

Diseño de sistema fotovoltaico para vehículo de recolección de residuos Design of a photovoltaic system for waste collection vehicle

C. R. Lascurain ^a, J. G. Leyva-Retureta ^{a,*}, F. Aldana-Franco ^a, E. J. Alvarez-Sánchez ^a, R. Aldana-Franco ^a

^a Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, 91000, Xalapa, Veracruz, México.

Resumen

Se propuso desarrollar un sistema de alimentación fotovoltaica para la recolección de residuos sólidos en superficies acuáticas. El análisis de antecedentes reveló que las baterías de ion litio son ideales debido a su alta densidad energética, control térmico y durabilidad. La fuente de alimentación del vehículo se construyó utilizando baterías de ion litio provenientes de laptops descompuestas, optimizadas con un controlador de carga para garantizar un almacenamiento estable de energía. Se implementó una estación de carga con paneles fotovoltaicos, configurada como sistema tipo isla con una segunda batería para contrarrestar condiciones climáticas adversas. Se aprovecharon las instalaciones de pruebas fotovoltaicas de la facultad de ingeniería para una funcionalidad didáctica. Experimentos con un prototipo de navegación simularon condiciones de trabajo, demostrando que la batería cumplió la meta de más de dos horas de autonomía.

Palabras Clave: Fotovoltaico, energía, batería, litio.

Abstract

A photovoltaic power supply system was proposed for solid waste collection on aquatic surfaces. Background analysis revealed that lithium-ion batteries are ideal due to their high energy density, thermal control, and durability. The vehicle's power source was constructed using lithium-ion batteries from decomposed laptops, optimized with a charge controller to ensure stable energy storage. A charging station with photovoltaic panels was implemented, configured as an island-type system with a second battery to counter adverse weather conditions. Facilities from the engineering faculty were utilized for didactic functionality in photovoltaic testing. Experiments with a navigation prototype simulated working conditions, demonstrating that the battery met the goal of over two hours of autonomy.

Keywords: Photovoltaic, energy, battery, lithium.

1. Introducción

A medida que la tecnología ha evolucionado, las agrupaciones humanas lo han hecho de igual forma. Resultando en expansiones urbanas que día con día generan enormes cantidades de residuos, de los cuales una gran cantidad terminan siendo arrojados a cuerpos acuáticos como lo son los ríos, lagos y lagunas, repercutiendo directamente en el medio ambiente y las formas de vida que lo habitan. Donde si bien en los últimos años se han llevado a cabo innumerables campañas de concientización que han logrado atenuar el problema, este aún persiste en gran medida para determinadas zonas y no parece tener una solución temprana por medio de la acción humana.

Los robots dedicados a la recolección de residuos han aparecido como una alternativa que promete ser una solución

para tal problema, dentro de los cuales existe una categoría para aquellos que requieren la mínima o nula supervisión humana, denominados como robots autónomos (Vázquez-Lucero et al., 2022). Para los cuales es esencial contar con suministro de energía que les permita desplazarse libremente y abastecer a los sistemas por periodos de tiempo considerables.

A partir de este último punto se abre una ventana para la investigación referente a suministros de energía que brinden las condiciones óptimas para el funcionamiento de tales sistemas. En donde otra de las tecnologías con mayores avances en los últimos años tiene cabida y es la implementación de sistemas de generación de energía renovable, concretamente la energía solar fotovoltaica que ha demostrado ser una de las más versátiles y que mejores resultados ha dado en todo tipo de proyectos.

*Autor para la correspondencia: guleyva@uv.mx

Correo electrónico: zs18011956@estudiantes.uv.mx (Carlos Rafael Lascurain), guleyva@uv.mx (José Gustavo Leyva-Retureta), faldana@uv.mx (Fernando Aldana-Franco), eralvarez@uv.mx (Ervin Jesús Alvarez-Sánchez), raldana@uv.mx (Rosario Aldana-Franco).

2. Trabajos precedentes

En la búsqueda continua por mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones contaminantes, la industria del transporte ha experimentado una notable evolución en el desarrollo de vehículos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. En este contexto, dos tendencias destacan por su relevancia y potencial transformador: los vehículos de superficie con propulsión eléctrica y aquellos que optan por propulsiones alternativas. A continuación, se describirán algunos de los trabajos relacionados con estas temáticas.

2.1. Vehículos de superficie con propulsión eléctrica

Los primeros vehículos de superficie no tripulados (USV) datan de los años noventa. De los cuales, el primero de ellos en 1996 llevo el nombre de ASC Artemis y no era más que un prototipo de embarcación de superficie autónomo, por sus siglas en inglés autonomous surface craft (ASC). Este primer prototipo de embarcación no tripulada fue diseñado con el fin de recolectar datos batimétricos que refieren al estudio de las profundidades marinas. En el apartado de la carga eléctrica, esta era efectuada a partir de dos celdas de baterías de gel acido de 12 V cada una con una capacidad de 26 Ah respectivamente. Una de ellas se encargaba de suministrar energía a los controladores y sensores electrónicos mientras que la otra se encargaba de energizar el motor de propulsión (Rodríguez-Ortiz, 1996).

La unidad modular autónoma de superficie marina o también conocida como SESAMO por sus siglas en inglés fue en esencia un prototipo de USV desarrollado por un grupo de instituciones italianas en 2004 entre las que se encontraban el consejo nacional de la investigación, el instituto de estudio de sistemas inteligentes por automatización, Genoa Branch y el instituto de las dinámicas en procesos ambientales. El objetivo principal de este robot era el de recolectar información acerca de la interfaz de aire en el mar para su estudio de manera automática. Donde la fuente de alimentación se trataba de un set de cuatro baterías de plomo-acido de 12 V a una capacidad de 42 Ah a las que se les implemento un arreglo de paneles solares que incrementaban la autonomía del sistema, permitiendo así jornadas de hasta 6 horas (Caccia et al., 2005).

El Swordfish o en español pez espada es un modelo de un vehículo de superficie no tripulado diseñado por el laboratorio de tecnología y sistemas bajo el agua (USTL) de la universidad de Porto en Portugal en el año 2007.

El principal objetivo de este prototipo era el de formar parte de una red interconectada compuesta por diferentes vehículos no tripulados automatizados que recolectaban y transmitían información de reconocimiento y posicionamiento marino. Este era alimentado por un banco de cuatro baterías AMG de 12 V y 56 Ah cada una, conectadas en paralelo para dar una capacidad total de 224 Ah y conectadas a su vez a un elevador de voltaje DC/DC para alcanzar los 48 V requeridos por los propulsores, logrando así una autonomía de hasta 6 horas (Ferreira et al., 2007).

2.2. Vehículos con Propulsión alternativa

Tanto el ASC Artemis como el ASC ACES son parte de una primera línea de prototipos de experimentación, efectuados por el departamento de ingeniería oceánica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y aunque el desarrollo de este segundo modelo comenzó unos años antes que Artemis en 1993, no fue hasta 1997 que se llevaron a cabo las primeras pruebas de puesta en operación del ASC ACES. Que debido a las limitaciones estructurales una propulsión puramente eléctrica se habría encontrado con la problemática principal del peso, esto debido a que las baterías de tipo gel acido o bien plomo acido como las utilizadas en estas épocas eran tres veces más pesadas que las baterías de litio de hoy en día para la misma carga eléctrica. Es por ello que se decidió implementar un motor de gasolina de 3.3 hp, que a su vez era alimentado por un tanque contenedor de 50 lb de combustible (Manley, 1997).

El Waveglider es un vehículo de superficie marina no tripulado diseñado y elaborado a mediados de 2007 en la isla de Hawái, cuyo principal objetivo era el de recolectar y enviar datos oceanográficos, climáticos, de investigación y de observación en tiempo real para su uso en diferentes estudios relacionados con el cuidado del medio ambiente y cambios climatológicos que afectaban directamente a la población. Donde debido a que este era un vehículo de tamaño reducido en comparación con otros modelos, su principal carga que es la fuente de alimentación no podía ser excesiva en cuanto al peso, pues esto habría provocado el hundimiento inmediato del navío, sin embargo, al tratarse de un modelo especialmente diseñado para trabajar bajo las inestables condiciones marítimas era de suma importancia contar con una propulsión eficaz sin exceder los límites anteriormente mencionados. Es por ello por lo que se terminó utilizando la fuerza de empuje de las olas para efectuar una propulsión de movimiento horizontal, mediante una plataforma sumergible unida al vehículo por un cable que transmitía las fuerzas de tensión al subir y bajar del oleaje (Hine y McGillivray, 2007).

3. Banco de baterías

Con la finalidad de realizar un cálculo correcto de la carga eléctrica que requerirá el sistema de recolección de residuos, lo primero que se necesita conocer son cada uno de los componentes eléctricos a utilizar y su consumo energético expresado en Wh. Estos van desde sensores, módulos, servomotores, relevadores y placa de desarrollo Arduino hasta los motores de propulsión, ver Tabla 1.

Para seleccionar el tipo de baterías a utilizar, se deben de tomar en cuenta los antecedentes de diseño en esta clase de vehículos, así como las nuevas tecnologías en el mercado. Un ejemplo de esto son los primeros modelos de vehículos de superficie no tripulados, los cuales utilizaban baterías de plomo o gel acido que incrementaban en exceso el peso de los navíos dificultando su movilidad y flotabilidad, del mismo modo en el que su eficiencia energética disminuía considerablemente con cada ciclo de carga y descarga.

Hoy en día el tipo de baterías predilectas para alimentar autos, drones y todo tipo de vehículos eléctricos, son las elaboradas a partir de ion litio, debido a su alta eficiencia, bajo peso, control térmico y capacidad de almacenamiento de energía (Pakdel et al., 2022).

Tabla 1: Cálculo energético del sistema

Componente	Pot. (W)	Cantidad	Pot. total (W)	Tiempo de uso (h)	Energía (Wh)
Sensor RFID	0.0858	4	0.3432	2	0.6864
Sensor ultrasónico	0.075	4	0.3	2	0.6
Sensor infrarrojo	0.215	4	0.86	2	1.72
Sensor de impacto	0.05	4	0.2	2	0.4
Magnetómetro	0.005	1	0.005	2	0.01
Servomotor	0.72	2	1.4400	2	2.88
Relevador SSD	-----	1	-----	2	-----
Placa Arduino	6	1	6	2	6
Módulo de radiofrecuencia	0.1188	1	0.1188	2	0.2376
Propulsor	156	2	312	2	624
Total					624.534

Con base en la autonomía planteada y a la carga eléctrica total de los componentes del sistema, se propone un arreglo de 3 baterías en serie para un voltaje nominal de 12 V que coincide con el voltaje de alimentación de cada uno de los componentes elegidos y alrededor de 24 baterías en paralelo para suministrar 54 Ah que representan la capacidad requerida por el sistema dejando un factor de expansión del 5% para el caso de cargas no contempladas.

4. Sistema fotovoltaico

El siguiente paso es definir qué tipo de sistema se planea utilizar para este proyecto, ya sea tipo isla o tipo interconectado. Para ello se han evaluado distintos aspectos a considerar como podría ser la factibilidad y disponibilidad de uso, en donde es importante señalar que al tratarse de un primer prototipo se ha decidido tener una estación de carga ubicada en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Se eligió este lugar debido a la cercanía que tiene con la ubicación en donde se planea poner en marcha el vehículo y está completamente resguardado de agentes externos, además de que el prototipo de navío puede llevar a cabo recargas con una mayor supervisión y control.

Otra ventaja es que la institución ya cuenta con una instalación de pruebas fotovoltaicas tipo isla con dos paneles solares de 180 W cada uno (ver Figura 1) y dos baterías de ciclo profundo. Por lo que se utilizara el material y equipo disponible en la universidad para completar este proyecto al mismo tiempo que se le aplicara un mantenimiento correctivo a la instalación ya existente para mejorar su uso didáctico (Pelayo, 2016).

Por otro lado, al tratarse de un sistema tipo isla, las instalaciones cuentan con dos baterías de ciclo profundo de plomo ácido. Lamentablemente, estas se encuentran en un estado avanzado de deterioro que les impide retener carga alguna, es por ello por lo que se ha decidido crear un arreglo de baterías de litio con las especificaciones requeridas para este proyecto.



Figura 1: Paneles fotovoltaicos de la Facultad de Ingeniería.

Dicho banco de baterías se ha calculado para una energía requerida de 643 Wh al día, un margen de un día extra de autonomía para prevenir condiciones climatológicas desfavorables en la producción de energía fotovoltaica, una eficiencia promedio de las celdas de litio del 96% obtenida al momento de comprobar el estado de las baterías, un voltaje de operación de 12 V, un factor de uso de 0.5 y un factor de incremento de 1.05.

Una vez conocido el valor del almacenamiento que requiere el sistema fotovoltaico tipo isla que suministrara energía al banco de baterías instaurado en el navío, se ha diseñado un arreglo de celdas de litio siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para elaborar este último. Donde para adaptarse a las condiciones anteriormente calculadas, se han colocado 3 paquetes de baterías en serie que igualan los 12 V que requiere el sistema, al mismo tiempo que cada paquete cuenta con 48 celdas en serie para cubrir los 106 Ah necesarios.

5. Pruebas de rendimiento

Otro punto importante a analizar en este proyecto, es la fiabilidad de las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio en donde se pusieron en funcionamiento ambos propulsores dentro de una cubeta con agua detenidos por soportes inmóviles por media hora, monitoreando la carga de la batería en función del tiempo con ayuda de la aplicación bluetooth del módulo BMS y dos multímetros colocados en paralelo y en serie dentro del circuito para medir la carga de voltaje y amperaje real dentro del sistema.

Todo esto puesto en contraste con la implementación del vehículo en un ambiente con condiciones de operación realistas. Es por ello por lo que se ha decidido diseñar un prototipo de USV similar al que se terminara usando al final de este proyecto, pero de menor tamaño y con una estructura más simple.

El prototipo de pruebas, mostrado en la Figura 2, se ha elaborado a partir de dos botellas de plástico de 2.5 L y un contenedor a prueba de agua con dimensiones similares a las de la batería (0.23 m x 0.14 m x 0.06 m), al cual se le han instalado ambos propulsores en su parte posterior e introducido los controladores, sistemas eléctricos y la fuente de alimentación, con un peso total de 5 kg, el cual no se tomara en consideración puesto que se trata de un cuerpo flotante y este parámetro no influye en el arrastre.



Figura 2: Prototipo para pruebas de descarga.

Estas últimas pruebas se han realizado en intervalos de 30 minutos para poder diferenciar los consumos energéticos con carga de arrastre, sin carga y en laboratorio. Para ello, se puso en funcionamiento el prototipo dando vueltas pronunciadas en un radio de 2 m en una alberca con el tiempo y condiciones anteriormente establecidas para cada una de las velocidades analizadas en las anteriores pruebas. Monitoreando la carga de la batería en función del tiempo mediante el sistema bluetooth que tiene incorporado el control de carga BMS y recargando por completo la batería para cada prueba.

Para dar mayor certeza al rendimiento de la batería bajo condiciones de operación realistas, se han hecho pruebas añadiendo una carga de arrastre atada a la parte posterior del vehículo a una distancia de 0.2 m. Que para efectos prácticos esta se simplificará como un prisma rectangular de 0.30 m x 0.25 m x 0.15 m con una resistencia equivalente a la proporcionada por una cantidad de residuos en el peor escenario posible, es decir, contemplando una completa obstrucción del flujo mediante una cara plana perpendicular al movimiento.

La primera prueba con velocidad de 0.5 m/s de acuerdo con la distancia recorrida en el tiempo cronometrado para transportar solo la estructura del barco bajo las condiciones anteriormente establecidas, arrojó resultados iguales a los del laboratorio para el rendimiento de la carga mostrados en la Figura 3.

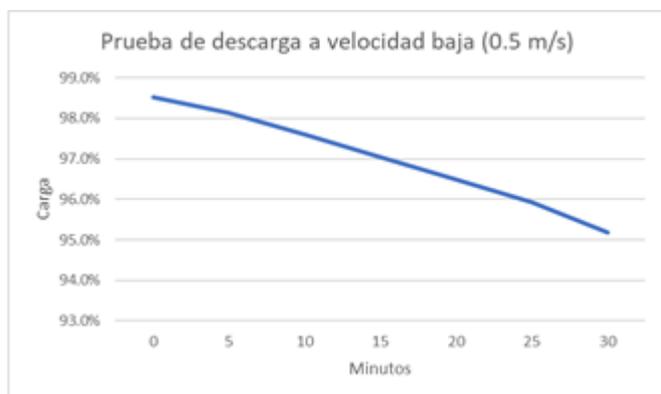


Figura 3: Prueba de descarga a velocidad baja.

La segunda prueba bajo las mismas condiciones, pero con la carga de arrastre de las dimensiones anteriormente descritas arrojó resultados similares a los de la primera (ver Figura 4),

pero con un leve aumento en la potencia consumida, sin llegar a ser un problema para el rendimiento de la batería.

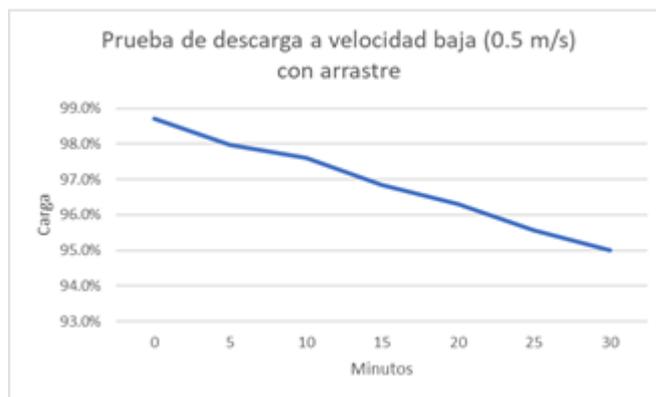


Figura 4: Prueba de descarga a velocidad baja con carga.

Para una velocidad de 2 m/s sin carga de arrastre se dieron resultados parecidos a los de las pruebas en laboratorio, mostrados en la Figura 5.

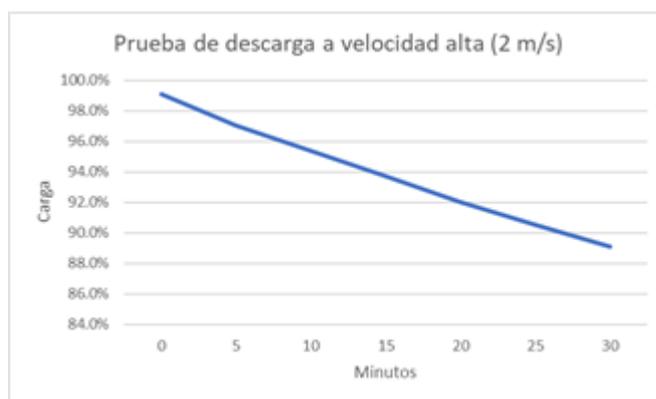


Figura 5: Prueba de descarga a velocidad alta.

En la última prueba se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 6, los cuales presentan un mayor contraste a los esperados, puesto que, al agregar la carga de arrastre para una velocidad de operación alta, el consumo energético del sistema aumenta significativamente, llegando a alcanzar los 13.4 A y reduciendo la carga en un 20%.

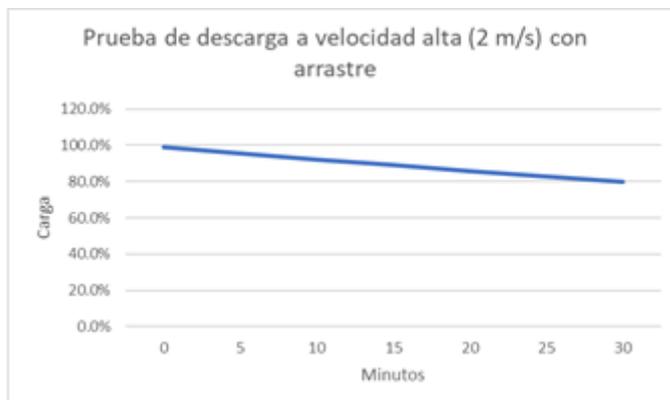


Figura 6: Prueba de descarga a velocidad alta con carga.

Donde el aumento en el consumo esta explicado por la fuerza de arrastre (F_a) expresada en (1), donde C_D es un factor de arrastre obtenido a partir del número de Reynolds y de

tablas ya establecidas para ciertos cuerpos, φ es la densidad del medio, V es la velocidad y A_D es el área del objeto que presenta resistencia con el medio (Cengel & Cimbala, 2006).

$$F_a = \frac{1}{2} C_D \varphi V^2 A_D. \quad (1)$$

Al realizar un análisis de fuerzas y reacciones en el sistema, se puede obtener un diagrama como el mostrado en la Figura 7.

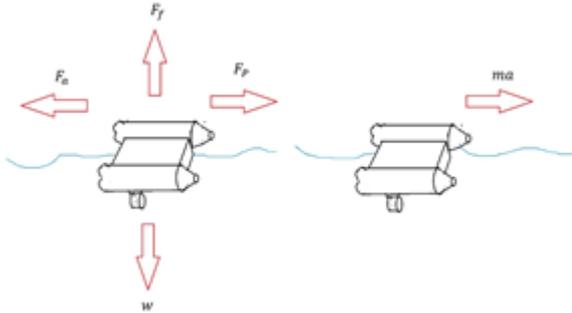


Figura 7: Análisis de fuerzas y reacciones.

Donde F_f es la fuerza de flotabilidad, F_p es la fuerza de propulsión, F_a es la fuerza de arrastre, w es el peso total, m es la masa del sistema y a es la aceleración total.

Si se realiza una sumatoria de fuerzas horizontales, considerando la dirección positiva hacia la derecha, se obtiene (2).

$$\begin{aligned} F_p - F_a &= ma, \\ \frac{W}{V} - \frac{1}{2} C_D \varphi V^2 A_D &= ma, \end{aligned} \quad (2)$$

donde W es la potencia consumida.

Para el experimento que se maneja en este artículo, se considera que la velocidad es constante, por lo que la ecuación (2) carecería de aceleración y se reescribe como se indica en (3), lo cual nos permite conocer el coeficiente de arrastre.

$$\begin{aligned} \frac{W}{V} - \frac{1}{2} C_D \varphi V^2 A_D &= 0, \\ C_D &= \frac{2W}{\varphi V^3 A_D}. \end{aligned} \quad (3)$$

Considerando que el medio es agua se tendría $\varphi = 997 \text{ kg/m}^3$ y que el área de diseño de la cara frontal del vehículo en contacto con el agua es de aproximadamente $A_D = 0.022 \text{ m}^2$, se puede calcular el coeficiente de arrastre utilizando cada velocidad tomada en las pruebas. El resultado se muestra en la Figura 8.

Ahora, para calcular el factor de arrastre del prototipo en conjunto con la carga añadida se sumarán las áreas en contacto con el fluido de ambos, siendo la de esta última un aproximado de 0.075 m^2 , obteniéndose lo mostrado en la Figura 9. Se observa como al aumentar el área superficial de la cara frontal, el coeficiente de arrastre decrece significativamente. Esto debido a que, para todas las gráficas de arrastre existentes, este valor es inversamente proporcional al número de Reynolds el cual es directamente proporcional a la longitud del cuerpo y a la velocidad, e inversamente proporcional a la viscosidad cinemática del medio por el que se transporta el cuerpo.

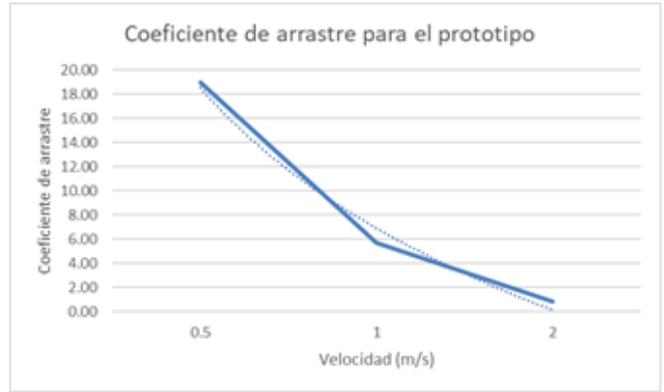


Figura 8: Coeficiente de arrastre para el prototipo.

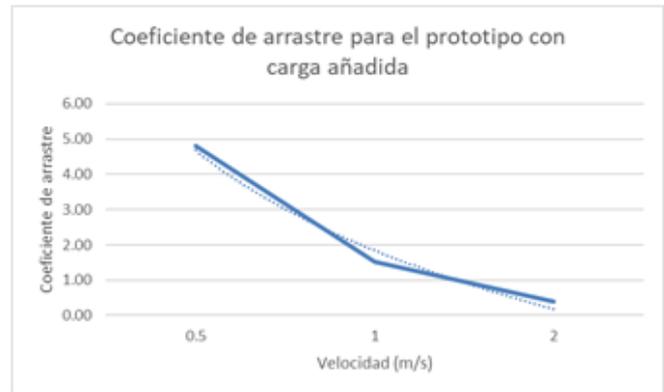


Figura 9: Coeficiente de arrastre para el prototipo con carga añadida.

Por lo que un aumento considerable de la velocidad supone un incremento en la resistencia de arrastre si el diseño del vehículo no cuenta con la geometría de diseño adecuada. Al mismo tiempo que esto implica un mayor consumo energético.

Los anteriores cálculos han sido realizados para dar certeza del correcto funcionamiento del navío al final de este proyecto, lo cual se ha comprobado con éxito de acuerdo con las pruebas. Sin embargo, este último análisis se ha llevado a cabo en una versión simplificada de todas las variables a considerar para un ambiente de trabajo realista, con el fin de aterrizar una idea práctica del funcionamiento.

Con base en lo anterior, una vez que se ha estimado de manera experimental el coeficiente de arrastre, se abre una ventana para futuras investigaciones en las que se evalúen los aspectos que no han sido considerados en este artículo. Tal es el caso de contemplar una aceleración promedio como se muestra en (4)

$$a = \frac{V_f - V}{\Delta t}. \quad (5)$$

Y sustituyendo en (2), podemos obtener una expresión que indique la potencia consumida en función de la velocidad, como se muestra en (6).

$$\frac{1}{\Delta t} mV(V_f - V) + \frac{1}{2} C_D \varphi V^3 A_D = W. \quad (6)$$

Como se observa, al entrar en juego las variables de la diferencia de velocidades se tendría un aumento proporcional al consumo energético, además, el tiempo en el que ocurre este cambio de velocidades y la masa que también se toma como una variable, ya que aumenta a medida que se recolectan residuos.

Lo plasmado en (6), al depender de la variable del tiempo, no implica un consumo de energía lineal que afecte la autonomía de la batería, sino que analiza la transición energética que ocurre al existir un cambio de velocidades. Y dado que en este proyecto se plantea hacer uso de velocidades relativamente bajas para evitar colisiones y con cambios entre estas de apenas unas décimas para periodos de tiempo de tan solo unos segundos, se optó por utilizar su versión simplificada. No obstante, la Figura 10 ejemplifica este último concepto por si se desea continuar con las investigaciones en un futuro.

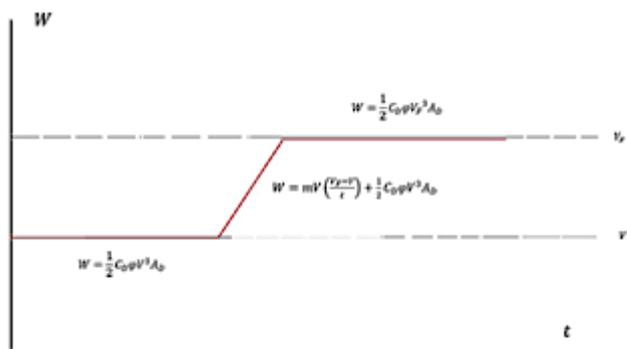


Figura 10: Comportamiento energético de la batería al existir aceleraciones.

6. Conclusiones

En conclusión, se lograron alcanzar los objetivos planteados al inicio de este proyecto. Empezando por la realización de un análisis completo a los sistemas de navegación no tripulados, aprovechando ideas anteriormente propuestas y complementándolas con nuevas implementaciones que mejoraron significativamente aquellos aspectos en los que los primeros pioneros se encontraron con dificultades técnicas, tal es el caso de los excedentes de peso en los vehículos, la falta de monitoreo y prevención ante el sobrecalentamiento de los sistemas, un aumento en la autonomía y un aprovechamiento más consistente de las energías renovables.

Por último, cabe resaltar que han quedado abiertas oportunidades de investigación, puesto que no ha sido posible abarcar cada uno de los aspectos propuestos para la realización de este proyecto que podrían ser de gran interés respecto a los nuevos avances tecnológicos, como lo puede ser la implementación de una estación de carga autónoma con un retorno por radiofrecuencia o la obtención de datos variados, entre otros.

Referencias

- Caccia, M., Bono, R., Bruzzone, G., Bruzzone, G., Spirandelli, E., Veruggio, G., Stortini, A. M., y Capodaglio, G. (2005). Sampling sea surfaces with SESAMO: An autonomous craft for the study of sea-air interactions. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 12(3), 95–105. <https://doi.org/10.1109/MRA.2005.1511873>
- Cengel, Y. A., y Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos* (1a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Ferreira, H., Martins, R., Marques, E., Pinto, J., Martins, A., Almeida, J., Sousa, J., & Silva, E. P. (2007). SWORDFISH: An autonomous surface vehicle for network centric operations. *OCEANS 2007 - Europe*. <https://doi.org/10.1109/oceans.2007.4302467>
- Hine, R., y McGillivray, P. A. (2007). Wave-powered autonomous surface vessels as components of ocean observing systems. <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp.html>
- Manley, J. E. (1997). Development of the autonomous surface craft “ACES”. *Oceans '97. MTS/IEEE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1997.624102>
- Pakdel, R., Yavarinasab, M., Zibad, M. R., y Almohaddesn, M. R. (2022). Design and Implementation of Lithium Battery Management System for Electric Vehicles. *2022 9th Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, ICREDG 2022*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICREDG54199.2022.9804549>
- Pelayo, M. H. (2016). Diseño de una estructura soporte para un módulo integrado de placa fotovoltaica [Tesis de Master]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodriguez-Ortiz, C. D. (1996). Automated Bathymetry Mapping Using an Autonomous Surface Craft [Tesis de Master]. Massachusetts Institute of Technology
- Vázquez-Lucero, D., Luna-Taylor, E., Santillán, I, y Higuera, C. (2022). Robot móvil autónomo con reconocimiento y navegación hacia botellas de plástico. *Pádi Vol. 10, No. Especial 4 (2022)* 100-109. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial4.9268>.