

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería Mecatrónica



Diseño y construcción de la estructura y propulsión  
acuática de un prototipo de vehículo anfibio

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional  
presentado por  
Kevin Estuardo Pacheco Palencia  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería  
Mecatrónica

Guatemala  
2014



Diseño y construcción de la estructura y propulsión acuática de un prototipo de vehículo anfibio

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería Mecatrónica

Diseño y construcción de la estructura y propulsión acuática  
de un prototipo de vehículo anfibio

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional  
presentado por  
Kevin Estuardo Pacheco Palencia  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería  
Mecatrónica

Guatemala  
2014

Vo.Bo.:

(f)   
Ing. José Rodrigo Aragón Cabrera

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. José Rodrigo Aragón Cabrera

(f)   
Ing. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f)   
Ing. Roberto Enrique Saravia Fernández

Guatemala 18 de junio de 2014

# ÍNDICE

	Página
Lista de cuadros .....	viii
Lista de figuras .....	ix
Lista de ecuaciones .....	xi
Resumen .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
A. Generales del proyecto .....	3
B. Específicos .....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	4
IV. ANTECEDENTES .....	5
V. MARCO TEÓRICO .....	8
A. Centroide .....	8
B. Flotación .....	8
C. Mecánica de materiales .....	11
D. Materiales .....	17
E. Relé .....	20
VI. METODOLOGÍA .....	22
A. Diseño del chasis .....	23
B. Impermeabilización de motores .....	25
C. Diseño de propulsión acuática .....	27
D. Cambio de propulsión acuática a terrestre .....	29
VII. ANÁLISIS Y CÁLCULOS .....	31
A. Flotación .....	31
B. Estabilidad acuática .....	33
C. Esfuerzos y deformaciones .....	38
VIII. RESULTADOS .....	40
IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	44
X. CONCLUSIONES .....	45

XII.	RECOMENDACIONES .....	46
XIII.	BIBLIOGRAFÍA .....	47
XIV.	ANEXOS .....	49
XV.	GLOSARIO .....	53

# LISTA DE CUADROS

	Página
1. Cuadro 1: Perfiles cuadrados estructurales.....	17
2. Cuadro 2: Relación de flotación y peso de perfiles estructurales.....	32
3. Cuadro 3: Relación de la fuerza de flotación y su punto de aplicación ....	35
4. Cuadro 4: Relación de la masa y su punto de aplicación .....	36
5. Cuadro 5: Inercia y módulos de sección de perfiles de acero estructural	39
6. Cuadro 6. Características físicas del vehículo.....	40
7. Cuadro 7: Relación de carga y hundimiento.....	41
8. Cuadro 8: Velocidad del anfibio sobre el agua. ....	42
9. Cuadro 9: Velocidad de giro sobre el agua lado derecho .....	43
10. Cuadro 10: Velocidad de giro sobre el agua lado izquierdo.....	43

# LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Figura 1. Vehículo anfibio de la primera guerra mundial.....	5
2. Figura 2. Amphicar.....	6
3. Figura 3. Estabilidad de flotación configuración normal.....	9
4. Figura 4. Estabilidad por corrimiento de fuerza de flotación. ....	10
5. Figura 5. Barco rotado para mostrar altura metacéntrica.....	11
6. Figura 6: Diagrama de esfuerzo deformación unitaria para un acero común.....	13
7. Figura 7: Ejemplos de vigas sometidos a cargas laterales. ....	14
8. Figura 8: Ejemplo de diagrama de fuerza cortante y de momento.....	14
9. Figura 9: Esfuerzos de flexionantes en una sección de la viga.....	15
10. Figura 10: Esfuerzos cortantes en una sección de la viga.....	16
11. Figura 11: Diagrama de relé.....	20
12. Figura 12. Primer propuesta de vehículo Anfibio.....	22
13. Figura 13. vehículo anfibio observado en el club.....	23
14. Figura 14. Maquinado del chasis.....	24
15. Figura 15: Retenedor de aceite .....	25
16. Figura 16: Motor acuático y su oring .....	26
17. Figura 17: Esquema de colocación del oring.....	26
18. Figura 18: Motor acuático impermeabilizado .....	27
19. Figura 19: Plano de acople cónico .....	27
20. Figura 20: Curva de funcionamiento del motor AmpFlow M27-150 .....	28
21. Figura 21: Esquema de la colocación de los motores acuáticos.....	29
22. Figura 22: Diagrama esquemático del circuito para cambiar la propulsión. ....	30
23. Figura 23: Diseño de placa del circuito de cambio de modalidad .....	30
24. Figura 24: Aproximación geométrica del recipiente de plástico visto desde planta .....	31
25. Figura 25: Esquema de aproximación geométrica para la inercia .....	33
26. Figura 26: Esquema de aplicación de las fuerzas de flotación .....	35
27. Figura 27: Esquema de centro de gravedad de cada componente.....	36
28. Figura 28: Diagrama de fuerza cortante y momento del vehículo. ....	38

29. Figura 29: Plano lateral del vehículo anfibio .....	40
30. Figura 30: Plano vista trasera del vehículo anfibio .....	41
31. Figura 31: Grafica de la relación de carga e hundimiento.....	42

# LISTA DE ECUACIONES

	Página
1. Ecuación 1: Cálculo del centroide .....	8
2. Ecuación 2: Fuerza de empuje.....	9
3. Ecuación 3: Altura metacéntrica .....	11
4. Ecuación 4: Esfuerzo normal .....	12
5. Ecuación 5: Módulo de elasticidad.....	12
6. Ecuación 6: Fórmula de la flexión. ....	15
7. Ecuación 7: Esfuerzo cortante en vigas .....	16
8. Ecuación 8: Momento de área de sección rectangular.....	34
9. Ecuación 9: Momento de área de sección triangular desde el eje x. ....	34
10. Ecuación 10: Centro de flotación del vehículo.....	35
11. Ecuación 11: Centro de gravedad del vehículo. ....	37
12. Ecuación 12: Distancia máxima de la carga.....	37
13. Ecuación 13: Deformación máxima en viga. ....	39

## RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y fabricación de la estructura de un vehículo anfibia, así como de su propulsión sobre el agua.

Para ello se investigaron varios materiales y perfiles, tomando en cuenta sus características de flotación, peso y propiedades mecánicas, siendo seleccionado el perfil de acero estructural cuadrado de 1 1/2 pulgadas.

Se utilizaron dos motores con propela para impulsar el vehículo, colocados en la parte trasera de este, dispuestos  $45^\circ$  respecto a la línea imaginaria que divide el vehículo por la mitad. Estos motores fueron seleccionados con ayuda de softwares especializados para el cálculo de propela y embarcaciones, Boat Calculator y Static Thrust Calculator.

Buscando impermeabilizar el vehículo en su totalidad, se probaron varios métodos para lograr este objetivo, priorizando los motores, que es de los componentes más delicados en la impermeabilización, y los más difíciles de impermeabilizar debido al movimiento que tiene el eje en su salida.

Fue implementado un circuito electrónico por medio de relés, para realizar la transferencia de potencia, para que el vehículo pudiera desplazarse tanto en un medio terrestre como acuático.

# I. INTRODUCCIÓN

Los primeros indicios de vehículos anfibios se remontan al siglo XVI, pero fueron desarrollados con mucho auge después de la Primera Guerra Mundial debido a su versatilidad y la ventaja que estos proporcionaban en el campo de batalla.

Por su misma versatilidad poseen una gama amplia de aplicaciones, no solo en ámbitos militares, sino también para ser utilizado como vehículos de rescate, de recreación o exploración.

En Guatemala por el terreno que existe se puede implementar fácilmente como un vehículo para turismo, ofreciendo una experiencia única e interesante introduciéndose por lagos, ríos y montañas. Además de ser un país que constantemente sufre catástrofes naturales e inundaciones, sería extremadamente útil el uso de un vehículo con la capacidad de llevar heridos de emergencia o llevar víveres a lugares con un difícil acceso a causa de estos eventos.

Se decidió crear un prototipo de vehículo anfibio que soportara un peso máximo neto de 100 libras, que fuera estable, que lograra navegar a 10m/min, seleccionando los adecuados materiales para su construcción.

Dentro del diseño se contempló que debería de existir una forma de controlar el modo de operación del vehículo, para ello se implementó un circuito electrónico, que realizara este cambio transfiriendo la potencia a los motores para propulsión terrestre o acuática.

Con base a cálculos realizados, y con ayuda de Autodesk Inventor y MDSolid se seleccionó que el chasis fuera construido con perfil cuadrado de acero estructural de 1 ½ pulgadas. Usando este perfil y en base a un recipiente de plástico usado principalmente para la flotación, se crearon los planos del vehículo, y fue construido.

Se logró construir el vehículo, impermeabilizándolo correctamente y cumpliendo con los pesos deseados, pero este solo llegó alcanzar una velocidad de 3.80 m/min.

## II. OBJETIVOS

### A. GENERALES DEL PROYECTO

1. Diseñar y construir la estructura y propulsión acuática de un prototipo de vehículo anfibio.

### B. ESPECÍFICOS

1. Diseñar y construir una estructura rígida con peso menor a 75 Lb que sea capaz de soportar todos los esfuerzos.
2. Diseñar y construir una estructura con la capacidad de flotar con un peso neto de 100 Lb.
3. Diseñar y construir un sistema que sea capaz de impulsar el vehículo sobre el agua a una velocidad de 10 m/min.
4. Determinar y seleccionar un material adecuado según las propiedades mecánicas requeridas.
5. Asegurar la impermeabilidad de los motores dentro del vehículo.
6. Asegurar que la flotabilidad del vehículo sea estable en todo momento.
7. Implementar un circuito que interprete una señal de entrada, para realizar la transferencia de potencia de los motores entre la fase acuática y terrestre.

### III. JUSTIFICACIÓN

Existe una gran diversidad de aplicaciones para un vehículo anfibia entre ellas se encuentran la exploración de terrenos desconocidos con un acceso difícil, el poder llevar víveres luego de catástrofes naturales, como vehículo recreativo e inclusive para el turismo. Es importante en Guatemala debido a la topografía del país, además de los diversos desastres naturales que constantemente se presentan y aíslan comunidades.

Guatemala es un país turístico que aún tiene mucho por aprovechar, manejando un vehículo anfibia se puede ofrecer una experiencia única realizando excursiones que atraviesen ríos, lagos y lugares poco accesibles con otro tipo de transporte, beneficiando e impulsando los lugares turísticos en el país.

Para que el vehículo se pudiera movilizar tanto en la tierra como sobre el agua, fue indispensable diseñar una estructura rígida, resistente y liviana, la cual debe de estar totalmente impermeabilizada, para evitar el hundimiento de la estructura y protección de los componentes eléctricos internos. También fue indispensable seleccionar motores con las características de potencia (torque y velocidad angular) necesarias para obtener el desplazamiento del vehículo anfibia.

## IV. ANTECEDENTES

La historia de los vehículos anfibios se remonta desde el siglo XVI, donde el rey francés Enrique III mandó a construir una especie de barco con ruedas, sobre la tierra halada por caballos y dentro del agua se impulsaba por medio de remos manuales.

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

A finales de la Primera Guerra Mundial los militares se dieron cuenta del potencial que podría ofrecer una versión anfibia de los vehículos militares de combate. En 1916 el ejercicio 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. [7]

Figura 1. Vehículo anfibia de la Primera Guerra Mundial<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Figura obtenida de la referencia 4

Varios países experimentaron con sus propios vehículos anfibios, conscientes de la gran importancia que supondría para el avance de las tropas, no tener que detenerse ante un curso de agua, o sus posibilidades en otras acciones como desembarcos.

En 1963 la firma Quandt Group de Berlín, Alemania desarrolló el primer automóvil anfibio civil de producción en masa, el Amphicar. Este fue diseñado especialmente para el mercado americano, promoviendo una nueva experiencia, enfocándolo como un vehículo recreativo para toda la familia. Y a pesar que tuvo pocas ventas y solo se fabricó de 1963 a 1965, es considerado el anfibio más exitoso en la historia del siglo XX.

Figura 2. Amphicar <sup>2</sup>



En la actualidad los vehículos anfibios se han diversificado debido a su practicidad y experiencia que brindan sobre todo en países desarrollados, teniendo aplicaciones para uso militar, en turismo, en rescate o cualquier uso civil.

En Guatemala solo existe un pequeño grupo de personas que conforman el club de vehículos anfibios del país, que cuentan con estos transportes para su

---

<sup>2</sup> Figura tomada de la referencia 11

uso recreativo. CONRED podría utilizar este tipo de vehículos por sus características al ocurrir catástrofes naturales, siendo estos una gran herramienta de soporte y rescate.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. CENTROIDE

El centroide es un concepto puramente geométrico. Se refiere al centro geométrico de cualquier figura. [3]

El centro de masa no necesariamente coincide con el centro geométrico de la figura, para que ambos centros concuerden la densidad del objeto debe de ser uniforme. [3]

Si la figura es simétrica el centroide se encuentra sobre su eje de simetría de lo contrario podemos calcularlo usando la siguiente ecuación [8]:

Ecuación 1: Cálculo del centroide

$$\bar{Y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A}, \quad \bar{X} = \frac{\sum \bar{x}A}{\sum A}$$

Donde  $\bar{Y}$  es la coordenada del centroide en el eje  $y$ ,  $A$  es el área. Esto aplica solo para aquellas figuras que puedan ser divididas geoméricamente de lo contrario es necesario aplicar una integral para realizar el cálculo.

### B. FLOTACIÓN

1. Ley de empuje o flotación. La fuerza de empuje o flotación sobre un cuerpo se define como la fuerza vertical neta causada por el fluido o los fluidos en contacto con el cuerpo. Un cuerpo en flotación solamente está en contacto con fluidos y la fuerza superficial causada por los fluidos se encuentra en equilibrio con la fuerza de gravedad que actúa sobre el cuerpo. [13]

2. Principio de Arquímedes. Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desplazado.[4]

Ecuación 2: Fuerza de empuje

$$\text{Empuje} = \text{peso desplazado} = \rho v g$$

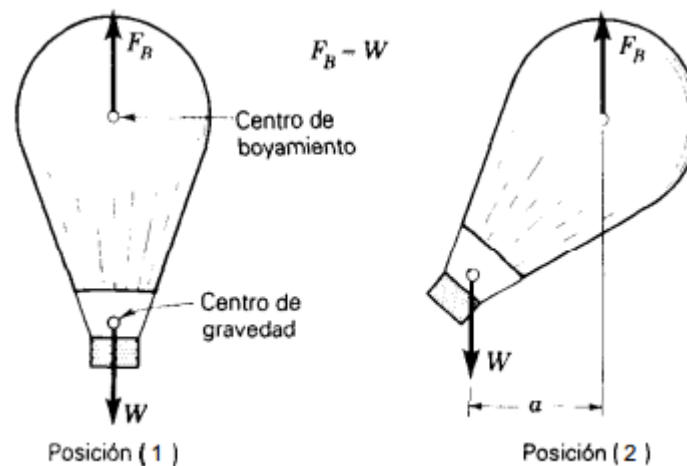
$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$ : Volumen del fluido desplazado ( $\text{m}^3$ )

$g$ : Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

3. Principios de estabilidad acuática. Si la imposición de un desplazamiento pequeño en un cuerpo en equilibrio genera fuerzas que tienden a restablecer su posición original, se dice que el sistema está en equilibrio estable. [13]

Figura 3. Estabilidad de flotación configuración normal<sup>3</sup>

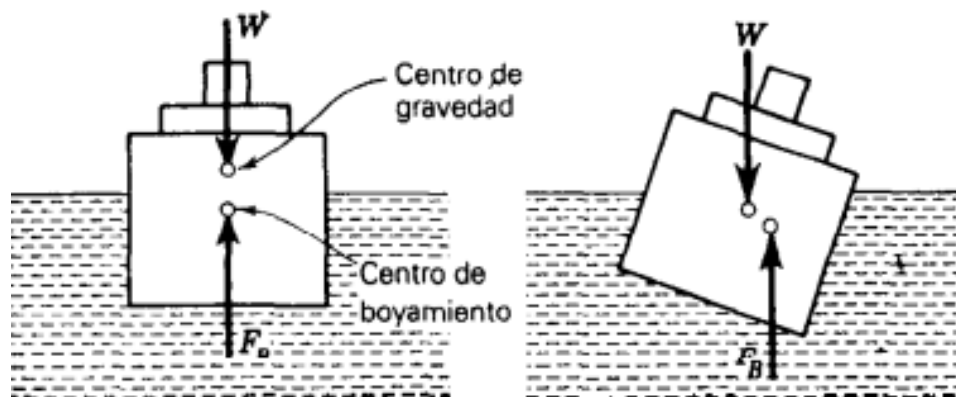


Sin embargo, en el caso de un “balanceo” el centro de flotación se desplaza lo suficientemente lejos como para desarrollar un par restaurador. Esto explica por qué una sección transversal rectangular ancha ofrece una alta estabilidad, debido a que un balanceo hace que mucho fluido se desplace hacia un extremo a expensas del otro y como resultado se presente un gran

<sup>3</sup> Figura obtenida de la referencia 13

desplazamiento del centro de flotación hacia el extremo sumergido. El peso no se desplaza, por lo cual se genera un momento restaurador suficientemente grande para este tipo de forma. [13]

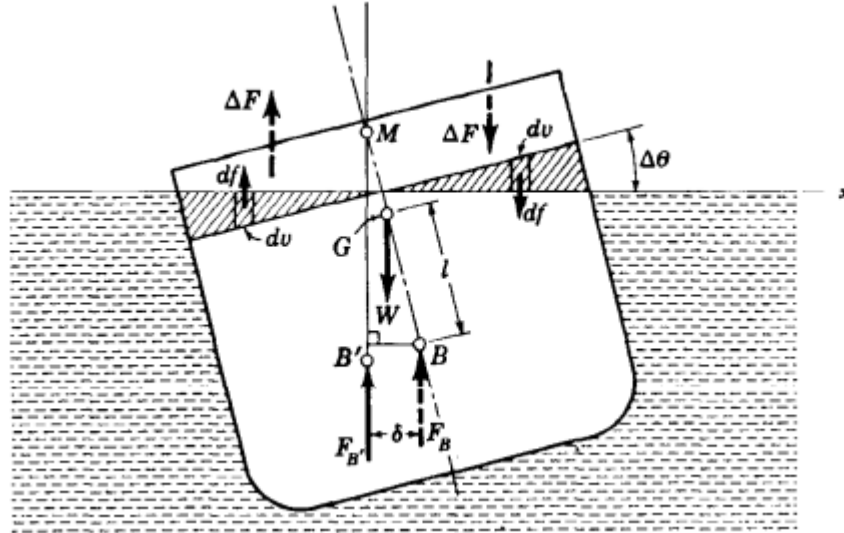
Figura 4. Estabilidad por corrimiento de fuerza boyante. <sup>4</sup>



4. Criterio de estabilidad. Si utilizamos la Figura 5 podemos observar que la posición del punto M se localiza por encima de G, puede verse que la fuerza de flotación y el peso  $W$  conforman un par restaurador y se dice que el buque es estable. Además, a medida que esta distancia es mayor, que se denota como  $MG$ , el par restaurador es mayor y la embarcación es más estable. Luego,  $MG$  es un criterio de estabilidad y se conoce como altura metacéntrica. Si  $M$  coincide con  $G$ , se tiene una estabilidad neutra, y si se localiza por debajo de  $G$ , se tiene una condición inestable. [2]

<sup>4</sup> Figura obtenida de la referencia 13

Figura 5. Barco rotado para mostrar altura metacéntrica<sup>5</sup>



La altura metacéntrica se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Altura metacéntrica

$$MG = \frac{\gamma I_y}{W} - l$$

$\gamma$ : Peso específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ )

$I_y$ : Momento de área ( $\text{m}^4$ )

$W$ : Peso (N)

$l$ : Distancia entre el centro de masa y centro de flotación (m)

Para que el objeto sea estable la altura metacéntrica debe ser mayor a 0.

## C. MECÁNICA DE MATERIALES

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica aplicada que trata sobre el comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a diversas cargas. El objetivo principal es determinar los esfuerzos, las deformaciones unitarias y los desplazamientos en estructuras y sus componentes debidas a las cargas que actúan sobre ellas. Si podemos determinar estas cantidades para todos los

<sup>5</sup> Figura obtenida de la referencia 13

valores de las cargas incluyendo las que causan la falla, tendremos una representación completa del comportamiento mecánico de esas estructuras. Para ello debemos conocer los siguientes conceptos de mecánica de materiales. [9]

1. Esfuerzo normal. Cuando una barra es estirada por fuerzas  $F$ , los esfuerzos son esfuerzos de tensión; si se invierte la dirección de las fuerzas, la barra se comprime y tenemos esfuerzos de compresión. Puesto que los esfuerzos actúan en una dirección perpendicular a la superficie cortada, se denominan esfuerzos normales. Y, por tanto, los esfuerzos normales pueden ser de tensión o de compresión. [9]

Ecuación 4: Esfuerzo normal

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma$ : Esfuerzo normal (Pa)

$F$ : Fuerza perpendicular al área (N)

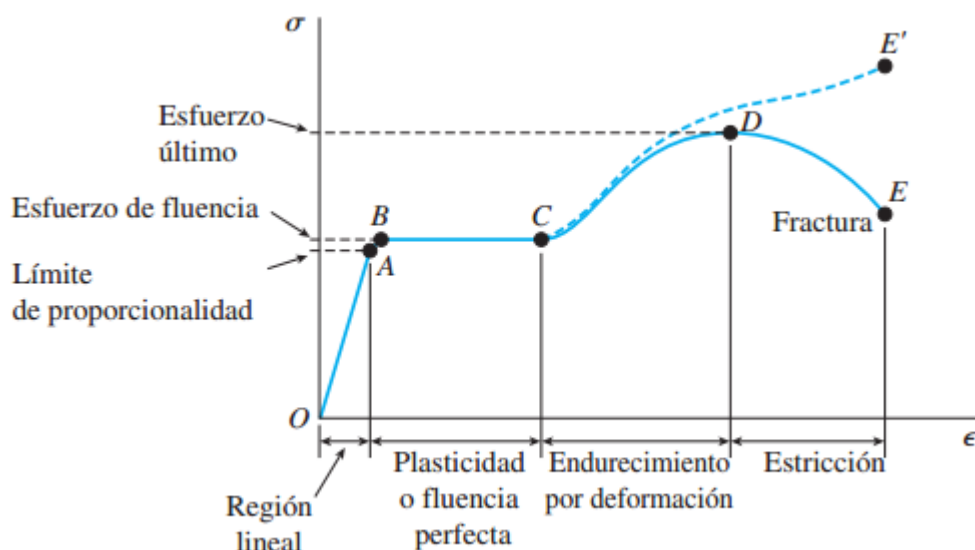
$A$ : Área perpendicular sobre la que se aplica la fuerza ( $m^2$ )

2. Características mecánicas de los materiales. Como parámetro característico de cada material el módulo de elasticidad ( $E$ ), también llamado módulo de Young, indica la relación existente entre los incrementos de tensión aplicados ( $\Delta\sigma$ ) en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación relativa ( $\Delta\varepsilon$ ) producidos, pero esto solo se aplica en la zona de comportamiento elástico de dicho material. [3]

Ecuación 5: Módulo de elasticidad

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

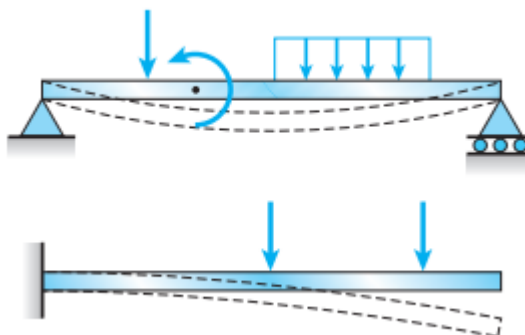
Figura 6: Diagrama de esfuerzo deformación unitaria para un acero común<sup>6</sup>



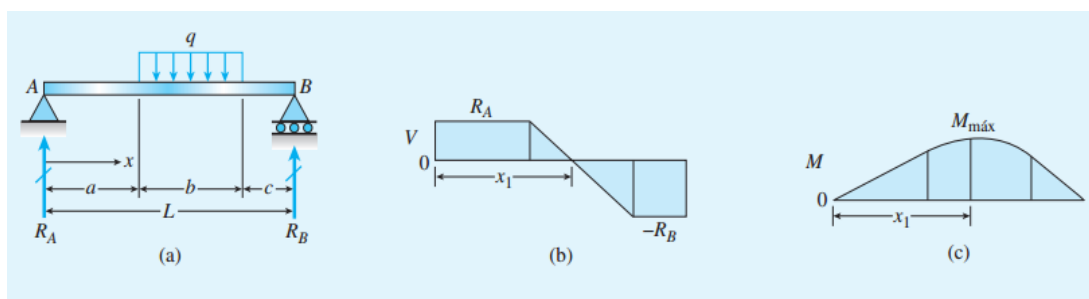
Al observar la figura anterior se puede notar que solo existe una región donde el comportamiento es lineal, una vez se ha alcanzado el límite de esta región al punto B, el esfuerzo de fluencia, el material puede seguir deformándose sin que el esfuerzo aumente, entrando en la región de plasticidad, en esta región las deformaciones a partir del punto B son permanentes, eso quiere decir que aunque el esfuerzo en el material sea eliminado totalmente las deformaciones sufridas en la parte lineal desaparecerán, pero aquellas en la parte plástica permanecerán. Por lo que es recomendable trabajar únicamente en la región elástica del material. [3]

3. Momentos flexionantes. Son consideradas vigas a los elementos estructurales sometidos a cargas laterales, es decir, fuerzas o momentos que tienen sus vectores perpendiculares al eje de la barra. Estos sufren momentos de flexión y esfuerzos cortantes. [9]

<sup>6</sup> Figura obtenida de la referencia 9

Figura 7: Ejemplos de vigas sometidos a cargas laterales<sup>7</sup>

Al diseñar una viga, por lo general necesitamos saber cómo varían las fuerzas cortantes y los momentos flexionantes en toda su longitud. De importancia especial son los valores máximos y mínimos de estas cantidades. La información de este tipo se suele obtener de gráficas en las que la fuerza cortante y el momento flexionante están trazados como ordenadas, y la distancia  $x$  a lo largo del eje de la viga como abscisa. A estas gráficas se les denomina diagramas de fuerza cortante y de momento flexionante. [3]

Figura 8: Ejemplo de diagrama de fuerza cortante y de momento flexionante<sup>8</sup>

Conociendo estas gráficas podemos utilizar fácilmente la siguiente ecuación para conocer los valores de los esfuerzos generados.

<sup>7</sup> Figura obtenida de la referencia 9

<sup>8</sup> Figura obtenida de la referencia 9

## Ecuación 6: Fórmula de la flexión

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

$\sigma_x$ : Esfuerzo producido por flexión (Pa)

$M$ : Momento flexionante (N·m)

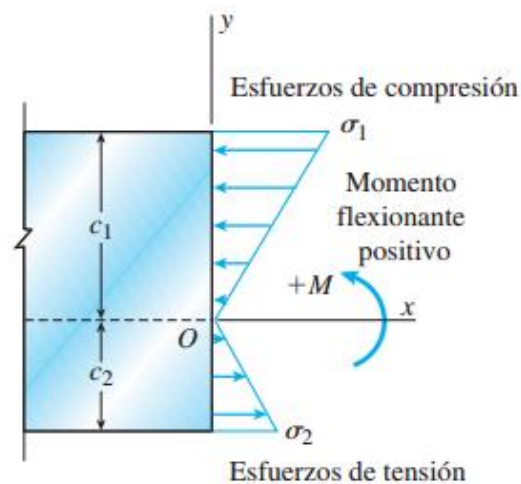
$I$ : Inercia de la sección transversal (m<sup>4</sup>)

$y$ : Distancia del eje neutro hasta punto de aplicación del esfuerzo (m)

Lo anterior indica que los esfuerzos son directamente proporcionales al momento flexionante  $M$  e inversamente proporcionales al momento de inercia  $I$  de la sección transversal. Además, los esfuerzos varían linealmente con la distancia “ $y$ ” desde el eje neutro, que es un eje imaginario que pasa por el centroide del área de la sección transversal. Los esfuerzos calculados con la fórmula de la flexión se denominan esfuerzos de flexión o esfuerzos flexionantes. [9]

Los esfuerzos flexionantes de tensión y de compresión máximos que actúan en cualquier sección transversal dada ocurren en los puntos más alejados del eje neutro.

Figura 9: Esfuerzos de flexionantes en una sección de la viga<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Figura obtenida de la referencia 9

4. Esfuerzos cortantes en vigas. Debido a la deflexión las vigas no solo sufren por esfuerzos normales, sino que se generan esfuerzos cortantes los cuales podemos calcular de la siguiente forma.

Ecuación 7: Esfuerzo cortante en vigas

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

$\tau$ : Esfuerzo cortante (Pa)

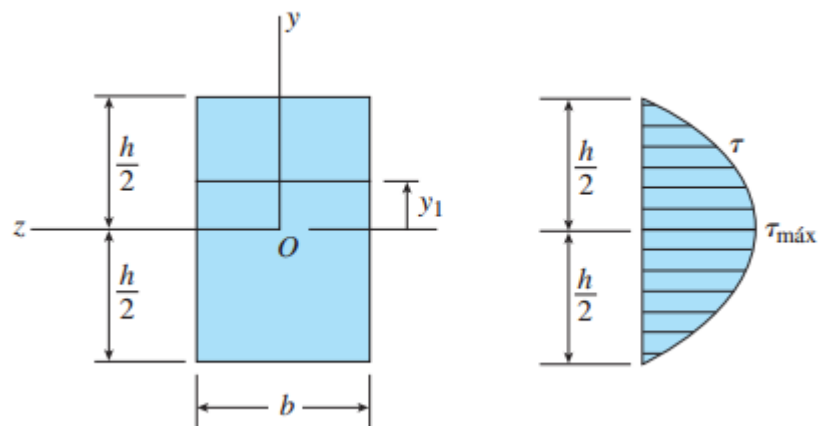
V: Fuerza cortante (N)

I: Inercia (m<sup>4</sup>)

b: Ancho (m)

Q: Momento estático. (m<sup>3</sup>)

Figura 10: Esfuerzos cortantes en una sección de la viga<sup>10</sup>



Podemos darnos cuenta que a diferencia de los esfuerzos normales no existe esfuerzo cortante en los extremos y su máximo está en el eje neutro.

<sup>10</sup> Figura obtenida de la referencia 9

## D. MATERIALES

1. Perfiles de acero estructural. Dentro de los perfiles de acero que se comercializan en Guatemala se encontró que los perfiles estructurales cuadrados de acero con los que se cuentan están en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Perfiles cuadrados estructurales<sup>11</sup>

Dimensiones pulgadas	Espesor			Peso por unidad Lb.
	Calibre	Pulgadas	Milímetros	
1/2 x 1/2	18	0.035	0.90	5.293
1/2 x 1/2	20	0.047	1.20	7.058
3/4 x 3/4	18	0.035	0.90	6.955
3/4 x 3/4	20	0.047	1.20	9.273
1 x 1	16	0.059	1.50	15.27
1 x 1	14	0.079	2.00	20.26
1 ½ x 1 ½	14	0.079	2.00	30.22
2 x 2	14	0.079	2.00	40.77
4 x 4	14	0.079	2.00	82.81

Donde cada unidad son 6 metros.

Características físicas del acero:

Punto de fluencia 36 Ksi

Resistencia ultima 48 Ksi

Módulo de elasticidad (E): 29000 Ksi

<sup>11</sup> Cuadro obtenida de la referencia 1

Módulo de cortante (G): 11300 Ksi

Relación de Poisson: 0.30

Esfuerzo de fluencia en corte: 0.57 veces esfuerzo en tracción

2. PVC. El Policloruro de Vinilo o PVC, es una combinación química entre carbono, hidrógeno y cloro. Es un material termoplástico, es decir, que bajo la acción del calor se reblandece, y puede así moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma. [8]

Propiedades<sup>12</sup>:

- Es ligero, inerte y completamente inocuo,
- Es impermeable a gases y líquidos.
- Es buen aislante (térmico, eléctrico y acústico),
- Es resistente a la intemperie (sol, lluvia, viento y aire marino)
- Es un material fácil de transformar y es reciclable.
- Presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental.
- Rango de temperatura de trabajo -15°C +60°C.
- Resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas
- Elevada resistencia a sustancias químicas

3. Silicón. Las siliconas son los productos de origen mineral, derivados de cuarzo (cristal). Las siliconas se presentan en diferentes formas: emulsiones, resinas, antiespumantes, fluidos y elastómeros. [6]

---

<sup>12</sup> Ver referencia 5

### Características de silicona<sup>13</sup>:

- La silicona tiene una alta resistencia a los efectos causados por las condiciones atmosféricas (sol, lluvia, ozono, nieve);
- La silicona es repelente al agua;
- La silicona tiene lubricidad;
- La silicona es resistente a la mayoría de los disolventes y / o productos químicos;
- La silicona tiene una estabilidad a temperaturas extremas (altas y bajas);
- La silicona no es tóxica;
- La silicona no daña el medio ambiente.

El sellador de silicona es un material viscoso, principalmente mono-componente, que en contacto con la humedad del aire forma un caucho elastomérico. Incluso en contacto con las condiciones más adversas, el sellador de silicona permanece en forma elástica durante muchos años. [6]

### 4. Motor DC ARS-555 PM -6530. Características del motor<sup>14</sup>:

Tamaño: (D) 35.8 x (L) 57 mm

Eje de salida: Ø3.175 mm

Voltaje nominal: 12V DC

Velocidad sin carga: 1,800 rpm

Corriente: 1.3 A

Peso: 215 g

Potencia nominal: 12W

---

<sup>13</sup> Ver referencia 6

<sup>14</sup> Ver referencia 8

En la máxima eficiencia:

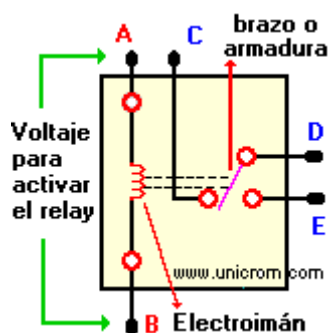
- Velocidad de carga: 1,610rpm
- Cargando torque: 420g.cm
- Consumo de corriente: 7.15 A
- Potencia entregada: 78W

## E. RELÉ

El Relé es un interruptor operado magnéticamente. El relé se activa o desactiva (dependiendo de la conexión) cuando el electroimán es energizado.[13]

Esta operación causa que exista conexión o no, entre dos o más terminales del dispositivo. Esta conexión se logra con la atracción o repulsión de un pequeño brazo, llamado armadura, por el electroimán. Este pequeño brazo conecta o desconecta los terminales antes mencionados. [2]

Figura 11: Diagrama de relé<sup>15</sup>



Si el electroimán está activo conecta los puntos C y D. Si el electroimán se desactiva, conecta los puntos D y E. De esta manera se puede controlar una potencia mucho mayor con un consumo en potencia muy reducido. [2]

<sup>15</sup> Figura obtenida en <http://www.unicrom.com/>

Las características generales de cualquier relé son<sup>16</sup>:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.

Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relé se caracterizan por:

- En estado abierto, alta impedancia.
- En estado cerrado, baja impedancia.

---

<sup>16</sup> Ver referencia 2

## VI. METODOLOGÍA

Lo primero que se realizó para la elaboración del proyecto fue la selección de un vehículo a control remoto escala 1:8, para convertirlo en un vehículo anfibio. El vehículo que seleccionamos se encuentra en la siguiente figura.

Figura 12. Primer propuesta de vehículo Anfibio<sup>17</sup>



Al desarmar este vehículo y analizarlo nos encontramos con múltiples desafíos para su construcción, entre ellos las llantas tenían varios grados de libertad por lo que realizar la impermeabilización de este era algo muy complejo, además el espacio para trabajar era muy limitado.

Debido a los inconvenientes encontrados y determinando que había que reconstruir la mayoría del vehículo, se descartó esta idea. Esta fue reemplazada por la de diseñar totalmente el vehículo anfibio.

Al realizar una visita al club de vehículos anfibios en Guatemala, donde se pudo analizar el funcionamiento, la estructura y el diseño de dos vehículos anfibios, se observó que era un chasis de acero en el cual iba montado un

---

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

caparazón de plástico del cual salían los ejes de las llantas, facilitando así su flotabilidad e impermeabilidad.

Figura 13. Vehículo anfibia observado en el club<sup>18</sup>



Con base en lo observado del funcionamiento de estos vehículos se diseñó el prototipo de nuestro anfibia.

## **A. DISEÑO DEL CHASIS**

El chasis fue diseñado pensando primordialmente en la flotación del vehículo y protección del recipiente de plástico, por lo que su forma principal fue pensada para adaptarse correctamente al recipiente de plástico, para que el chasis fuera quien soportara las cargas externas.

Lo primero fue la selección del recipiente de plástico, debido al volumen de agua que este tenía que desplazar, fue seleccionada una bañera de bebé fabricada por Guateplast.

---

<sup>18</sup> Figura obtenida de <http://www.mundoyomotor.com>

Luego se analizó la relación de la fuerza de flotación y el peso, además de las cargas aplicadas para seleccionar el perfil, donde se eligió el perfil cuadrado de acero estructural de 1 ½ pulgadas, ya que este tiene una buena relación de volumen - peso, además que nos brinda una amplia área superficial para trabajar.

Usando el software CAD Inventor se crearon los planos y los modelos en 3D, para la creación del vehículo, estos pueden ser encontrados en los anexos del trabajo.

En un primer diseño se había pensado colocar los motores dentro del recipiente de plástico, pero al analizarlo, por la altura de los ejes de los motores, se vio que el carro anfibia quedaría muy cercano al suelo, y como buscamos un vehículo todo terreno, se tomó la decisión de colocar los motores por debajo del chasis así elevando el mismo.

Luego este fue maquinado en el taller de máquinas y herramientas de la Universidad Del Valle de Guatemala, cortando las medidas necesarias del perfil seleccionado con una sierra portátil y luego uniéndolas por medio de soldadura eléctrica y realizando los agujeros correspondientes para unir los demás componentes al chasis.

Figura 14. Maquinado del chasis



## B. IMPERMEABILIZACIÓN DE MOTORES

1. Terrestres. Para la impermeabilización de los motores terrestres debido a que estaban por debajo del chasis se implementó una caja plástica a cada motor para impermeabilizarlo.

Se buscaron cajas herméticas de varias marcas con las dimensiones para introducir cada motor, luego de varias pruebas con cajas se determinó que no había ninguna completamente impermeable a la hora de sumergirla, por lo que se seleccionó la que dejaba entrar la menor cantidad de agua, y luego al ser implementada terminarla de sellar con silicón, colocándolo en la orilla de la tapadera.

Para el eje de salida se utilizó un retenedor de aceite que tiene la función de evitar que el aceite del motor no se fugue por el eje de salida, pero este caso es evitar que entre el agua a la caja del motor, para el funcionamiento correcto del retenedor se maquino un alojamiento de Acero 1020 Cold Rolled.

Figura 15: Retenedor de aceite



Luego de realizar las pruebas este no funciono adecuadamente por lo que dejaba pasar agua al interior de la caja de plástico del motor.

Por lo que se implementó un tubo PVC que va desde la caja de plástico, hasta el cojinete ubicado en el chasis, cubriendo adecuadamente el cojinete de grasa este evita que se entre el agua, con el único inconveniente que hay que verificar constantemente que el cojinete cuente con suficiente grasa, que fue lo que se observó en el club de vehículos anfibios de Guatemala.

2. Acuáticos. Para los motores acuáticos, debido a su forma cilíndrica fue construido un recipiente a la medida utilizando un tubo de PVC, y láminas del mismo material que fueron maquinadas a la medida para darle un recubrimiento completo sin que se le entrara el agua.

Para el eje de salida por su tamaño se decidió utilizar un oring de 1/8 pulgadas de diámetro interno, para impermeabilizarlo, el cual fue instalado en la tapadera de salida del eje, colocándole 2 placas de metal para sujetar el oring y asegurar la impermeabilización del motor.

Figura 16: Motor acuático y su oring



Figura 17: Esquema de colocación del oring

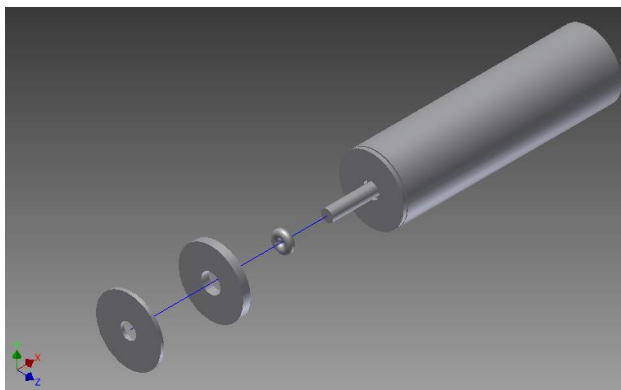


Figura 18: Motor acuático impermeabilizado.

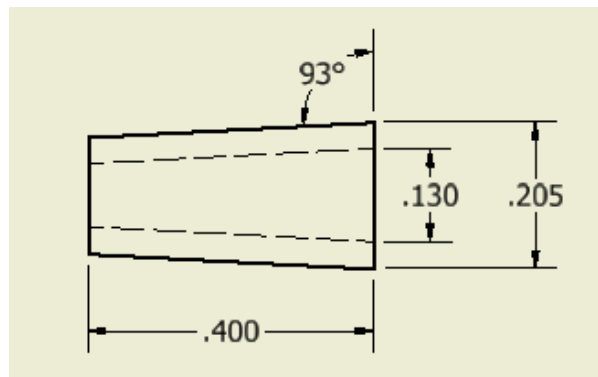


### C. DISEÑO DE PROPULSIÓN ACUÁTICA

En una primera instancia se seleccionó el motor Thruster Modelo 400HFS-L, que es un motor diseñado para submarinos exploradores, ya que este era un motor sumergible, fácil de instalar y con un gran aporte de empuje, pero debido a su alto costo fue descartado. Se buscaron alternativas más económicas para impulsar el vehículo anfibio. Para ello se ideó utilizar un motor DC, impermeabilizarlo y colocarle una propela.

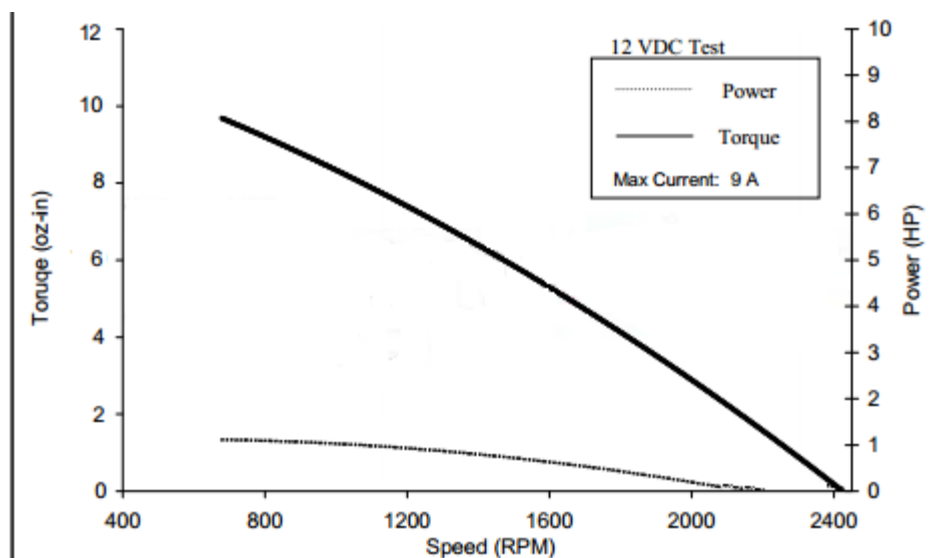
Finalmente se decidió utilizar una hélice de ventilación de un refrigerador. Para adaptarla al motor se diseñó un acople cónico, por su fácil instalación, alta transmisión de torque. Maquinado en el torno CNC de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 19: Plano de acople cónico



El motor fue seleccionado utilizando dos calculadores en línea para calcular la potencia y velocidad requerida del motor, utilizando la propela, para que el vehículo alcanzara la velocidad deseada, para ello se realizaron estimaciones y un proceso de reintegración, usando “Boat Calculator”<sup>19</sup> y “Static Thrust Calculator”<sup>20</sup> por lo que se determinó que era de 45 watts y 1,600 rpm y un torque de 5.8 oz·in, por lo que idealmente se debería utilizar el motor AmpFlow M27-150, debido a su curva de funcionamiento la cual nos garantiza un torque, velocidad y consumo de corriente ideal para la aplicación pero debido al presupuesto fue seleccionado el motor DC ARS-555 PM -6530, ya que cumplía con las características deseadas, pero el fabricante no proporciono la curva de funcionamiento.

Figura 20: Curva de funcionamiento del motor AmpFlow M27-150<sup>21</sup>



Para la dirección en el agua, se implementaron dos motores en la parte trasera colocados a 45° respecto a la división longitudinal del vehículo. Como se muestra en la siguiente figura

<sup>19</sup> Calculador en línea para botes

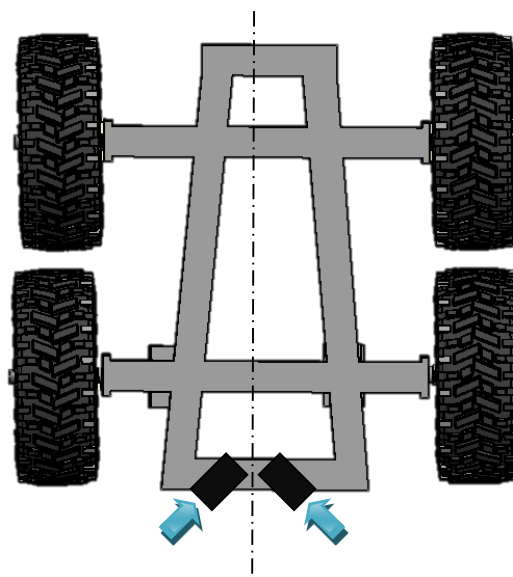
<http://www.radiocontrolinfo.com/RCcalculator/BoatCalculator.php#Brushless>

<sup>20</sup> Calculador en línea de empuje de propela

[http://personal.osi.hu/fuzesisz/strc\\_eng/index.htm](http://personal.osi.hu/fuzesisz/strc_eng/index.htm)

<sup>21</sup> Figura obtenida de la referencia 14

Figura 21: Esquema de la colocación de los motores acuáticos



Al encontrarse ubicados de esta forma al activar ambos motores las fuerzas que actúan horizontalmente se eliminarán, dejando únicamente las fuerzas que actúan verticalmente impulsando al carro anfíbio sobre el agua.

Y al activar cada una de los motores por separado, se genera un torque que hace rotar en la dirección contraria que es impulsada, aunque también sigue aplicando una fuerza que lo impulsa hacia adelante.

#### **D. CAMBIO DE PROPULSIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE**

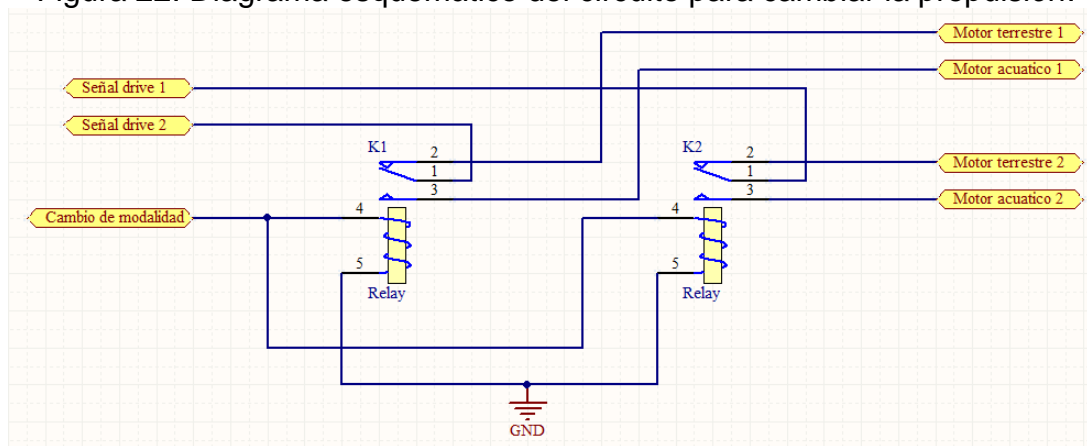
Debido a que el motor seleccionado para la propulsión acuática maneja el mismo voltaje que el terrestre, y por la capacidad de los drivers usados para la propulsión terrestre, se determinó que el mismo driver puede ser utilizado para controlar los motores de la propulsión acuática y terrestre, para ello se diseñó un circuito que direcciona dos señales de 12v por medio de una señal discreta de 5v, para poder así controlar los 2 motores acuáticos y los 2 motores terrestres, solo un par a la vez.

Teniendo la ventaja de economizar el peso del sistema, su costo y espacio físico ocupado, al realizar esto se tiene que no se pueden utilizar los dos modos

al mismo tiempo, sin embargo esto no presenta ningún inconveniente, porque cada modo de propulsión cumple en su terreno, y se puede realizar el cambio de modo fácil y veloz.

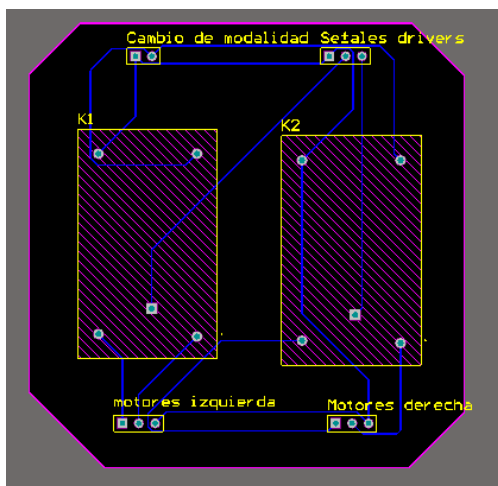
Se decidió realizar este circuito de cambio de modalidad por medio de un relé. Obteniendo el siguiente diagrama esquemático:

Figura 22: Diagrama esquemático del circuito para cambiar la propulsión.



De acuerdo al esquemático fue creada la placa del circuito, ambos realizados con la herramienta de software Altium designer.

Figura 23: Diseño de placa del circuito de cambio de modalidad.



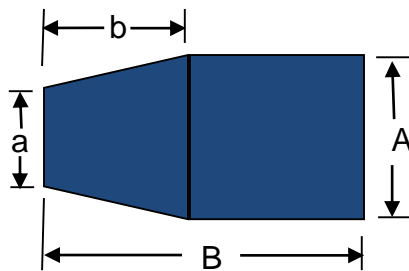
Por la sencillez del circuito, se pudo fabricar en una placa de cobre de un solo lado.

## VII. ANÁLISIS Y CÁLCULOS

### A. FLOTACIÓN

Para el cálculo de flotación utilizaremos la ecuación 2, para empezar calcularemos la flotabilidad que aportada el recipiente de plástico, la cual será aproximada por medio de dos figuras geométricas conocidas para simplificar el cálculo.

Figura 24: Aproximación geométrica del recipiente de plástico visto desde planta



Dónde:  $a = 0.17 \text{ m}$     $b = 0.26 \text{ m}$     $A = 0.29 \text{ m}$     $B = 0.58 \text{ m}$

Calculando el área del trapecio más la del cuadrado obtenemos el área total resultante que es de  $0.1526 \text{ m}^2$ . La altura total del recipiente es aproximadamente  $17 \text{ cm}$ , si suponemos que se hunde  $15 \text{ cm}$ , dejando  $2 \text{ cm}$  en caso de turbulencias en el agua y de seguridad para que no entre el agua, tenemos un volumen de agua desplazada de  $0.02289 \text{ m}^3$ .

Por lo que al utilizar la ecuación 2 obtenemos

$$\text{Fuerza de empuje} = \rho v g = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.02289 \text{ m}^3) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 224.55 \text{ N}$$

Que corresponde a un peso máximo de  $50.48 \text{ Lb}$ , por lo que no es suficiente para cumplir el objetivo de  $100 \text{ Lb}$  neta en flotación.

Al tomar en cuenta la flotación aportada por las llantas, se utilizó el principio de Arquímedes para determinar la flotación aportada, para ello se sumergió en un recipiente rectangular de 44 cm x 62 cm, en el cual la llanta desplazo 1.4 cm de agua. Utilizando la ecuación 2 de fuerza de empuje obtenemos

$$\text{Fuerza de empuje} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) [(0.44 \text{ m})(0.62 \text{ m})(0.014 \text{ m})] \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 37.46 \text{ N}$$

Tenemos que cada llanta aporta 8.4 libras de flotación, teniendo un aporte total de 33.6 Lb por las cuatro llantas.

Para ayudar al problema de flotación se calculó la relación entre el aporte de flotación y el peso del perfil.

Cuadro 2: Relación de flotación y peso de perfiles estructurales

Dimensiones pulgadas	Calibre	Peso por unidad Lb.	área transversal vacía en metros cuadrados	Volumen por unidad en metros cúbicos	fuerza de empuje generada en unidad newton	relación de fuerza sobre peso
<b>1/2 x 1/2</b>	18	5.293	0.000161	0.000968	9.49	1.79
<b>1/2 x 1/2</b>	20	7.058	0.000161	0.000968	9.49	1.35
<b>3/4 x 3/4</b>	20	9.273	0.000363	0.002177	21.36	2.30
<b>1 x 1</b>	16	15.27	0.000645	0.003871	37.97	2.49
<b>1 x 1</b>	14	20.26	0.000645	0.003871	37.97	1.87
<b>1 1/2 x 1 1/2</b>	14	30.22	0.001452	0.008710	85.44	2.83
<b>2 x 2</b>	14	40.77	0.002581	0.015484	151.90	3.73

Al seleccionar el tubo estructural cuadrado de 1½ pulgadas, nos da un empuje de 85.44 N por tubo de 6 metros de largo, y la estructura requiere aproximadamente 0.36 unidades, por lo que aporta 30.76 N, que equivale a 6.92 libras.

Y por último si tomamos en cuenta la flotación aportada por las cajas de los motores, las cajas son de 8 cm de alto, 21 cm de largo y 14 cm de ancho teniendo así un volumen de  $0.00235 \text{ m}^3$ . Utilizando nuevamente la ecuación 2:

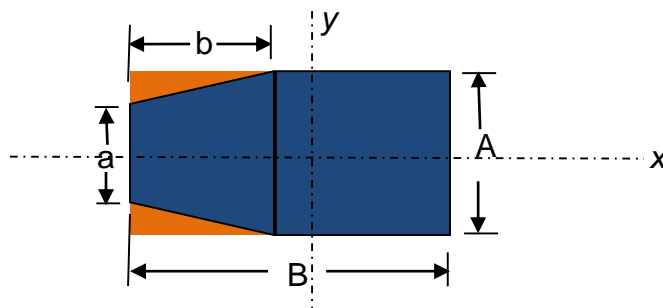
$$F = \rho v g = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.00235 \text{ m}^3) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 23.05 \text{ N} = 5.18 \text{ lb}$$

Como se utilizaron dos cajas para impermeabilizar cada motor, esto nos aporta el doble de flotación 10.36 Lb, al sumar todos estos aportes de flotación obtenemos que el empuje neto en el vehículo estando en el agua es de 101.36 Lb, sabiendo que nuestro vehículo pesa 52.1 Lb, la carga máxima del anfibio es 49.26 Lb.

## B. ESTABILIDAD ACUÁTICA

Para que el vehículo sea estable se debe calcular la altura metacéntrica. Para calcular esto se necesita saber el momento de inercia del área transversal a nivel del agua sobre el eje longitudinal del recipiente de plástico, para ello utilizaremos la aproximación que se encuentra en la siguiente figura.

Figura 25: Esquema de aproximación geométrica para la inercia



Dónde:  $a = 0.17 \text{ m}$     $b = 0.26 \text{ m}$     $A = 0.29 \text{ m}$     $B = 0.58 \text{ m}$

Para calcular la inercia respecto al eje x, se calculara la inercia como si fuera una sección rectangular perfecta, luego se le restara la inercia producida

por los dos triángulos que se forman como se puede observar en la Figura 24, y así tener únicamente la inercia del vehículo, representada por la geometría azul en la figura anterior.

Ecuación 8: Momento de área de sección rectangular

$$I = \frac{1}{12} \cdot B \cdot A^3 = \frac{1}{12} (0.58 \text{ m})(0.29 \text{ m})^3 = 1.179 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Para calcular el momento de inercia producido por cada triángulo, se calculara el momento de área de un triángulo rectángulo desde su base y se aplicara el teorema de ejes paralelos, obteniendo la Ecuación 9.

Ecuación 9: Momento de área de sección triangular desde el eje x

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot \left(\frac{A-a}{2}\right)^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \left(\frac{A-a}{2}\right) \cdot \left(\frac{A}{2}\right)^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 0.26 \cdot \left(\frac{0.29 - 0.17}{2}\right)^3 + \frac{1}{2} \cdot 0.26 \cdot \left(\frac{0.29 - 0.17}{2}\right) \cdot \left(\frac{0.29}{2}\right)^2 \\ &= 0.1687 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Por lo que al restarle la inercia de los dos triángulos al rectángulo nos da la inercia de la Figura 23 respecto al eje x, que es de  $0.8416 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

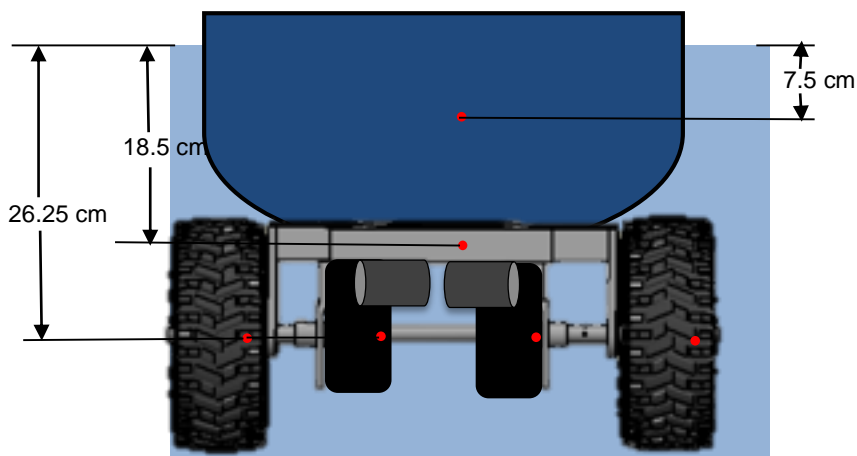
Sabiendo que la altura metacéntrica tiene que ser mayor a 0, se pude despejar la distancia entre el centro de gravedad y el centro de flotación, obteniendo la siguiente inecuación:

$$l < \frac{\rho I}{m} = \frac{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.8416 \times 10^{-3} \text{ m}^4)}{(45.45 \text{ kg})} = 0.0185 \text{ m}$$

Ya teniendo anteriormente las fuerzas de flotación aportada por cada elemento del vehículo, y sabiendo que esta fuerza es aplicada sobre el eje de

simetría de la sección transversal del volumen desplazado, con ayuda de la Figura 25 se armó el Cuadro 3.

Figura 26: Esquema de aplicación de las fuerzas de flotación



Cuadro 3: Relación de la fuerza de flotación y su punto de aplicación

Parte	Fuerza de flotación en libras	Fuerza de flotación en Newton	Punto de aplicación (cm)
Recipiente de plástico	50.48	224.55	-7.50
llantas	33.60	149.46	-26.25
cajas	10.36	46.08	-26.25
estructura	6.92	30.78	-18.50

Con ayuda de la Ecuación 1, se formuló la siguiente ecuación con la cual se obtuvo su centro de flotación. Donde  $F$  es la fuerza de flotación (N) y  $\bar{y}$  es la distancia vertical donde es aplicada la fuerza (cm).

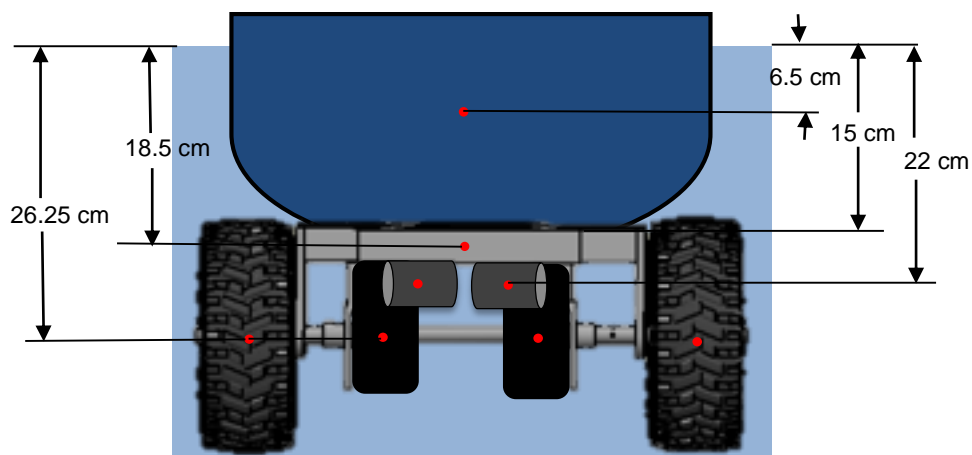
Ecuación 10: Centro de flotación del vehículo.

$$\begin{aligned} \text{Centro de flotacion} &= \frac{\sum(F * \bar{y})}{\sum F} \\ &= \frac{(224.55)(-7.50) + (149.46)(-26.25) + (46.08)(-26.25) + (30.78)(-18.50)}{224.55 + 149.46 + 46.08 + 30.78} \\ &= -16.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

Hay que tomar en cuenta que estos cálculos son para cuando el vehículo tiene su carga máxima. Debido a que el centro de flotación es de -16.38 cm, y la distancia máxima de separación calculada anteriormente es de 1.85 cm para que sea estable, el centro de gravedad de la estructura más la carga no debe superar los  $-16.38 \text{ cm} + 1.85 \text{ cm} = -14.53 \text{ cm}$  de altura.

Pesando cada uno de los componentes del vehículo con una báscula electrónica, y con ayuda del siguiente esquema se armó el Cuadro 4.

Figura 27: Esquema de centro de gravedad de cada componente



Cuadro 4: Relación de la masa y su punto de aplicación

Parte	Masa en libras	Masa en Kilogramos	Punto de aplicación (cm)
<b>Chasis</b>	11.8	5.36	-18.50
<b>Recipiente de plástico</b>	2.4	1.09	-6.50
<b>Motores terrestres</b>	4.8	2.18	-26.25
<b>Motores acuáticos</b>	2.2	1.00	-22.00
<b>Ejes</b>	8.7	3.95	-26.25
<b>Componentes electrónicos</b>	5.4	2.45	-12.00
<b>llantas</b>	16.8	7.64	-26.25

Con ayuda de la Ecuación 1, se formuló la siguiente ecuación con la cual se obtuvo su centro de flotación. Donde  $M$  es la masa (Kg) y  $\bar{y}$  es la distancia vertical donde está ubicada la masa (cm).

Ecuación 11: Centro de gravedad del vehículo.

$$\begin{aligned} \text{Centro de gravedad} &= \frac{\sum(M * \bar{y})}{\sum M} \\ &= \frac{(5.36)(-18.50) + (1.09)(-6.50) + (1)(-22) + (3.95)(-26.25) + (2.45)(-12) + (7.64)(-26.25)}{5.36 + 1.09 + 2.18 + 1 + 3.95 + 2.45 + 7.64} \\ &= -23.93 \text{ cm} \end{aligned}$$

Donde se obtuvo que el centro de gravedad del vehículo sin carga está ubicado en -23.93 cm, el cual puede cambiar al introducir la carga, para ello calcularemos cual es la altura máxima del centro de gravedad que puede tener la carga máxima de 49.26 Lb calculada anteriormente.

Al tomar la fórmula del centro de masa y despejándola para encontrar la altura máxima del centro de masa de la carga obtenemos:

Ecuación 12: Distancia máxima de la carga.

$$\begin{aligned} x &= \frac{G * PT - CM * PE}{FG} = \frac{(-14.53\text{cm})(101.36\text{Lb}) - (-23.93\text{cm})(52.1\text{Lb})}{(49.26\text{Lb})} \\ &= -4.59 \text{ cm} \end{aligned}$$

G: Centro de gravedad de la estructura más carga

PT: Peso del vehículo más carga

CM: Centro de gravedad de la estructura

PE: Peso del vehículo sin carga

FG: Peso de la carga.

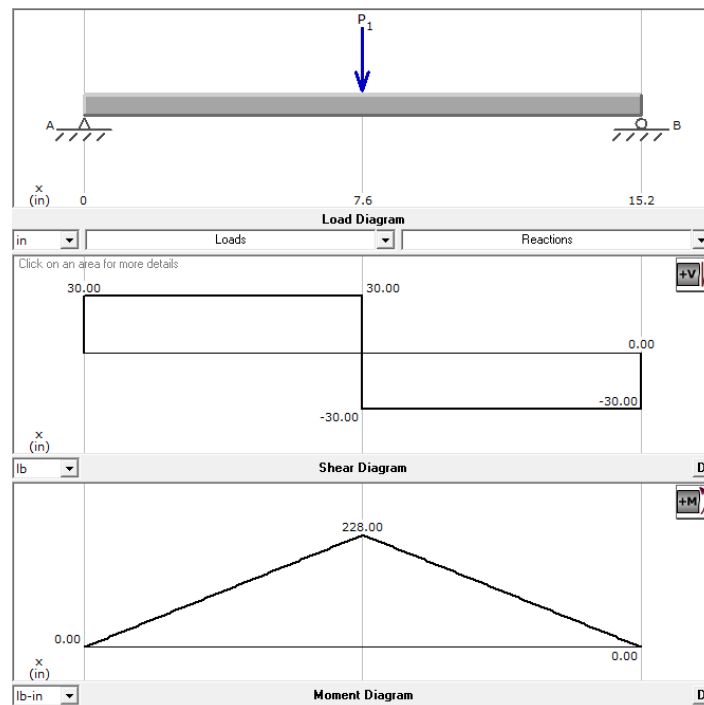
Al considerar que la base de la carga estará situada en el chasis a -15 cm, para cargas de densidad homogénea la altura máxima de la carga no puede superar los 20.82 cm

### C. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Al analizar podemos observar que la pieza más crítica en nuestra estructura es la pieza horizontal que da el soporte a las llantas, esto es debido a que es una de las piezas más largas.

Obtenemos los diagramas de fuerza cortante y momento utilizando el software MDsolid.

Figura 28: Diagrama de fuerza cortante y momento del vehículo.



Al conocer al esfuerzo de fluencia del material y el momento máximo, podemos encontrar el módulo de sección mínimo que necesitamos para que la estructura resista.

$$s = \frac{M}{\sigma_f} = \frac{228 \text{ Lb} \cdot \text{in}}{36000 \text{ psi}} = 0.00633 \text{ in}^3$$

Utilizando MDSolid para calcular los módulos de sección e inercia de los perfiles de acero estructural se obtuvo.

Cuadro 5: Inercia y módulos de sección de perfiles de acero estructural

Dimensiones pulgadas	espesor en Pulgadas	inercia (in <sup>4</sup> )	Módulo de sección s (in <sup>3</sup> )
1/2 x 1/2	0.035	0.0036	0.0126
1/2 x 1/2	0.047	0.0052	0.0174
3/4 x 3/4	0.035	0.0113	0.0279
3/4 x 3/4	0.047	0.0159	0.0377
1 x 1	0.059	0.0469	0.0838
1 x 1	0.079	0.0665	0.1149
1 1/2 x 1 1/2	0.079	0.2079	0.2507
2 x 2	0.079	0.4739	0.4392

Teniendo esto podemos calcular la deformación máxima que tendría nuestra pieza, para ello utilizaremos la ecuación de deformación máxima, de una viga con dos apoyos y una fuerza en su centro. [3]

Ecuación 13: Deformación máxima en viga.

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{(60 \text{ lb})(15.1 \text{ in})^3}{48(29000 \text{ ksi})(0.2079 \text{ in}^4)} = 0.712 \times 10^{-3} \text{ in}$$

## VIII. RESULTADOS

Al terminar de maquinar y ensamblar el vehículo anfíbio se obtuvo que sus características físicas fueron:

Cuadro 6: Características físicas del vehículo.

<b>Parámetro</b>	<b>Medición</b>
<i>Largo</i>	71.5 cm
<i>Ancho</i>	53 cm
<i>Altura</i>	40.5 cm
<i>Peso</i>	52.1 Lb
<i>Altura al chasis</i>	19 cm
<i>Diámetro de las llantas</i>	24.5 cm

Figura 29: Plano lateral del vehículo anfíbio

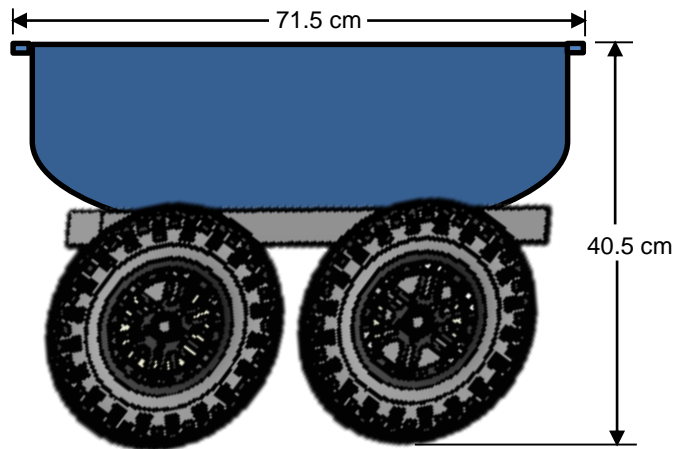
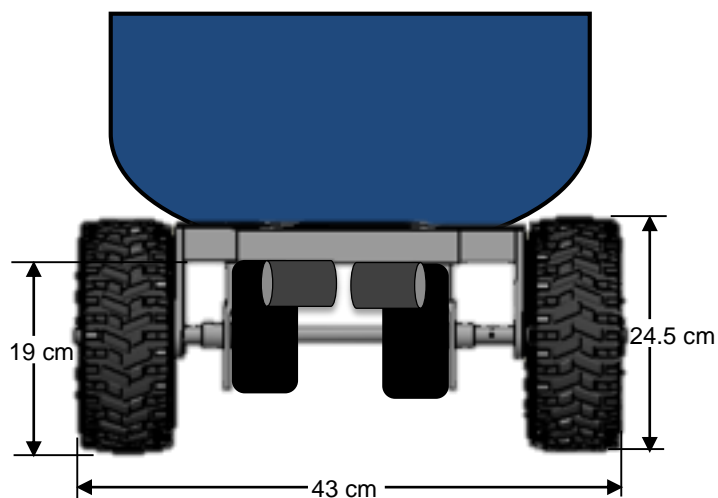


Figura 30: Plano vista trasera del vehículo anfibio



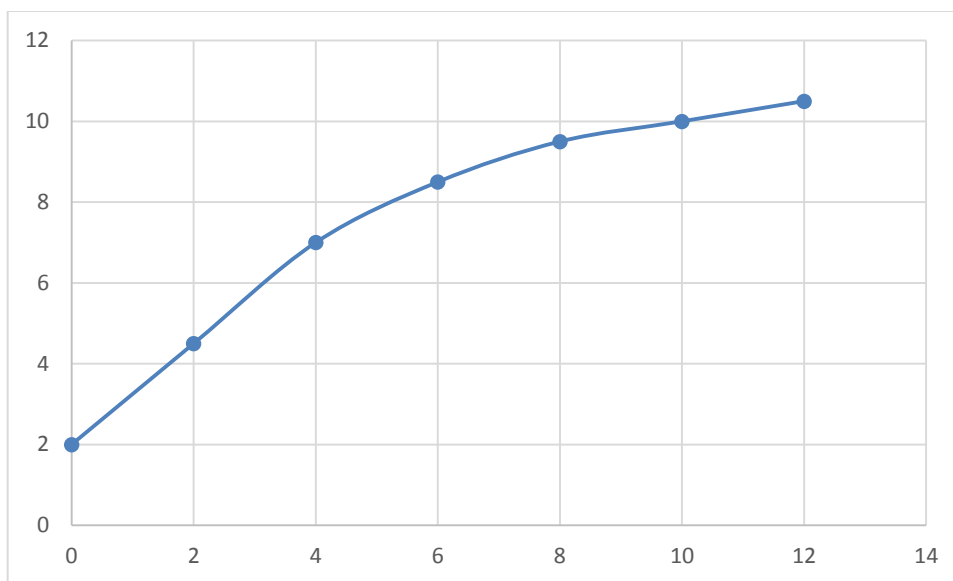
Se realizaron pruebas de flotación para ello, el vehículo fue sumergido, luego se le fue agregando peso de dos kilogramos a la vez, midiendo cuanto se hundía este, las medidas fueron tomadas desde la parte superior del chasis hasta la superficie.

Cuadro 7: Relación de carga y hundimiento.

**Peso de**   **Hundimiento**  
**carga (kg)**   **(cm)**

0	2
2	4.5
4	7
6	8.5
8	9.5
10	10
12	10.5

Figura 31: Gráfica de la relación de carga e hundimiento



Eje "x" es el peso y el eje "y" es el hundimiento.

Se realizaron pruebas de velocidad en el agua, para ello se midió un recorrido de un metro en el agua usando marcas en la orilla, y con un cronometro se tomó el tiempo que se tardaba haciendo el recorrido.

Cuadro 8: Velocidad del anfibio sobre el agua.

<i>recorrido</i>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>
1	15.2	3.95
2	16.4	3.66
<i>Promedio</i>	15.8	3.80

También se realizaron pruebas para medir la velocidad de cruce del vehículo sobre el agua, para ello se tomó el tiempo que el vehículo tardaba en dar un giro de 90°, que fue probado para el cruce de ambos lados.

Cuadro 9: Velocidad de giro sobre el agua lado derecho

<b><i>recorrido</i></b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (rad/s)</b>
1	22.5	0.0698
2	24.4	0.0644
3	25.9	0.0606
<i>Promedio</i>	24.3	0.0649

Cuadro 10: Velocidad de giro sobre el agua lado izquierdo

<b><i>Recorrido</i></b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (rad/s)</b>
1	28.4	0.0553
2	27.5	0.0571
3	26.1	0.0602
<i>Promedio</i>	27.3	0.0575

## IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se logró cumplir con el objetivo primordial de diseñar y construir un prototipo de vehículo anfibia, donde el peso total de vehículo es de 52.1 libras, bastante por debajo del peso límite.

Para las pruebas de giro según se ve en los Cuadros 8 y 9, se lleva más tiempo en girar  $90^\circ$  que recorrer un metro, esto es debido a que para girar el vehículo también avanza, al igual que cualquier vehículo acuático, sin embargo el vehículo puede girar para cualquiera de los lados sin inconveniente.

También se observa que exista una diferencia promedio de 3 segundos, entre el cruce de la derecha y el de la izquierda, esto fue producido por la existencia de un desalineamiento del motor de la izquierda, ya que este quedó en un ángulo menor de los  $45^\circ$ , haciendo que la fuerza aplicada para el giro fuera menor. Este desalineamiento también pudo ser observado en las pruebas de velocidad, donde el vehículo anfibia tendía a irse ligeramente hacia la derecha.

## X. CONCLUSIONES

1. Se logró crear un prototipo de vehículo anfibia, que fuera capaz de trasladarse en tierra y navegar en aguas tranquilas.
2. La velocidad máxima alcanzada en el agua por el vehículo anfibia es de 3.80 m/min
3. Se seleccionó un perfil cuadrado de acero estructural de 1 ½ pulgadas, para construir el chasis del vehículo anfibia.
4. Se impermeabilizaron los motores utilizados para la propulsión terrestre, utilizando cajas de plástico selladas con silicón, y para su eje de salida un cojinete engrasado adecuadamente.
5. Se impermeabilizaron los motores utilizados para la propulsión acuática, utilizando una estructura de PVC sella con silicón, y para eje fue utilizado un oring.
6. Para cambiar eléctricamente de propulsión acuática a propulsión terrestre fue implementado un circuito eléctrico a base de relés.

## XII. RECOMENDACIONES

- Utilizar llantas neumáticas grandes para aumentar la flotación del vehículo, ya que estas llantas aportan, por lo general, el doble de su peso como fuerza de flotación.
- Cada vez que se introduzca el vehículo al agua, revisar la grasa de los cojinetes, y los sellos hechos con silicón, en toda la estructura del vehículo anfibia, ya que estos fácilmente pueden fallar, e inundar el vehículo.
- Para la propulsión acuática se recomienda utilizar un motor Thruster Modelo 400HFS-L o algún otro similar, que esté diseñado para la impulsar submarinos pequeños de exploración, ya que nos darán una propulsión más estable, y su colocación y ensamble es más sencillo.
- Utilizar una propela para desplazar agua no aire.
- Para la impermeabilización de los motores terrestres diseñar un empaque de laberinto o un sistema de lubricación constante, porque debido al movimiento de las llantas la grasa de los cojinetes se va perdiendo constantemente.
- Para la propulsión acuática utilizar un motor AmpFlow M27-150 o algún otro que tenga una curva de funcionamiento similar, para asegurar el torque y la velocidad.

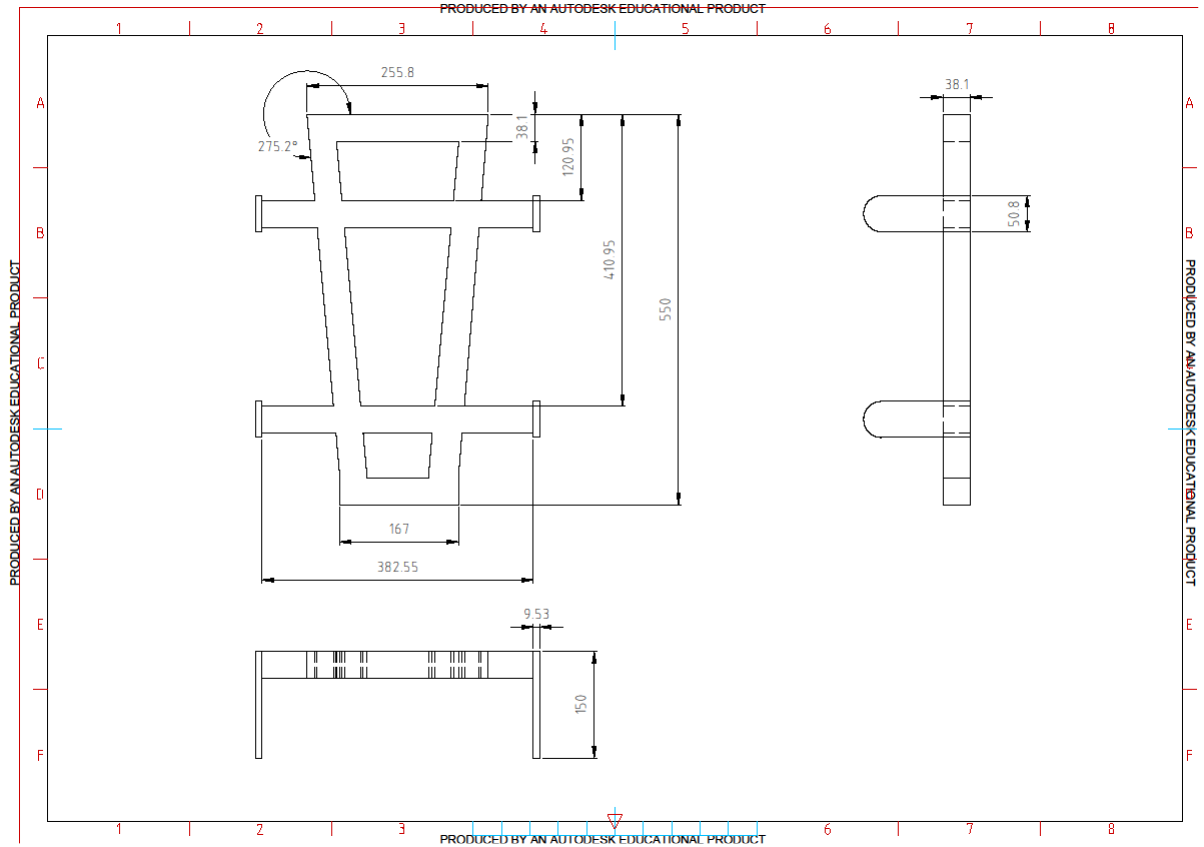
### XIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1.] Aceros de Guatemala. *Perfiles Intupersa AG*. [Online]  
<http://www.acerosdeguatemala.com/producto-nuevo/perfiles-intupersa-ag>
- [2.] Aguilar, J; Montejo, M; *Dispositivos electrónicos de potencia: Relés*  
[online] [http://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo\\_potencia/reles.htm](http://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/reles.htm)
- [3.] Beer, Ferdinand P.; Johnston, E. Russell Jr. (2010). *Mecánica de materiales*. México. 10ma edición. Mc Graw Hill.
- [4.] Cengel, Yunos A.; Cimbala, John, M. (2009). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. 2ª ed. México, D.F. McGraw-Hill. 956 págs.
- [5.] EFS Plásticos. *Compuestos de PVC*. [Online]  
<http://www.efsplasticos.cl/pag/compuesto-de-pvc.php>
- [6.] Elastim Maboring. *Sellador de Silicona* [Online]  
<http://www.elastim.com.br/site/adesivo-selante-silicone-rtv.php>
- [7.] Ferreyra, José. *Anfibios DUKW: historia y bibliografía* [Online].  
<http://www.anfibios-duk.8m.com/historia.htm>
- [8.] Global Sources. *DC motor Manufacturer* [online]  
<http://p.globalsources.com/IMAGES/PDT/SPEC/393/K1061556393.pdf>
- [9.] Goodno, Barry J. gere, James M. (2009). *Mecánica de materiales*. 7ma ed. México D.F. CENGAGE Learning. 1024 págs.
- [10.] Hernández, Carlos E. *El Transporte de Tropa Blindado Anfibio M-59*  
[Online]. <http://www.fav-club.com/favclub/el-transporte-de-tropa-blindado-anfibio-m-59-en-venezuela/>
- [11.] Mariano, Luis. (2009). *Amphicar: el anfibio civil más exitoso en la historia*  
[Online]  
<http://www.autosclasicosehistoricos.com/index.php/archivo/informe-tecnologia-orientacion/320-amphicar-el-anfibio-civil-mas-exitoso-en-la-historia.html>
- [12.] Mott, Robert L. (2004). *Diseño de elementos de máquinas*. 4a edición. Prentice Hall.

- [13.] Shames, Irving H. (1999). *Mecánica de fluidos*. 3ª ed. Colombia, D.F. McGraw-Hill. 827 págs.
- [14.] The robot market place. *AmpFlow M27-150 motor*. [Online].  
<http://www.robotmarketplace.com/products/0-M27-150.html>

# XIV. ANEXOS

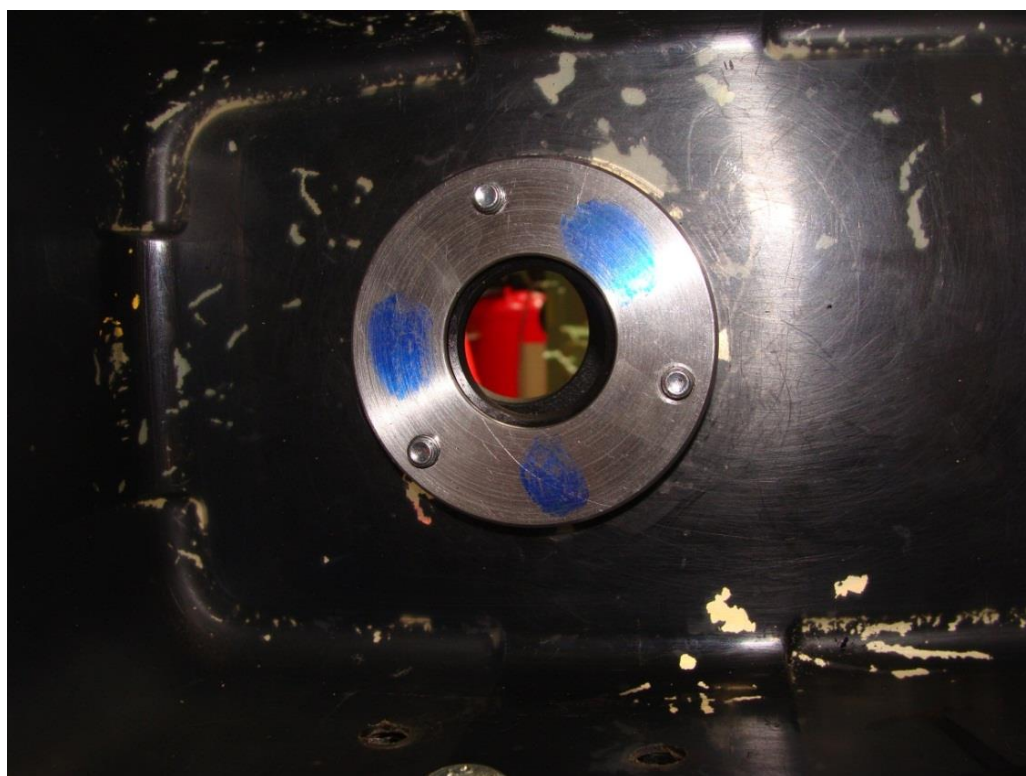
## Anexo 1: Planos de la estructura.



Anexo 2: Fotografía lateral izquierdo del vehículo anfíbio.



Anexo 3: Fotografía del sistema de retenedor y flansch.



Anexo 4: Fotografía isométrica del vehículo.



Anexo 5: Fotografía del vehículo anfibia navegando



Anexo 6: Fotografía de maquinación del vehículo.



## XV. GLOSARIO

### **Anfibio**

(Del lat. amphibĭus, y este del gr. ἀμφίβιος).

1. adj. Se dice del animal que puede vivir indistintamente en tierra o sumergido en el agua, y, por ext., de los que, como la rana y los sapos, han vivido en el agua cuando jóvenes por tener branquias, y en tierra cuando adultos, al perder dichos órganos adquiriendo pulmones. U. t. c. s. U. t. en sent. fig.

2. adj. Dicho de un vehículo, de un aparato o de una tropa militar: Que puede actuar tanto en el agua como en la tierra o en el aire.

### **Centroide**

1. f. Es el centro geométrico.

### **Driver**

1. f. Es un controlador que soporta la corriente necesaria para hacer funcionar los motores.

### **Inercia.**

(Del lat. inertĭa).

1. f. Mec. Propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza.

### **Metacentro**

1. s. *m*. En un cuerpo simétrico flotante, punto de intersección entre la vertical que pasa por el centro de gravedad y la que pasa por el nuevo centro de empuje al inclinarse el cuerpo.

**Oring**

1. f. Junta de forma toroidal, habitualmente de goma, cuya función es la de asegurar la estanqueidad de fluidos.

**Propela**

1. f. Conjunto de aletas helicoidales que giran alrededor de un eje y empujan el fluido ambiente produciendo en él una fuerza de reacción que se utiliza principalmente para la propulsión de barcos y aeronaves.

2. f. Hélice de propulsión.