

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería Mecatrónica

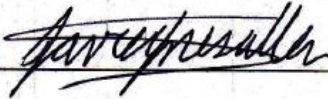


Propulsión terrestre, desplazamiento y estabilidad de un prototipo de
vehículo anfibia

Trabajo presentado por
Javier Liere Paz
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

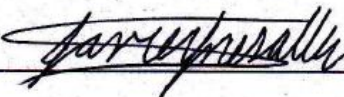
Guatemala
2014

Vo. Bo. :


(f) 

Ing. Javier Mesalles

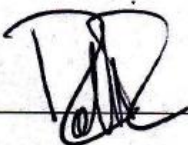
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Javier Mesalles

(f) 

Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f) 

Ing. Roberto Delgado

Fecha de aprobación: Guatemala 6 de febrero del 2014.

ÍNDICE

Lista de cuadros	vii
Lista de figuras	viii
Resumen	x
I. Introducción	1
II. OBJETIVOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. ANTECEDENTES	4
V. MARCO TEÓRICO	7
A. Objetivos	7
B. Flotación y estabilidad 1	8
C. Acero 1020 Cold Rolled	9
D. Esfuerzo de fluencia.....	10
E. Motores “Power wIndow motor”	10
F. RS-232	12
G. PWM.....	13
H. Especificaciones Drivers victor 888	14
I. IPC-2221	14
VI. METODOLOGÍA.....	16
A. DISEÑO.....	18
B. Comunicación inalámbrica	23
C. Detección de modo acuático o terrestre	24
D. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA	26
E. Diseño final de la placa.....	27
VII. ANÁLISIS Y CÁLCULOS	29
A. Torque y duración de baterías	29
B. Estabilidad acuatica	35
C. Estabilidad terrestre	38
D. Sistema de aislamiento.....	40
E. Esfuerzos y deformaciones	41
1. Ejes traseros.	42
2. Eje delantero.....	44
3. Transmisión de potencia del eje a las llantas.....	46

4.	Acople	49
5.	Castigadores	51
VIII.	FABRICACIÓN DEL VEHÍCULO	54
IX.	RESULTADOS	57
A.	Tablas de resultados	57
B.	Experimentos y pruebas:.....	58
X.	ANÁLISIS	63
XI.	CONCLUSIONES	67
XII.	RECOMENDACIONES.....	68
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	69
XIV.	ANEXOS	71

LISTA DE CUADROS

	Página
1. Cuadro 1. Características de los motores	10
2. Cuadro 2. Especificaciones para Drivers Victor 888.	14
3. Cuadro 3. Clearance de los tracks dependiendo del Voltaje	15
4. Cuadro 4. Dirección del vehículo controlado por PWM.	24
5. Cuadro 5. Desplazamiento máximo debido a deformación de los componentes	57
6. Cuadro 6. Esfuerzo máximo von mises de los componentes.	57
7. Cuadro 7. Características del vehículo.	57
8. Cuadro 8. Consumo de potencia teórica y experimental	58
9. Cuadro 9. Velocidad y corriente sobre superficie sin inclinación.	58
10. Cuadro 10. Velocidad y consumo de corriente con el peso máximo (100 lb).	59
11. Cuadro 11. Velocidad y consumo de corriente a diferentes inclinaciones.	59
12. Cuadro 12. Consumo de potencia a diferentes inclinaciones.	59
13. Cuadro 13. Velocidad y consumo de corriente en terracería e inclinación variable	59
14. Cuadro 14. Consumo de potencia en terracería.....	60
15. Cuadro 15. Porcentaje de comandos enviados exitosamente.	60
16. Cuadro 16. Corriente consumida a diferentes revoluciones por minuto.	60
17. Cuadro 17. Tiempo en girar 360 grados en superficie plana.	61
18. Cuadro 18. Tiempo en girar 360 grados sobre asfalto con grasa en las llantas delanteras.	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Figura 1 Vehículo anfibia construido durante la Primera Guerra Mundial.....	5
2. Figura 2 Versión anfibia del GMC 6 x 6.....	6
3. Figura 3 Camión anfibia Duck.....	6
4. Figura 4 Metacetro, centro de gravedad y centro de flotación.....	8
5. Figura 5. Consumo de potencia y torque de los motores Power Window Motor.....	11
6. Figura 6. Representación de una señal binaria normal a RS-232.....	12
7. Figura 7. Ciclo de trabajo de los PWM.....	13
8. Figura 8. Primer propuesta de vehículo Anfibia.....	16
9. Figura 9. Isométrico de Acople.....	19
10. Figura 10. Isométrico eje trasero.....	19
11. Figura 11. Isométrico elemento de transmisión de potencia del eje a las llantas.....	20
12. Figura 12. Isométrico de cojinetes.....	20
13. Figura 13. Descripción de sistema de aislamiento.....	21
14. Figura 14. Isométrico de bridas.....	22
15. Figura 15. Isométrico de ensamble del vehículo completo.....	22
16. Figura 16. Teclado para ilustración de comandos de control.....	23
17. Figura 17. Esquemático de la placa.....	27
18. Figura 18. Diseño PCB de la placa.....	28
19. Figura 19. Diagrama de cuerpo libre con inclinación de 35 grados.....	29
20. Figura 20. Diagrama de cuerpo libre con inclinación de 17 grados.....	32
21. Figura 21. Centro de gravedad vista planta.....	35
22. Figura 22. Centro de gravedad vista trasera.....	36
23. Figura 23. Altura del nivel del agua.....	36
24. Figura 24. Fuerzas de flotación.....	37
25. Figura 25. Fuerza resultante de flotación (azul) y centro de gravedad (naranja).....	38
26. Figura 26. Ubicación del centro de gravedad para obtener la pendiente máxima.....	39
27. Figura 27. Ilustración de fuerzas de eje trasero.....	42
28. Figura 28. Representación del desplazamiento debido a deformación del eje trasero.....	43
29. Figura 29. Representación del esfuerzo von mises del eje trasero.....	43
30. Figura 30. Representación de la deformación del eje trasero.....	44
31. Figura 31. Ilustración de fuerzas de eje delantero.....	44

32. Figura 32. Representación del desplazamiento debido a deformación del eje delantero.	45
33. Figura 33. Representación del esfuerzo von mises del eje delantero.	45
34. Figura 34. Representación de la deformación del eje delantero.	46
35. Figura 35. Ilustración de fuerzas del transmisor de potencia del eje a las llantas	46
36. Figura 36. Representación de deformación del trasmisor de potencia del eje a las llantas.	47
37. Figura 37. Representación del esfuerzo von Mises del trasmisor de potencia del eje a las llantas.	48
38. Figura 38. Representación de la deformación del trasmisor de potencia del eje a las llantas.	48
39. Figura 39. Ilustración de fuerzas del acople.....	49
40. Figura 40. Representación del desplazamiento debido a deformación del acople.	49
41. Figura 41. Representación del esfuerzo von Mises del acople.....	50
42. Figura 42. Representación de la deformación del acople.	50
43. Figura 43. Ilustración de fuerzas de los castigadores	51
44. Figura 44. Representación del desplazamiento debido a deformación de los castigadores.....	52
45. Figura 45. Representación del esfuerzo von Mises de los castigadores.	52
46. Figura 46. Representación de la deformación de los castigadores.	53
47. Figura 47. Construcción de estructura.....	54
48. Figura 48. Maquinado de elementos de transmisión de potencia.	55
49. Figura 49. Procedimiento para aislar el motor.	56

RESUMEN

El trabajo de graduación de propulsión terrestre, desplazamiento y estabilidad consiste en construir un sistema a escala sumergible de propulsión capaz de transportar al vehículo en tierra.

El sistema de propulsión está diseñado para adaptarlo a un sistema de propulsión acuática haciéndolo un vehículo anfibia el cual se pueda transportar en agua y en tierra.

El sistema está hecho a una escala de 1:8 con respecto a un vehículo real.

Se utilizaron dos baterías inteligentes para alimentar los motores. Los motores se atornillaron a la estructura dándoles la rigidez y estabilidad necesaria para transmitir la potencia adecuadamente.

La pendiente máxima experimental que el vehículo puede recorrer es de 17 grados sin peso. El peso máximo que el vehículo puede transportar son 50 libras. La distancia máxima que el vehículo puede recorrer con una carga de baterías es de 6,250 metros sobre asfalto y de 1,600 kilómetros en terracería. El vehículo puede avanzar en tierra a una velocidad máxima de 0.9 metros por segundo (3.24 km/h).

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala las catástrofes naturales como terremotos, huracanes o desbordamiento de ríos son muy comunes y esto dificulta el acceso a los vehículos de rescate. También existen varios lugares en los que el acceso es muy complicado por lo tanto se necesita una maquina no tripulada para acceder y explorar estos lugares.

Planteamos una posible solución a este problema creando un prototipo de un vehículo no tripulado capaz de trasladarse por terrenos inundados y de terracería para tener acceso a lugares que son inaccesibles para cualquier vehículo o lancha convencional.

Se analizaron varios vehículos anfibios y se observó que la mayoría de vehículos anfibios tiene limitado el movimiento de las ruedas a solamente girar en el sentido del eje. Estos vehículos son lanchas con ruedas adaptadas a la forma de la lancha y no vehículos que se adaptaron al agua. Por esta razón, la solución para crear un vehículo fue que a partir de una lancha o un objeto flotante se construya uno anfibio adaptándole ruedas que solamente giren en el sentido del eje.

El módulo de propulsión terrestre es controlado inalámbricamente y se utilizó el módulo de bluetooth para realizar las pruebas. La distancia máxima que puede haber entre el control y el vehículo es de 70 metros.

La velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo en tierra es de 0.9 metros por segundo (3.24 km/h) y la pendiente máxima en la que el vehículo se desplaza es de 17 grados.

El sistema de giro del vehículo consiste en girar la llanta izquierda en un sentido y la derecha en el sentido opuesto. El peso máximo que el vehículo puede transportar son 50 libras.

El módulo de desplazamiento y estabilidad se encarga de reducir la resistencia al movimiento que causará el agua al desplazarse a través de ella y de reducir la inestabilidad del vehículo cuando esté dentro del agua. Para esto se modificó la estructura, distribuyendo correctamente el peso. También se encarga de que el vehículo se desplace en cualquier terreno en la tierra dándole la altura necesaria para que el vehículo pueda desplazarse a través de obstáculos.

El módulo de propulsión terrestre es completamente impermeable evitando entradas de agua al vehículo.

II. OBJETIVOS

A. Generales del proyecto

1. Diseñar y fabricar un prototipo de vehículo capaz de transportarse en agua y en tierra.
2. Diseñar un sistema de propulsión terrestre capaz de transportar al vehículo en asfalto y en terracería.

B. Específicos

3. Construir un sistema de propulsión que pueda transportar al vehículo en tierra a un máximo de 15 kilómetros por hora.
4. Construir un sistema de giro para que el vehículo pueda cambiar su trayectoria libremente.
5. Implementar un circuito que interprete la señal emitida por el receptor de señales y lo traduzca a una señal que puedan entender los drivers.
6. Implementar un circuito que amplifique la señal emitida por el circuito interpretador a una señal que mueva los motores en la dirección indicada (drivers).
7. Implementar un sistema que interprete la señal enviada por el circuito que detecta si el vehículo está dentro o fuera del agua y haga las acciones necesarias para colocar al vehículo en modo acuático o terrestre.
8. Diseñar los componentes adecuados para transmitir la potencia que se utilizará para mover al vehículo (ejes).
9. Distribuir el peso correctamente para asegurar que el vehículo no vuelque al ir a máxima velocidad sobre el agua.

III. JUSTIFICACIÓN

El costo de rescate de personas que se encuentran en problemas debido a catástrofes naturales es muy elevado debido a que se utilizan helicópteros con altos costos de mantenimiento y de funcionamiento. Utilizando un vehículo anfibia se reducirían estos costos debido a que cualquier persona los puede operar, el mantenimiento es simple y no utiliza grandes cantidades de energía para operar como lo hace un helicóptero.

Planteamos una posible solución a este problema creando un prototipo de un vehículo capaz de trasladarse por terrenos inundados y de terracería para tener acceso a lugares que son inaccesibles para cualquier vehículo o lancha convencional.

Este prototipo se podrá tomar como una muestra de que es factible construir un vehículo anfibia que se utilice para rescate y exploración.

Con este vehículo se podrán explorar cuevas, montañas, lagos o cualquier lugar que sea peligroso para arriesgar una vida humana obteniendo la posición y video sobre el lugar.

Debido a que el vehículo es Anfibia, este debe poder transportarse en agua por lo tanto debe tener un mecanismo de propulsión eficiente para que el vehículo pueda moverse libremente en el agua. Este mecanismo no debe interrumpir al mecanismo para el módulo terrestre, sin embargo puede ser alimentado por las mismas fuentes de energía.

IV. ANTECEDENTES

La idea de realizar un prototipo de vehículo anfíbio surgió debido a que es un reto diseñar y construir un vehículo con estas características y es un proyecto que tiene mucho campo en un país como Guatemala que tiene muchos ríos y lagos en los que se puede utilizar un vehículo como éste.

Estos vehículos son normalmente creados para la guerra pero también se pueden utilizar para rescate o exploración. En un país como Guatemala es útil debido a que los accidentes por huracanes y desbordamiento de ríos son más comunes que en otros lugares por lo tanto se necesita de estos vehículos.

Los intentos de construir vehículos anfíbios vienen desde el siglo XVI, en este siglo se creó una especie de barca con ruedas, arrastrada por caballos en tierra y movida por unas paletas accionadas manualmente en el agua.

Los vehículos anfíbios a motor se crearon a principios del siglo XX pero estos vehículos no tenían éxito en la mayoría de los casos.

En el final de la Primera Guerra Mundial se pensó en las posibilidades que podía ofrecer en versión anfibia uno de los más recientes inventos bélicos de aquella época: el carro de combate. En 1916 el ejército inglés efectuó pruebas con un carro de combate ligero, mientras que en 1918 se efectuó otro intento tomando como base esta vez un camión, consistiendo la modificación en acoplarle dos grandes cajones flotantes.

Figura 1 Vehículo anfibio construido durante la Primera Guerra Mundial.¹



Después de la guerra varios países siguieron experimentando en el campo de los vehículos anfibios debido a que sería de gran importancia para el avance de las tropas el no tener que detenerse ante un curso de agua, o sus posibilidades en otras acciones como desembarcos. En 1931 la empresa inglesa Vickers, especializada en vehículos militares, transformó dos camiones de 3,5 toneladas, logrando resultados aceptables, llegando incluso a exportar a otros países algunas unidades de este modelo.

¹ Figura obtenida de la referencia 5.

Figura 2 Versión anfibia del GMC 6 x 6²



La versión anfibia del GMC 6 x 6, fue el vehículo de estas características más utilizado durante la guerra, además de ser el primer anfibio eficaz fabricado en serie tras varias décadas de estudio por parte de diferentes países.

Figura 3 Camión anfibio Duck³



² Figura obtenida de la referencia 5.

³ Figura obtenida de la referencia 5.

V. MARCO TEÓRICO

A. OBJETIVOS

Durante el trabajo se encontró que, para que estén más claros, deberían replantearse los objetivos a:

- Generales del Módulo
 1. Diseñar un sistema sumergible de propulsión terrestre capaz de transportar al vehículo en asfalto y en terracería.
- Específicos
 2. Construir un sistema de propulsión que pueda transportar al vehículo en tierra a un máximo de 15 kilómetros por hora.
 3. Construir un sistema de giro para que el vehículo pueda cambiar su trayectoria libremente.
 4. Implementar un circuito para controlar los drivers de los motores dependiendo de la señal del receptor bluetooth.
 5. Implementar los drivers que suministren la corriente adecuada a los motores.
 6. Implementar un circuito que cambie entre las modalidades acuática y terrestre dependiendo del ambiente en el que se encuentre el vehículo.
 7. Diseñar los componentes adecuados para transmitir la potencia que se utilizará para mover al vehículo (ejes, acoples, etc.).
 8. Asegurar que el centro de gravedad del vehículo esté debajo del centro de flotación para que el vehículo sea estable dentro del agua.

B. FLOTACIÓN Y ESTABILIDAD ¹

- Principio de Arquímedes:

El principio de Arquímedes afirma que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido estático, será empujado con una fuerza igual al peso del volumen de fluido desplazado.

Cuando un cuerpo está sumergido en un fluido se genera un empuje hidrostático resultante de las presiones sobre la superficie del cuerpo.

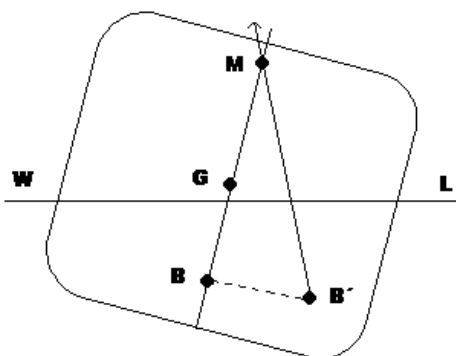
Ecuación 1. Fuerza de empuje hacia un objeto sumergido

$$\text{Fuerza de Empuje} = \text{Volúmen del líquido desplazado} * \text{Densidad del líquido}$$

- Estabilidad:

En la Figura 4 se puede observar que el metacentro es la intersección del eje vertical de un cuerpo cuando está en su posición de equilibrio, con una línea que pasa a través de la posición nueva del centro de flotación cuando el cuerpo gira levemente.

Figura 4 Metacentro, centro de gravedad y centro de flotación.⁴



⁴ Figura obtenida de la referencia 7.

Por lo tanto un cuerpo flotante es estable si su centro de gravedad está por debajo del metacentro.

La distancia al metacentro a partir del centro de flotación es conocida como MB.

Ecuación 2. MB, Inercia y volumen desplazado.

$$MB = I/V_d$$

Siendo “Vd” el volumen desplazado del fluido e “I” el momento de inercia mínimo de una sección horizontal del cuerpo tomada en la superficie del fluido. Si la distancia MB sitúa al metacentro arriba del centro de gravedad, el cuerpo es estable.

C. ACERO 1020 COLD ROLLED⁵

Este material responde bien al trabajo en frío y al tratamiento en calor. Su soldabilidad es aceptable.

Se utiliza normalmente en ejes, pasadores, cadenas y partes endurecidas en donde la fuerza principal no es crítica.

Propiedades mecánicas:

Esfuerzo de fluencia: 350 MPa = 205 N/(mm²).

Esfuerzo Máximo: 420 MPa = 380 N/(mm²).

Elongación: 15%.

Reducción de área: 40%

Módulo de elasticidad: 205 Gpa.

Maquinabilidad: 65%.

Propiedades Físicas:

Densidad: 7.87 g/cm³

⁵ Ver referencia No. 9 y 6

D. ESFUERZO DE FLUENCIA⁶

El límite de fluencia es el nivel de tensión a partir del cual el material elástico lineal se deforma plásticamente en una prueba uniaxial. Hasta el punto de fluencia el material se comporta elásticamente sin deformarse permanentemente, siguiendo la ley de Hooke. En aceros el límite de fluencia está bien definido.

E. MOTORES “POWER WINDOW MOTOR”⁷

Estos motores son los que se utilizaron para propulsión del vehículo extraídos de los motores de las ventanas de un TOYOTA hilux.

Especificaciones:

12v regulador de la ventana del motor, con eje sólido, esfuerzo de torsión grande, bajo nivel de ruido, velocidad constante, de alta calidad.

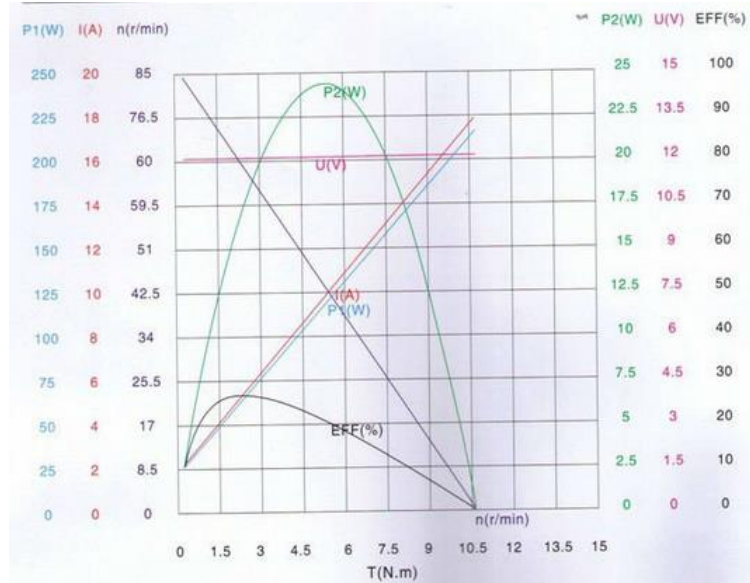
Cuadro 1. Características de los motores

Voltaje	Corriente nominal	Velocidad nominal	Velocidad con un torque de 3 Nm	Torque máximo
12- 15 V	5 Amperios	80-95 RPM	50 RPM	11 Nm

⁶ Ver referencia No. 3

⁷ Ver Referencia No. 1

Figura 5. Consumo de potencia y torque de los motores Power Window Motor



Especificaciones:⁸

El ruido del motor es inferior a 57db, cuando la distancia entre el motor y el tester de ruido es 50cm, y el ruido de fondo es menos de 40db.

El motor se mantiene en funcionamiento normal cuando se le rocía agua constantemente.

El motor soporta 16.5 voltios adicionales a la tensión de 12 Volts.

El motor no puede girar al aplicarle 14.7Nm par.

Es resistente a la corrosión.

⁸ Especificaciones proporcionadas por el fabricante. Ver referencia No. 1

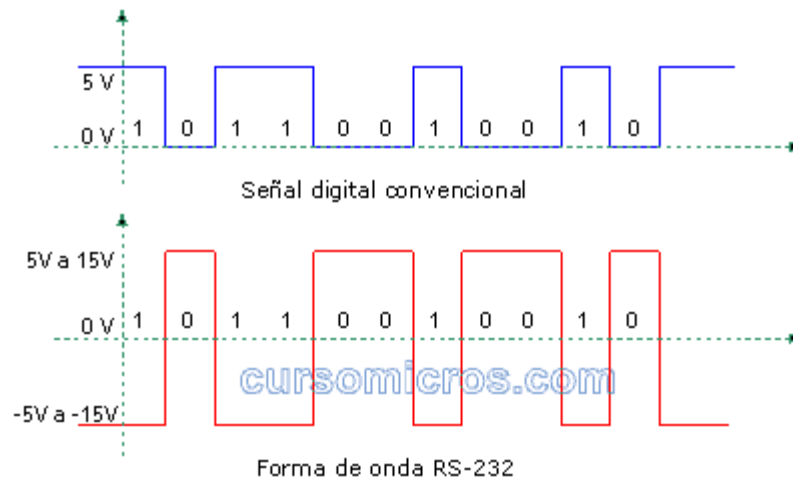
F. RS-232⁹

«Protocolo utilizado en puertos en serie. Basado en la especificación 07.10 de ETSI por medio del protocolo RFCOMM. Emula una línea serie y provee una interfaz de reemplazo de comunicaciones basadas en RS-232, con las señales de control típicas.» (Curso Micros, Programación de Microcontroladores, 2013.)

«RS232 (Recommended Standard 232, también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras en las que también se utiliza la interfaz RS-232.» (Curso Micros, Programación de Microcontroladores, 2013.)

En la Figura 6 se puede observar que la señal emitida por el protocolo RS 232 invierte y amplifica una señal normal binaria. A las señales que son tomadas como 1 lógico (5 voltios) las amplifica a 15 voltios y las invierte, las señales que son tomadas como 0 lógico (0 voltios) son colocadas como señales a 15 voltios.

Figura 6. Representación de una señal binaria normal a RS-232.¹⁰



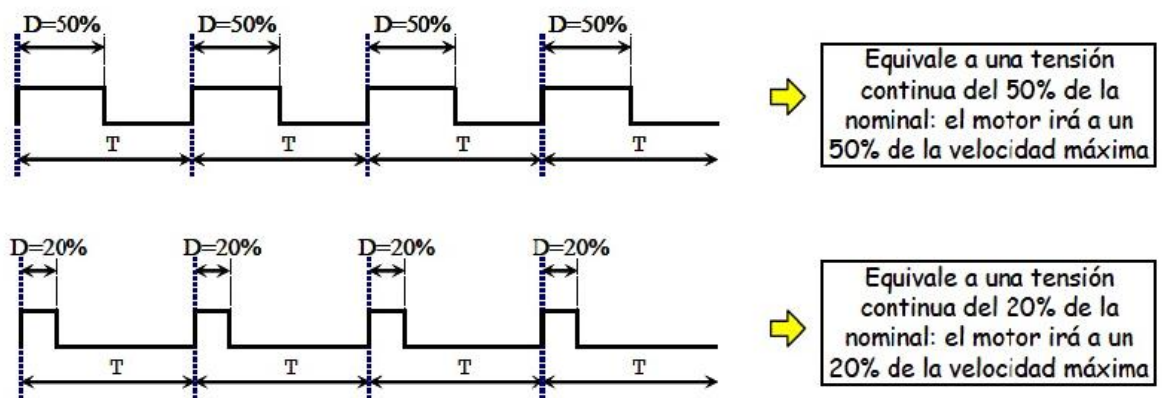
⁹ Ver referencia No.4

¹⁰ Figura obtenida de referencia No. 4

G. PWM¹¹

La modulación por ancho de pulso (PWM) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Figura 7. Ciclo de trabajo de los PWM¹²



En la Figura 7 se puede observar que el ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período por lo tanto el ciclo de trabajo no indica la duración en tiempo de los pulsos.

Expresado matemáticamente:

D : es el ciclo de trabajo.

τ : es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso).

T : es el período de la función.”

¹¹ Ver referencia No. 8

¹² Figura obtenida de referencia No. 8

H. ESPECIFICACIONES DRIVERS VICTOR 888¹³

Cuadro 2. Especificaciones para Drivers Victor 888.

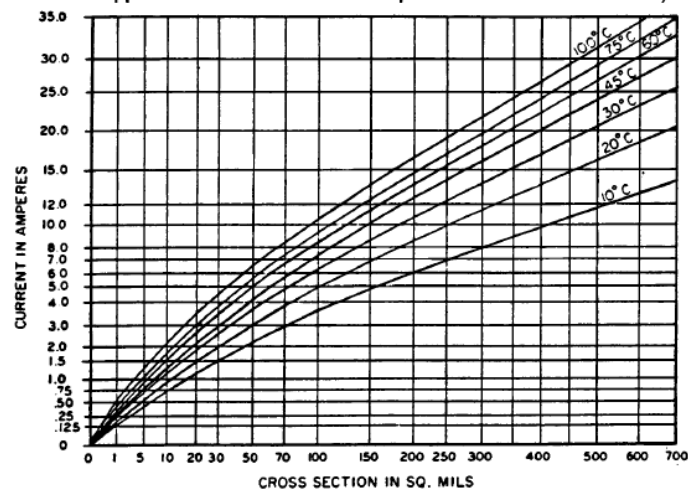
Voltaje Nominal	12V
Min/Max Voltaje	6-15V
Corriente continua máxima	60A
Corriente pico (2 seg)	150A
PWM Input Pulse	1-2 ms
PWM Input Rate	2.1-500 ms
PWM Output Chop Rate	1 KHz
Minimum Throttle	5.4%
Fan Voltage Range	6V - 16V

I. IPC-2221¹⁴

Se utilizó el standard IPC-2221 para calcular el ancho de los tracks y el clearance mínimos al fabricar circuitos en placas impresas.

Gráfica 1. Ancho de los tracks dependiendo de la corriente¹⁵

(For use in determining current carrying capacity and sizes of etched copper conductors for various temperature rises above ambient.)



¹³ Tabla tomada de www.vexrobotix.com

¹⁴ Ver referencia No. 5

¹⁵ Gráfica obtenida de la referencia No. 10

Cuadro 3. Clearance de los tracks dependiendo del Voltaje ¹⁶

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.13 mm
16-30	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.13 mm
31-50	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.4 mm	0.13 mm
51-100	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.5 mm	0.13 mm
101-150	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
151-170	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
171-250	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
251-300	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.8 mm
301-500	0.25 mm	2.5 mm	12.5 mm	0.8 mm	0.8 mm	1.5 mm	0.8 mm
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors

B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m

B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m

B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)

A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)

A6 - External Component lead/termination, uncoated

A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

¹⁶ Gráfica obtenida de la referencia No. 10.

VI. METODOLOGÍA

Para construir el vehículo anfibio la primera decisión fue tomar como base un vehículo a control remoto. En la Figura 8 se muestra el vehículo de la primera propuesta para el vehículo anfibio.

Figura 8. Primer propuesta de vehículo Anfibio¹⁷



La velocidad máxima de este vehículo es aproximadamente de 50km/h.

La idea de utilizar este vehículo fue descartada debido que las llantas tienen movilidad en sentido vertical debido a los amortiguadores y el sistema de giro tiene varias partes móviles las cuales incrementan la complejidad de impermeabilización y flotación del vehículo.

Se realizó una visita al club de vehículos anfibios en Guatemala y se observó que la parte principal de los vehículos es una lancha que luego se le adaptaron llantas para moverse en tierra. Esto simplifica la impermeabilización y flotación del vehículo.

Se tomó esto como referencia para construir el prototipo de vehículo anfibio tomando un objeto flotante como elemento principal y luego adaptarlo a la tierra. Por esta razón se utilizó una bañera pequeña como objeto flotante el cual simula una lancha por su forma y tamaño.

Tomando las medidas del objeto flotante como referencia se diseñó la estructura asegurando que ésta soporte completamente a la bañera para que ésta no sufra esfuerzos y se rompa.

¹⁷ Figura obtenida de <http://www.nitrorcx.com/>.

El sistema de giro funciona girando una llanta trasera en un sentido y la otra en el sentido opuesto. Este sistema se diseñó de esta manera para poder aislar los motores debido a que el eje solamente rotará y no se moverá como en un sistema convencional de giro. Limitando los ejes solamente a rotación es posible aislarlos utilizando un retenedor de líquidos el cual permite que el eje sumergido rote sin que el agua pase a través de él.

Los motores se impermeabilizaron utilizando cajas de plástico y en la salida del eje se colocaron los retenedores convencionales de aceite. También se aisló utilizando los cojinetes de la misma manera que se observó en los vehículos anfibios reales en la visita al club de vehículos anfibios.

Para el control de las señales se utilizó el PIC 16F887 el cual interpreta las señales recibidas por bluetooth y genera una señal PWM. Los PWM van conectados a los drivers de los dos motores.

Se utilizaron dos baterías duratrax ONYX 5000 de 7.4 voltios conectadas en serie para formar 14.8 voltios. Se utilizaron estas baterías debido a que son livianas (0.5 libras cada una aproximadamente) y para su peso y dimensiones el tiempo de descarga es largo. El tiempo de suministro de corriente con respecto a la corriente consumida por los motores es suficiente para probar un prototipo. Se utilizaron dos baterías conectadas en serie debido a que los motores necesitan de 12 a 15 voltios para funcionar y como el precio es un factor a tomar en cuenta, comprar dos baterías de 7.4 volts en ese momento resultó ser mucho más económico que una sola batería del doble de voltaje.

Se utilizaron los drivers VEX pro VICTOR 888 los cuales son drivers programables y tienen la capacidad de adaptarse al ciclo de trabajo mínimo y máximo del PWM que se desee. Se utilizaron estos drivers debido a que el voltaje en el que trabajan que es de 6 a 15 volts se adapta al voltaje que se le suministrará a los motores (14.5 V). El tiempo del pulso de PWM con el que trabajan es de 1 a 2 milisegundos por lo tanto se pueden controlar fácilmente utilizando el PIC 16F887. Tiene una caída de voltaje tan baja que en el multímetro no se puede apreciar y la corriente máxima que soportan estos drivers 60 A supera a la corriente máxima que se consumirá. Debido a que el precio siempre es un factor importante a tomar en cuenta, al momento de la compra estos drivers estaban en oferta, aún más baratos que los que soportan corrientes menores, esta es la razón por la cual la corriente máxima que soporta está sobredimensionada.

Se utilizó el módulo de bluetooth HC-05 para realizar las pruebas preliminares. De esta manera se puede realizar cambios fáciles y se puede controlar desde cualquier aparato que tenga comunicación bluetooth. Para esta prueba se utilizó un celular con sistema operativo Android con el programa "blueterm".

Para transmitir la potencia se maquinaron 4 piezas por motor en el taller de máquinas y herramientas de la Universidad del Valle. Una pieza de acople, el eje principal, un acople en las llantas y las piezas que soportan y hacen presión sobre el retenedor dándole la rigidez necesaria para evitar entradas de agua no deseadas.

Para las llantas delanteras solamente se maquinó un eje debido a que estas no transmiten potencia.

De esta manera se logró crear un sistema de transmisión de potencia aislado controlado inalámbricamente.

A. DISEÑO

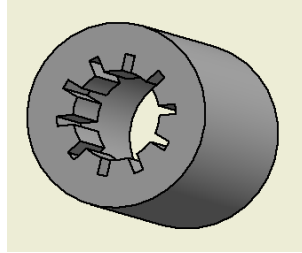
El material del sistema de transmisión de potencia es Acero Cold Rolled. La elevación de los soportes de los motores es de aluminio debido a su bajo peso.

Se utilizaron llantas que necesitan aire comprimido para funcionar para que estas aporten fuerza de flotación cuando el vehículo esté sobre el agua.

La forma de transmitir potencia entre piezas es con castigaderas introduciéndolas 5mm en el eje principal. Se colocaron castigaderas del eje del motor hacia el acople, del acople al eje principal y del eje principal a las llantas. Se utilizaron dos castigaderas en cada punto distanciadas a 90 grados del centro.

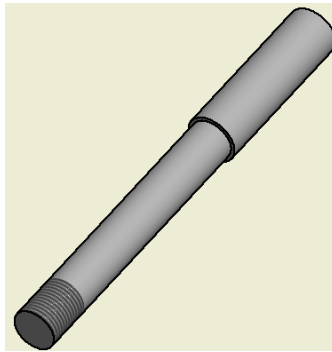
Se maquinó el acople ilustrado en la Figura 8 utilizando las medidas del eje estriado del motor. El acople debe encajar perfectamente con el eje del motor y con el eje principal.

Figura 9. Isométrico de Acople.



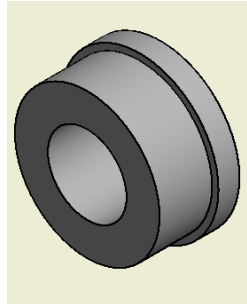
El eje principal que se muestra en la Figura 9, se acopló a el diámetro de los cojinetes y el diámetro del acople debido a que si se reduce el diámetro y solamente se aumenta en el punto donde están ubicados los cojinetes se crean puntos de concentración de esfuerzos no deseados por lo tanto el eje es lo más uniforme posible. Se le maquino una rosca en el extremo para colocar una tuerca la cual impedirá que las llantas se salgan del eje.

Figura 10. Isométrico Eje trasero



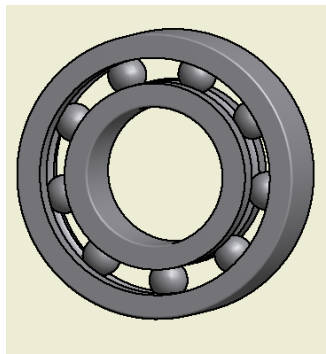
Se maquino la pieza que se muestra en la Figura 10 para transmitir la potencia del eje hacia las llantas. Esta pieza se introdujo a presión en las llantas y recibe la potencia del eje por medio de castigaderas. Solamente se crearon dos de estas piezas para los ejes traseros debido a que adelante solamente se necesitan cojinetes porque estas llantas no transmiten potencia.

Figura 11. Isométrico Elemento de transmisión de potencia del eje a las llantas



Se utilizan dos cojinetes por cada llanta. En la Figura 11 se puede observar el isométrico de los cojinetes utilizados. Se colocaron 4 directamente en las llantas delanteras debido a que estas no transmiten potencia. Se retiró un cojinete de cada llanta trasera para colocar las piezas que transmiten potencia del eje hacia las llantas. Los cojinetes retirados se colocaron en la estructura a cual sostiene a los ejes traseros para darle rigidez y soporte necesario.

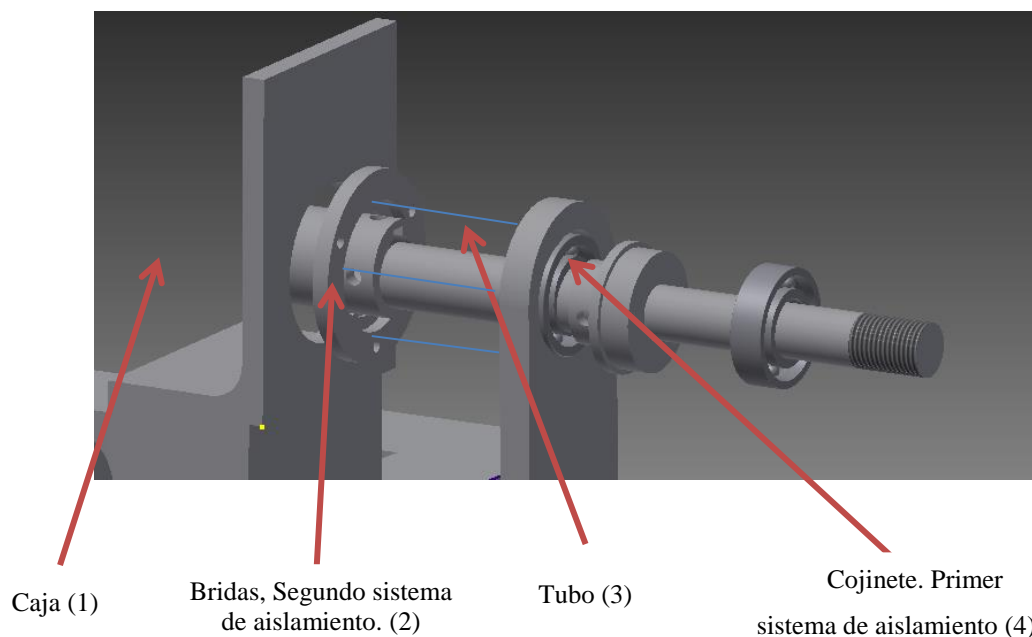
Figura 12. Isométrico de cojinetes



Los motores se impermeabilizaron utilizando cajas de plástico y silicón. El primer sistema de aislamiento de motores es similar al de los vehículos anfibios reales los cuales colocando un cojinete en la salida del eje y utilizando grasa como aislante se logra que el eje gire sin que el agua pase a través de él. El cojinete debe estar siempre engrasado por lo tanto después de sumergirlo prolongadamente se le debe aplicar nuevamente grasa. Este problema también se da en los vehículos anfibios reales. En la salida del eje del lado de las cajas se colocaron retenedores sostenidos por dos bridas este sistema se utilizó debido a que no es 100% confiable el método de cojinetes con grasa por lo tanto este es un segundo sistema de aislamiento el cual retiene el agua que podría atravesar los cojinetes. Los retenedores de aceite permiten que el eje rote sin que el agua pase hacia los motores. Las bridas se colocaron en la salida del eje, uno en el

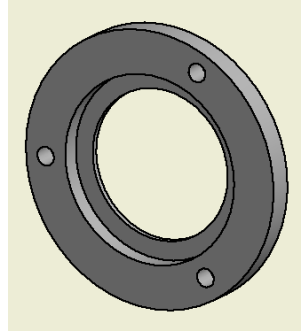
exterior y otro en el interior de la caja para que el retenedor se sostenga firmemente. En la Figura 12 se puede observar el diseño final del sistema de aislamiento.

Figura 13. Descripción de sistema de aislamiento.



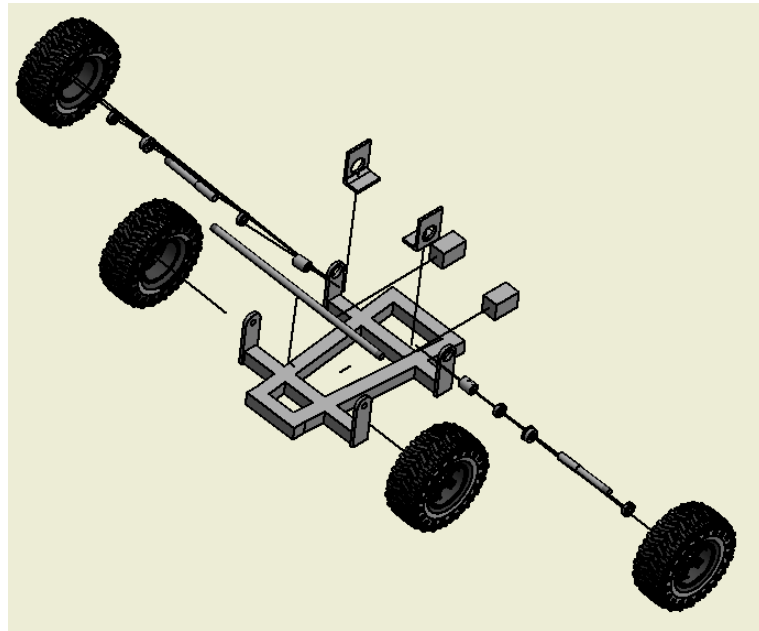
1. En este lugar está ubicada la caja que contiene al motor. La caja tiene un orificio en el cual están colocadas las bridas.
2. Las bridas que se muestran en la figura 13 contienen al retenedor el cual es el segundo sistema de aislamiento debido a que el retenedor permite al eje rotar sin que el agua entre a las cajas. Las bridas están atornilladas a la caja.
3. Las líneas azules simulan el lugar en donde está ubicado el tubo de plástico el cual está pegado a las bridas de un lado y a la estructura del otro. Se colocó silicón en ambos lados del tubo para asegurar que no hayan entradas de agua.
4. El cojinete es el primer sistema de aislamiento. Se colocó grasa para que el agua no pase a través del cojinete. Este es el mismo sistema que se utiliza en los vehículos anfibios reales.

Figura 14. Isométrico de bridas.



En la Figura 14 se aprecia la forma en que esta ensamblado el sistema completo de transmisión de potencia.

Figura 15. Isométrico de ensamble del vehículo completo.



B. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Para realizar las pruebas se instaló un módulo de comunicación bluetooth utilizando el componente HC-05. Este es un componente capaz de transmitir y recibir información (UART).

El componente utilizado fue programado como esclavo teniendo la posibilidad de que cualquier dispositivo maestro pueda conectarse a él. Por facilidad de adaptación a cualquier dispositivo se utiliza un teclado normal utilizando las teclas “Y”, “H”, “N”, “G” Y “J” para desplazar al vehículo hacia adelante, frenar completamente, retroceso, izquierda y derecha respectivamente.

Figura 16. Teclado para ilustración de comandos de control.¹⁸

~ `	!	@	#	\$	%	^	&	*	()	-	=	Delete
Tab	Q	W	E	R	T	Y ↑	U	I	O	P	{	}	\
Caps	A	S	D	F	G ←	H	J →	K	L	:	"	Enter	
Shift	Z	X	C	V	B ↓	N	M	<	>	?	/	Shift	
Ctrl		Alt									Alt		Ctrl

<http://www.computerhope.com>

El bluetooth se comunica directamente en las terminales Rx y Tx de un microcontrolador PIC 16F887. Para lograr la interpretación de los datos se utilizó un baud rate de 9600 programado tanto en el bluetooth como en el microcontrolador.

El dispositivo maestro bluetooth manda la señal del código ASCII de la letra, luego el bluetooth la recibe y la trasmite al microcontrolador. El microcontrolador interpreta la letra leída y la compara para revisar qué letra se presionó en el dispositivo maestro.

Se asignaron dos PWM de salida del microcontrolador los cuales van conectados directamente a los drivers. Dependiendo de la letra interpretada, el microcontrolador asigna distintos ciclos de trabajo del PWM para que el driver realice las acciones necesarias.

¹⁸ Figura obtenida de www.computerhope.com

Los drivers Victor 888 utilizados responden a un PWM con período de 2 ms por lo tanto este fue el período que generó el microcontrolador al utilizar los PWM.

El dispositivo maestro utilizando un programa convencional de transmisión por bluetooth con un simple teclado puede controlar al vehículo anfíbio. Para realizar las pruebas se utilizó el programa “BlueTerm” para dispositivos Android. Cuando se presiona la letra “Y”, el microcontrolador manda una señal de PWM hacia los drivers con un ciclo de trabajo de 98%. Cuando se presiona la tecla “H” el ciclo de trabajo es de 61.5%, cuando se presiona la tecla “B” el ciclo de trabajo es de 25%. Cuando se presionan las teclas de giro, un PWM está al 98% y el otro a 25%. Estos porcentajes se crearon debido a que en lenguaje de programación se ingresa el valor de 0 a 255 para obtener una resolución de 8 bits, se ingresaron los valores de 250, 157 y 64 para crear adelante, alto y atrás respectivamente.

Finalmente se calibraron los drivers para que se adapten a este ciclo de trabajo dando máxima potencia hacia adelante cuando reciban un ciclo de trabajo del 78%, la máxima potencia hacia atrás al recibir un ciclo de trabajo del 20% y paren completamente sin poder mover las llantas cuando reciban un ciclo de trabajo del 78%.

Cuadro 4. Dirección del vehículo controlado por PWM.

Dirección del vehículo	Tecla oprimida	Valor PWM llanta izquierda	Valor PWM llanta derecha	% PWM llanta izquierda	% PWM llanta derecha
Adelante	Y	250	250	98	98
Atrás	B	64	64	25	25
Alto	H	157	157	61.5	51.5
Izquierda	G	64	250	25	98
Derecha	J	250	64	98	25

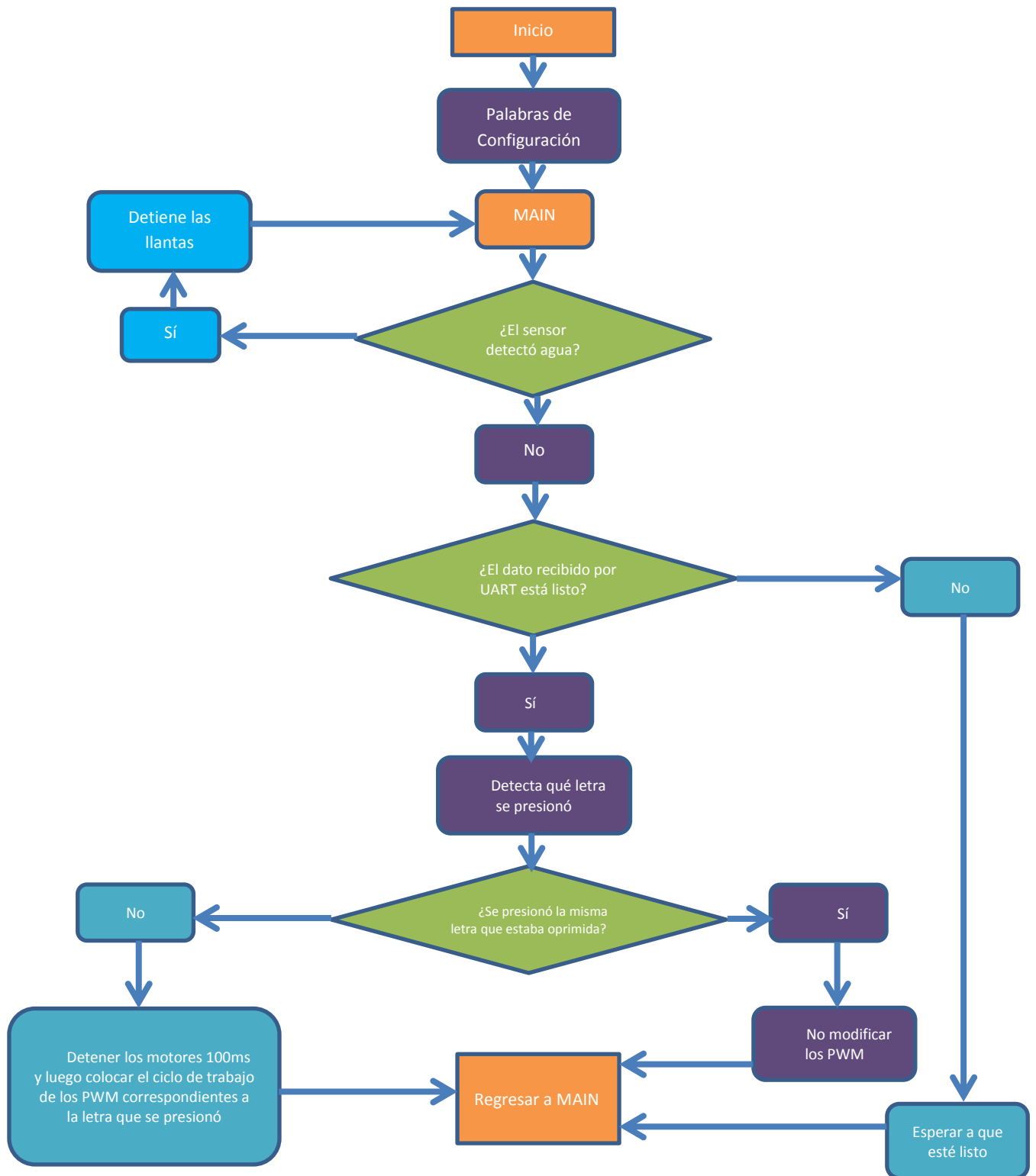
C. DETECCIÓN DE MODO ACUÁTICO O TERRESTRE

Se programó una entrada en el microcontrolador en la cual se conectará el sensor que detecta el tipo de ambiente en el que se encuentra el vehículo.

El sensor hará que el voltaje aumente de 0 a 4.5 voltios cuando esté dentro del agua. Cuando el microcontrolador detecte que hay 4.5 voltios en la entrada, éste detiene las llantas y desactiva la propulsión terrestre.

La desactivación se crea mediante un loop en el que el programa entra cuando se detectan 4.5 voltios en la entrada. Cuando hay 0 voltios en la entrada, el programa regresa a su operación normal.

D. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA



E. DISEÑO FINAL DE LA PLACA

La placa se diseñó para contener al microcontrolador con todas las conexiones necesarias. En la placa se crearon conexiones hacia los drivers los cuales llevan señales de voltaje, tierra y PWM a cada driver, entradas de alimentación de baterías y la conexión con el dispositivo bluetooth de la manera en que se muestra en la figura 17. Se utilizó el programa Altium Designer para realizar el diseño del esquemático y del PCB de la placa.

Figura 17. Esquemático de la placa.

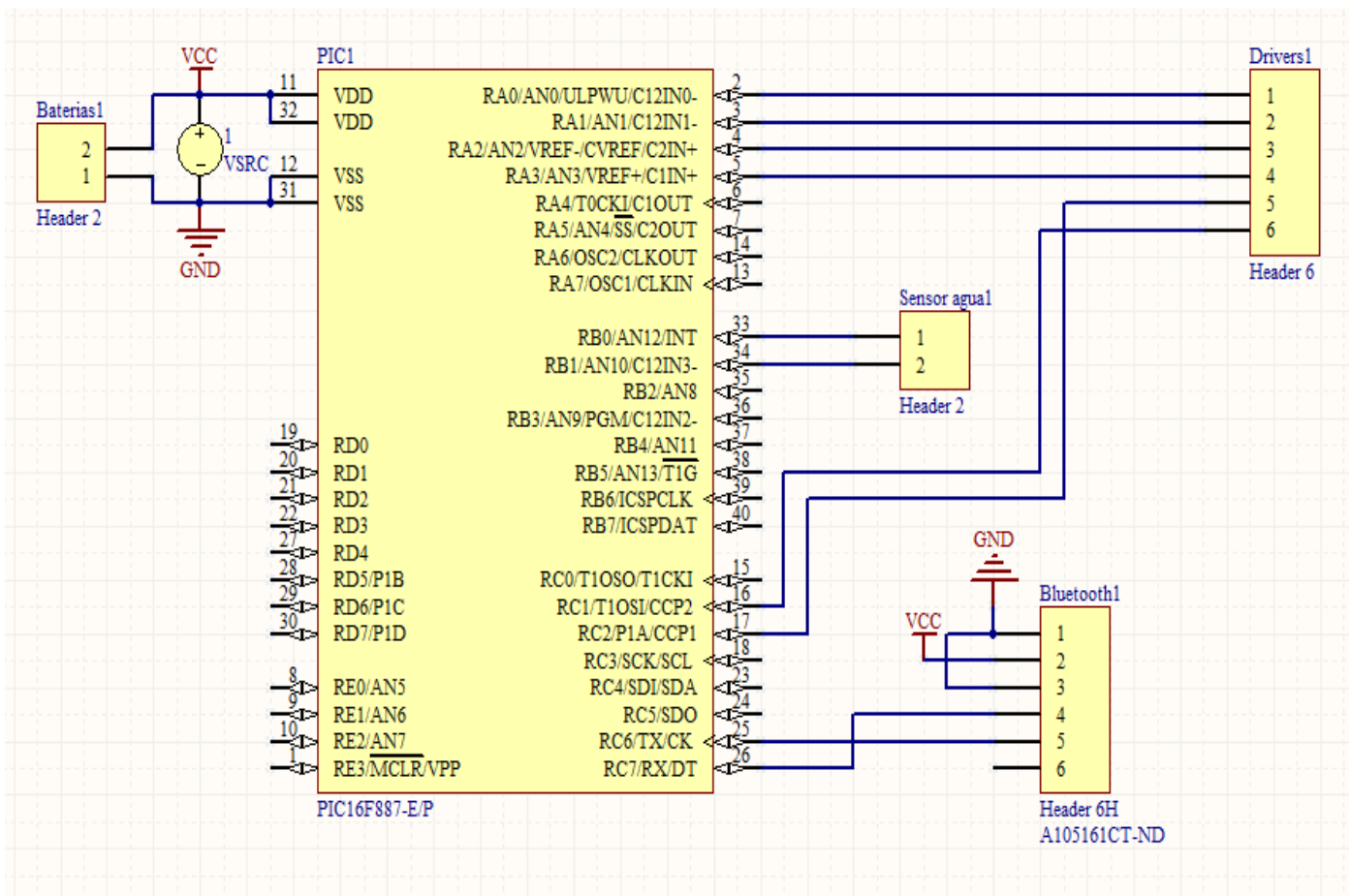
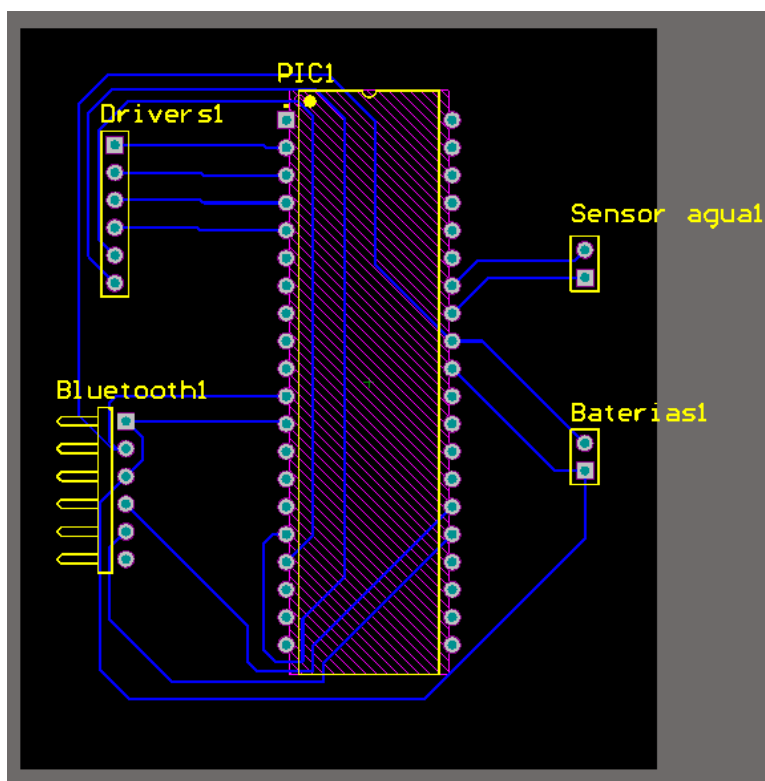


Figura 18. Diseño PCB de la placa.



Se hicieron los cálculos con un voltaje máximo de 5V. Según la Gráfica 1, el clearance mínimo debe de ser de 1 mm (3.937 milésimas de pulgada). Según el cuadro 3, para que la temperatura no exceda 10 grados Celsius conduciendo una corriente de 125 mA el ancho de los tracks debe ser 0.714 milésimas de pulgada. Se utilizaron tracks de 8 milésimas de pulgada y un clearance de 8 milésimas de pulgada debido a que la fresadora puede trabajar con éstos anchos y no tiene sentido colocar tracks y clearances si se tiene suficiente espacio para la placa y el ancho de los tracks no determina el tamaño de la placa. El resultado se muestra en la Figura 18.

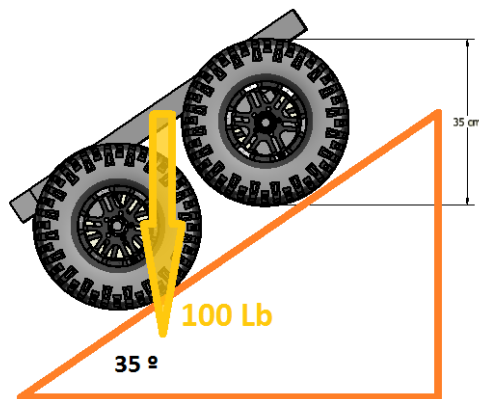
VII. ANÁLISIS Y CÁLCULOS

A. TORQUE Y DURACIÓN DE BATERÍAS

El peso máximo del vehículo es de 100 lb tomando en cuenta el peso del vehículo más la carga que llevará.

Para calcular la potencia mínima que se requiere que el motor entregue se decidió que el vehículo debe ser capaz de avanzar en una pendiente de 35 grados.

Figura 19. Diagrama de cuerpo libre con inclinación de 35 grados.



Se utilizó la aproximación tradicional para calcular el momento de fricción de los cojinetes:

Ecuación 3. Momento de fricción para los cojinetes.

$$M = 0.5 * \mu * P * d^{19}$$

En donde

μ = Coeficiente de fricción del rodamiento.

P= carga dinámica en el rodamiento (en Newton).

d= diámetro de la pista interior.

Se utilizó un coeficiente de fricción de 0.0015 que es el coeficiente de rodamientos de bolas.²⁰

¹⁹ Ecuación obtenida de la referencia No. 2.

²⁰ Dato obtenido de la referencia No. 2.

En el prototipo se encuentran 8 cojinetes soportando el peso por lo tanto se estimó que cada cojinete soportará 1/8 del peso máximo el cual es 12.5 Lb.

El diámetro de la pista interior del cojinete es de $\frac{3}{4}$ in.

Peso del prototipo sobre cada cojinete

$$12.5 \text{ Lb} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ Lb}} = 5.682 \text{ Kg}$$

$$5.682 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 55.6836 \text{ N}$$

Diámetro de la pista interior del cojinete

$$\frac{3}{4} \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}} = 0.01905 \text{ m}$$

Momento de fricción

Utilizando la ecuación 3:

$$M = 0.5 * \mu * P * d$$

$$M = 0.5 * 0.0015 * 55.6836 \text{ N} * 0.01905 \text{ m}$$

$$M = 0.0007956 \text{ Nm}$$

Calculando la fuerza para vencer el peso del vehículo:

$$100 \text{ Lb} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.2046 \text{ Lb}} = 45.3597 \text{ Kg}$$

$$F = 45.3597 \text{ Kg} * \text{sen} (35^\circ)$$

$$F = 26.0173 \text{ Kg}$$

$$F = 26.0173 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 254.969 \text{ N}$$

Radio de la llanta

$$6.75 \text{ cm} = 0.0675 \text{ m}$$

Torque debido al peso

$$T_p = 254.969 \text{ N} * 0.0675 \text{ m}$$

$$T_p = 17.2104 \text{ Nm}$$

Torque total necesario de los motores

$$T_{tot} = T_p + \text{Torque por la friccion de los cojinetes}$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = \text{Torque por cojinete} * \text{cantidad de cojinetes}$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = 0.0007956 \text{ Nm} * 8$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = 0.00636 \text{ Nm}$$

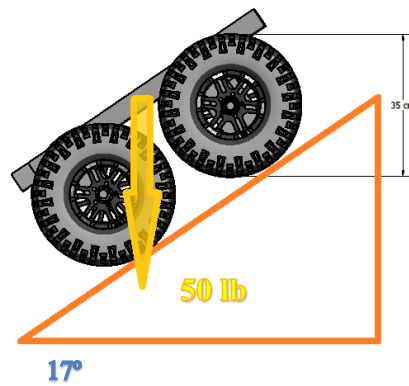
$$T_{tot} = 17.2104 \text{ Nm} + 0.00636 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{tot}} = 17.21676 \text{ Nm}$$

Se utilizaron motores “Power Window Motor” extraídos de los vidrios de un Pickup Hilux. Estos motores tienen aproximadamente un torque de 11 Nm debido a que son dos motores el torque total aplicado será de 22 Nm el cual es suficiente para mover al vehículo en una pendiente de 35 grados.

Se realizaron los siguientes cálculos para determinar la eficiencia del sistema y el torque teórico que necesitan proporcionar los motores para que el vehículo avance sin peso sobre una pendiente de 17 grados:

Figura 20. Diagrama de cuerpo libre con inclinación de 17 grados.



Calculando la fuerza para vencer el peso del vehículo:

$$50 \text{ Lb} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.2046 \text{ Lb}} = 22.68 \text{ Kg}$$

$$F = 22.68 \text{ Kg} * \text{sen} (17^\circ)$$

$$F = 6.631 \text{ Kg}$$

$$F = 6.631 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 64.98 \text{ N}$$

Radio de la llanta

$$6.75 \text{ cm} = 0.0675 \text{ m}$$

Torque debido al peso

$$T_p = 64.98 \text{ N} * 0.0675 \text{ m}$$

$$T_p = 4.386 \text{ Nm}$$

Torque total necesario de los motores

$$T_{tot} = T_p + \text{Torque por la friccion de los cojinetes}$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = \text{Torque por cojinete} * \text{cantidad de cojinetes}$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = 0.0007956 \text{ Nm} * 8$$

$$\text{Torque por friccion de cojinetes} = 0.00636 \text{ Nm}$$

$$T_{tot} = 4.386 \text{ Nm} + 0.00636 \text{ Nm}$$

$$T_{tot} = 4.393 \text{ Nm}$$

Como se muestra en la Figura 4, los motores utilizados al recibir un torque de 2.196 Nm giran a 60 RPM por lo tanto:

Pasando RPM a RAD/S

$$REV_{\frac{Rad}{s}} = 60 \text{ RPM} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} * 2\pi$$

$$REV_{\frac{Rad}{s}} = 6.283 \text{ Rad/s}$$

Potencia por motor

$$\text{Watts} = 2.196 \text{ Nm} * 6.283 \text{ Rad/s}$$

$$\text{Watts} = 13.798 \text{ W}$$

Duración baterías

$$\text{Potencia total} = 2 \text{ motores} * \text{potencia por motor}$$

$$\text{Potencia total} = 27.596 \text{ W}$$

Corriente que consumen los motores

Ecuación 4. Potencia eléctrica.

$$\text{Watts} = I * V$$

$$\frac{W}{V} = I$$

$$I = \frac{27.596 \text{ W}}{14.8 \text{ V}}$$

$$I = 1.865 \text{ A}$$

Las baterías son de 5000mAh por lo tanto:

$$\text{Duración batería en horas} = \frac{5 \text{ Ah}}{1.865 \text{ A}}$$

$$\text{Duración batería en horas} = 2.681 \text{ Horas}$$

B. ESTABILIDAD ACUÁTICA

Para asegurarse que el sistema sea estable al flotar, se debe asegurar que el centro de gravedad este por debajo del centro de flotación.

Para obtener el centro de gravedad de la estructura se utilizó el programa Multiphysics de Autodesk. El peso de las llantas se simuló como masas cuadradas. Obteniendo resultado un estimado de la ubicación del centro de gravedad. La ubicación se muestra en las Figuras 21 y 22.

Figura 21. Centro de gravedad vista planta.

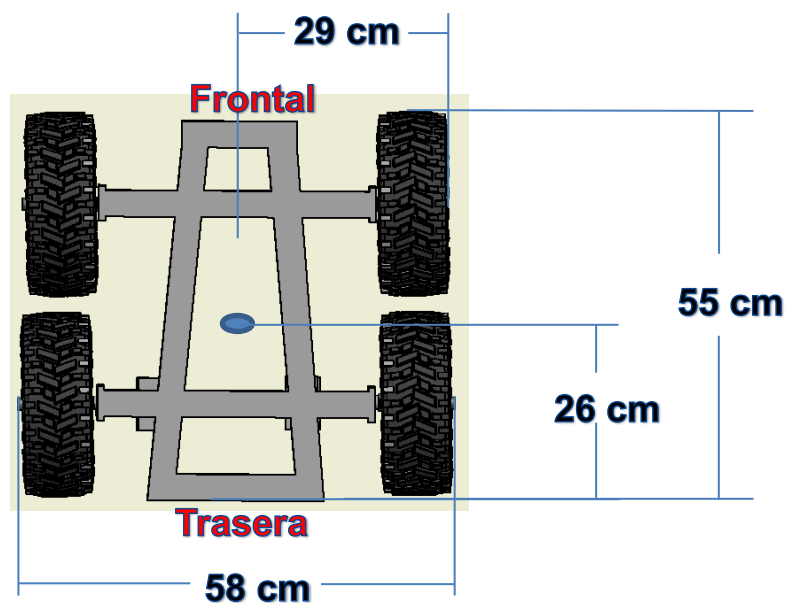
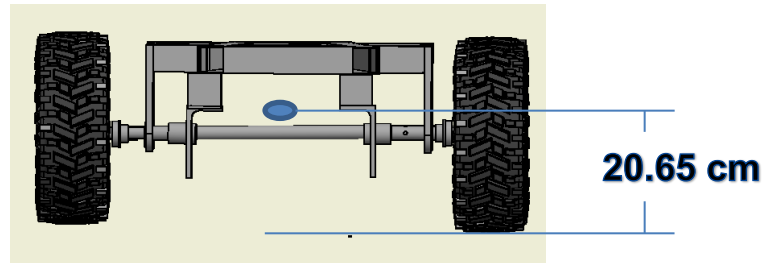


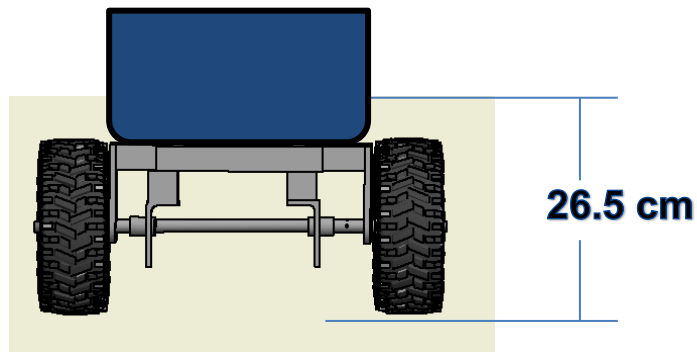
Figura 22. Centro de gravedad vista trasera.



- Centro de flotación:

Se observó que el agua llega al nivel de 5 cm de altura con respecto al recipiente de plástico por lo tanto se hizo una estimación del modelo a una forma cuadrada como se muestra en la Figura 23.

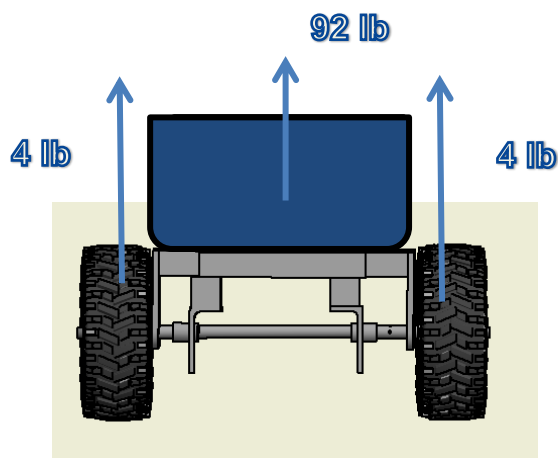
Figura 23. Altura del nivel del agua.



Debido a que las llantas son infladas con aire, estas aportan flotación. Para obtener la fuerza de flotación de las llantas se colocó una llanta inflada en el agua y un recipiente vacío sobre la llanta, luego se le fue agregando agua al recipiente hasta que la llanta se hundió por completo. Se pesó el recipiente y su peso fue equivalente a 2 libras por lo tanto cada llanta aporta 2 libras de flotación. La estructura pesa 50 libras, a esto se le restó la flotación que aportan las 4 llantas obteniendo como resultado que el sistema de estructura y llantas dentro del agua tiene un peso de 42 libras.

La estructura que se utiliza para la flotación debe soportar 42 libras de peso de la estructura y las llantas y 50 libras para llegar al peso máximo que el vehículo está diseñado.

Figura 24. Fuerzas de flotación.

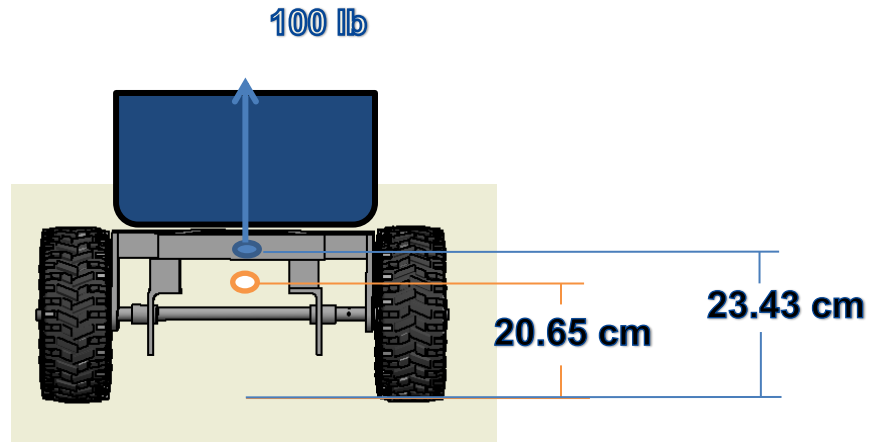


La Figura 24 muestra las fuerzas de flotación del vehículo. Para obtener la altura del centro de flotación se estimó la flotación de cada componente y se obtuvo la resultante.

Debido a que cada llanta aporta 2 libras de flotación, se aplica en total 4 libras de flotación en cada lado del vehículo. Por lo tanto se aplican 8 libras de flotación a la altura del eje (17.5 cm con respecto al piso). Luego se calculó el centro de flotación de la estructura de flotación representado como una caja negra en la Figura 24. La estructura de flotación soporta 92 libras por lo tanto se colocaron 92 libras de flotación a la mitad de la altura del agua con respecto al piso de esta estructura como se muestra en la Figura 22, distancia equivalente a 24 centímetros con respecto al piso.

Se sumaron las fuerzas y se determinó la ubicación de la fuerza resultante. Esta fuerza se encuentra a una distancia de 23.43 centímetros de altura como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Fuerza resultante de flotación (azul) y centro de gravedad (naranja).



En la Figura 25 se puede observar que el centro de flotación se encuentra a 23.43 centímetros mayor que 22.6 centímetros del centro de gravedad. Por lo tanto se puede deducir que el vehículo es un sistema estable dentro del agua.

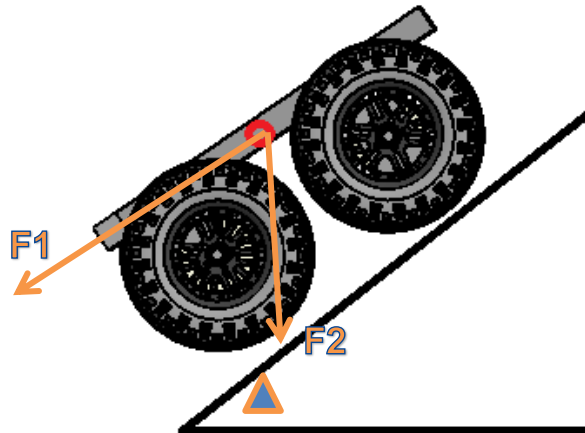
C. ESTABILIDAD TERRESTRE

La potencia del vehículo está calculada para que pueda subir pendientes de mínimo 35 grados.

Para obtener la pendiente máxima en la que el vehículo es estable se utilizó el caso en el que el vehículo sea sometido a fuerzas que lo hagan volcar en una pendiente. Se calculó que la fuerza máxima que lo hace volcar es cuando el vehículo está bajando una pendiente y frena repentinamente causando que el peso del vehículo produzca una fuerza que lo haga volcar.

El vehículo puede viajar a una velocidad máxima de 0.9 m/s. Suponiendo que el vehículo se traslada a esta velocidad en bajada y frena repentinamente se realizaron los siguientes cálculos:

Figura 26. Ubicación del centro de gravedad para obtener la pendiente máxima.



En la Figura 26, la fuerza F1 representa la fuerza que se crea por la inercia del peso del vehículo al frenar, la fuerza F2 es el peso del vehículo. Para calcular la pendiente máxima, el momento que aplica F1 con respecto a la llanta delantera debe ser igual al momento que aplica F2.

Se obtuvo la fuerza F1 asumiendo que la desaceleración es en medio segundo, por lo tanto la desaceleración es equivalente a dos veces la velocidad que lleva el vehículo.

$$F1 = 100lb * 2.2 \frac{Kg}{lb} * 1.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F1 = 396 N$$

El momento aplicado es la fuerza multiplicada por la altura del centro de gravedad:

$$Momento 1 = 396 N * 0.2065 m$$

$$Momento 1 = 81.77 Nm$$

El momento aplicado por el peso varía según el ángulo debido a que la distancia del eje al centro de gravedad varía según el ángulo. Esta distancia horizontalmente es de 0.1 metros. Para calcular el momento aplicado por F2 se realizaron los siguientes cálculos:

$$F2 = 100lb * 2.2 \frac{Kg}{lb} * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F2 = 2156 N$$

$$Distancia \text{ al centro de gravedad} = 0.1 m * Cos(\emptyset)$$

$$Momento 2 = 2156 N * 0.1 m * Cos(\emptyset)$$

$$Momento 2 = 215 Nm * Cos(\emptyset)$$

Se igualaron los momentos M1 y M2 y se despejó por el ángulo para obtener la inclinación máxima:

$$Momento 1 = Momento 2$$

$$81.77 Nm = Cos(\emptyset) * 215 Nm$$

$$\emptyset = 67.65 \text{ grados}$$

D. SISTEMA DE AISLAMIENTO

El sistema de aislamiento tiene que vencer la presión del agua y darle libertad de movimiento al eje trasero.

Con un peso de 100 libras el agua llegará a 5 cm por encima del piso de la bañera, por lo tanto los ejes estarán sumergidos 17.46 cm.

La presión aplicada es de:

$$Presión = \rho gh$$

$$Presión = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 0.1746m$$

$$\text{Presión} = 1708 \text{ Pa}$$

El sistema de aislamiento original consistía solamente del uso de un retenedor de aceite sostenido por las Bridas. Al realizar la prueba de impermeabilidad se observó que el sistema funcionaba correctamente pero después de un tiempo existían entradas de agua hacia la caja en donde está ubicado el motor. Por esta razón se implementó el sistema principal de aislamiento por lo observado en vehículos anfibios reales en los que utilizan cojinetes engrasados como único aislamiento.

El sistema de aislamiento principal (cojinetes con grasa) soporta esta presión debido a que cuando el vehículo se sumerge no existen entradas de agua hacia la caja que contiene los motores.

E. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Se simularon los componentes del eje y sus fuerzas en el programa Autodesk Simulation Multiphysics.

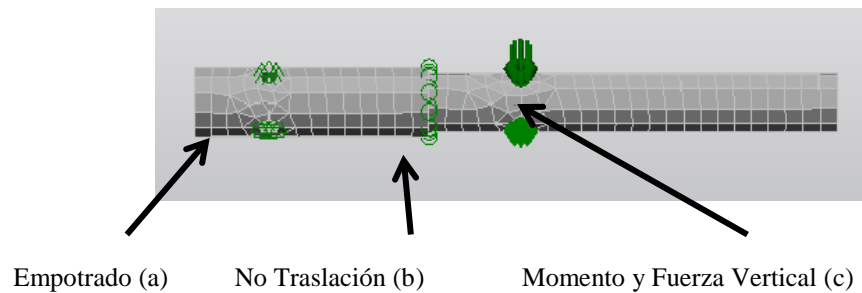
Para realizar los análisis se hicieron las siguientes suposiciones:

- La fuerza máxima de los motores es de 11 Nm.
- La fuerza aplicada se distribuye equitativamente en los castigadores por lo tanto cada castigador trasmite exactamente la mitad de la fuerza.
- Las fuerzas se aplican uniformemente sobre toda la superficie.

- No existen imperfecciones en los ejes.
- La deformación de un elemento no influye en el análisis de esfuerzos de los demás elementos.
- Los cojinetes no permiten traslación, solamente rotación.
- El momento máximo posible aplicado sobre los componentes es igual al momento máximo que aplica el motor.
- El peso se distribuye equitativamente sobre las cuatro llantas.

1. Ejes traseros. Se simularon las fuerzas para encontrar el esfuerzo y deformación máximos como se muestra en la Figura 27.

Figura 27. Ilustración de fuerzas de eje trasero

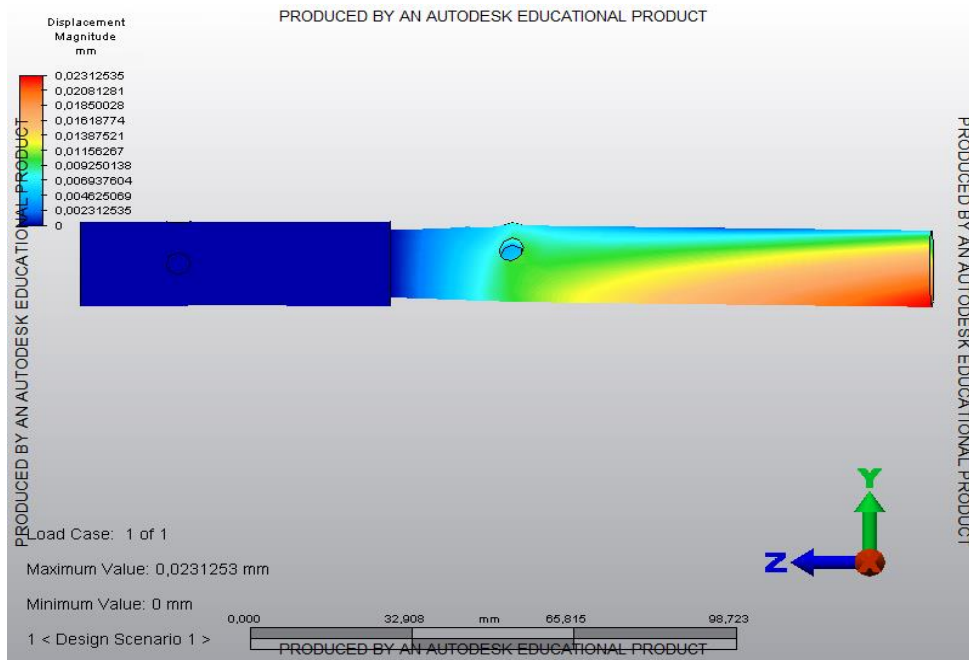


- Se simuló un empotramiento en los castigadores del lado del acople debido a que el acople está sujeto al motor el cual está atornillado a la estructura.
- En este punto está colocado un cojinete el cual no permite traslación, solamente rotación.
- Las fuerzas se aplican en el punto en donde están los castigadores. El momento máximo que se creará en el eje es cuando el motor esté aplicando el máximo momento (11 Nm) y la llanta esté completamente quieta debido a inclinación, obstáculos o algo que impida su rotación. En este punto también se creará una fuerza vertical. La magnitud de la fuerza se calculó con el peso máximo del vehículo (100 lb) y suponiendo que el peso está equilibrado en el centro del vehículo, la fuerza se distribuirá equitativamente en las 4 llantas por lo tanto la fuerza aplicada en este punto es el peso máximo dividido 4 (111.36N).

Utilizando las propiedades del material AISI 1020 Steel Cold Rolled se obtuvieron los siguientes resultados:

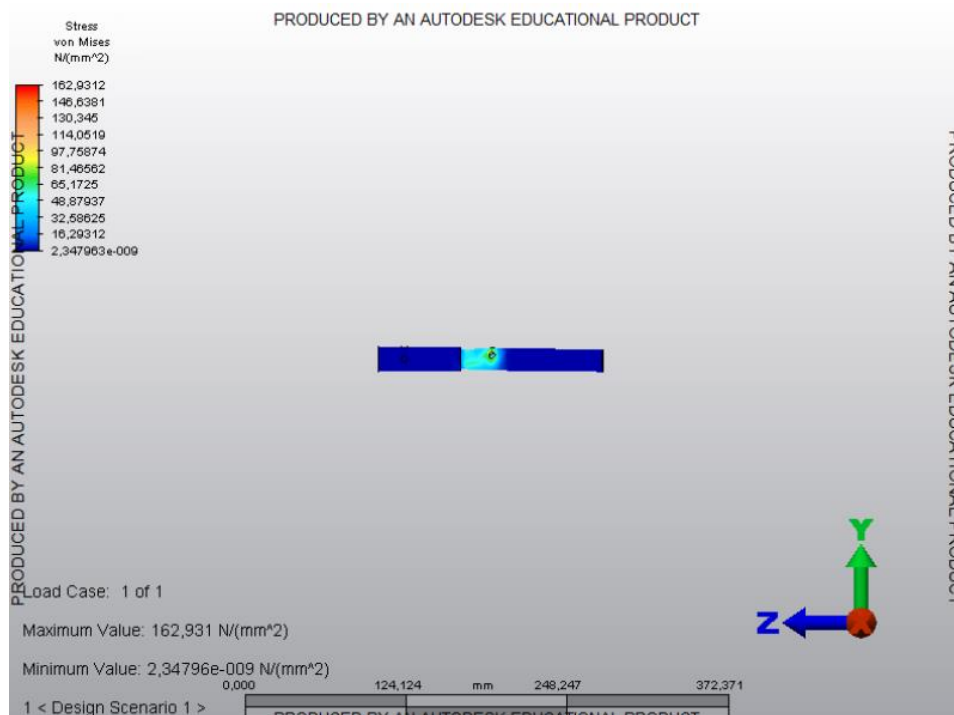
El desplazamiento se muestra en la Figura 28, el desplazamiento máximo debido a deformación del eje principal es de 0.023 mm.

Figura 28. Representación del desplazamiento debido a deformación del eje trasero.



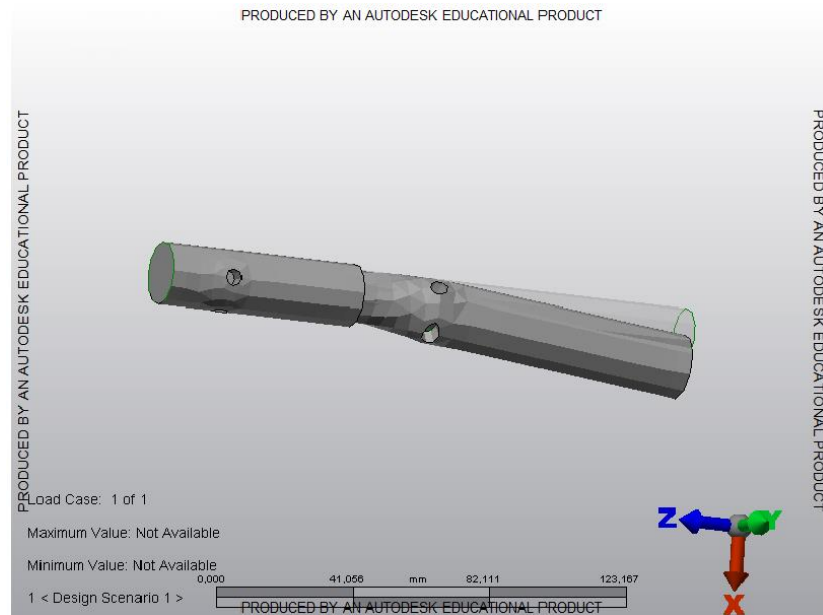
El esfuerzo von Mises se muestra en la Figura 29, el esfuerzo von Mises máximo del eje principal es de 162.931 N/(mm²).

Figura 29. Representación del esfuerzo von mises del eje trasero.



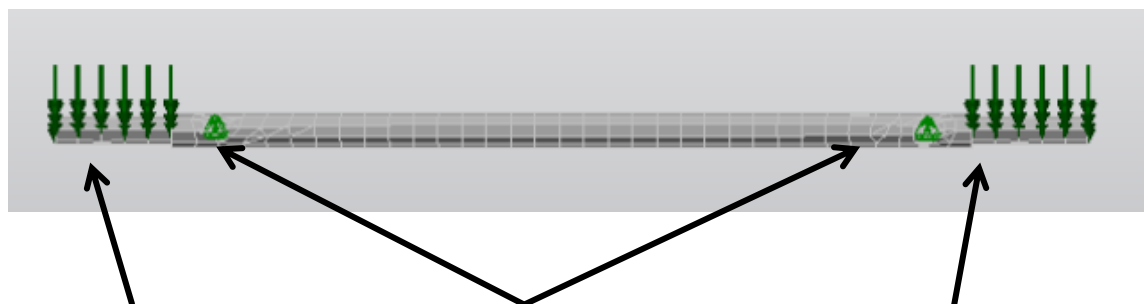
En la Figura 30 se puede apreciar la deformación aumentada 680 veces.

Figura 30. Representación de la deformación del eje trasero.



2. Eje delantero. La Figura 31 muestra las fuerzas aplicadas sobre el eje delantero.

Figura 31. Ilustración de fuerzas de eje delantero.



Fuza vertical (a)

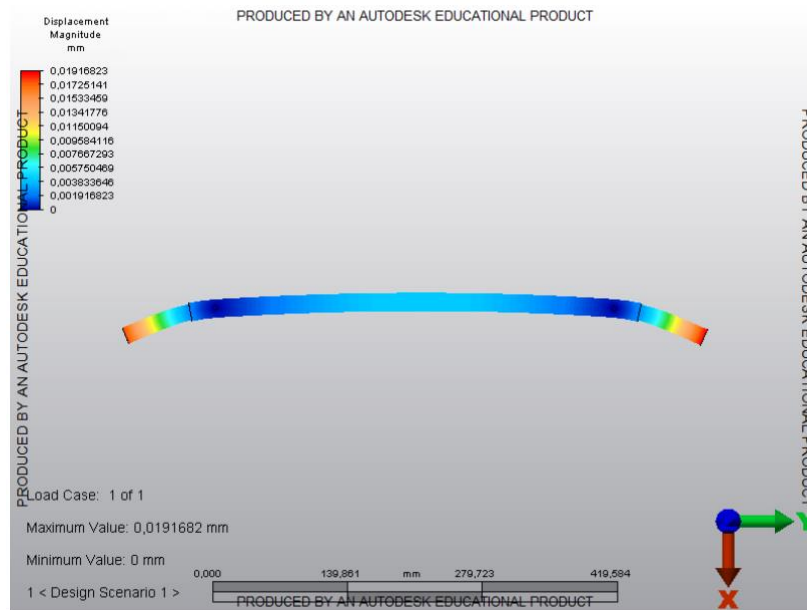
Empotramientos (b)

Fuerza vertical(c)

- Las Fuerzas verticales simulan la fuerza aplicada de las llantas al eje debido al peso del vehículo. Esta fuerza es de la mitad del peso del vehículo, $\frac{1}{4}$ del peso total máximo del vehículo de cada lado (251b).
- Se colocaron empotramientos en las castigaderas que van enroscadas a la estructura.

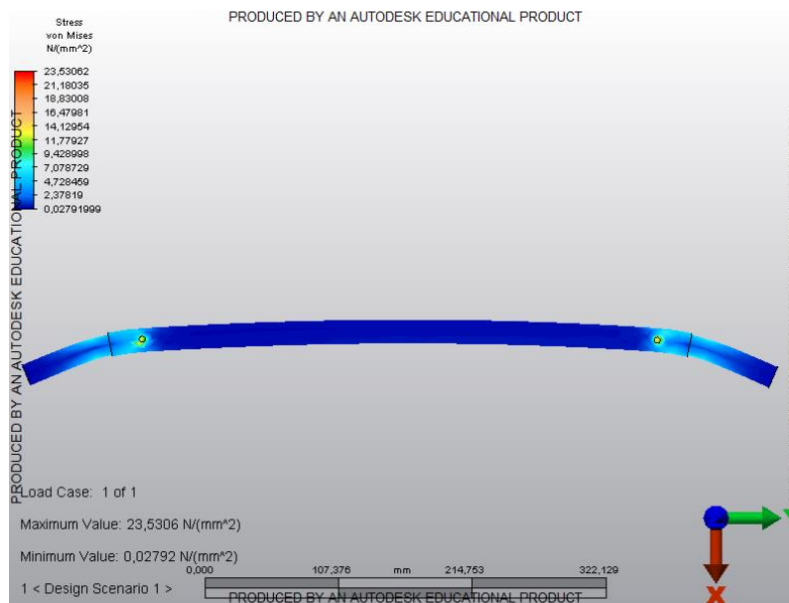
El desplazamiento se muestra en la Figura 32, el desplazamiento máximo debido a deformación es de 0.019 mm.

Figura 32. Representación del desplazamiento debido a deformación del eje delantero.



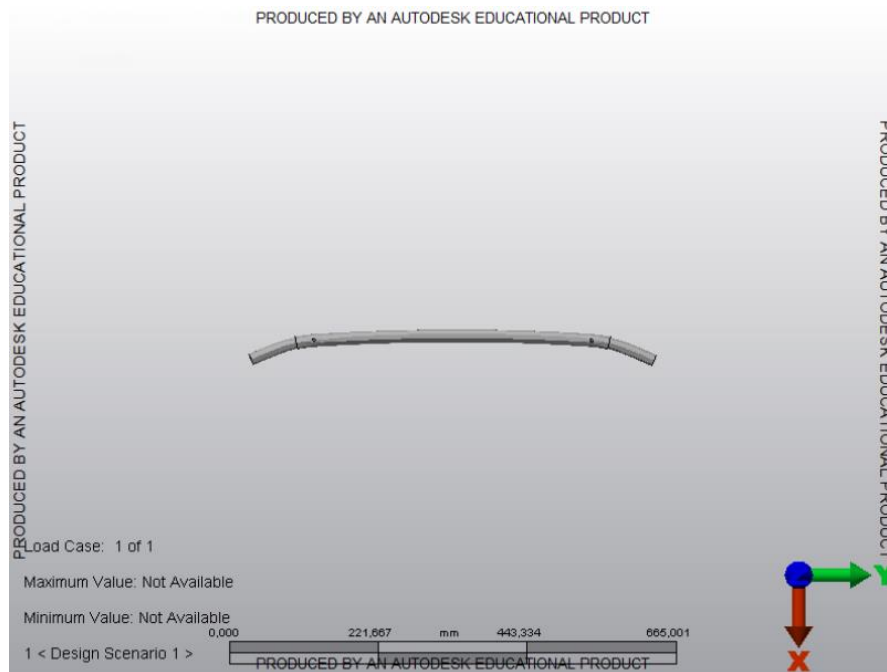
En la Figura 33 se muestra el esfuerzo von mises al que está sometido el eje delantero, el estrés máximo von mises del eje delantero es de 23.531 N/(mm²).

Figura 33. Representación del esfuerzo von mises del eje delantero.



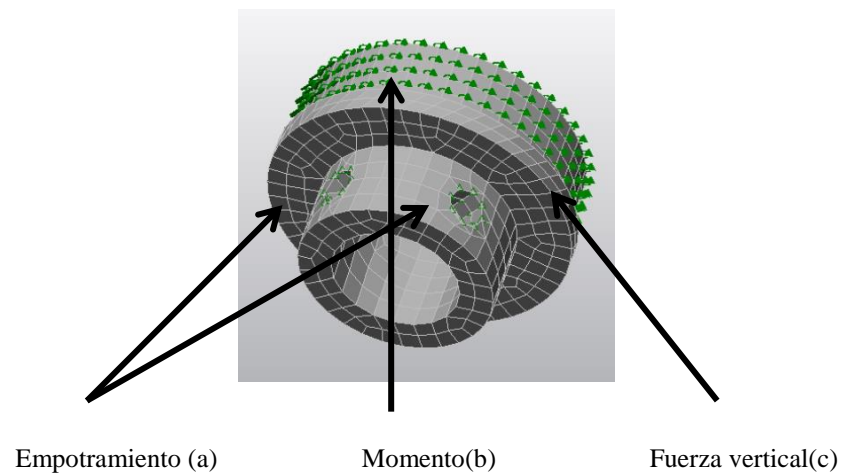
La Figura 34 muestra la deformación aumentada 1,567 veces.

Figura 34. Representación de la deformación del eje delantero.



3. Transmisión de potencia del eje a las llantas. La Figura 35 muestra las fuerzas aplicadas sobre el transmisor de potencia del eje a las llantas.

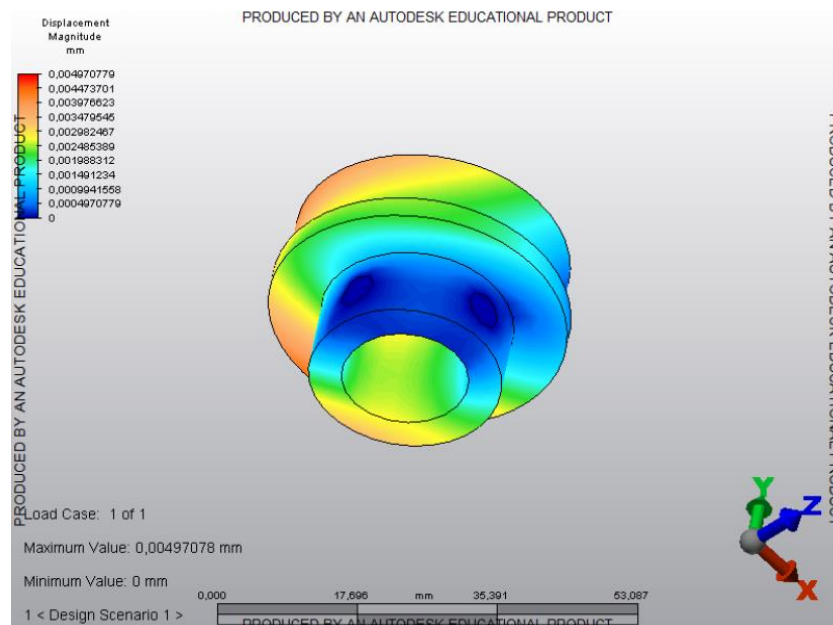
Figura 35. Ilustración de fuerzas del transmisor de potencia del eje a las llantas



- a. Se simuló un empotramiento en las castigaderas.
- b. Se simuló el momento aplicado en las llantas. Se colocó el valor máximo del momento al que se puede llegar que es la fuerza máxima del motor (11Nm).
- c. Es la fuerza que aplican las llantas debido al peso del vehículo. Se colocó el peso máximo dividido 4 debido a las llantas (25lb).

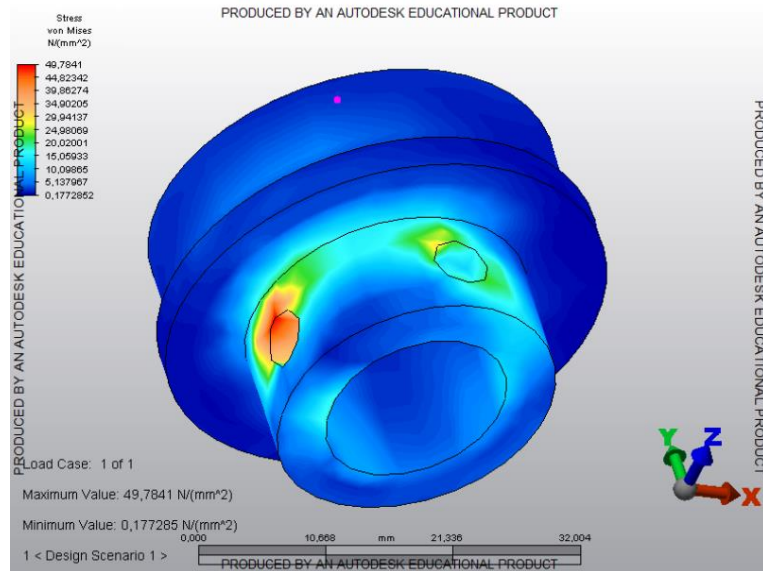
La Figura 36 muestra el desplazamiento de la pieza, el desplazamiento máximo debido a deformación es de 0.005 mm.

Figura 36. Representación del desplazamiento debido a deformación del transmisor de potencia del eje a las llantas.



El esfuerzo von Mises se muestra en la Figura 37, el esfuerzo von mises máximo von mises es de 49.78 N/(mm²).

Figura 37. Representación del esfuerzo von Mises del transmisor de potencia del eje a las llantas.



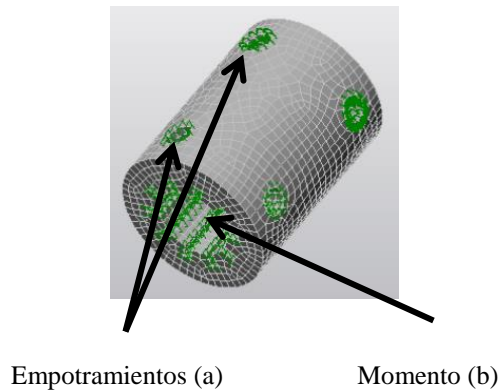
La Figura 38 muestra la deformación aumentada 1760 veces.

Figura 38. Representación de la deformación del transmisor de potencia del eje a las llantas.



4. Acople

Figura 39. Ilustración de fuerzas del acople

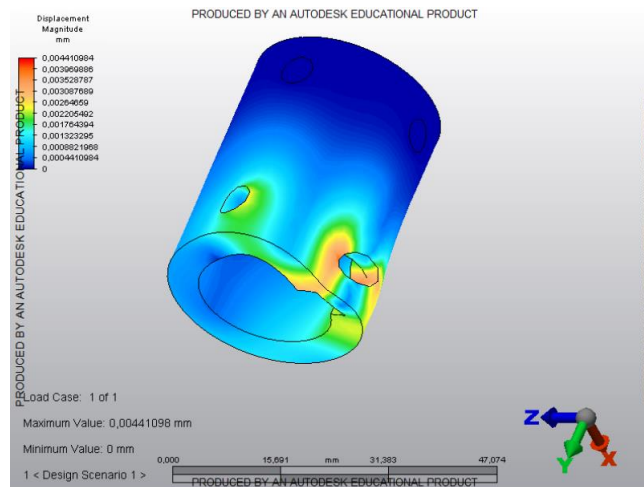


a. Se simulon empotramientos en el estriado que caza directamente con el eje del motor y en las castigaderas.

b. Se simuló un momento en las castigaderas debido a que en este punto el motor ejerce fuerza de rotación sobre el acople. Se simulon 11 Nm de momento máximo debido a que la fuerza máxima que el eje puede ejercer sobre el acople es si los motores están a máxima potencia y las llantas están completamente detenidas.

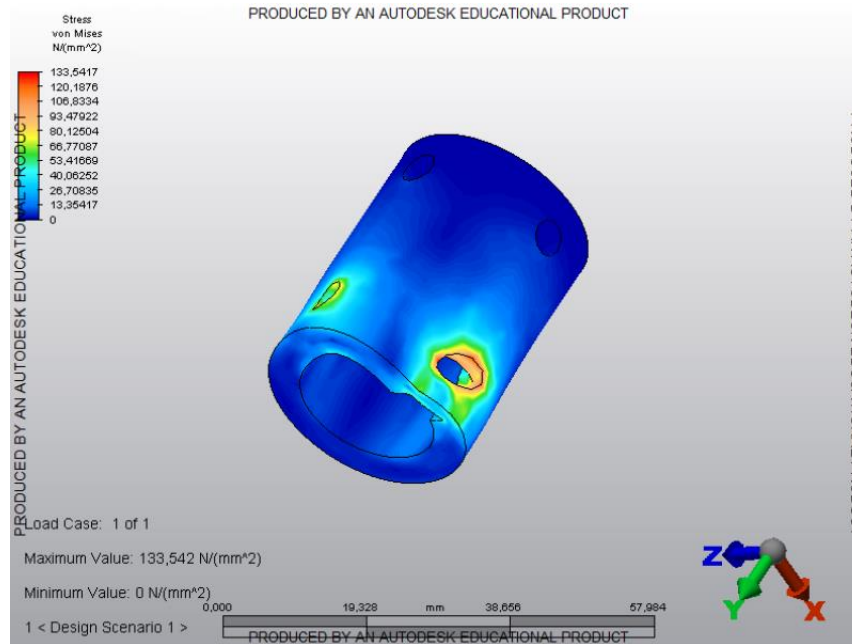
El desplazamiento se muestra en la Figura 40, el desplazamiento máximo es de 0.004 mm.

Figura 40. Representación del desplazamiento debido a deformación del acople.



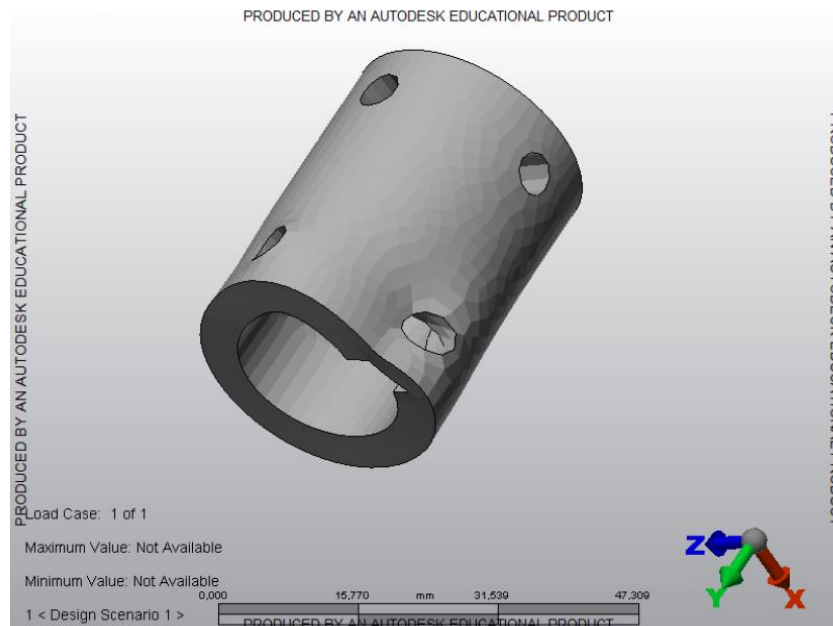
El esfuerzo von Mises se muestra en la Figura 41, el esfuerzo von Mises máximo es de 133.542 N/(mm²).

Figura 41. Representación del esfuerzo von Mises del acople.



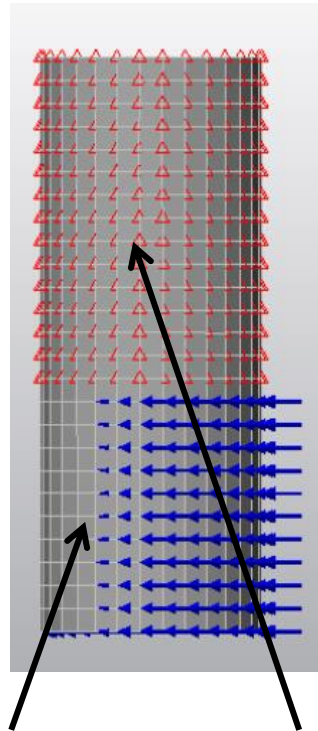
La Figura 42 se puede observar el desplazamiento máximo aumentado 630 veces.

Figura 42. Representación de la deformación del acople.



5. Castigadores. La Figura 43 muestra las fuerzas aplicadas sobre los castigadores.

Figura 43. Ilustración de fuerzas de los castigadores

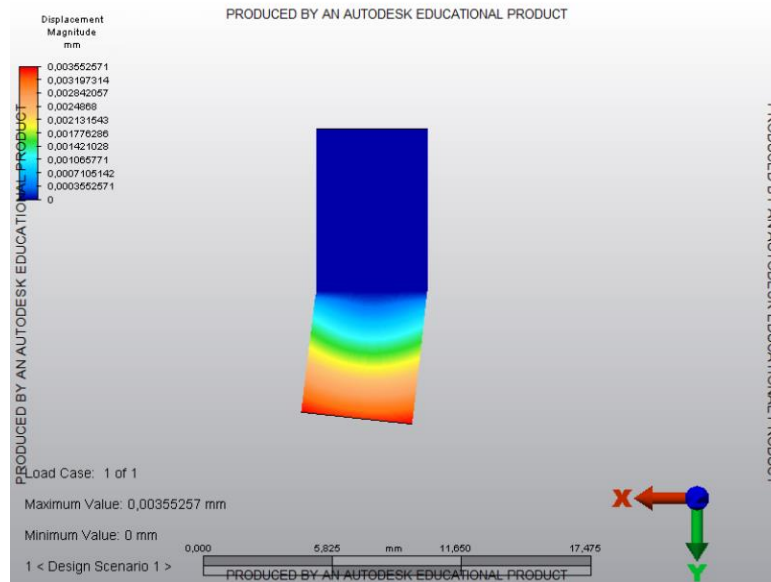


Fuerza de corte (a) Empotramiento (b)

- Se simuló una fuerza de corte de la mitad de la potencia máxima de los motores debido a que existen dos castigaderas en cada punto. El momento máximo del motor se multiplicó por el radio del eje para obtener la fuerza resultante.
- Se simuló un empotramiento para obtener la fuerza máxima que es cuando las llantas están completamente detenidas y el motor aplicando su máxima fuerza.

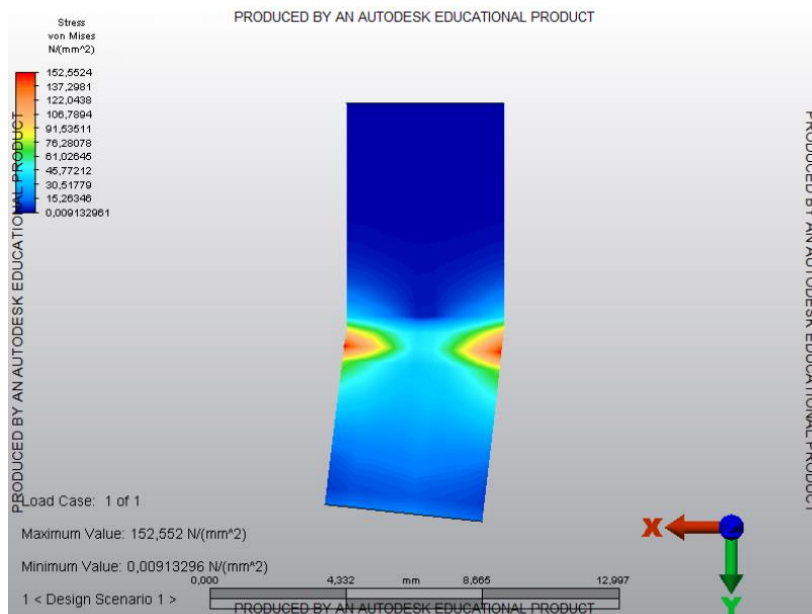
El desplazamiento se muestra en la Figura 44, el desplazamiento máximo es de 0.004 mm.

Figura 44. Representación del desplazamiento debido a deformación de los castigadores.



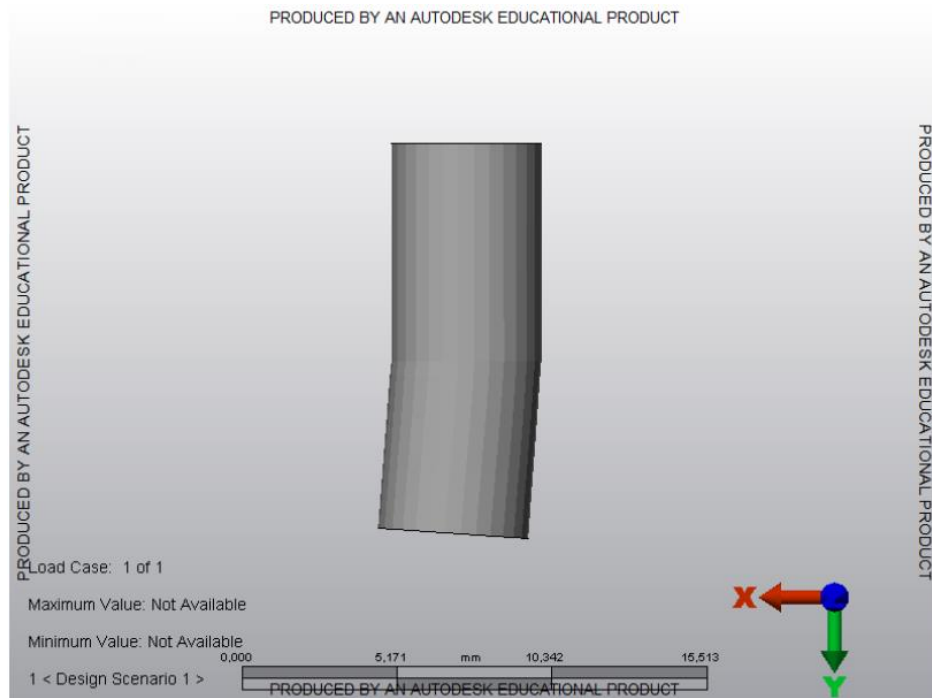
El esfuerzo von Mises se muestra en la Figura 45, el esfuerzo von Mises máximo von mises es de 152.55 N/(mm²).

Figura 45. Representación del esfuerzo von Mises de los castigadores.



En la Figura 46 se puede observar el desplazamiento máximo aumentado 134 veces.

Figura 46. Representación de la deformación de los castigadores.



VIII. FABRICACIÓN DEL VEHÍCULO

Se maquinó la estructura en el taller de metal mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala. Se cortaron las piezas a la medida utilizando la sierra portátil. Se soldaron las piezas utilizando una máquina soldadora con electrodo. Procedimiento ilustrado en la Figura 47.

Figura 47. Construcción de estructura



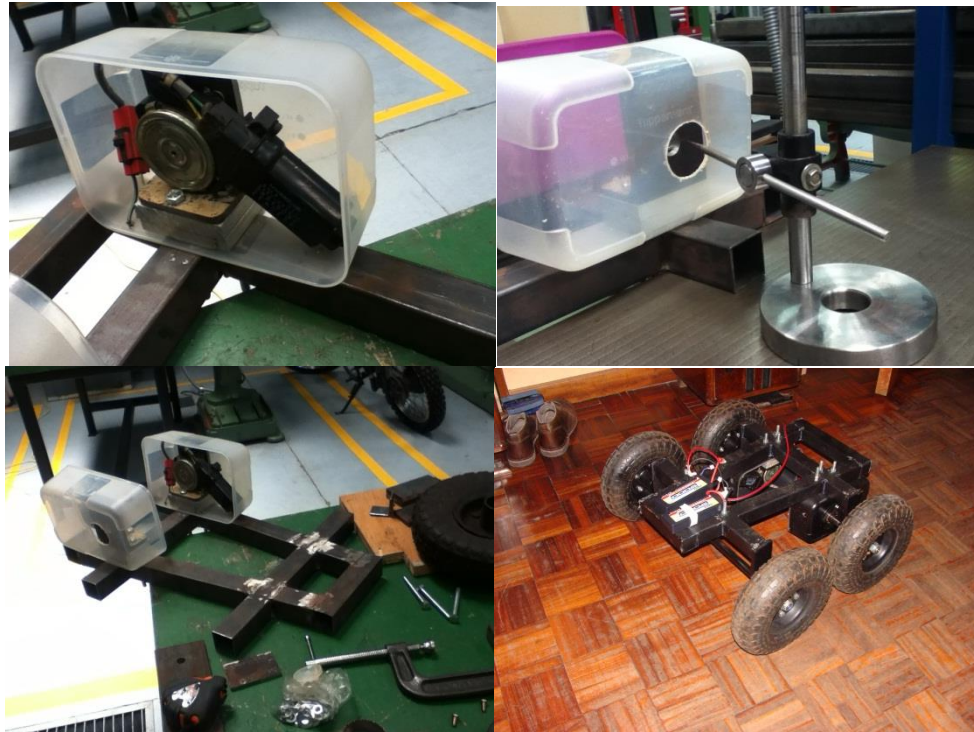
Todas las piezas se maquinaron en el taller de metal mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala. Los ejes, acoples y tapaderas se maquinaron en el torno de bancada. Se utilizó un barreno para abrir los hoyos de las castigaderas y un macho de roscar a mano para fabricar las tuercas en los hoyos. Procedimiento ilustrado en la Figura 48.

Figura 48. Maquinado de elementos de transmisión de potencia.



Se colocaron las cajas que impermeabilizarán los motores y se colocaron todos los componentes dentro de ésta. Obteniendo el resultado que se muestra en la Figura 49.

Figura 49. Procedimiento para aislar el motor.



IX. RESULTADOS

A. TABLAS DE RESULTADOS

Cuadro 5. Desplazamiento máximo debido a deformación de los componentes

Elemento	Deformación (mm)
Eje trasero	0.0231253
Eje delantero	0.01916
Elemento de transmisión de potencia del eje a las llantas	0.00497
Acople	0.00441
Castigadores	0.00355

Cuadro 6. Esfuerzo máximo von mises de los componentes.

Elemento	Esfuerzo Máximo(N/(mm ²)) o (MPa)
Eje trasero	162.931
Eje delantero	23.53
Elemento de transmisión de potencia del eje a las llantas	49.78
Acople	133.54
Castigadores	152.55

Cuadro 7. Características del vehículo.

Largo	55 cm
Ancho	58 cm
Altura Estructura	21.5 cm
Altura Completa	17.5 cm
Peso	50 lb

Cuadro 8. Consumo de potencia teórica y experimental

Inclinación	Potencia	Consumo de potencia teórico de ambos motores
17 Grados	Teórica	27.596 Watts
17 Grados	Experimental	117.6 Watts

B. EXPERIMENTOS Y PRUEBAS:

Las pruebas se realizaron utilizando un control con comunicación bluetooth. Este tipo de comunicación experimentalmente alcanzó una distancia máxima de 40 metros lo cual es una distancia suficiente para realizar las pruebas terrestres.

El microcontrolador interpretó las señales emitidas por el receptor de señal (bluetooth) satisfactoriamente debido a que no se observaron errores ni mal interpretaciones en la recepción de la señal.

El sistema de asilamiento del vehículo funciona correctamente al ingresar al agua a la profundidad especificada.

Se utilizó un push-button para simular el sensor de ambientes del vehículo. Se conectó a la entrada RB0 del microcontrolador. Cuando se presionaba el botón, el voltaje en la entrada RB0 era de 5 voltios de lo contrario el voltaje en la entrada era de 0 voltios. Al mantener presionado el botón, las llantas quedaban completamente detenidas al presionar cualquier botón del control.

Para obtener la velocidad del vehículo se tomó el tiempo en el que se tarda en recorrer cierta distancia. La prueba No.1 se realizó sobre una superficie plana. La distancia que se tomó fue exactamente lo que miden 5 rotaciones completas de las llantas que son equivalentes a 5.498 metros.

Cuadro 9. Velocidad y corriente sobre superficie sin inclinación.

Inclinación (Grados)	Distancia (m)	Tiempo (segundos)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Corriente (A)
0	5.498	6.3	0.8727	3.142	2.5
0	5.498	6.1	0.9013	3.245	2.5
0	5.498	6.2	0.8867	3.192	2.5

Sobre la superficie del cuadro 9, el vehículo es capaz de girar sobre su eje.

Se le colocó peso simulando el peso máximo que podrá llevar equivalente a 50lb para que el peso total del vehículo sea 100 lb y se realizó la misma prueba.

Cuadro 10. Velocidad y consumo de corriente con el peso máximo (100 lb).

Inclinación (Grados)	Distancia (m)	Tiempo (segundos)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Consumo corriente (A)
0	4.398	6.0	0.733	2.639	3
0	4.398	6.1	0.721	2.596	3

El vehículo también era capaz de girar sobre su eje pero a una velocidad más lenta que sin peso.

Cuadro 11. Velocidad y consumo de corriente a diferentes inclinaciones.

Inclinación (Grados)	Distancia (m)	Tiempo (segundos)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Consumo corriente (A)
10	5.498	11	0.4998	1.799	6
17	2.199	13.6	0.1617	0.5821	8

Cuadro 12. Consumo de potencia a diferentes inclinaciones.

Inclinación (Grados)	Voltaje (Volts)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	14.7	2.5	36.75
10	14.7	6	88.2
17	14.7	8	117.6

Cuadro 13. Velocidad y consumo de corriente en terracería e inclinación variable

Distancia (m)	Tiempo (segundos)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Consumo corriente (A)
5.498	13.5	0.4073	1.466	5-6
5.498	9.8	0.561	2.02	5-6
5.498	11.6	0.474	1.706	5-6
5.498	10.6	0.5187	1.867	5-6

La velocidad promedio en terracería es de 0.4903 m/s equivalente a 1.765 km/h.

Debido a que es una superficie irregular, el consumo de corriente es variable por lo tanto se hizo un promedio del consumo de corriente para obtener la potencia.

Cuadro 14. Consumo de potencia en terracería

Voltaje (Volts)	Corriente (A)	Potencia (W)
14.7	5.5	80.85

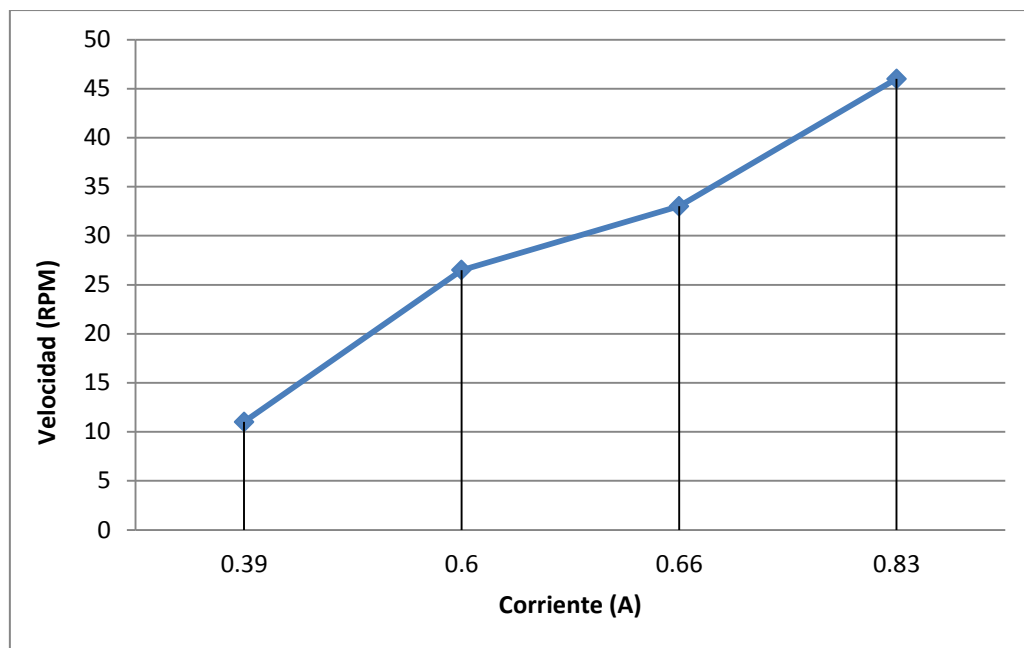
Cuadro 15. Porcentaje de comandos enviados exitosamente variando la distancia del vehículo al control.

Distancia (metros)	Porcentaje de comandos exitosos
40	100%
60	100%
70	100%
75	80%
78	50%
80	Desconectado

Cuadro 16. Corriente consumida a diferentes revoluciones por minuto.

Velocidad (RPM)	Corriente (A)
11	0.39
26.5	0.6
33	0.66
46	0.83

Gráfica 2. Consumo de corriente a diferentes revoluciones por minuto con las ruedas en el aire.



Cuadro 17. Tiempo en girar 360 grados en superficie plana.

Prueba	Tiempo (s)
1	7.2
2	7.3
3	7.2
4	7.7

El centro del vehículo se desplazó 10 centímetros en 10 giros de 360 grados. Aproximadamente 1 centímetro por giro completo.

El vehículo tiene problemas para girar sobre superficies en las que la fricción sea elevada. Si se le coloca el peso en la parte frontal, el vehículo no puede girar sobre asfalto por lo tanto el peso debe estar colocado lo más atrás posible. Por lo tanto se realizó una prueba reduciendo la fricción de las llantas delanteras utilizando grasa obteniendo los resultados del Cuadro 17.

Cuadro 18. Tiempo en girar 360 grados sobre asfalto con grasa en las llantas delanteras.

Prueba	Tiempo (s)
1	6.36
2	6.37
3	6.36

X. ANÁLISIS

- Esfuerzos de materiales:

El Cuadro 5 muestra que el máximo desplazamiento debido a deformación se da en el eje trasero el cual fue un resultado esperado debido a que es sometida a un momento considerable debido al peso del vehículo y se le aplica torsión debido al motor.

El Cuadro 5 muestra que el eje delantero también sufre de deformación debido a que soporta la mitad del peso del vehículo. Los demás elementos sufren deformaciones 10 veces menores por lo tanto no son significativas.

Según el Cuadro 6, el esfuerzo máximo es aplicado sobre el eje trasero. La reacción del elemento es en donde están ubicadas las castigaderas, por lo tanto se genera una concentración de esfuerzos en este punto. El esfuerzo máximo está ubicado en el punto en donde está la castigadera. Solamente una de las dos castigaderas llega a este esfuerzo debido a la dirección vertical del vector de la fuerza causada por el peso del vehículo. Al producir una fuerza puntual sobre un eje, este se deformará y la parte en donde esta aplicada la fuerza estará sometido a tensión y el lado opuesto a compresión. Debido a que las castigaderas están separados 90 grados, solamente uno puede estar sobre un extremo sometido a compresión o tensión por lo que solamente en una castigadera se aplica el máximo esfuerzo.

El esfuerzo máximo del eje trasero es de 162.931 MPa. El esfuerzo de fluencia del Acero AISI 1020 cold rolled es 350 MPa. Por lo tanto este material no sufrirá deformaciones.

El índice de seguridad con respecto a la fluencia en el punto máximo es de 2.148. Debido a que se tomaron las fuerzas máximas posibles en el análisis y que este esfuerzo solamente es en un punto de la pieza se puede decir que el diseño es seguro.

La deformación de los elementos es mínima por lo tanto no afecta el funcionamiento del vehículo y no existirán problemas ocasionados por deformación.

- Comunicación inalámbrica:

En el Cuadro 14 se puede observar que para que el vehículo reciba el 100% de los comandos enviados por el control remoto es recomendable no exceder los 70 metros de distancia del control al vehículo. Cuando el vehículo excede esta distancia, algunos comandos recibidos son alterados por lo tanto el vehículo tiene respuestas inesperadas como el movimiento hacia una dirección no indicada.

- Giro:

Según el Cuadro 15, el tiempo en la que se tarda el vehículo sobre una superficie plana en girar 360 grados es de aproximadamente 7.3 segundos. El centro del vehículo se desplaza aproximadamente 1 centímetro cada vez que el vehículo gira 360 grados, este desplazamiento es muy bajo por lo tanto el sistema de giro funciona adecuadamente sobre esta superficie.

Se observó que el sistema de giro es más eficiente si las llantas traseras que son las que transmiten potencia tienen la máxima fricción posible con el suelo y las llantas delanteras la mínima. Esto es debido a que al girar, las llantas delanteras aplican un momento inverso al giro que es equivalente a la fuerza de fricción multiplicado por la distancia a la que se encuentran las llantas. Reduciendo la fricción de las llantas delanteras, el momento que se opone al giro del vehículo disminuye haciendo que el vehículo gire con mayor facilidad.

Al girar sobre superficies con alta fricción como el asfalto con peso en la parte delantera, el vehículo tiene problemas para girar. Por lo tanto el peso debe estar colocado en la parte trasera del vehículo para reducir los problemas de giro. Se realizó una prueba reduciendo la fricción de las llantas delanteras utilizando grasa y el resultado, como se muestra en el Cuadro 17, es que al girar en asfalto el vehículo puede dar una vuelta de 360 grados incluso más rápido que sobre una superficie plana (6.36 segundos). Reducir la fricción en la parte delantera es una ventaja para el giro pero se reduce la tracción delantera y esto es un problema cuando el vehículo atraviesa superficies inclinadas porque se crea deslizamiento.

- Estabilidad:

Se calculó el ángulo máximo en el que el vehículo puede frenar sin volcar obteniendo un ángulo de 67.65 grados. Este ángulo se tomó como máximo debido a que se realizaron los cálculos cuando el vehículo va hacia atrás y frena repentinamente, el centro de gravedad del objeto está situado más cerca del eje trasero, entonces el momento que se opone a dar vuelta es menor y en cualquier otro ángulo en el que frene repentinamente el vehículo se opondrá más a la fuerza que lo haga volcar.

Al realizar la primera prueba sobre el agua, el vehículo tenía pequeñas entradas de agua. La fuente de entrada de agua fue difícil de detectar debido a que el sistema estaba completamente armado y no se pudo detectar la entrada de agua hasta que se desarmó y se sumergió una pieza a la vez. La entrada de agua era en el retenedor, razón por la cual se colocó el sistema de aislamiento primario utilizando los cojinetes con grasa.

El centro de gravedad del vehículo está ubicado a 20.65 centímetros del suelo y el centro de flotación a 23.43 haciendo una diferencia de 2.78 centímetros como se muestra en la Figura 23. Con esto se puede confirmar que el vehículo es estable al flotar en el agua. No se pudieron realizar pruebas a máxima velocidad debido a que no está instalado el módulo de propulsión acuática.

- Potencia y velocidad:

El vehículo avanza a 0.88 metros por segundo, para aumentar la potencia se necesita de motores más grandes y a su vez baterías más grandes lo que aumentaría el costo del vehículo.

Se tomó 17 grados como la inclinación máxima a pesar de que el vehículo aún avanzaba debido a que a esta inclinación los motores consumen su máxima corriente la cual es 4 amperios por motor y la velocidad del vehículo es muy lenta a esta inclinación. La inclinación máxima de solamente 17 grados se debe en su mayoría a que los ejes no están perfectamente alineados y se gasta bastante potencia del motor en vencer fuerzas que no son directamente de rotación a las llantas. Al haber una desalineación la fricción aumenta enormemente en algunos puntos causando pérdidas de potencia, esta potencia consumida por fricción es liberada por los elementos en forma de calor.

La Gráfica 2 muestra que el comportamiento del consumo de corriente aumenta casi linealmente conforme aumentan las revoluciones por minuto. Esto se debe a que la fricción de los cojinetes, del retenedor y las fuerzas axiales por desalineación permanecen constantes conforme aumenta la velocidad de las llantas.

Se requiere un torque de 4.393 Nm para mover al vehículo, por lo tanto se requiere 2.196 Nm por motor para mover al vehículo. Como se muestra en la figura 4, al consumir 2.196 Nm con un 27 por ciento de eficiencia los motores deberían consumir aproximadamente 60Watts por lo tanto el sistema que contiene dos motores consumirá aproximadamente 120 Watts que es similar al dato obtenido experimentalmente de 117.6 Watts.

Debido a que se le exige a los motores más torque que el calculado teóricamente, éstos consumen mayor corriente disminuyendo el tiempo de duración calculado de las baterías. Teóricamente los motores consumen un máximo de 27.596 Watts lo cual es menos de lo que los motores consumen realmente sobre una superficie sin inclinación (37 Watts). El vehículo al pasar por una pendiente de 17 grados consume la potencia máxima que es 4 amperios por motor los cuales forman 117.6 Watts, dándole una eficiencia al sistema de propulsión de 23.5%.

En una pendiente de 10 grados, los motores consumen 88.2 Watts lo que indica que la duración de las baterías si el vehículo se mantiene en movimiento sobre esta pendiente constantemente, la duración máxima que alcanzaría es de 0.83 horas equivalente a 49 minutos con 48 segundos.

El tiempo máximo de recorrido que el vehículo puede realmente tener utilizando la potencia que consume sin pendiente es de 2 horas. El vehículo tiene la capacidad de trasladarse sin carga extra a 0.8727 m/s (se tomó la velocidad más lenta de las pruebas para obtener el resultado mínimo y asegurar que recorrerá por lo menos esa distancia) durante dos horas recorriendo una distancia total de 6,283 metros.

El consumo de corriente y velocidad en terracería es variable debido a que la superficie es irregular, la inclinación varía a lo largo del trayecto y se crea deslizamiento en las llantas en algunos puntos del recorrido. Para obtener la duración de las baterías y distancia máxima se calculó un promedio del consumo de corriente y velocidad. El consumo de corriente promedio es de 5.5 A, por lo tanto la duración de las baterías es de 0.9091 horas equivalente a 54 minutos con 33 segundos. La distancia máxima que podrá recorrer es de 1.605 kilómetros.

La distancia máxima de 1.6 kilómetros que podrá recorrer el vehículo con una carga de las baterías no es suficiente para un vehículo real pero ésta distancia es suficiente para realizar las pruebas y demostraciones que un prototipo necesita.

XI. CONCLUSIONES

1. El vehículo alcanzó una velocidad máxima de 3.24 Km/h debido a que la desalineación en los ejes causa que se consuma potencia en vencer la fricción y no en girar las ruedas.
2. Se construyó un sistema trasero de transmisión de potencia cuyo esfuerzo máximo de 162.931 MPa es menor al esfuerzo de fluencia de 350 MPa, por lo tanto, no sufre deformaciones.
3. La distancia máxima que el vehículo puede recorrer en terracería disminuye un 74.5% respecto a la máxima distancia en superficies planas (6,283 metros) debido a que la superficie es irregular, la pendiente es variable y la tracción disminuye creando deslizamiento en las llantas.
4. La distancia máxima con una carga de baterías que el vehículo puede recorrer en superficies planas es de 6.28 kilómetros y en terracería es de 1.6 kilómetros.
5. El vehículo terrestre es estable a menos de 65.47° de inclinación respecto a la horizontal.
6. Se logró la estabilidad de flotación colocando a la estructura de flotación completamente sobre la estructura del vehículo haciendo que se eleve el centro de flotación.
7. La duración máxima de las baterías en terracería (54 minutos) disminuye un 55% con respecto a la duración sobre superficies planas (2 horas) debido a que el consumo de corriente aumenta cuando la superficie es irregular y cuando la pendiente aumenta.
8. Las imperfecciones en las piezas y la alineación del sistema causan pérdidas de potencia dándole una eficiencia al sistema de propulsión es de 23.5%.

XII. RECOMENDACIONES

1. Disminuir lo más posible la fricción de las llantas delanteras y aumentar la fricción de las llantas traseras para facilitar el giro del vehículo cuando se encuentre sobre superficies de alta fricción.
2. Se deben tomar en cuenta las pérdidas de potencia por desalineación y pérdidas debido al sistema de aislamiento debido a que estas son significativas y disminuyen la potencia entregada a las llantas.
3. Realizar todas las pruebas de aislamiento de agua en cada componente independientemente debido a que si se sumerge el sistema completo es muy difícil detectar el punto de posibles entradas de agua.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Internet:

1. Alibaba. *Especificaciones de Power Window Motor*. 12v regulador de la ventana para motor eléctrico del coche.
<http://spanish.alibaba.com/product-gs/12v-window-regulator-motor-for-car-218841052.html>
2. Burzi, Francisco. *Rodamientos Avanzado*. Zona gravedad. Calixto.
<http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=472>
3. Cogollo, Jaime Mesa. *Ensayo de Tensión*. Ciencia de los materiales. Universidad del Norte.
<http://ylang-ylang.uninorte.edu.co/objetos/Ingenieria/EnsayoDeTension/concepto7.html>
4. Cursos micros. 2009. *El USART y el interface RS232*. Programación de microcontroladores.
<http://www.cursomicros.com/avr/usart/estandar-rs232.html>
5. GAP design, Ferreyra José, *Anfibios DUKW*.
<http://www.anfibios-duk.w8m.com/index.htm>
6. Metals Handbook. 1990. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, ASM International. 10th Ed. Vol.1.
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb&ckck=1>
7. Sin autor. *Principio Arquímedes*. Libros provisionales.
<http://biblio3.url.edu.gt/Libros/provinciales/arquimides.pdf>
8. Sin autor.
<https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fblog.utp.edu.co%2Fjnsanchez%2Ffiles%2F2011%2F03%2FModulaci%25C3%25B3n-por-ancho-de-pulso-PWM-y-cambio-de-giro-motor-DC.docx&ei=L6hRUpvXCIHI9gSqx4GAAG&usq=AFOjCNHbk2gad621n7AzN90PQJiuQU7TSg&bvm=bv.53537100,d.eWU&cad=rja>
9. SUMITEC. *Acero Grado Maquinaria AISI 1020*. SUMINISTROS TÉCNICOS S.A.
<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>

10. The institute for interconnecting and packaging electronic circuits. *IPC-2221. Genetir Standard on printed board design*. Illionis. 1998.

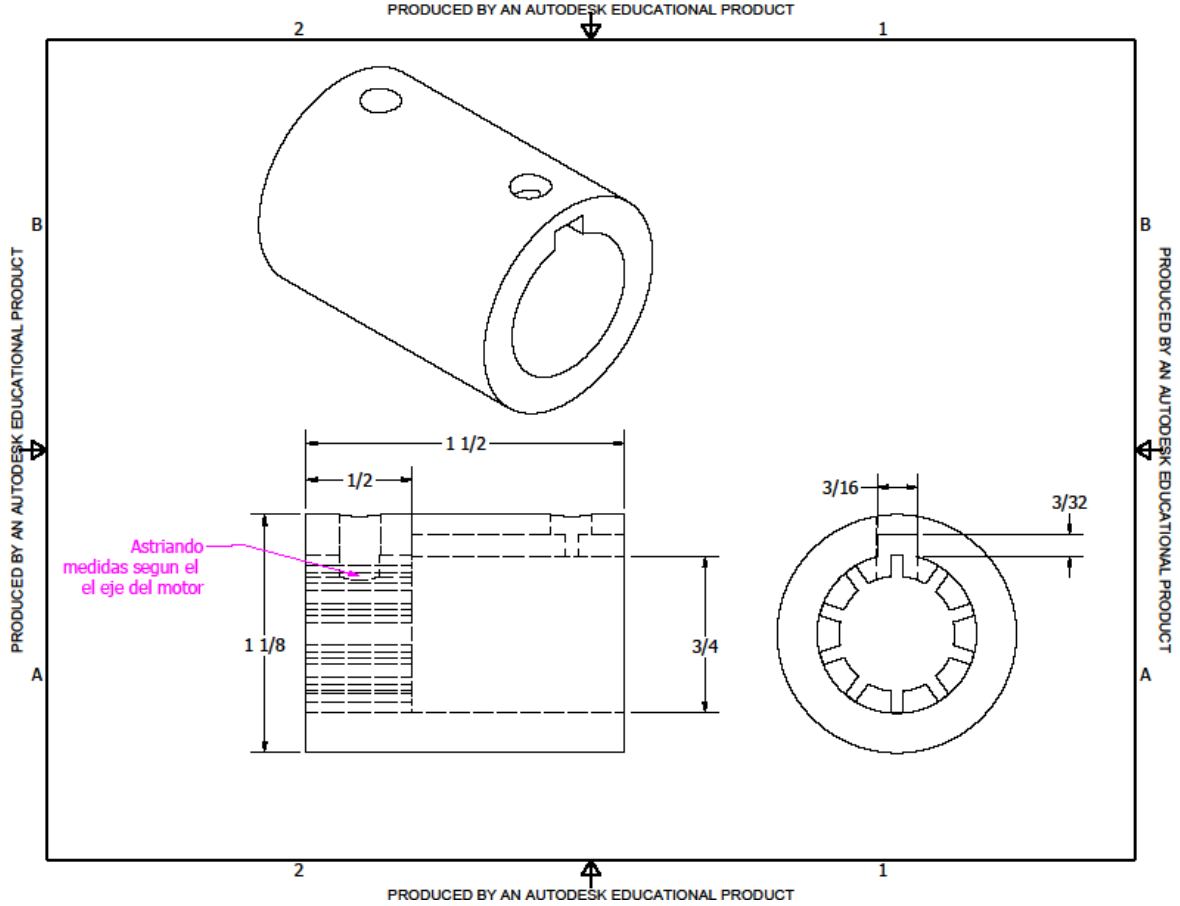
<http://www.mcuexamples.com/Downloads/ipc2221.pdf>

- Libros:

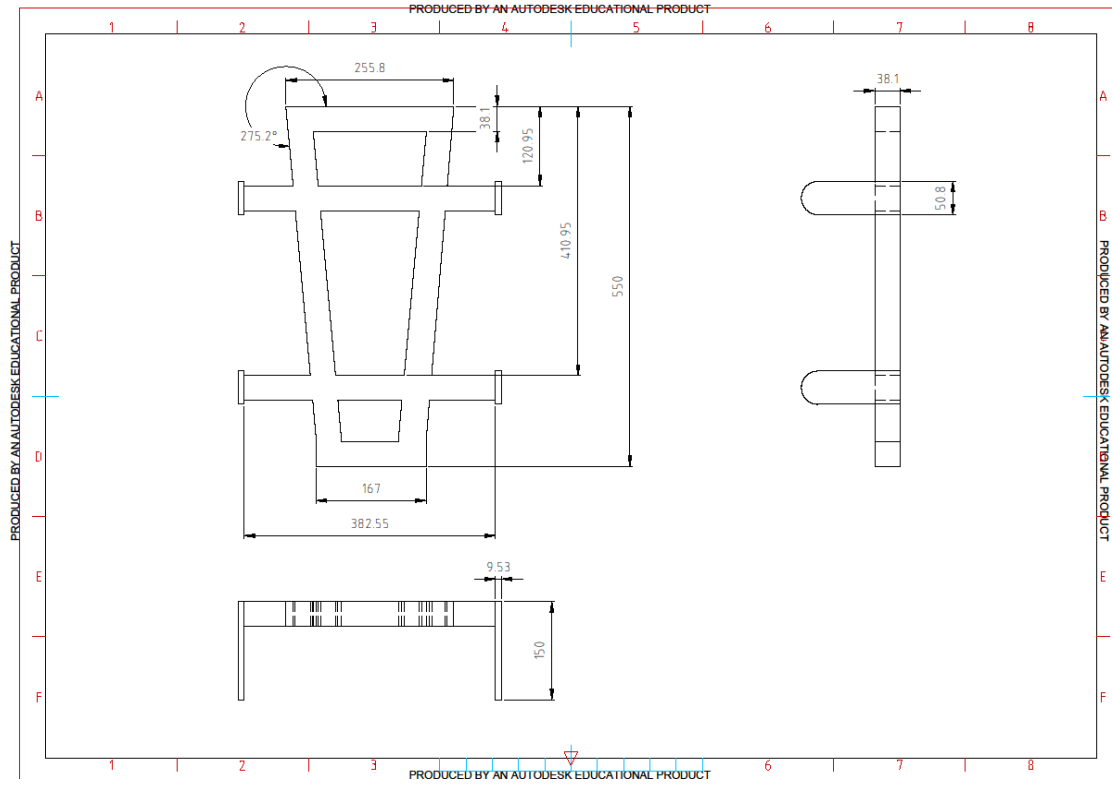
11. Beer & Jhonston. *Mecánica Vectorial para Ingenieros DINAMICA*. 9a Edición. Editorial McGraw Hill.
12. Mott, Robert L. 2004. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a edición. Prentice Hall.
13. Shigley - Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. 2008. *Diseño en ingeniería mecánica*. 8va edición. McGrawHill. 1092 Páginas.

XIV. ANEXOS

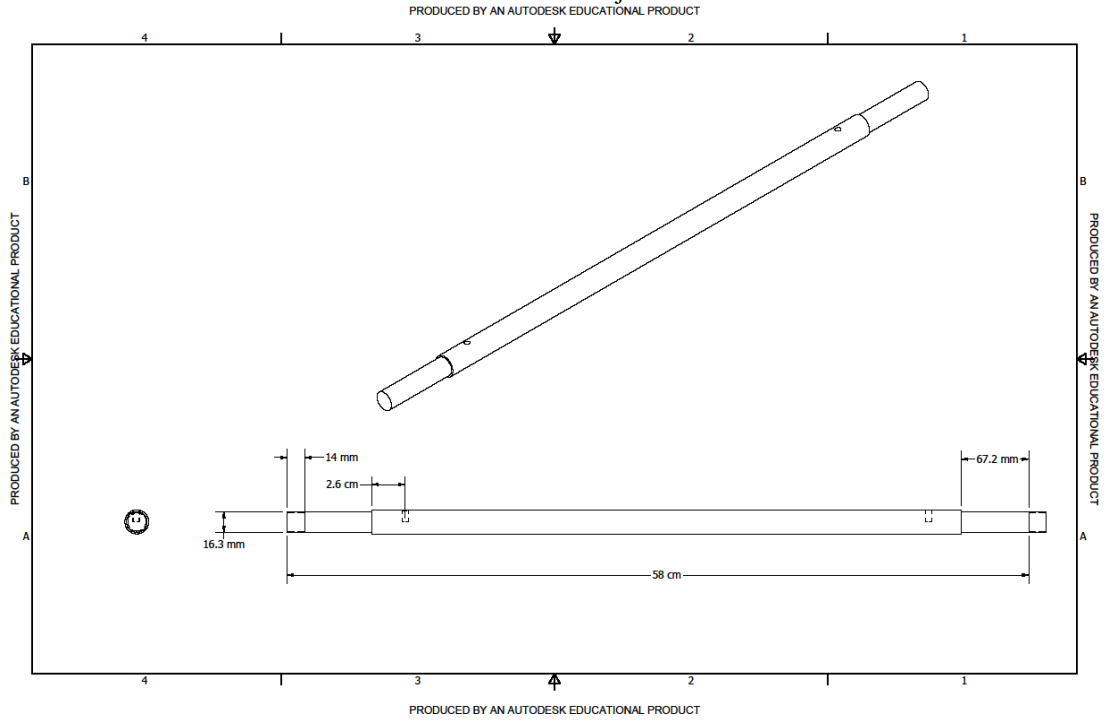
Anexo1: Planos del acople.



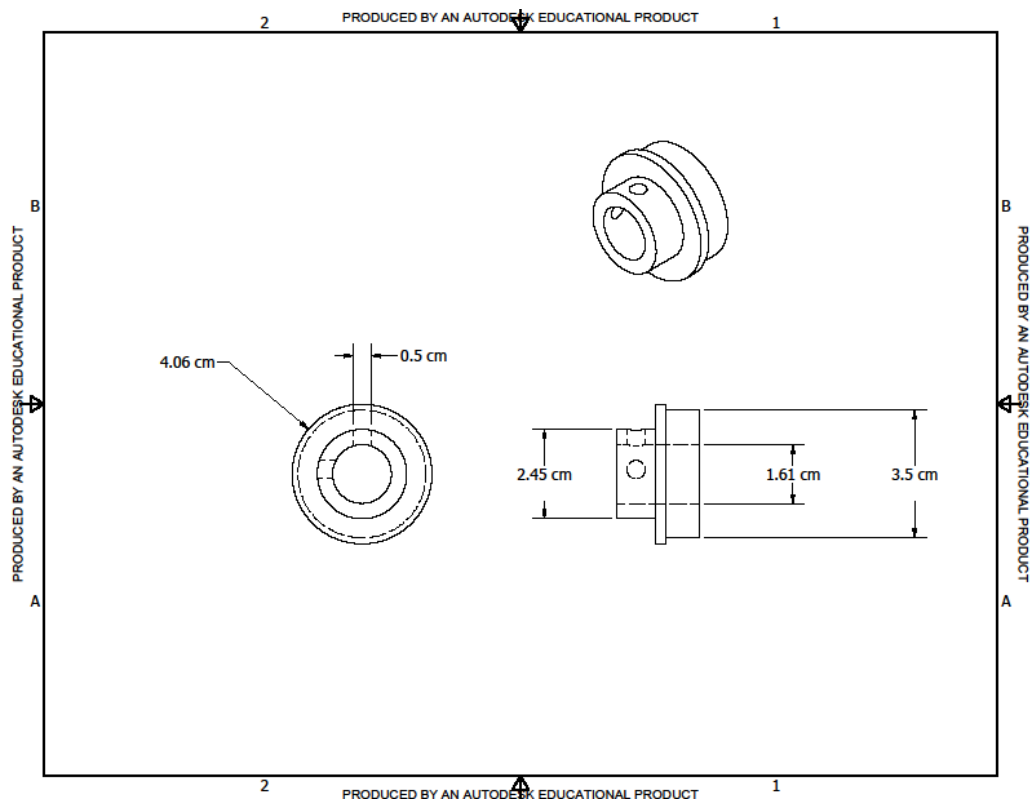
Anexo 2: Planos de la estructura.



Anexo 3: Planos del eje delantero.



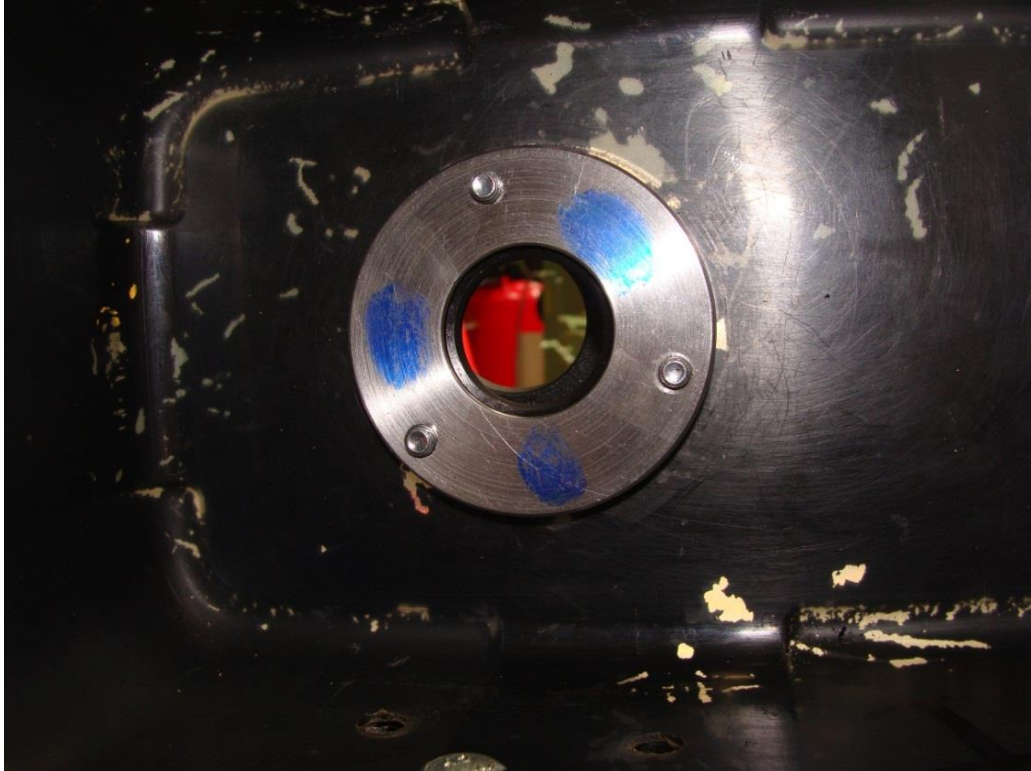
Anexo 4: Plano del elemento de transmisión de potencia del eje a las llantas.



Anexo 5: Fotografía del lado izquierdo del vehículo anfibia.



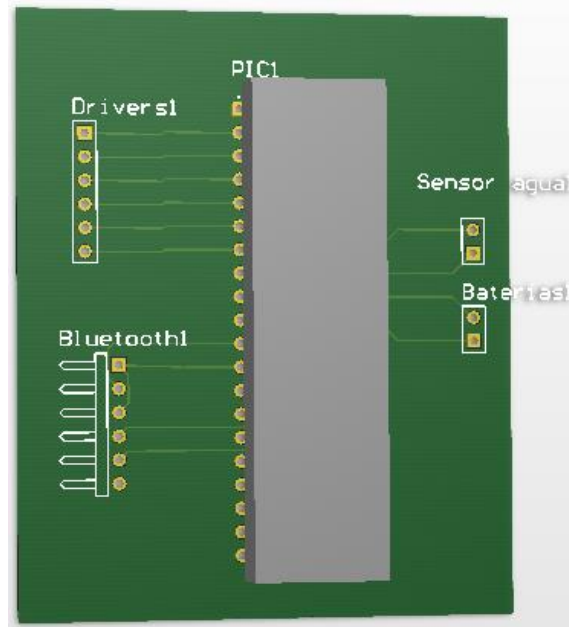
Anexo 6: Fotografía del sistema de retenedor y flansch.



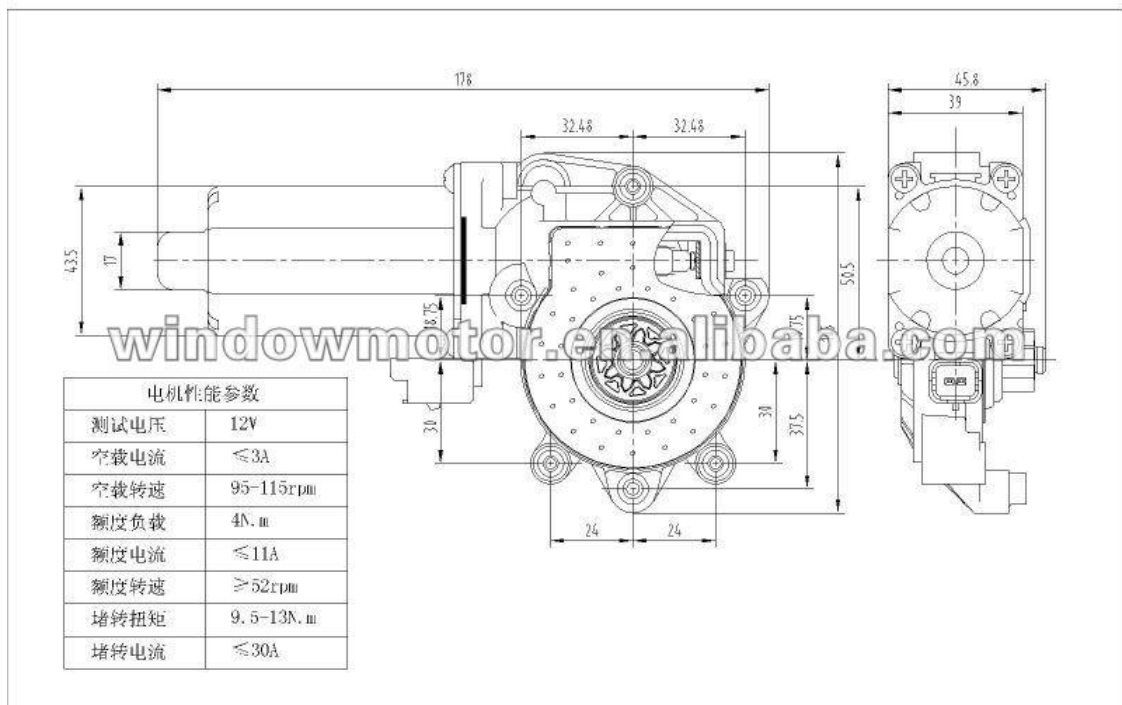
Anexo 7: Fotografía isométrica del vehículo.



Anexo 8: Imagen el 3D de la placa.



Anexo 9: Dimensiones del motor.

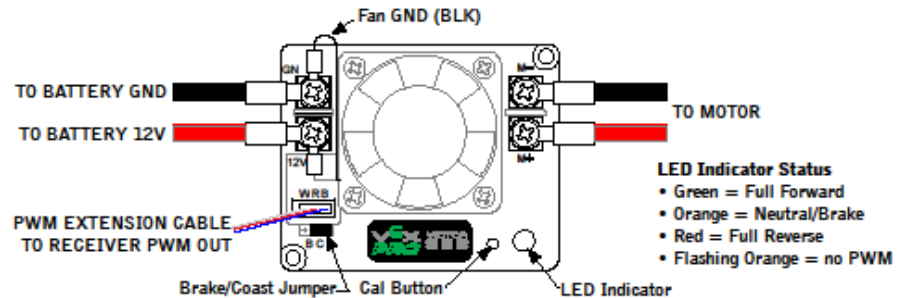


Anexo 10: Manual de los drivers.

12V Victor 888 User Manual

The Victor speed controllers are specifically engineered for robotic applications. The high current capacity, low voltage drop, and peak surge capacity make the Victor ideal for drive systems while its braking options and precise control meet the demanding needs of arms and lift systems. This controller safely handles the high continuous current draws and extreme current surges produced by competition robots. The innovative FET

switching architecture and an integral cooling fan ensures cool FET junction temperatures. The low voltage drop and high switching speed ensures the motor receives maximum power, providing significant improvements in acceleration, direction changes, and lifting torque. The LED indicator will be GREEN in 'full-forward' condition, RED in 'full-reverse' and ORANGE while in neutral.

**Wiring Guidelines**

1. The fan must be wired so it is always ON when the Victor is ON.
2. Attach the fan wires and connect to the appropriate voltage.
3. The input and output wires should be 10AWG wire minimum and firmly connected to ensure low voltage drop and minimal temperature rise.
4. Use circle lugs designed for your wire size. The lug should have a hole designed for a #6 or #8 screw. If the center hole is too large, (#10 or larger) inadequate mechanical contact may result in excessively high resistance and temperature rise.
5. Check all lug connection after crimping and soldering. You should not be able to pull the lug off the wire with your hands.
6. Once the input and output wires are firmly connected, tie the wires using tie straps within 2" of the Victor. This will ensure the wires do not move and loosen the connections.

WARNING: BEFORE APPLYING POWER:

1. Ensure the input connections are not reversed. Connecting 12V and GND backwards will destroy the unit.
2. Ensure that there is not a short circuit on the output. A short circuit will destroy the unit.
3. Ensure there is a circuit breaker either inline with the 12V power input to the speed controller, or inline with the motor. Use an appropriate circuit breaker for your application to ensure that long term exposure to a stalled motor (high currents) will not overheat the Victor.
4. Ensure that the fan is wired to the 12V and GND connections for continuous operation when power is applied.

12V Victor 888 User Manual

PWM Connection to cRIO Digital Sidecar

You will need (1) PWM extension cable.

1. The male PWM cable connector connects to the speed controller. The Victor housing is design to provide a firm connection. Trim the shroud corners slightly if necessary for insertion into the Victor.
2. The PWM extension cable should be installed with the black wire towards the fan.
3. Attach the female connector to a cRIO Digital Sidecar PWM OUT header. Standard Radio Controlled PWM connectors are fragile. Use caution when inserting and removing the PWM cable so the contacts on both connectors are not damaged.

PWM Connection to VEX Microcontroller

You will need (1) PWM extension cable and (1) 3-pin male-to-male header, such as 3M 929647-02.

1. The male PWM cable connector connects to the speed controller. The Victor housing is design to provide a firm connection. Trim the shroud corners slightly if necessary for insertion into the Victor.
2. The PWM extension cable should be installed with the black wire towards the fan.
3. Insert a 3-pin male-to-male header into the VEX Microcontroller 3-wire motor port. Attach the female PWM connector to the male-to-male header. The black wire of the header goes to the outside of a PIC or Cortex controller. Use caution when inserting and removing the PWM cable so the contacts on both connectors are not damaged.

PWM Connection to an RC Hobby Control System

You will need (1) PWM extension cable or PWM Signal Driver.

1. Use a PWM Signal Driver to ensure the signal from your receiver is Victor compatible. Use the PWM Driver ONLY if the receiver center wire is +5VDC. The receiver must provide the standard 1 – 2 ms PWM Input Pulse.
2. The male PWM cable connector connects to the speed controller. The Victor housing is design to provide a firm connection. Trim the shroud corners slightly if necessary for insertion into the Victor.
3. The PWM extension cable should be installed with the black wire towards the fan.
4. Standard Radio Controlled PWM connectors are fragile. Use caution when inserting and removing the PWM cable so the contacts on both connectors are not damaged.

Mounting Guidelines

You will need (2) #4 or #6 screws.

1. The Victor can be installed in any orientation.
2. The speed controller must have adequate space above the fan for airflow, a minimum of 2 inches.
3. Do not over-tighten the mounting screws through the speed controller. A snug connection will hold the speed controller in place without crushing the case.

Calibration Instructions

The Victor is pre-calibrated with values compatible with a cRIO Control System. You can re-calibrate to achieve 'full forward/reverse' from your joystick movement if necessary.

NOTE: While in calibration mode, the Victor will record the max PWM value detected as 'full forward', the min PWM value as 'full reverse', and 'neutral' will be the PWM value recorded at the release of the Cal button. The following steps will guide.

User Calibration:

1. Power ON the speed controller.
2. Press and hold the Cal button. After a moment, the LED indicator on the Victor will begin alternating between RED and GREEN to indicate a cal mode.
3. While continuing to hold the Cal button, move the joystick to the maximum and minimum positions. This can be done in any order and as many times as desired.
4. While continuing to hold the Cal button, return the joystick to center (neutral position).
5. Release the Cal button.
6. A flashing GREEN indicator confirms a successful calibration.
7. A flashing RED indicator denotes an unsuccessful calibration. An unsuccessful calibration occurs when either:
 - a) Insufficient joystick travel was detected in forward and/or reverse.
 - b) The trim tab is too far from center.
 - c) The Joystick is too far from center when Cal is released.

Resetting Calibration to Factory Pre-calibration:

1. Power OFF the speed controller.
2. Press and hold the Cal button.
3. While continuing to hold the Cal button, Power ON the speed controller.
4. A flashing GREEN indicator denotes calibration is reset. Release the Cal button.



12V Victor 888 User Manual

Brake / Coast Configuration

The Brake / Coast jumper is used to set the speed controller's action during a neutral condition. The Brake provides significant resistance to motor rotation and is recommended for motors driving linkages and arms that can be back-driven by gravity or other external forces.

The speed controller checks the status of the jumper approximately 60 times per second. This allows the user to change from brake to coast during operation. A limit switch may be connected to the jumper connector instead of the jumper. The limit switch can be triggered by various means including the use of a servo.

Brake/Coast Guidelines: Reference Diagram

1. The jumper should always be installed. If you lose the jumper, a standard computer jumper will work.
2. The Coast condition (Jumper on two Pins near "C") sets the output to an open circuit during neutral.
3. The Brake condition (Jumper on two pins near "B") sets the output to a short across the motor leads during neutral.

Anexo 11: Especificaciones del bluetooth HC05

HC-05

-Bluetooth to Serial Port Module

Overview

HC-05 module is an easy to use Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluecore 04-External single chip Bluetooth system with CMOS technology and with AFH(Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the footprint as small as 12.7mmx27mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

Specifications :

Hardware features :

- Typical -80dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Low Power 1.8V Operation ,1.8 to 3.6V I/O
- PIO control
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector
- HC-05 Bluetooth module iteadstudio.com

Software features

- Default Baud rate: 38400, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity, Data control: has. Supported baud rate: 9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800.
- Given a rising pulse in PIO0, device will be disconnected.
- Status instruction port PIO1: low-disconnected, high-connected; PIO10 and PIO11 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing PINCODE:"0000" as default
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.