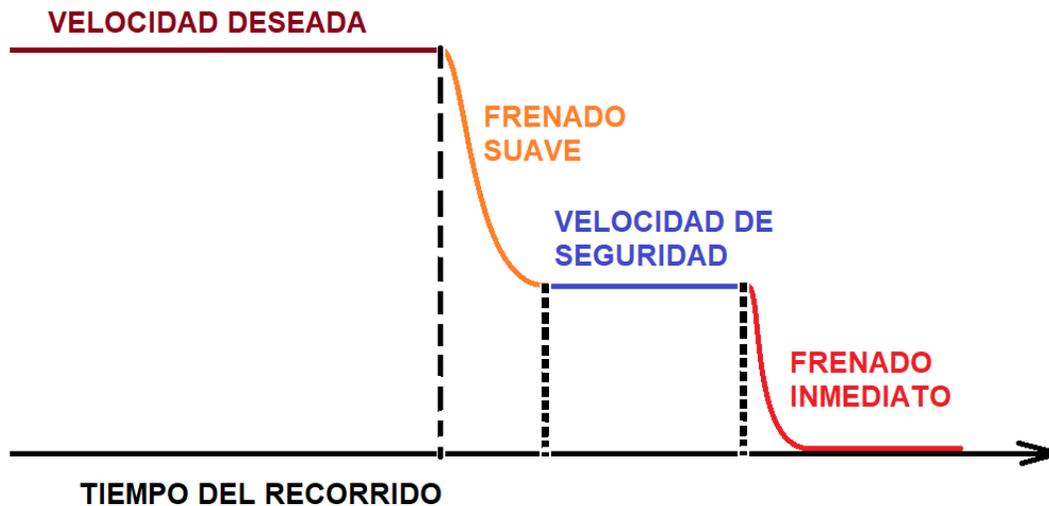


Imagen 53 Polinomios de desaceleración para el paro.

En seguida se explica las fases del frenado acorde con la gráfica anterior. El primer polinomio se encarga de desacelerar al motor desde la velocidad deseada hacia una velocidad de seguridad y la mantiene constante por un periodo corto, posteriormente el segundo polinomio baja abruptamente para generar el paro inmediato. Este método se utiliza únicamente para el modo automático.

Para que el frenado se pueda generar de manera exitosa y segura, se consideró que es necesario proteger al controlador del motor de los picos de corriente que se puedan generar, ya que el módulo **BTS7960** tiene la capacidad de manejar dispositivos cuya máxima corriente es de 43A, y una tensión máxima de 27V, sin embargo, es bien sabido que los picos de corriente en el arranque o el frenado pueden alcanzar hasta 10 veces el valor de la corriente nominal del motor, así que es necesario implementar dentro del puente H una serie de diodos de respuesta de conmutación rápida. Por lo que se propone la utilización de diodos de respuesta rápida matrícula **FFH75H60S** cuyas características se presentan en el apéndice J.

Para la adecuación del puente H existen dos inconvenientes, el primero se debe a que no es posible adecuar dentro de la misma placa los 4 diodos debido a su tamaño y el segundo a que los diodos deben de tener disipación de calor para extender su tiempo de vida. Debido a lo anterior se generó una placa de circuito impreso acorde con el tamaño disponible dentro del señuelo mecánico y

3.4.4 Exponer resultados

Para desarrollar la aplicación se utilizó el software para el desarrollo de aplicaciones **Android Studio 4.2** con una compatibilidad hasta la versión Android 4.1 Jelly Bean.



Imagen 54 Acerca de la versión del software utilizado.

Se propone una interfaz con la siguiente distribución



Imagen 55. Interfaz de usuario de la aplicación vista desde el emulador del software de desarrollo.

3.4.5 Estructura

El desarrollo de la estructura se generó de acuerdo con el diseño conceptual ganador, que se presenta en la imagen 57 y conforme a las medidas detalladas en las especificaciones del producto.



Imagen 56. Estructura manufacturada, forrada en vinil.

3.4.5.1 Requisitos Estructurales

En cuanto a la estructura se parte de la morfología seleccionada por el cliente. Se partió de un cálculo aproximado de masa que tendría que contener, al igual que los factores ambientales a los que está sometida

Cargas que soporta la estructura:

- Peso propio de la estructura
- Motor
- Soporte del motor
- Componentes electrónicos

Factores ambientales:

- Temperatura ambiente por encima de lo 25° C, debido a su uso en horas pico durante el entrenamiento.
- Humedad relativa de contacto en la base y estacas, encima de 50% debido al terreno donde se puede probar.

3.5 Manufactura

En las siguientes secciones se explica el desarrollo en cada uno de los subsistemas, principalmente la manufactura de componentes mecánicos, electrónicos y la programación según corresponda.

3.5.1 Configurar velocidad

Para la implementación del sensado del movimiento rotacional en el motor, se ocupa una banda dentada para generar el movimiento necesario en el encoder y obtener los pulsos y acondicionarlos para sensar su velocidad.

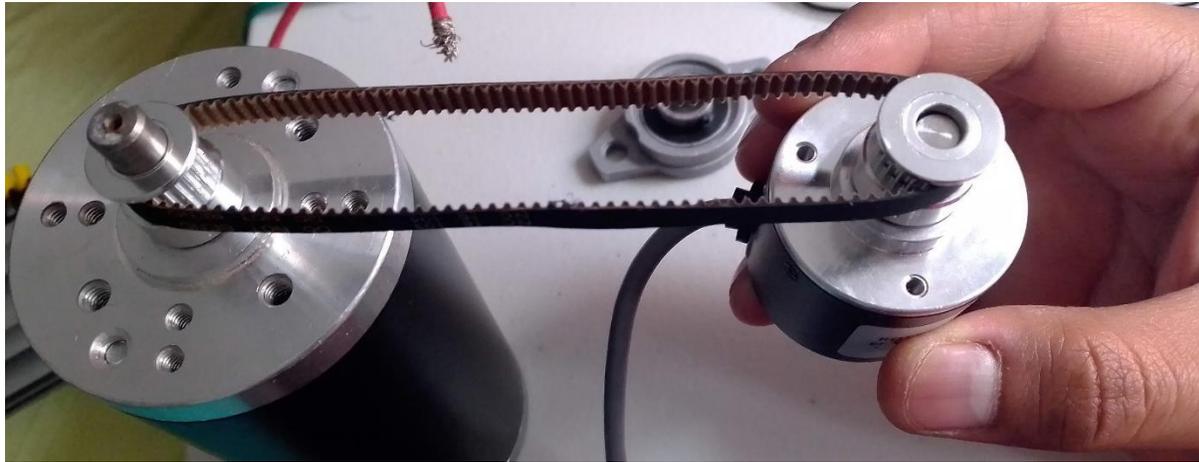


Imagen 57 Acoplamiento entre el motor y el encoder mediante las poleas dentadas y la banda.

3.5.2 Arrastrar señuelo

Para este subsistema se consideran los elementos que hace posible la tracción del señuelo. En los siguientes párrafos se presenta cada uno de ellos, y se observa el armado del subsistema.

En la sección 3.4.2 Arrastrar señuelo se presentan los cálculos y la selección de los componentes y de acuerdo con los datos obtenidos se obtuvieron los siguientes componentes.

Una barra de acerada de 450 mm de largo por 12 mm de diámetro que se usa como eje para transmisión del movimiento del motor hacia el carrete.



Imagen 58 Eje de acero.

Para unir el eje del motor con el eje de la figura anterior se utiliza un acople de 8mm a 12mm.



Imagen 59 Acople de 8x12.

El segundo punto de soporte es una chumacera de 12mm de diámetro.



Imagen 60 Chumacera de 12mm.

Se presenta el subsistema acoplado visualizando su ensamblaje.



Imagen 61 Acoplamiento del eje, acople y chumacera.

Para poder asegurar que las poleas y la banda estén alineadas y tensadas lo suficiente, se generó una base mediante la impresión 3D para sostener tanto el motor como el encoder.

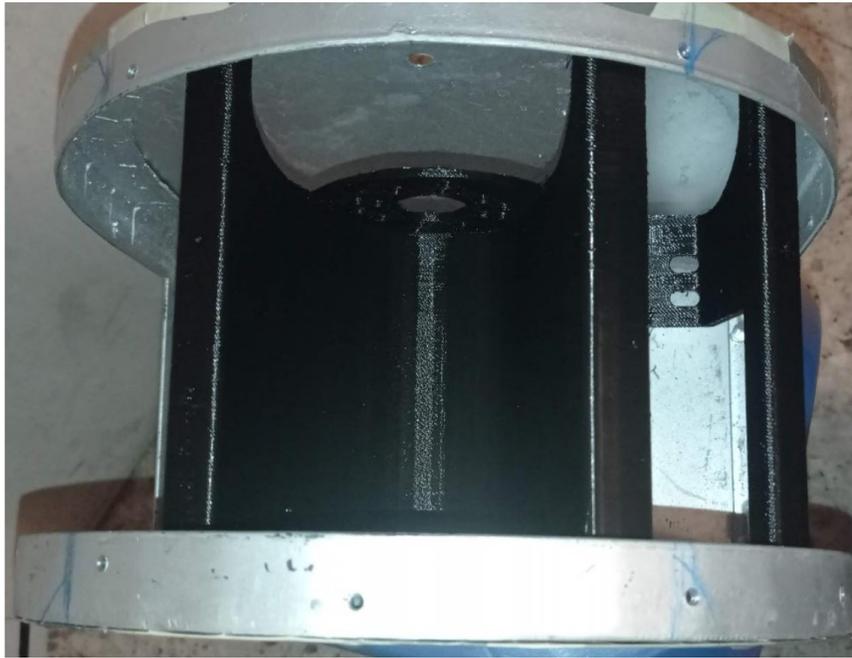


Imagen 62. Soporte impreso en 3D para el motor y el encoder.

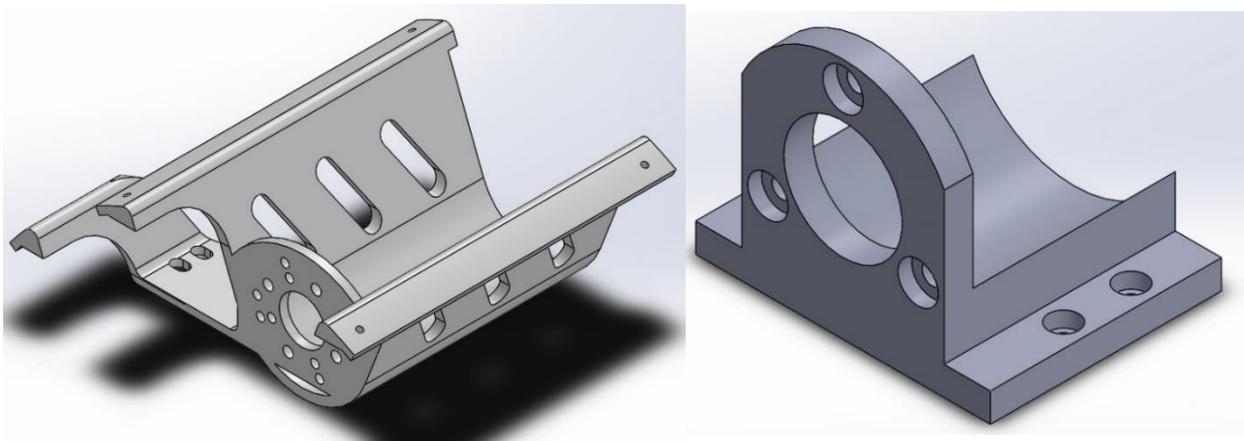


Imagen 63 Diseños 3D de los soportes para el motor (lado izquierdo) y encoder (lado derecho).

3.5.3 Detener señuelo mecánico

A continuación, se presenta el proceso de generación de los elementos correspondientes para el frenado del sistema. De acuerdo con lo propuesto en la sección 3.4.3 Detener señuelo mecánico se propuso la implementación de un frenado eléctrico con ayuda del módulo de puente H.

3.5.3.1 Modificación y acondicionamiento del puente H BTS7960

Con la finalidad de proteger al circuito de picos de corriente y mantener en temperatura de operación al módulo BTS7960, se adapta un disipador de calos en la parte superficial, compuesto por un metal conductor, aluminio, con un área de 3,2 por 4.8 centímetros. Estas dimensiones son para evitar el contacto entre los pines a bien de evadir cortos en el módulo y comprobando la inexistencia de continuidad eléctrica entre la pieza metálica y la tierra del puente H.



Imagen 64 Trozo de perfil de aluminio y disipador de calor con perforaciones de 1/8".

Acoplado al elemento de aluminio, se encuentra un disipador de dimensiones 6.5 x 6.5 x 4 [cm] con un coeficiente térmico de 209.3 [W/mK] unido a un extractor alimentado con 12 [V]. Es montado por pernos y aislado térmica y eléctricamente por grasa térmica de silicón.



Imagen 65 Puente H BTS7960 modificado.

Para la adición de los diodos de conmutación rápida de elabora la placa en un software de diseño de PCBs y es manufacturada por el método de planchado con eliminación de material de tipo químico con cloruro férrico.

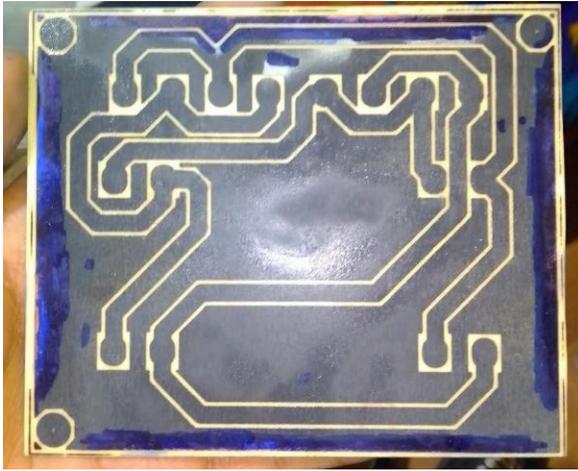


Imagen 66 Placa terminada después de la eliminación del cobre.

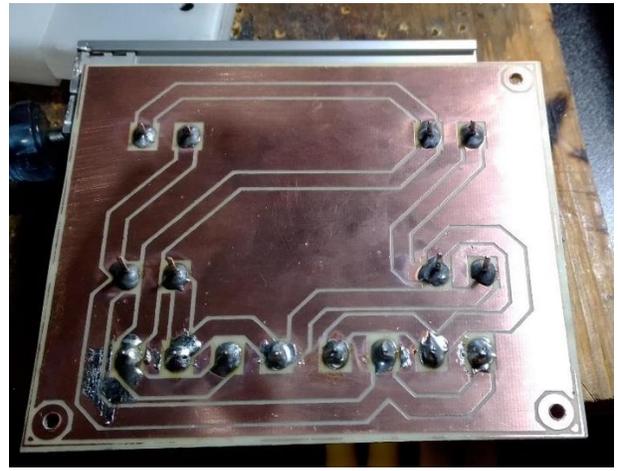


Imagen 67 Soldado de los componentes a la placa fenólica terminada.

Con cada diodo con su disipador de aluminio correspondiente y soldando los elementos de conexión, el resultado final del módulo es expuesto en la Imagen 68.



Imagen 68 Circuito terminado con los disipadores de calor añadidos.

3.5.4 Exponer resultados

Para la exposición de los datos del recorrido se propone una aplicación móvil cuyas funciones se ven en el diagrama de flujo en la Imagen 55.



Imagen 69 Versión de Software de desarrollo

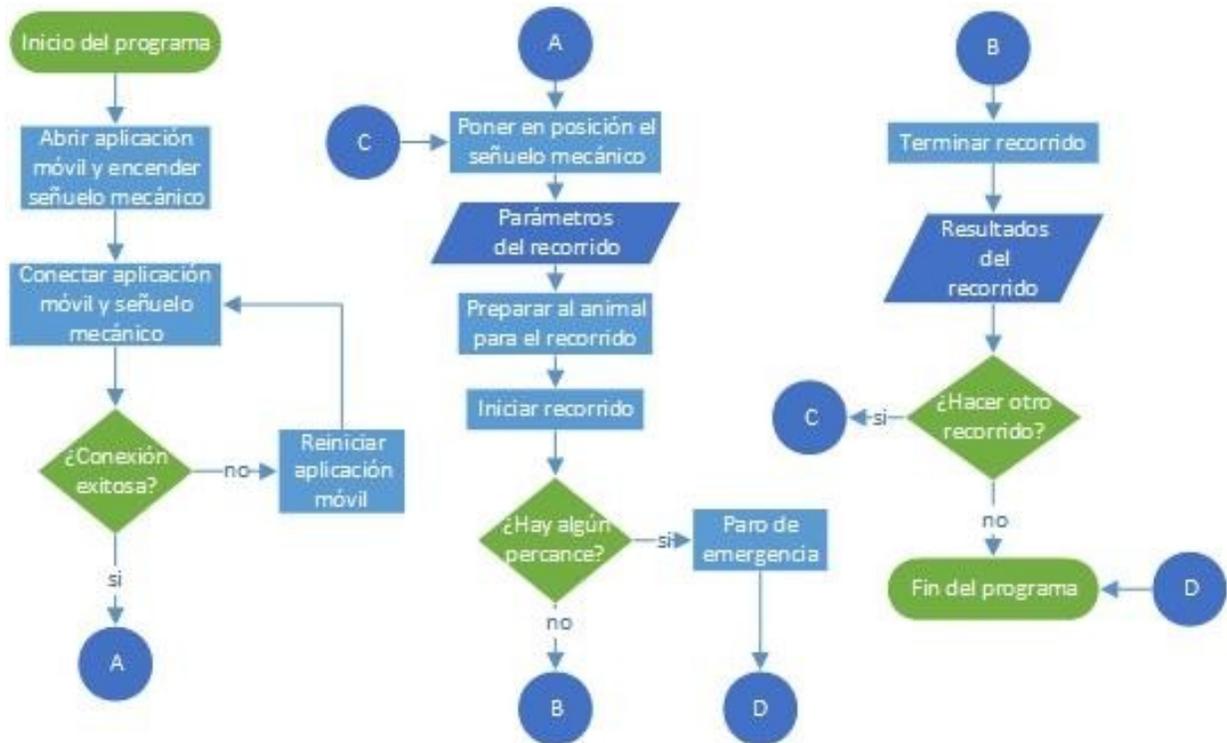


Imagen 70 Diagrama de flujo del funcionamiento general del señuelo mecánico.

Se implementan dos principales clases en el proyecto dentro del software. La primera, es la clase *Main* donde aloja métodos para la preparar la obtención de la lista de dispositivos, así como la obtención de los datos principales para mandar a llamar a la segunda clase *RaubVogel* donde se concreta la conexión y se condiciona cada uno de los componentes, para condicionar el envío y empaquetado de los datos como previamente se mencionó en el documento.

3.5.5 Estructura

Para la primera etapa de manufactura de la estructura, se trabajó con ángulo de una pulgada de acero.



Imagen 71. Proceso de corte y unión estructural

Haciendo los cortes pertinentes y utilizando soldadura de tipo MIG, se unieron las partes principales del marco y base estructural comenzando por puntos de soldadura, se hicieron los cordones de soldadura completos en cada unión, así como su desbaste.



Imagen 72. cubierta frontal soldada, desbastada y colocada.

Se complementó su ensamblaje con elementos de unión permanente haciendo uso de la soldadura, como de manera no permanente utilizando pijas auto taladrantes para la lámina del arco y la tapa trasera.



Imagen 73. Lámina trasera colocada con una sujeción no permanente.



Imagen 74. Presentación de lámina inferior en conjunto con el mecanismo de anclaje.

En cuanto a la fabricación de las estacas se fijaron de manera permanente y adaptaron tuercas de 5/16" como base para colocar las estacas, cuya fabricación parte de la unión de un redondo de

acero al bajo carbón de 3/8" con un tornillo de 5/16", esmerilado y con acabado en la unión de cuerda de 5/16" para su montaje final.



Imagen 75. presentación de la estaca previa al ajuste y acondicionamiento.



Imagen 76. Estaca soldada y finalizada.

Para su presentación se forra con vinil estampado manualmente mediante una pleca, teniendo como resultado la imagen de la imagen 85.



Imagen 77 Estructura terminada.

4 Implementación del sistema

En esta etapa se prueba cada una de las áreas funcionales por separado para comprobar su funcionamiento por partes, antes de hacer una implementación de todas las áreas en conjunto.

4.1 Implementación del área funcional 1: Configurar velocidad

Los resultados obtenidos para la parte de la configuración de velocidad de manera separada son los siguientes. Se logró la obtención de los datos del perfil de velocidad obtenidos mediante la función programada en la tarjeta de desarrollo, cuyos datos fueron graficados en Excel, puesto que la plataforma de *Mbed* no cuenta con una herramienta como el serial plotter como la de *Arduino* para mostrar los datos de manera gráfica. En la siguiente gráfica se representan dichos datos.

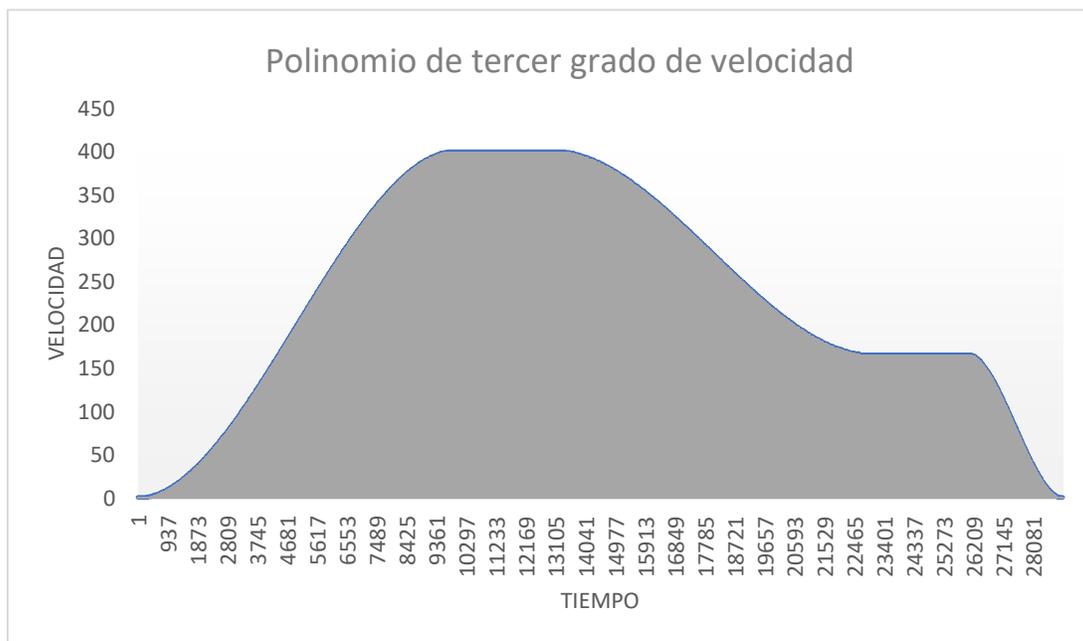


Imagen 78 Gráfica de los datos obtenidos mediante la NUCLEO 64

De lo anterior se pudo obtener lo siguiente.

- Cálculo y generación del perfil de velocidad junto con los polinomios de arranque y frenado mediante una función implementada en la tarjeta de desarrollo.

Aparte, para la implementación se probó el funcionamiento del puente H con las señales de la tarjeta de desarrollo.

4.2 Implementación del área funcional 2: Arrastrar señuelo

Para su implementación se comenzó con el montaje del soporte del motor y sensor en la estructura previamente manufacturada.



Imagen 79 Soporte montado y presentado en el interior de la estructura.

De ahí se parte para perforar y posicionar los componentes correspondientes como la chumacera de pared y el soporte para los componentes electrónicos que comprende una placa de acrílico d 3 milímetros de espesor. Perforada según la disposición de los componentes.

Además, se desmonta nuevamente el soporte para sujetar el motor, encoder y ajustar la banda dentada para su vulcanización.



Imagen 80 corte en diagonal de banda para ajuste y vulcanización y montaje con encoder y motor..

4.3 Implementación del área funcional 3: Detener señuelo mecánico

4.3.1 Implementación del control

Se comprueba el funcionamiento del encoder mecánico mediante la lectura directa de la respuesta del motor a la alimentación directa a la batería de 12 Volts, viendo unos tiempos de respuesta a su encendido y apagado aproximado de 8 segundos cronometrados y vistos en la gráfica obtenida.

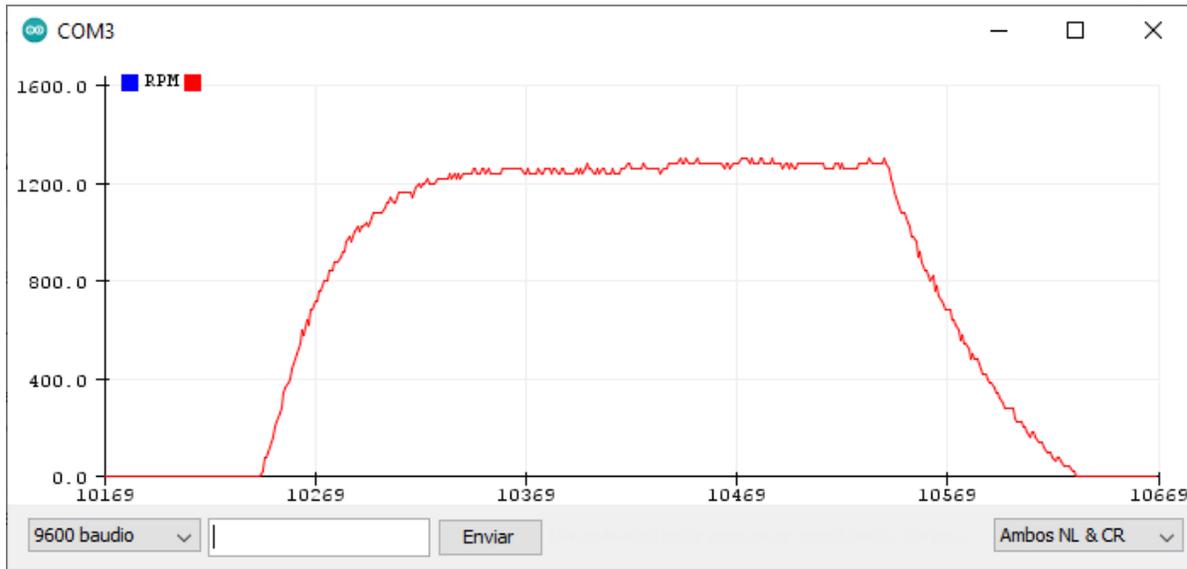


Imagen 81 Señal de salida en el encoder alimentado directamente

Para la implementación del control se leyó directo del puerto con en lazo abierto la velocidad obteniendo los tiempos de respuesta para la implementación del control. Viendo una respuesta transitoria en su velocidad máxima de un 1 segundo aproximadamente, sin embargo, para su paro controlado desde la aplicación, debido a la inercia por una carga inexistente puede tomar hasta 10 segundos.

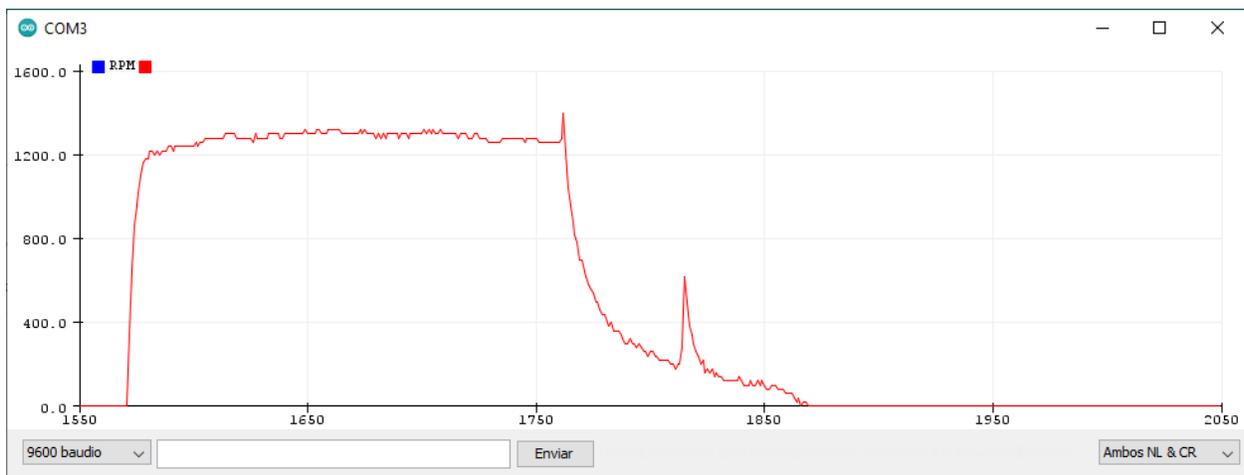


Imagen 82 Señal de salida en el encoder implementando un control de lazo abierto.

Tomando en consideración estos valores se hace un ajuste para implementar el código expuesto en el Apéndice A. obteniendo la siguiente gráfica como respuesta a ese control.

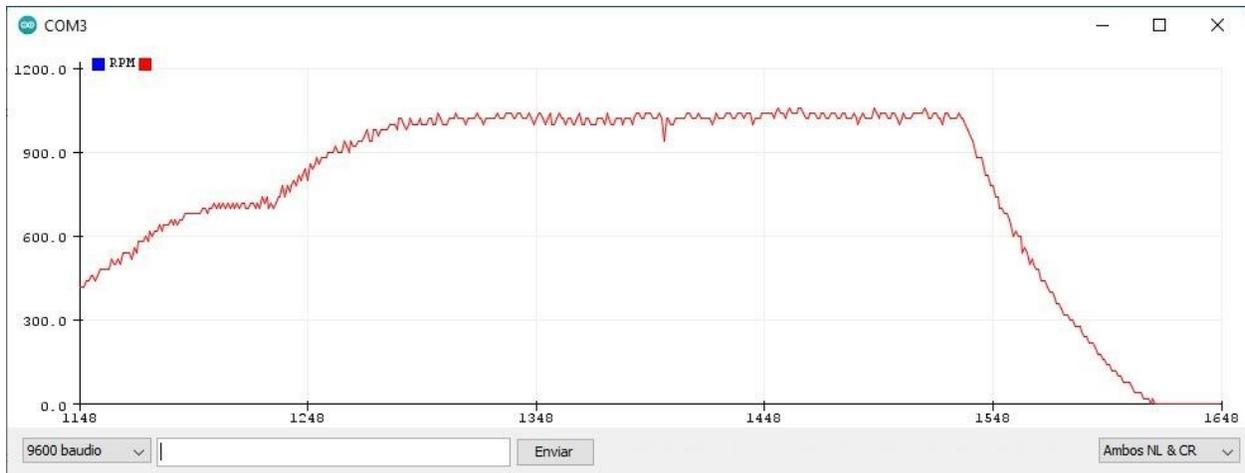


Imagen 83 trayectoria de velocidad programada junto con el control.

4.5.2 Implementación de circuito de control

Para esta implementación, se del circuito de control de juntaron los mecanismos de las áreas de exposición de datos y configuración de velocidad, interconectándolos física y mediante bluetooth, haciendo pruebas con un cargador de 12 Volts para posteriormente conectar y hacer pruebas con la fuente de potencia, es decir, la batería de plomo-ácido.

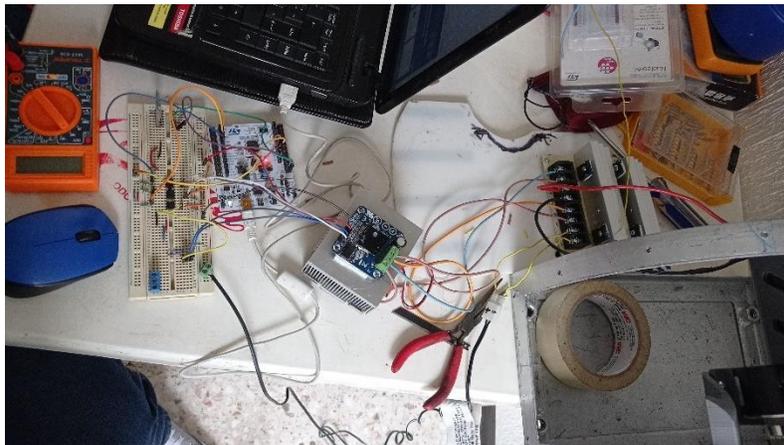


Imagen 84 Conexiones para la prueba de integración de áreas y módulos.

4.4 Implementación del área funcional 4: Exponer resultados

Se instaló la aplicación en 3 dispositivos distintos con versiones Android, 7.0, 10.0, y 11.0, comprobando su funcionamiento para la versión que puede aplicar el cliente en su dispositivo. En cada una de ellas la interfaz visualizada es la siguiente, comenzando por la primera ventana donde es realizada la obtención de los dispositivos Bluetooth (Bt) disponibles a nuestro alrededor de manera inmediata a presionar el botón den *Conectar*.



Imagen 85 Ventana perteneciénte a la clase Main.

Una vez seleccionado el dispositivo, se hace la conexión correspondiente con dicho módulo Bt, y comenzando la configuración para el inicio del recorrido. Activando el modo de operación como manual e iniciando el recorrido en el valor colocado en la barra deslizable.



Imagen 86Ventana perteneciente a la clase RaubVogel

5 Análisis de ingeniería

5.1 Área 2: Arrastrar señuelo

En cuanto a las partes de la estructura diseñada, se obtuvieron principalmente las reacciones a los componentes superficiales graficando su factor de seguridad y los esfuerzos presentes en cada uno.

El principal componente para analizar es el eje que une al carrete con el motor. Se simuló con las cargas cortante por parte del peso del carrete y el gramaje de la línea añadido, además de la aplicación de la tensión de la línea de pesca considerando la tracción máxima cuando el ave captura el señuelo.

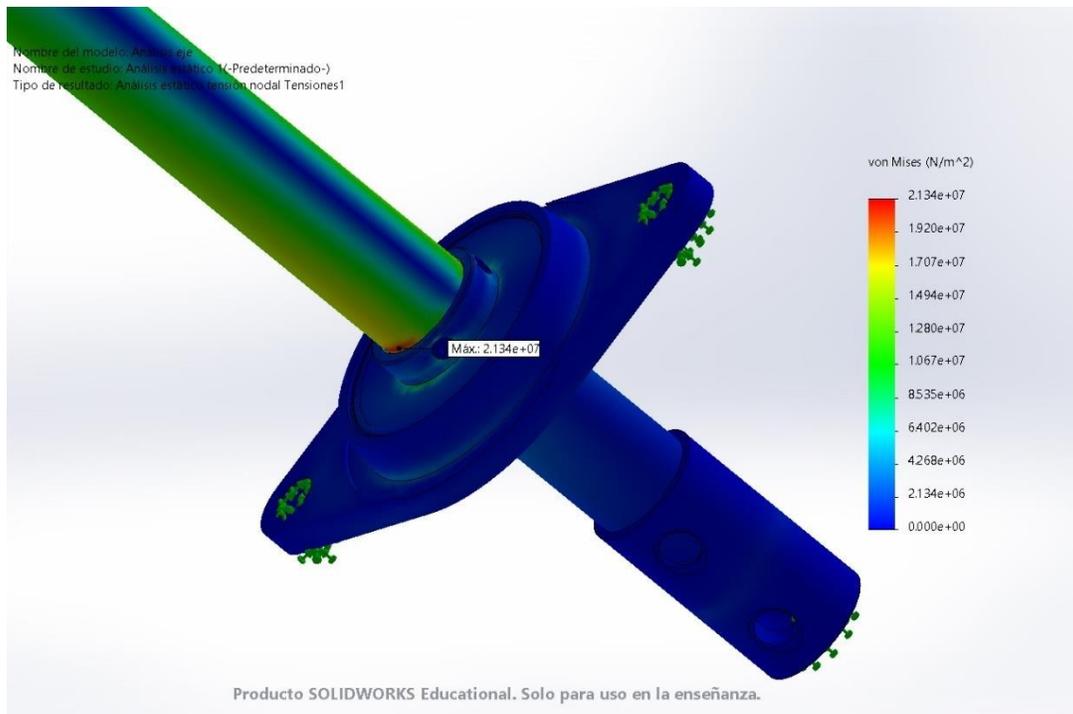


Imagen 87. Análisis de esfuerzos en subensamble de eje para carrete.

Según la escala se ven en el punto de unión del eje con la chumacera de pared los esfuerzos máximos presentándose un cortante significativo. Sin embargo, para corroborar la fiabilidad del estado del subensamble se hizo un acercamiento hacia esa zona y muestra de manera gráfica el factor de diseño presente en el subensamble se tiene como mínimo el valor de 19.71.

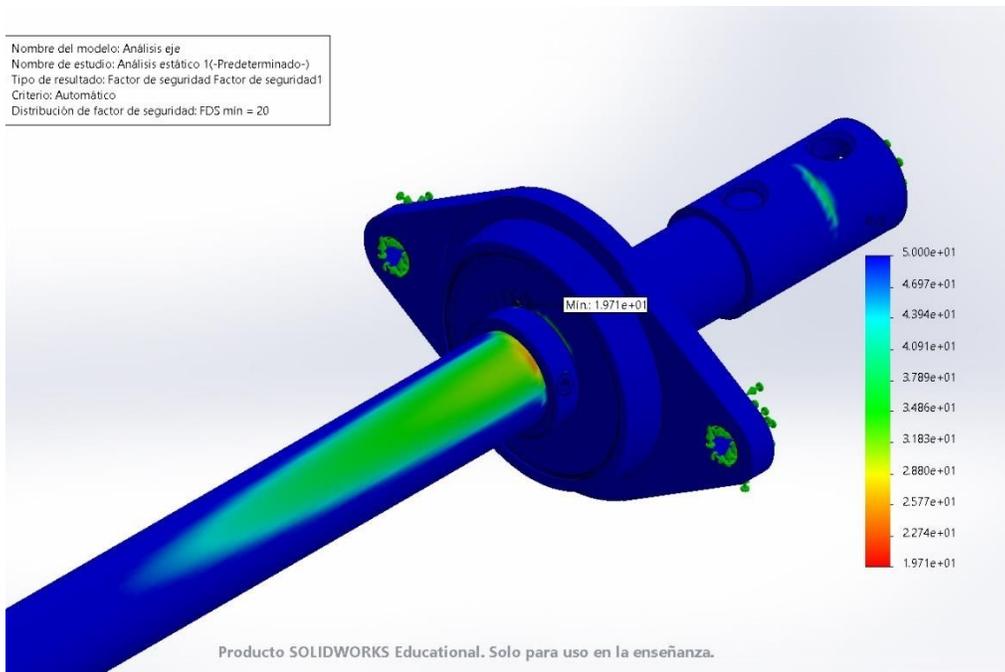


Imagen 88. Acercamiento al gráfico de factor de seguridad del análisis estático.

5.2 Área estructural

Posteriormente se hizo la evaluación del soporte para el motor con una masa de 2.7 kilogramos tomando en cuenta el par máximo a aplicar en el centro donde será posicionado el motor

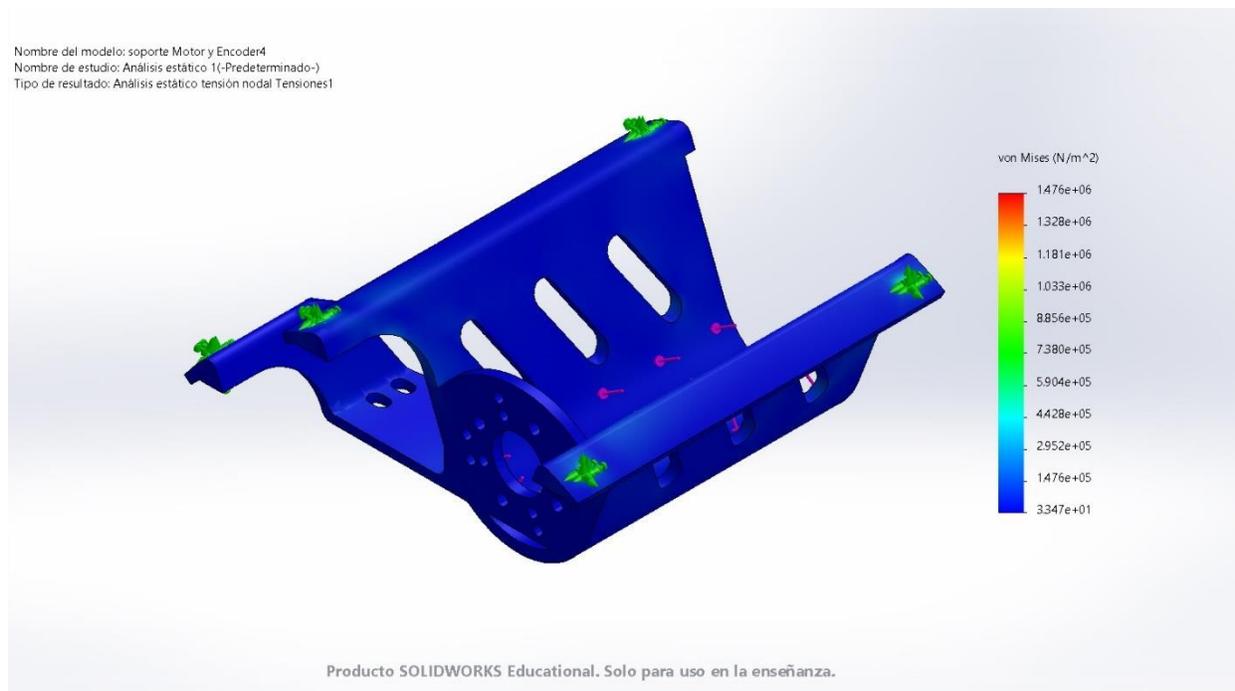


Imagen 89 Análisis de esfuerzos en el soporte del motor.

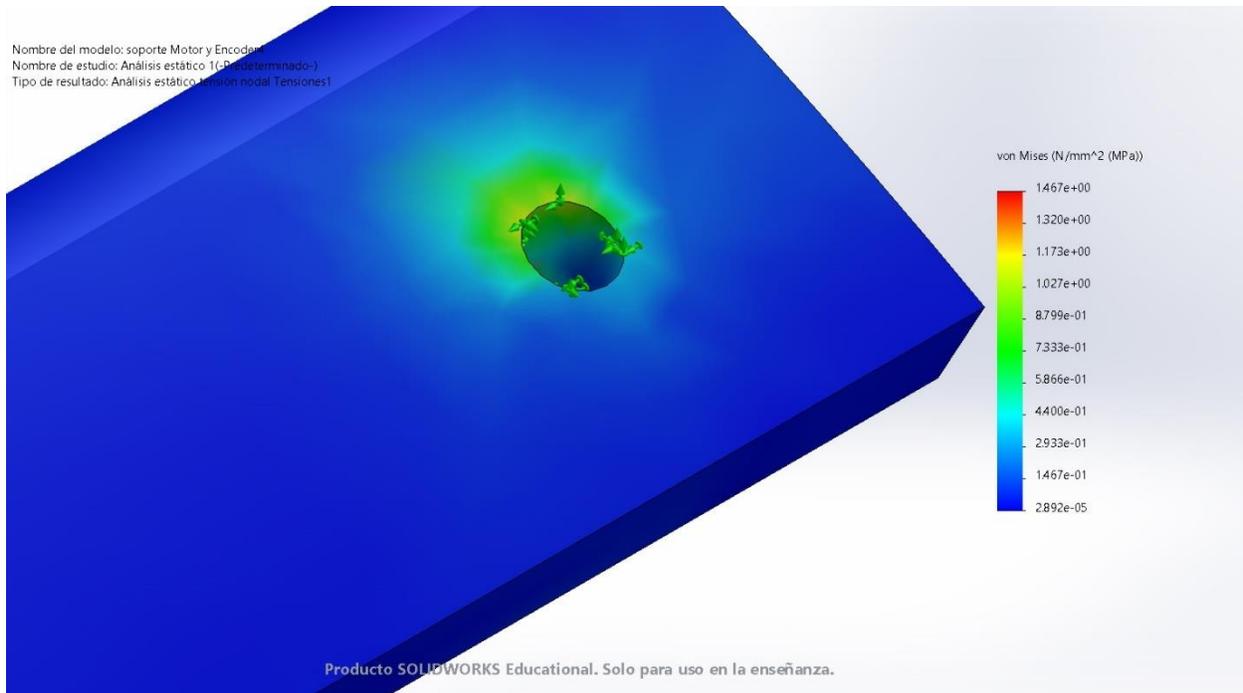


Imagen 90. Gráficos de análisis de esfuerzos en el soporte para motor.

En él se visualizan esfuerzos principalmente en las superficies de sujeción, como en los barrenos de sujeción. Además, también se graficó su factor de seguridad presente obteniendo que la parte menos robusta del soporte se encuentra en la base, teniendo un factor de seguridad alrededor de un valor de 12.

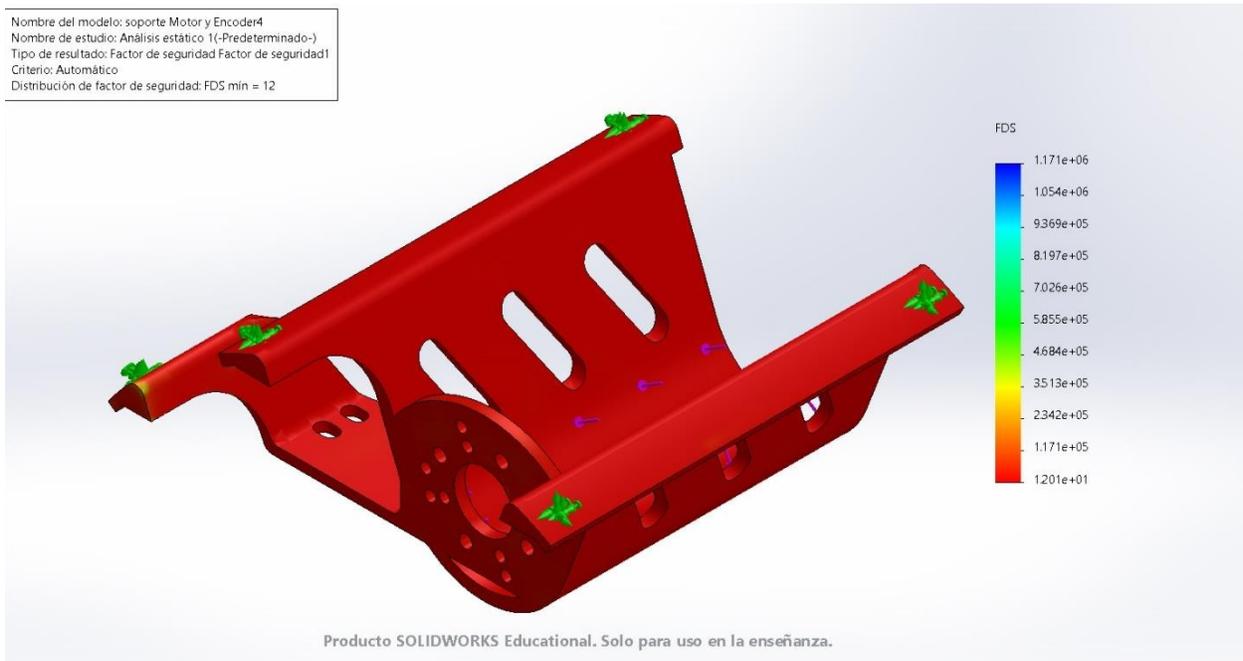


Imagen 91. Gráfico de Factor de seguridad del soporte del motor.

En el caso de la estructura se presentan esfuerzos mínimos ya que no presenta una carga significativa sobre el arco principal por lo que su principal reacción se encuentra en la lámina frontal donde se encuentra ensamblada la chumacera de pared, teniendo por soporte y guía para el anclaje las piezas barrenadas en su base.

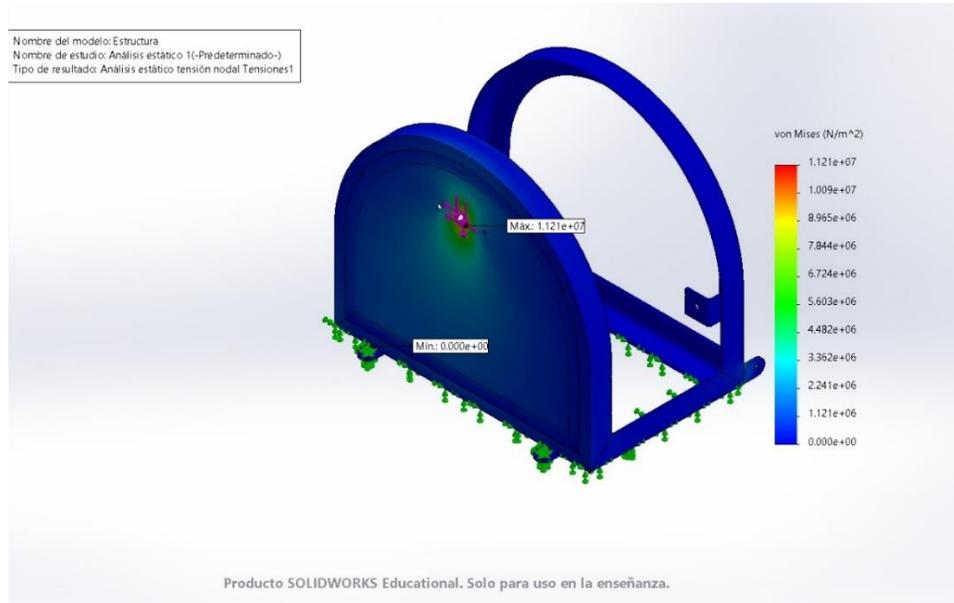


Imagen 92. Análisis estático de esfuerzos, estructura de señuelo mecánico.

En cuanto a su factor de seguridad, sin hacer acercamiento ni acotaciones, se tiene la siguiente imagen un factor mínimo de seguridad mayor a 10 por lo que la ausencia de falla estática está garantizada en este armazón.

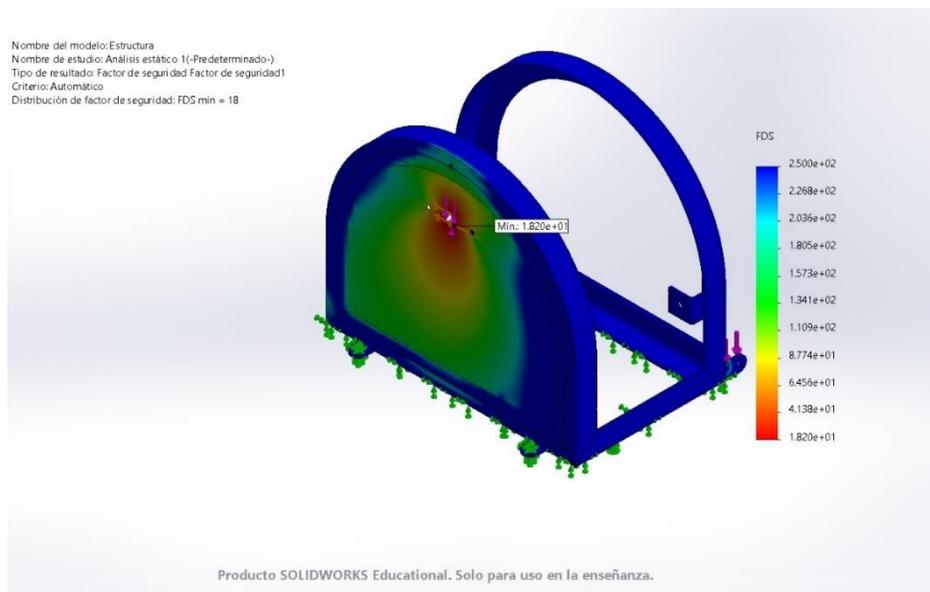


Imagen 93. Factor de seguridad en la estructura del señuelo mecánico.

Del mismo modo, ante el cortante máximo que se presenta en la chaveta es de $3.836 \times 10^7 \text{ Pa}$.

Costos

Costos Directos	\$8,194.37
Costos indirectos	25%
Imprevistos	

Presupuesto	\$20,000.00
Costo Total	\$10,242.96

Tipo	Item	Denominación / Recurso	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
	0	Infraestructura				
Recursos disponibles	0.1	Laptop	piezas	2	-	-
	0.2	Herramienta de banco	paquete	1	\$2,000.00	-
	0.3	Maquina para solar	pieza	1	\$58,000.00	-
	0.4	Tarjeta de desarrollo	pieza	1	\$750.00	-
	0.5	Soldadura	carrete	1	\$700.00	-
	0.6	Impresora 3D	pieza	1	\$4,000.00	-
	1	Transmisión Mecánica				\$3,555.78
Material Adquirido	1.1	Motor de CD	pieza	1	\$2,421.46	\$2,421.46
	1.2	Poleas	pieza	2	\$49.00	\$98.00
	1.3	Bandas	pieza	2	\$38.00	\$76.00
	1.4	Barra redonda de acero AISI 1020	tonelada	0.016	\$18,502.50	\$294.76
	1.5	Carrete de PLA	pieza	1	\$515.56	\$515.56
	1.6	Chumacera con rodamiento 12 mm	pieza	1	\$150.00	\$150.00
	2	Estructura y carcasa				\$2,171.23
	2.1	Ángulo de 1/2 pulgada	pieza	1	\$157.44	\$157.44
	2.2	Soldadura	puntos	40	\$12.00	\$480.00
	2.3	Lámina galvanizada	metro cuadrado	0.48	\$528.25	\$253.56
	2.4	Lámina de aluminio	metro cuadrado	0.22	\$102.52	\$22.55
	2.5	Anclas	metro	0.5	\$29.80	\$14.90
	2.6	Tornillos 7/16"	pieza	4	\$6.73	\$26.92
	2.7	Tuercas 7/16"	pieza	4	\$29.92	\$119.68
	2.8	Pijas autotaladrantes	pieza	22	\$0.48	\$10.56
	2.9	Mano de obra	unidad	1	\$1,085.62	\$1,085.62
	3	Software				\$0.00
	3.1	Android Studio	licencia	1	\$0.00	\$0.00
	3.2	Matlab (licencia para estudiantes del IPN)	licencia	1	\$0.00	\$0.00
	3.3	Solidorks (licencia de estudiantes)	licencia	1	\$0.00	\$0.00
	3.4	Embed Studio(licencia gratuita)	licencia	2	\$0.00	\$0.00
	4	Electrónica				\$1,147.36
	4.1	Placa fenólica de fibra de vidrio (10 cm x 15 cm)	pieza	4	\$39.60	\$158.40
	4.2	Diodos	pieza	4	\$70.00	\$295.00
	4.3	Módulo IMU	pieza	1	\$69.00	\$69.00
	4.4	Antena de radiofrecuencia	pieza	2	\$142.00	\$284.00
	4.5	Grasa térmica	pieza	1	\$75.00	\$75.00
	4.6	Discipador y ventilador	pieza	1	\$100.00	\$100.00
	4.7	Borneras	pieza	2	\$24.00	\$48.00
	4.8	Conectores	pieza	4	\$0.50	\$2.00
4.9	Cable para conexión	metro	4	\$28.99	\$115.96	
5	Fuente de alimentación				\$400.00	
5.1	Batería recargable a 12 V	pieza	1	\$400.00	\$400.00	
6	Etapa de control				\$920.00	
6.1	Encoder	pieza	1	\$625.00	\$625.00	
6.2	Módulo BTS 3960	pieza	1	\$295.00	\$295.00	

Conclusiones

Con base en lo planteado en los objetivos propuestos para esta primera etapa del desarrollo del proyecto, se diseñó una carcasa que comprende la estructura principal más los elementos de sujeción, cuya integridad no sea afectada de manera permanente bajo las fuerzas presentes en la operación. Para ello, se determinó los eventos que presentan mayor carga al sistema, como lo son la captura del señuelo por el ave y en el momento donde la línea de pesca está completamente enrollada; cuyos estudios, realizados mediante SolidWorks, muestran un factor de seguridad mayor a 1.5 en todos los componentes.

Por la parte de la manufactura del sistema se presentaron ajustes principalmente en el tipo de anclaje y el maquinado del eje debido a la disposición de maquinaria para elaborar las piezas, sin embargo, se llegó a soluciones obteniendo el mismo fin y no modificó la función del control de velocidad en la parte electromecánica.

En cuanto al motor eléctrico, se pudo determinar mediante los cálculos hechos en la sección 3.4.3 en el capítulo de Análisis y diseño, un motor que cumple con la mayoría de las características principales para la operación con una velocidad de 5000 RPM, con la capacidad de generar un par torsor máximo de $0.75 \text{ N} \cdot \text{m}$, sin exceder las dimensiones en tamaño y peso permisibles para la carcasa que contiene el sistema. Sin embargo, a pesar de cumplir con las propiedades mecánicas requeridas, la corriente con la que trabaja está en el límite de lo permitido por el módulo BTS7960 por lo que se decidió hacer unas modificaciones en él para su disipación de calor y agregarle un arreglo de diodos de conmutación rápida para la protección contra picos de corriente generados.

En lo referente a la generación del perfil de velocidad, se pudo obtener exitosamente los datos de un recorrido modelado a partir de datos propuestos como se puede observar en la sección de 4.1 Implementación del área funcional 1: Configurar velocidad.

El desarrollo de la comunicación vía bluetooth se generó utilizando la tarjeta de desarrollo Nucleo 64 STM32F446RE y el módulo HC-05 a una velocidad de 115200 baudios. Además, la configuración del modo de operación se envía desde una aplicación para el sistema operativo Android compatible con la última versión disponible en la oferta al público.

Trabajos y recomendaciones a futuro

Para una futura implementación se proponen ciertas mejoras en el sistema como lo es:

- Aplicación de un segundo sensor para la comparación en tiempo real de la velocidad de control contra la velocidad lineal en el extremo de la carnada.
- Permitir al usuario ingresar la velocidad por teclado, además de la barra deslizante
- Adquirir un gabinete prefabricado de un calibre de lámina con mayor espesor y acondicionado a la intemperie, como los gabinetes para comunicaciones.
- Elaborar un circuito reductor para adaptar la alimentación a una única fuente de alimentación tanto para los módulos como para el motor y controlador.

Referencias

- [1] J. H. J. J. Ceballos Aranda, «Manual Básico y Ético de Cetrería,» Avium Naturaleza y Formación S.L., Madrid, 2011.
- [2] Real Academia Española, «Definición de cetrería,» RAE. [En línea]. [Último acceso: 28 Marzo 2021].
- [3] A. G. L. Gómez, «Aves rapaces, aliados del aire: la cetrería en el AICM (Tesis de Licenciatura),» Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2014.
- [4] Gobierno Federal, «Infobae,» [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/america/mexico/2021/02/13/dia-del-aguila-real-por-que-se-celebra-este-13-de-febrero-al-ave-sagrada-y-simbolo-nacional-de-mexico/>. [Último acceso: 30 Octubre 2020].
- [5] S. S. V. M. Escamilla, «ENTRENAMIENTO BÁSICO DE AVES RAPACES EN EL ESTADO DE OAXACA, Licenciatura,» Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, 2014.
- [6] A. rapaces, Artist, *Guante para cetrería*. [Art]. Aves rapaces, 2021.
- [7] Hablemos de aves, «Águila de Harris,» Hablemos de aves, [En línea]. Available: <https://hablemosdeaves.com/aguila-harris/>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [8] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, «SEMARNAT,» Gobierno Federal, [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/semarnat/que-hacemos>. [Último acceso: 8 Abril 2020].
- [9] D. F. C. o. America, «Farmdogs,» [En línea]. Available: <http://www.farmdogs.org/>. [Último acceso: 12 Marzo 2020].
- [10] H. Overberg, «Lure Carrier». Patente 1,814,490, 1931.
]
- [11] K9Web, «K9Web,» [En línea]. Available: <https://www.k9web.com/>. [Último acceso: 21 Abril 2020].
- [12] CetreríaWeb, Artist, *Halcón devorando a su presa*. [Art]. 2018.
]
- [13] G. L. Machines, «Lure Machines,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/luremachines/home..> [Último acceso: 10 Febrero 2020].

- [14 INJOY, «How to use a lure coursing equipment,» [En línea]. Available:
] <http://www.injoyone.com/how-to-use-injoy-lure-coursing-equipment.html>. [Último acceso: 2020 Mayo 2].
- [15 INJOY, «Cheetas chasing the lure,» [En línea]. Available:
] <http://www.injoyone.com/cheetahs-chasing-the-lure.html>. [Último acceso: 2020 Mayo 2].
- [16 FEDERATION CYNOLOGIQUE INTERNATIONALE, « FCI Regulations for
] International Sighthound Races and Lure Coursing Events,» Thuin, 2017.
- [17 Bull-x, «Bull-x,» [En línea]. Available: <https://www.bull-x.co.uk/index.html>. [Último
] acceso: 2 Febrero 2020].
- [18 C. Fritz, «Puro Motores,» 21 Julio 2017. [En línea]. Available:
] <https://www.puromotores.com/13098838/definicion-de-un-motor-de-corriente-directa>.
[Último acceso: 13 Abril 2021].
- [19 J. O. V.-E. E. A.-D. I. Cerón-Morales, «Modelo matemático del motor de corriente directa,»
] Puebla, 2017.
- [20 V. Mazzone, «Controladores PID,» Quilmes, 2002.
]
- [21 Á. G. Franco, «Se enrolla una cuerda en un carrete,» 2016. [En línea]. Available:
] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/solido/bobinado/bobinado.html>. [Último acceso: 5
Marzo 2020].
- [22 K. Kohlhase, «Digi-Key Electronics,» 15 Septiembre 2020. [En línea]. Available:
] <https://www.digikey.com.mx/es/blog/pulse-width-modulation>. [Último acceso: 3 Abril
2021].
- [23 J. Brown, «Dallas Personal Robotics Group,» 12 Enero 2013. [En línea]. Available:
] <https://archive.is/20130112153214/http://www.dprg.org/tutorials/1998-04a/>. [Último
acceso: 3 Abril 2021].
- [24 A. B. Torres, «SISTEMA DE PLANEACION DE TRAYECTORIAS DE MINIMO
] TIEMPO PARA ROBOTS BAJO EL CRITERIO DE FAULT TOLERANCE,» Atizapan
de Zaragoza, 1995.
- [25 J. Gausemeier y S. Moehringer, «NEW GUIDELINE VDI 2206 - A FLEXIBLE
] PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS,»
Paderborn, 2003.
- [26 C. Brito, «Metodología de Diseño en Ingeniería Vmodel. Diagrama de Bloques,»
] Colombia.

- [27 S. M. J. Gausemeier, «VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems,» California, 2002.
]
- [28 P. D. J. L. Veis Šerifi, «Functional and Information Modeling of Production Using,» 2009.
]
- [29 J. C. F. Garcia, «Sistemas de transmisión mecánica,» La Paz.
]
- [30 ST, «Product Overview STM32F,» [En línea]. Available:
] <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f446re.html>. [Último acceso: 5 Marzo 2021].
- [31 ITEadStudio, «HC-05 - Bluetooth to Serial Port Module,» 2010.
]
- [32 F. C. C. R. A. C. E. Diego Edissón Flórez Vergara, «Planeación y ejecución de trayectorias en el espacio de trabajo para un robot Delta,» Bogotá, 2015.
- [33 ATO, «ATO,» [En línea]. Available: <https://www.ato.com/incremental-rotary-encoder-shaft-400-ppr>. [Último acceso: 13 Mayo 2021].
- [34 Oleodráulica Verion, «Aplicaciones para motores hidráulicos,» Buenos Aires.
]
- [35 LECTSTYLE, «Manufacturers and Suppliers,» [En línea]. Available:
] <https://lectstyle.en.made-in-china.com/product/rvGxjAudCsl/China-New-Quality-400W-12V-DC-Pm-Electrical-Electric-Motor-5000-Rpm-High-Torque-1-2-HP.html>. [Último acceso: 22 Enero 2021].
- [36 Infineon Technology, «Digi-Key Electronics,» [En línea]. Available:
] <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/70497/0/0/1/bts7960.html>. [Último acceso: 5 Febrero 2021].
- [37 ON Semiconductor, «Hyperfast Diode 75A, 600V,» 2012.
]
- [38 www.avesrapaces.wiki, Artist, *Guante para cetrería*. [Art]. Aves rapaces, 2021.
]
- [39 C. Anglo-Indias, Artist, *Cernícalo con caperuza Anglo-India hormeada*. [Art]. Caperuzas
] Anglo-Indias, 1999.
- [40 M. cetrero, Artist, *Caperuza Holandesa*. [Art]. Mundo cetrero, 2010.
]

- [41 C. R. Falcon, Artist, *Variedad de perchas para aves de presa*. [Art]. Cetrería Real Falcon,] 2021.
- [42 R. G. Real, Artist, *pihuelas almerý*. [Art]. 2010.
]
- [43 P. T. FO, Artist, *Lonja con destorcedor*. [Art]. Facebook, 2020.
]
- [44 O. University, Artist, *Halcón peregrino*. [Art]. Oxford University, 2018.
]
- [45 hablemosdeaves.com, Artist, *Águila Harris*. [Art]. Hablemos de Aves, 2018.
]
- [46 Bull-X, Artist, *MINI MACHINE*. [Art]. Bull-X.
]
- [47 C. M. G. Ramírez, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN JAMMER CAPAZ DE
] BLOQUEAR LA SEÑAL CELULAR DE ALEGRO,» Sangolquí, 2009.
- [48 Universidad Internacional de Valencia, «Universidad Internacional de Valencia,» [En
] línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/radiofrecuencia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones>. [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- [49 C. Villagómez, «CCM,» 18 Diciembre 2017. [En línea]. Available:
] <https://es.ccm.net/contents/690-transmision-de-datos-transmision-digital-de-datos>. [Último acceso: 23 Agosto 2020].
- [50 POWGE, «AliExpress,» [En línea]. Available:
] <https://es.aliexpress.com/item/1747567562.html>. [Último acceso: 16 Mayo 2021].
- [51 «Mil Anuncios,» [En línea]. Available:
] https://img.milanuncios.com/fg/2205/44/220544681_3.jpg?VersionId=MvZBhQC2YPb_3s.B6KinqP52tfUgNipl. [Último acceso: 24 Junio 2021].
- [52 «Mil Anuncios,» [En línea]. Available:
] https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=EK44r1CZ&id=82FC55890A9E233CF240A68B0E088AEA01E33374&thid=OIP.EK44r1CZCjS-cY_-Jb0IlwAAAA&mediarurl=https%3a%2f%2fimg.milanuncios.com%2ffg%2f2624%2f52%2f262452412_1.jpg%3fVersionId%3dL8fbcUGH4gVtmfCSr7F. [Último acceso: 22 Junio 2021].

Apéndices

A. Programa del control PI

```
#include "mbed.h"

#include "IBT2.h"

IBT2 ibt(D6,D5,D4, 10000.0);//Se configura el puente H BTS7960

Serial serial(USBTX, USBRX);//Se configura la comunicación serial

DigitalIn s1(D14);//Se definen entradas digitales para contar los pulsos

InterruptIn sens1(D14);//Se declara una interrupción en el pin D14

Timer tmp;

//Variables

int kp = 10;//Constante proporcional

int ki = 0.1;//Constante integral

double ap = 0,ai = 0,output;

double t = 0.01;

double e = 0;

double eprev = 0;

double vol = 0;

double integral = 0;

double ref = 0;

double u;

double velocidad;

int resolucion = 20;

int tmuestreo = 10;

float pulsos = 0,ti,tf,RPM;

const float T = 0.010;//Periodo en segundos

double thetaf = 120.0;//Posición Final en radianes

double P;
```

```

void tach(){
    tmp.start();//Se activa el timer para poder contar el tiempo transcurrido desde la ejecución del
    programa
    if(tmp.read_ms() - tf >= tmuestreo){//Se pregunta si la diferencia entre un intervalo supera el
    tiempo de muestreo
        RPM = ((float)pulsos/resolucion)/2*60000/(tmuestreo);//De ser así se calcula las RPM
        serial.printf("RPM: %f\n",RPM);//Se imprimen el valor de la velocidad
        pulsos = 0;//Se limpia el valor de las RPM
        tf = tmp.read_ms();//Se guarda el último instante del tiempo
    }
}

```

```

void pi(float ref){
    //double setpoint = ref/120;
    tach();
    velocidad = (RPM/1250)*120;
    e = ref - velocidad;
    ap = kp*e;
    ai = ki*((t*eprev) + (t*(e - eprev))/2);
    output = ap + ai;

    if(output > 100)
        output = 1;
    if(output < -100)
        output = -1;
    if(e < 0.1)
        output = 0;
    eprev = e;
    ibt.setSpeed(output);
}

```

```
}
```

```
void polinomio3(double theta0,double thetalf,double theta0p,double thetalfp,float tf,float T){
```

```
    double n = 0.0;
```

```
    for (int i = 0; i <= ((tf/T) - 1); i++) {
```

```
        tach();
```

```
        n = n + T;//Incremento del tiempo
```

```
        t = n;//Valor del tiempo
```

```
        //Polinomio de tercer grado
```

```
        P = ceil(((theta0 + theta0p*t + (3*(thetalf - theta0)*t*t)/(tf*tf) - (2*(thetalf - theta0)*t*t*t)/(tf*tf*tf))));//ceil funciona para redondear hacia arriba
```

```
        velocidad = (P/120);
```

```
        pi(velocidad);
```

```
        //ibt.setSpeed(velocidad);
```

```
        //serial.printf("%f \n",P);
```

```
        //serial.printf("%f \n",velocidad);
```

```
        wait(T);//cambiar funciones, evitar wait, utilizar timer ### mmilis
```

```
    }
```

```
}
```

```
void mas(){
```

```
    pulsos++;
```

```
}
```

```
void setup(){
```

```
    sens1.rise(&mas);
```

```
}
```

```
void perfil(){
```

```
    //Arranque del motor
```

```
    polinomio3(0,120,0,0,5,T);
```

```
    //Velocidad constante del motor
```

```

for(int j = 0; j <= 2/T; j++){
    P = thetaf;
    velocidad = (P/120);
    ibt.setSpeed(velocidad);
    tach();
    //serial.printf("%f \n",P);
    //serial.printf("%f \n",velocidad);
}

//Desaceleración del motor
polinomio3(120,65,0,0,5,T);

//Velocidad constante segura
for(int j = 0; j <= 2/T; j++){
    P = 65;
    velocidad = (P/120);
    ibt.setSpeed(velocidad);
    tach();
    //serial.printf("%f \n",P);
    //serial.printf("%f \n",velocidad);
}

//Frenado brusco
polinomio3(65,0,0,0,1,T);
}

int main(){
    setup();
    //serial.printf("%f",ref);
    while(true){

```

polinomio3(0,120,0,0,5,T);

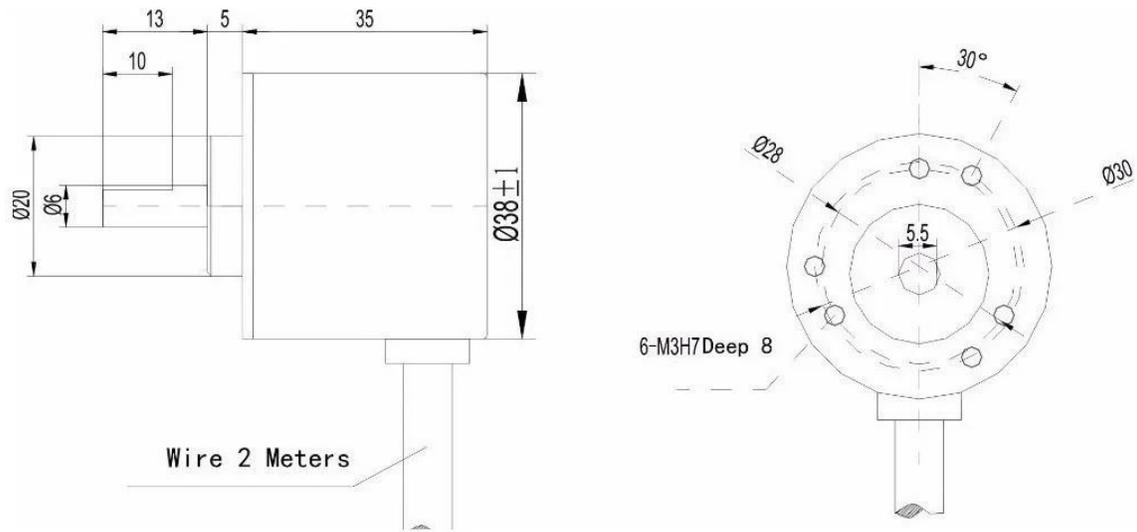
polinomio3(120,65,0,0,5,T);

polinomio3(65,0,0,0,1,T);

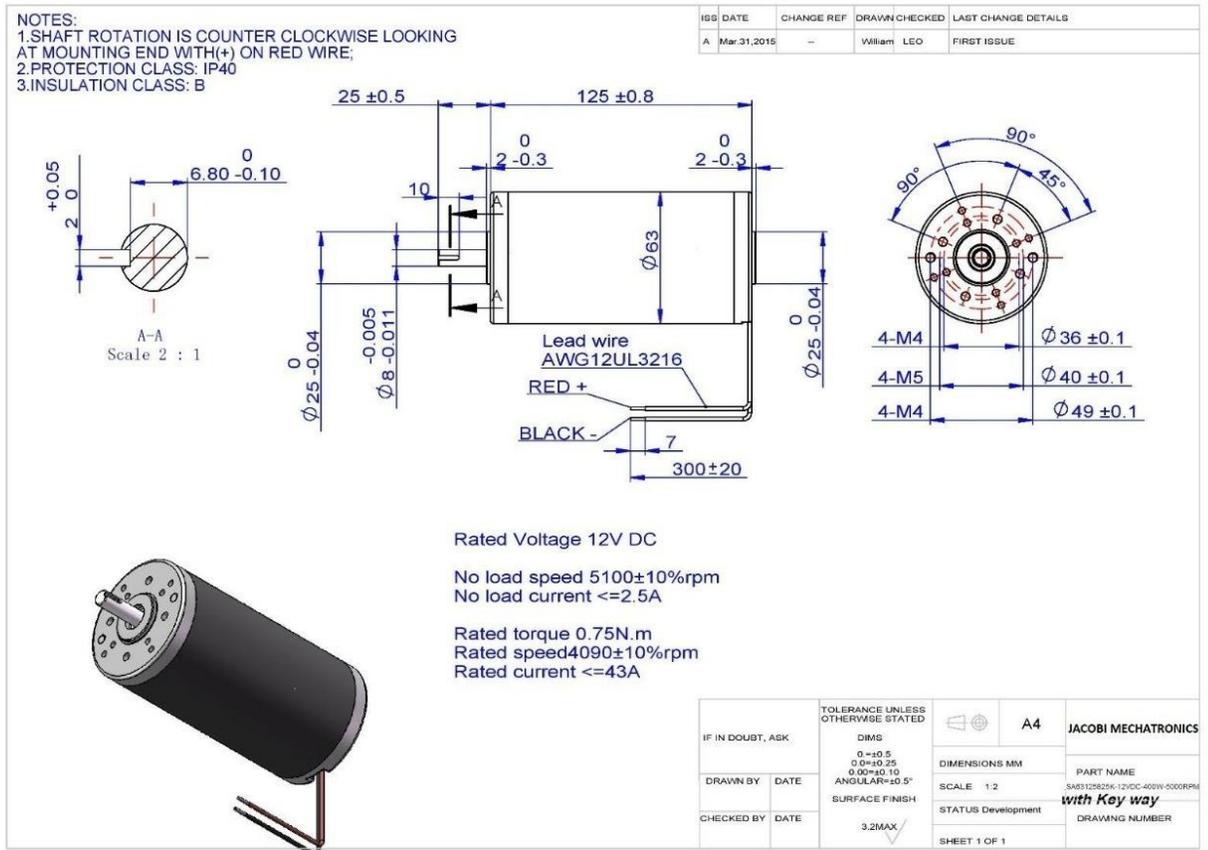
}

}

B. Encoder incremental rotativo



C. Motor de Corriente Directa




```

Button btnPaired;

ListView devicelist;

private BluetoothAdapter myBluetooth= null;

private Set<BluetoothDevice> pairedDevices ;

public static String EXTRA_ADDRESS = "device_address";

@Override

protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);

    //inicializamos las variables. Referencia a los botones
    btnPaired = (Button) findViewById(R.id.btnDevC);
    devicelist = (ListView) findViewById(R.id.lstDevC);

    //Bluetooth test
    myBluetooth = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();
    if(myBluetooth == null)
    {
        //Show a menssage. that the device has no bluetooth adapter
        Toast.makeText(getApplicationContext(), "Bluetooth Device Not
        Available", Toast.LENGTH_LONG).show();

        //finish apk
        //finish();
    }
    else if (!myBluetooth.isEnabled()){
        //Ask to the user turn the bluetooth on
        Intent turnBTon = new
        Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
        startActivityForResult(turnBTon,1);
    }
}

```

```

    }//BT

    //agregar el Listener
    btnPaired.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View v) {
            pairedDevicesList();//Método que será llamado
        }
    }); //ClickListener

} //on Create

//paired method
private void pairedDevicesList()
{
    pairedDevices = myBluetooth.getBondedDevices();

    ArrayList list = new ArrayList();

    if (pairedDevices.size()>0)
    {
        for (BluetoothDevice bt : pairedDevices) {
            list.add( bt.getName() + "\n" + bt.getAddress()); //Get the device's name
and the address
        }
    }
    else
    {

```

```
        Toast.makeText(getApplicationContext(), "No Paired Bluetooth Devices Found.", Toast.LENGTH_LONG).show();  
    }  
  
    final ArrayAdapter adapter = new  
    ArrayAdapter(this,android.R.layout.simple_list_item_1, list);  
    devicelist.setAdapter(adapter);  
    devicelist.setOnItemClickListener(myListClickListener); //Method called  
    when the device from the list is clicked  
  
} //paired method
```

```
//Listener listView  
  
private AdapterView.OnItemClickListener myListClickListener = new  
AdapterView.OnItemClickListener() {  
    @Override  
    public void onItemClick(AdapterView<?> parent, View view, int position,  
long id) {  
        String info=((TextView) view).getText().toString();  
        String address=info.substring(info.length()-17);  
  
        Intent i = new Intent(MainActivity.this,RaubVogel.class);  
        i.putExtra(EXTRA_ADDRESS,address);  
        startActivity(i);  
    }  
}; //Listener ListView
```

```
@Override  
public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu){
```

```

        // Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.
        getMenuInflater().inflate(R.menu.menu_main,menu);
        return true;
    }

    @Override
    public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item){
        int id=item.getItemId();

        if(id==R.id.action_settings){
            return true;
        }

        return super.onOptionsItemSelected(item);
    }

} //End Main Class

```

b. RaubVogel

```

package com.example.led;

import android.app.ProgressDialog;//
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;//
import android.bluetooth.BluetoothDevice;//
import android.bluetooth.BluetoothSocket;//
import android.content.Intent;//
import android.os.AsyncTask;//
import android.os.Bundle;//
import android.view.View;//
import android.view.Menu;//

```

```

import android.view.MenuItem;//
import android.widget.Button;//
import android.widget.SeekBar;//
import android.widget.Switch;
import android.widget.TextView;//
import android.widget.Toast;//
import java.io.IOException;//
import java.util.UUID;//

import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;

public class RaubVogel extends AppCompatActivity {
    //Widget Variables
    Button btnOn, btnOff, btnDis;
    SeekBar speed;
    String address = null;
    TextView speedVal;
    Switch modo;
    //TextView prueba;

    private ProgressDialog progress;
    BluetoothAdapter myBluetooth = null;
    BluetoothSocket btSocket;
    private boolean isBtConnected=false;
    static final UUID myUUID = UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-
00805F9B34FB");
    //termina tuto var gggg

```

```

//data para empaquetar
String ps="0",md="0",vvv ="000",strO="0";
//

private TextView mTextView;

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_raub_vogel);

    //receive the address of the bluetooth device
    Intent newint = getIntent();
    address = newint.getStringExtra(MainActivity.EXTRA_ADDRESS);

//view of the RaubVogel layout
    setContentView(R.layout.activity_raub_vogel);

//call the widgtes
    btnOn = findViewById(R.id.button2);//boton inicio
    btnOff = findViewById(R.id.button3);//boton parro
    btnDis = findViewById(R.id.button4);//boton de desconexión
    speed = findViewById(R.id.seekBar);//speed cambio de brigtness
    speedVal = findViewById(R.id.speedText);
    //prueba = findViewById(R.id.textPrueba);
    modo= findViewById(R.id.switch1);

```

```
new ConnectBT().execute(); //Call the class to connect
```

```
btnOn.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {  
    @Override  
    public void onClick(View v) {  
        turnOnLed();//envía datos para inicio de secuencia  
    }  
});
```

```
btnOff.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {  
    @Override  
    public void onClick(View v) {  
        turnOffLed();//paro de emergencia  
    }  
});
```

```
btnDis.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {  
    @Override  
    public void onClick(View v) {  
        Disconnect();//close connection  
    }  
});
```

```
//seekBar speed
```

```
speed.setOnSeekBarChangeListener(new  
SeekBar.OnSeekBarChangeListener() {  
    @Override
```

```

public void onProgressChanged(SeekBar seekBar, int progress, boolean
fromUser) {
    if (fromUser)
    {
        speedVal.setText(String.valueOf(progress)+" km/h" );
        vvv=String.valueOf(progress);

        switch (vvv.length()){
            case 0:
                vvv="000";
                break;
            case 1:
                vvv="00"+vvv;
                break;
            case 2:
                vvv="0"+vvv;
                break;
            case 3:
                vvv= vvv;
                break;
        }

        sendDataInst();
    }
}

```

@Override

```

public void onStartTrackingTouch(SeekBar seekBar) {

}

@Override
public void onStopTrackingTouch(SeekBar seekBar) {

}
}); //SeekBar speed

//Switch

modo.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
@Override
public void onClick(View v) {
    if (modo.isChecked()){
        //aquí se empaquetan los datos
        md="1"; //modo automático
    }
    else{
        //se empaqueta nuevamente pero con edo distinto
        md="0"; //Modo manual
    }
    sendDataInst();
}
}); //Switch

} //On create

```

```
//controles
```

```
private void Disconnect() {  
    if (btSocket!=null) //If the btSocket is busy  
    {  
        try  
        {  
            btSocket.close(); //close connection  
        }  
        catch (IOException e)  
        { msg("Error");}  
    }  
    finish(); //return to the first layout  
}
```

```
private void turnOffLed() {  
    //btSocket.getOutputStream().write("TF".toString().getBytes());  
    ps="1";//paro de emergencia  
    strO="0";//desactiva el inicio  
    sendDataInst();  
}
```

```
private void turnOnLed() {  
    //btSocket.getOutputStream().write("TO".toString().getBytes());  
    ps="0";//quita el estado de paro de emergencia  
    strO="1";//inicia op.  
    sendDataInst();  
}
```

```

private void sendDataInst() {
    String dataInst= "#"+ps+md+strO+vvv+"!";
    /*
    * ps: paro de emergencia
    * md: modo de trabajo
    * strO: inicio de operación
    * vvv: velocidad en 3 dígitos
    */
    //Envío
    if (btSocket!=null)
    {
        try
        {
            btSocket.getOutputStream().write(dataInst.toString().getBytes());//envía
los datos BT
        }
        catch (IOException e)
        {
            msg("Error");
        }
    }

}

//controles

//message en Disconnect
private void msg(String s)

```

```
{  
    Toast.makeText(getApplicationContext(),s,Toast.LENGTH_LONG).show();  
} //message en disconnect
```

```
@Override
```

```
public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {  
    // Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.  
    getMenuInflater().inflate(R.menu.menu_raub_vogel, menu);  
    return true;  
}
```

```
@Override
```

```
public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) {  
    // Handle action bar item clicks here. The action bar will  
    // automatically handle clicks on the Home/Up button, so long  
    // as you specify a parent activity in AndroidManifest.xml.  
    int id = item.getItemId();
```

```
    //noinspection SimplifiableIfStatement
```

```
    if (id == R.id.action_settings) {  
        return true;  
    }
```

```
    return super.onOptionsItemSelected(item);
```

```
}
```

```
//Start BT Connection
```

```
private class ConnectBT extends AsyncTask<Void, Void, Void> // UI thread
```

```

{
    private boolean ConnectSuccess = true; //if it's here, it's almost connected

    @Override
    protected void onPreExecute()
    {
        progress = ProgressDialog.show(RaubVogel.this, "Connecting...", "Please
wait!!!"); //show a progress dialog
    }

    @Override
    protected void doInBackground(Void... devices) //while the progress dialog
is shown, the connection is done in background
    {
        try
        {
            myBluetooth = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();//get the mobile
bluetooth device

            BluetoothDevice dispositivo =
myBluetooth.getRemoteDevice(address);//connects to the device's address and
checks if it's available

            if (btSocket == null || !isBtConnected)
            {

                //myBluetooth = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();//get the
mobile bluetooth device

                //BluetoothDevice dispositivo =
myBluetooth.getRemoteDevice(address);//connects to the device's address and
checks if it's available

                btSocket =
dispositivo.createInsecureRfcommSocketToServiceRecord(myUUID);//create a
RFCOMM (SPP) connection

                myBluetooth.cancelDiscovery();

```

```
        btSocket.connect();//start connection

    }
}
catch (IOException e)
{
    ConnectSuccess = false;//if the try failed, you can check the exception
here
}
return null;
}
```

@Override

protected void onPostExecute(Void result) //after the doInBackground, it checks if everything went fine

```
{
    super.onPostExecute(result);

    if (!ConnectSuccess)
    {
        msg("Connection Failed. Is it a SPP Bluetooth? Try again.");
        finish();
    }
    else
    {
        msg("Connected.");
        isBtConnected = true;
    }
}
```

```

    }
    progress.dismiss();
}
} //Start BT Connection
} //RaubVogel

```

c. AndroidManifest

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.example.led">

    <!--Permisos-->
    <uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH" />
    <uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH_ADMIN"
/>

    <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
    <uses-permission
android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE" />
    <uses-permission
android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION" />

    <application
        android:allowBackup="true"
        android:icon="@mipmap/ic_launcher"
        android:label="Raubvogel Conect"
        android:roundIcon="@mipmap/ic_launcher_round"
        android:supportsRtl="true"
        android:theme="@style/Theme.Led">

```

```
<activity android:name=".MainActivity">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.MAIN" />

        <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
    </intent-filter>
</activity>
```

```
<activity
    android:name=".RaubVogel"
    android:label="@string/title_activity_raub_vogel">
</activity>
```

```
</application>
```

```
</manifest>
```

d. Frontend de clase Main

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    tools:context=".MainActivity"
    >
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="wrap_content"
android:text="Bienvenido a RaubVogel"
android:textSize="30sp"
app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
app:layout_constraintLeft_toLeftOf="parent"
app:layout_constraintRight_toRightOf="parent"
app:layout_constraintTop_toTopOf="parent" />
```

```
<Button
```

```
android:id="@+id/btnDevC"
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="wrap_content"
android:text="Conectar"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
tools:layout_editor_absoluteY="414dp"
tools:ignore="MissingConstraints" />
```

```
<ListView
```

```
android:id="@+id/lstDevC"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
tools:layout_editor_absoluteX="106dp"
tools:layout_editor_absoluteY="508dp" />
```

```
</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>
```

e. Frontend de clase Rauvogel

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
android:background="@color/white"
android:padding="@dimen/box_inset_layout_padding"
tools:context=".RaubVogel">
```

```
<TextView
android:id="@+id/speedText"
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="32dp"
android:layout_marginTop="45dp"
android:text="Velocidad [Km/h]"
android:textSize="24sp"
app:layout_constraintLeft_toLeftOf="parent"
app:layout_constraintRight_toRightOf="parent"
app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
tools:visibility="visible" />
```

```
<Button
android:id="@+id/button2"
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="36dp"
android:backgroundTint="#127f2c"
```

```
android:text="Inicio"
android:textColor="@color/white"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/switch1" />
```

<Button

```
android:id="@+id/button3"
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="20dp"
android:backgroundTint="#900C3F"
android:text="Paro de Emergencia"
android:textColor="@color/white"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintHorizontal_bias="0.497"
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/button2" />
```

<Button

```
android:id="@+id/button4"
android:layout_width="wrap_content"
android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="35dp"
android:text="Desconectar"
android:textColor="@color/white"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintHorizontal_bias="0.498"
```

```
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"  
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/button3" />
```

```
<SeekBar
```

```
    android:id="@+id/seekBar"  
    android:layout_width="247dp"  
    android:layout_height="16dp"  
    android:layout_marginTop="40dp"  
    android:max="120"  
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"  
    app:layout_constraintHorizontal_bias="0.5"  
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"  
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/speedText" />
```

```
<Switch
```

```
    android:id="@+id/switch1"  
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_marginTop="40dp"  
    android:text="Modo de operación  " "  
    android:textOff="Manual"  
    android:textOn="Automático"  
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"  
    app:layout_constraintHorizontal_bias="0.498"  
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"  
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/seekBar" />
```

```
<!--
```

```
<TextView
    android:id="@+id/textPrueba"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginTop="30dp"
    android:text="TextView"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/button4" /> -->
</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>
```

E. Programa del polinomio de tercer grado

```
#include "mbed.h"

#include <string>
#include <iostream>
#include <math.h>
#include <cmath>
#include "IBT2.h"

IBT2 ibt(D6,D5,D4, 10000.0);//Se configura el puente H BTS7960
DigitalOut R_en(D2);//Se activa el PWM del puente H
Serial serial(USBTX, USBRX);//Se configura la comunicación serial
float velocidad = 0.0;

const float T = 0.010;//Periodo en segundos
double thetáf = 400.0;//Posición Final en radianes
double P,t;

void polinomio3(double theta0,double thetáf,double theta0p,double thetáf, float tf, float T){
    double n = 0.0;
    //double P,t;
    for (int i = 0; i <= ((tf/T) - 1); i++) {
        n = n + T;//Incremento del tiempo
        t = n;//Valor del tiempo
        //Polinomio de tercer grado
        P = ceil(((theta0 + theta0p*t + (3*(thetáf - theta0)*t*t)/(tf*tf) - (2*(thetáf -
theta0)*t*t*t)/(tf*tf*tf)));//ceil funciona para redondear hacia arriba
        velocidad = (P/400);
```

```
    ibt.setSpeed(velocidad);
    //serial.printf("%f\n",P);
    serial.printf("%f\n",velocidad);
    wait(T);//cambiar funciones, evitar wait, utilizar timer ### mmilis
}
}
```

```
void loop()
```

```
{
    //Arranque del motor
    polinomio3(0,400,0,0,5,T);

    //Velocidad constante del motor
    for(int j = 0; j <= 2/T; j++){
        P = thetaf;
        velocidad = (P/400);
        ibt.setSpeed(velocidad);
        //serial.printf("%f\n",P);
        serial.printf("%f\n",velocidad);
    }
```

```
    //Desaceleración del motor
    polinomio3(400,165,0,0,5,T);
```

```
    //Velocidad constante segura
    for(int j = 0; j <= 2/T; j++){
        P = 165;
        velocidad = (P/400);
```

```

    ibt.setSpeed(velocidad);
    //serial.printf("%f\n",P);
    serial.printf("%f\n",velocidad);
}
//Frenado brusco
polinomio3(165,0,0,0,1,T);
}

```

```

int main(){
    serial.baud(115200);
    R_en = 1; // manually enable the R_EN line
    //while(1)
    loop();
}

```

F. Conexión bluetooth entre teléfono y tarjeta de desarrollo

```

#include <string>
#include <stdio.h>

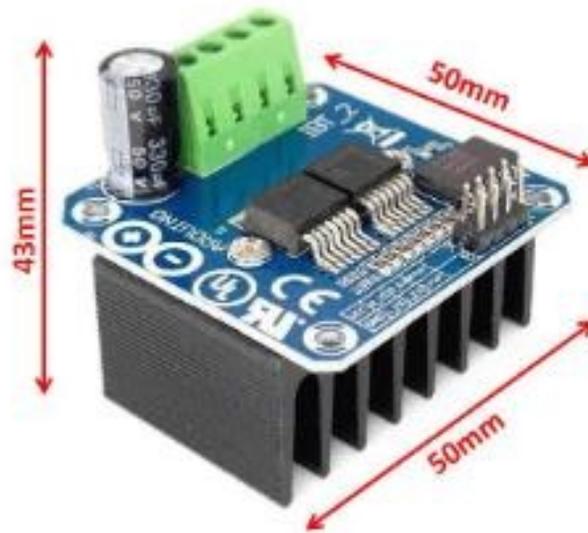
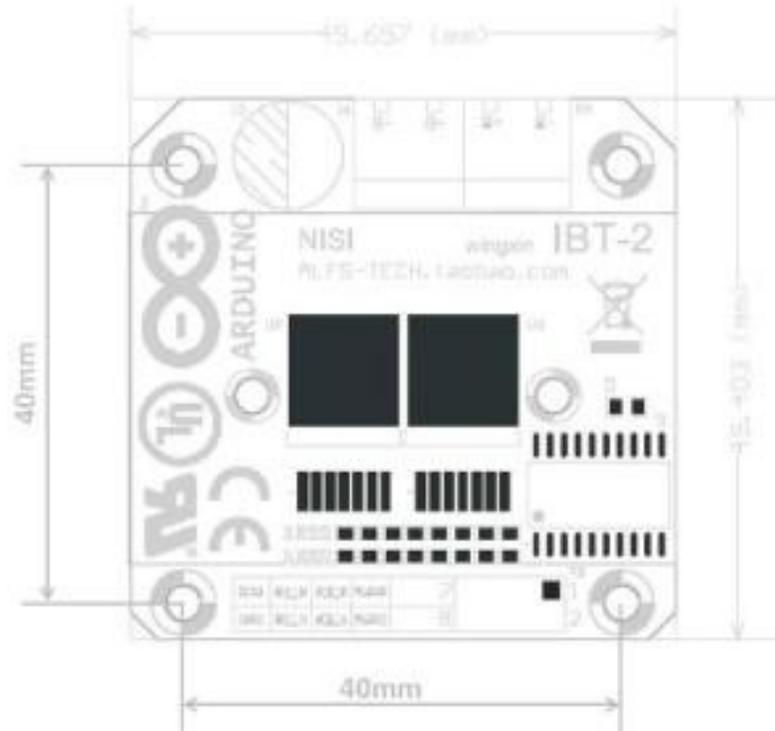
//Definición de variables
Serial serial(USBTX,USBRX);//Configuración de la comunicación serial UART
Serial blue(PC_10,PC_11);//Configuración de los pines para el módulo Bluetooth
char msg[9];
void setup(){
    blue.baud(38400);
}

void loop(){
    if(blue.readable()){//Sí la comunicación con el módulo HC-05 está disponible
        blue.gets(msg,9);
    }
}

```

```
if(msg[0] == '#' && msg[7] == '!'){
    char ps = msg[1];
    char mod = msg[2];
    char strO = msg[3];
    char val1 = msg[4];
    char val2 = msg[5];
    char val3 = msg[6];
    char val[] = {val1,val2,val3};
    int velocidad = atoi(val);
    serial.printf("Mensaje: %s\n",msg);
    serial.printf("Paro =%c\n",ps);
    serial.printf("Modo =%c\n",mod);
    serial.printf("Inicio =%c\n",strO);
    serial.printf("Velocidad =%i\n",velocidad);
}
else
    serial.printf("Error\n");
}
}
int main(){
    setup();
    while(1)
        loop();
}
```


I. Módulo BTS7960



Hyperfast Diode 75 A, 600 V

FFH75H60S

Description

The FFH75H60S is a hyperfast diode with soft recovery characteristics. It has the half recovery time of ultrafast diodes and is silicon nitride passivated ionimplanted epitaxial planar construction. These devices are intended to be used as freewheeling/clamping diodes and diodes in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and hyperfast soft recovery minimize ringing and electrical noise in many power switching circuits reducing power loss in the switching transistors.

Features

- Hyperfast Recovery $t_{rr} = 75 \text{ ns}$ (@ $I_F = 75 \text{ A}$)
- Max Forward Voltage, $V_F = 1.8 \text{ V}$ (@ $T_C = 25^\circ\text{C}$)
- 600 V Reverse Voltage and High Reliability
- Avalanche Energy Rated
- This Device is Pb-Free and is RoHS Compliant

Applications

- General Purpose
- SMPS, Solar Inverter, UPC
- Power Switching Circuits
- Solar Inverter, UPC

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

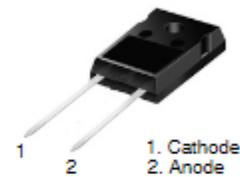
Parameter	Symbol	Rating	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	600	V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	600	V
DC Blocking Voltage	V_R	600	V
Average Rectified Forward Current ($T_C = 105^\circ\text{C}$)	$I_{F(AV)}$	75	A
Non-repetitive Peak Surge Current 60 Hz Single Half-Sine Wave	I_{FSM}	750	A
Operating Junction and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-65 to 175	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

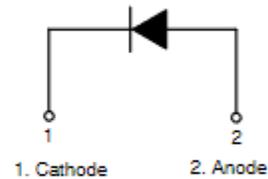


ON Semiconductor®

www.onsemi.com



TO-247-2LD
CASE 340CL



MARKING DIAGRAM



\$Y	= ON Semiconductor Logo
&Z	= Assembly Plant Code
&3	= Numeric Date Code
&K	= Lot Code
FFH75H60S	= Specific Device Code

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information on page 2 of this data sheet.