



# Sistema Robótico de Identificación Contención y Retiro de Hidrocarburos en el Mar Peruano

PNIPA-PES-SIA-2022-00266

Informe de diseño de vehículo marino no tripulado

Lima, Julio del 2022

**Resumen:** La solución propuesta en el subproyecto consiste en el empleo de un Vehículo Acuático No Tripulado (USV) y un drone aéreo con sus respectivos módulos de sensores y actuadores para la identificación, contención y retiro de hidrocarburos. El presente documento explicará el diseño y selección de componentes del USV, cuya función principal será la contención y retiro de hidrocarburos empleando un arreglo de boyas y desnatador de aceite respectivamente. Se detallan los diseños trabajados por el equipo técnico del subproyecto para el desarrollo de la solución y las consideraciones tomadas en cuenta para la selección de los componentes más importantes del sistema robótico.

**Objetivo:** El objetivo de este informe técnico es presentar el diseño desarrollado acerca del diseño vehículo marino no tripulado, el cual forma parte de uno de los entregables del hito 1 del proyecto PNIPA-PES-SIA-2022-00266 - "Sistema Robótico de Identificación Contención y Retiro de Hidrocarburos en el Mar Peruano".

**Alcance:** El informe técnico aborda el análisis de la problemática, la definición de los objetivos y consideraciones para el vehículo marino no tripulado, la propuesta de sistema robótico y diseño de ingeniería.

**Fecha de Creación:** 02/09/2022

**Fecha de Actualización:** 02/09/2022

**Disclaimer:**

Este documento es propiedad de Tumi Robotics, con carácter reservado para uso exclusivo dentro los proyectos, no pudiéndose usar o proporcionar a terceros, constituyendo falta grave el uso no autorizado o la entrega a terceros de esta información, además de la responsabilidad penal subyacente.



## Historial de Versiones

Versión	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Descripción
1.1	06/09/2022	Diego Arce Jose Jara Jorge Ramirez		
				I

## Índice

Historial de Versiones	3
Glosario de términos	4
1. 6	
2. ¡Error! Marcador no definido.	
3. ¡Error! Marcador no definido.	
4. ¡Error! Marcador no definido.	
5. ¡Error! Marcador no definido.	
6. ¡Error! Marcador no definido.	
7. ¡Error! Marcador no definido.	
8. ¡Error! Marcador no definido.	
9. ¡Error! Marcador no definido.	
10. ¡Error! Marcador no definido.	
11. ¡Error! Marcador no definido.	

## 1. ANTECEDENTES AL DISEÑO

### 1.1 PROBLEMÁTICA

Luis Angel Pineda - Director de comunicaciones de FENADECO, en su artículo publicado el 29 de junio de 2020, “La importancia del petróleo en la economía”, resalta que para los países del mundo, el petróleo se ha convertido en un recurso clave ya que su utilidad va desde la fabricación de plásticos hasta la generación de energía eléctrica.

Sin embargo, durante su transporte, en ocasiones se producen accidentes o malas prácticas que conllevan consecuencias devastadoras. Una mala práctica habitual es usar agua de mar en tanques cisterna, para, posteriormente, devolverla contaminada con petróleo; otra práctica indebida es usar buques para bombear petróleo de desecho al mar en forma de desperdicio. Una forma accidental de contaminación por petróleo es la perforación de pozos de petróleo ubicados en aguas costeras y las fugas en tuberías subacuáticas.

En el Perú, de acuerdo con el informe La sombra del petróleo (2020), han ocurrido 474 vertimientos entre los años 2000 y 2019 en los lotes petroleros del Oleoducto NorPeruano ubicado en la Amazonía Peruana. También se indica que el 65% de estos vertimientos fue causado por la corrosión de los ductos y fallas en la infraestructura petrolera.

El caso más reciente fue el ocurrido en el mar de Ventanilla en enero del 2022, donde se derramaron más de 11 900 barriles de petróleo en. Según el reporte de la SPDA, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp) declaró que este desastre afectó la vida silvestre de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras, y la Zona Reservada Ancón, afectando un área equivalente a 1 800 490 m<sup>2</sup> de suelo y 7 139 571 m<sup>2</sup> de mar. (Spda, 2022)

Además, al respecto, un comunicado del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp), organismo adscrito al Ministerio del Ambiente, indicó que en las 6 semanas posteriores al incidente se rescataron a más de 420 aves

afectadas por el derrame de petróleo cerca a dos áreas naturales protegidas ubicadas en el distrito de Ancón en el norte de Lima.(Deutsche Welle, s. f.)

Solo en la bahía de Ancón, según cálculos de la organización The Nature Conservancy (TNC), trabajan alrededor de mil pescadores, que extraen mariscos y peces, otros que trabajan en el procesamiento y comercialización de productos marinos, e incluso quienes realizan actividades turísticas.(Spda, 2022). Estas cifras son un ejemplo de las actividades económicas que dependen directamente de la flora y fauna del litoral. Estas cifras también muestran el impacto económico que podría causar un derrame de hidrocarburos en la zona al perder la principal fuente de ingresos de los pobladores.

Según la United Nations Environment Programme (s. f.) y NOAA (s. f.), las principales víctimas de los derrames de petróleo son la fauna y la flora del lugar y de zonas aledañas. El petróleo destruye la capa aislante que protege del frío a las aves y mamíferos marinos con pelaje, como las nutrias marinas; sin esta capacidad de repeler el frío se les estaría exponiendo a elementos químicos agresivos y podrían morir de hipotermia. En algunos peces, delfines y ballenas, inhalar o ingerir directamente el petróleo puede deteriorar sus sistemas respiratorio, inmunológico y reproductivo, e incluso puede causar muerte por envenenamiento. Además, pueden experimentar crecimiento reducido, hígados agrandados, cambios repentinos en el ritmo cardíaco y erosión en las aletas. Aún cuando estas consecuencias no sean visibles, los pescados y mariscos afectados no serán seguros para consumo humano.

El vertido de crudo también produce daños notables en el paisaje costero, pero su carácter biodegradable permite que pueda ser separado del mar, mediante diversos métodos físicos o químicos.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se describe la información existente y el avance tecnológico actual sobre la limpieza semiautomática de hidrocarburos en cuerpos de agua.

### 2.1. Sistemas integrales existentes para la limpieza de petróleo

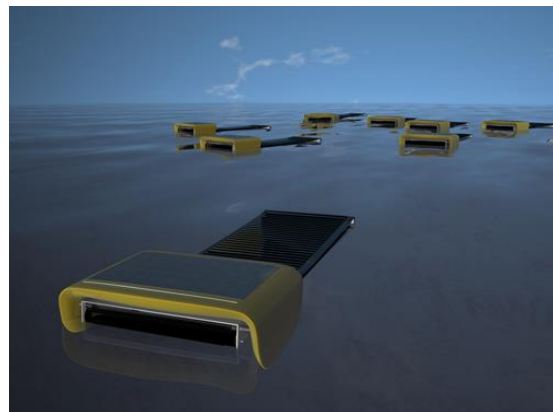
En la actualidad existen diferentes soluciones para la limpieza, extracción y/o separación de petróleo de cuerpos de agua. En la siguiente sección se expondrán algunos de esos sistemas.

#### 2.1.1. SEASWARM - MIT

Este sistema de tipo enjambre de vehículos está compuesto por múltiples robots que remueven petróleo de forma mecánica usando una cinta transportadora cubierta con nanomateriales y comunican su ubicación mediante comunicación GPS y wifi. Cada robot se alimenta de celdas fotovoltaicas que generan energía suficiente para mantener el proceso durante varias semanas. La cinta transportadora está fabricada con una malla de nanocables que pueden absorber 20 veces su peso en petróleo, y mientras el robot se mueve, gira constantemente sobre la superficie del agua, absorbiendo los hidrocarburos mientras rechaza el agua, debido a las propiedades hidrofóbicas del material de la cinta. (Sea Swarm, s. f.)



a)



b)

Figura 1 : a) Robot individual. b) Sistema enjambre. Fuente: Sea Swarm(s. f.)



### 2.1.2. Bio cleaner system

Según Shah et al. (2018), este sistema robótico submarino autónomo usa métodos basados en nanotecnología para remover los derrames de petróleo del agua. En particular, se emplean nanopartículas de plata (Ag) sintetizadas para absorber el petróleo y el agua, para después separar agua cristalina y expulsarla, mientras el petróleo queda almacenado en un contenedor. Además, localiza e identifica crudo de petróleo usando biosensores que detectan los hidrocarburos en la zona contaminada. mientras realiza la operación de limpieza, usa un dispositivo de ondas acústicas para mantener lejos de la contaminación y del proceso a las especies marinas que estén presentes cerca de la zona. Sin embargo, el uso de nanomateriales puede tener consecuencias negativas en la salud humana en caso sean inhaladas, absorbidas en la piel o digeridas. Otro punto importante de este sistema es que la alimentación se realiza por baterías alimentadas por agua del océano.

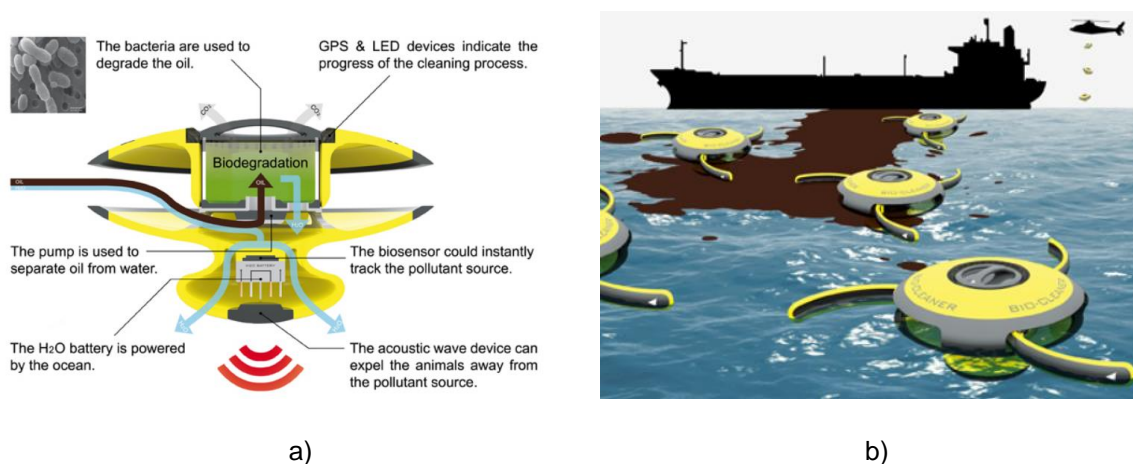
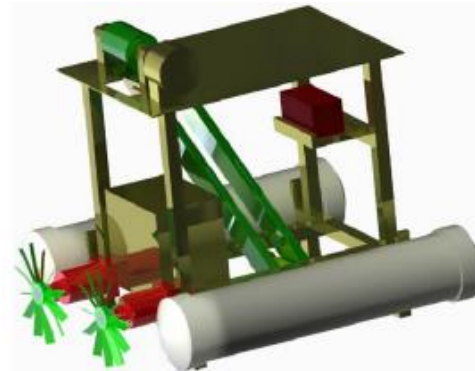


Figura 2: a) Robot individual Bio-cleaner. b) Sistema enjambre Bio-cleaner system. Fuente: Shah et al. (2018)

### 2.1.3. Robot semiautónomo de remoción de petróleo

Este prototipo de dispositivo robótico emplea una faja transportadora magnética inclinada que gira continuamente sobre la superficie del agua. Antes de comenzar el movimiento, se rocía polvo de magnetita con el objetivo de que el petróleo se adhiera a la magnetita y flote en la superficie. Luego, el polvo de magnetita, junto con el petróleo es atraído por la faja transportadora magnética y ambos se adhieren a su superficie. Finalmente, el petróleo se transporta hasta ser separado de la faja

mediante una placa de metal ubicada en la parte trasera del robot y es almacenado en un tanque hasta llenarlo a un determinado nivel. (Vigneshwaran & Yuvaraj, 2021)



*Figura 3: Diseño del prototipo del robot semiautónomo de limpieza de petróleo. Fuente: Vigneshwaran & Yuvaraj (2021)*

#### 2.1.4. EU-MOP

Esta propuesta emplea un enjambre de robots coordinados que necesita ser transportado y desplegado por una embarcación cercana a la mancha de petróleo. Todas las unidades detectan las áreas objetivo mediante sensores y pueden volver a la nave de despliegue con el objetivo de descargar el petróleo recolectado o cuando su autonomía energética se consume. El petróleo es recogido mediante métodos mecánicos como cepillos absorbentes o una cinta transportadora de absorción. Además, este sistema no necesita operadores humanos que controlen el proceso de carga y descarga de los robots, pues cuenta con inteligencia artificial que decide cómo y cuándo se controlan estos procesos.

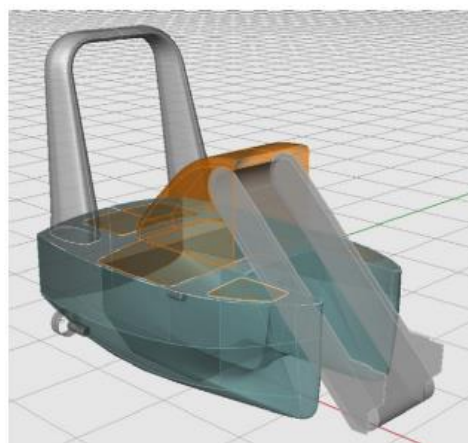


Figura 4: Diseño del EU-MOP. Fuente: Kakalis y Ventikos (2008)

## 2.2. PRODUCTOS COMERCIALES USV-SKIMMER AUTÓNOMOS

### 2.2.1. Sea Machines SM300 KVICHAK / MARCO FILTERBELT BOAT

Es un sistema a control remoto desde la orilla o una embarcación secundaria. Posee seguimiento autónomo de puntos de trayectoria y seguimiento autónomo de línea. Tiene autonomía colaborativa para operaciones con múltiples embarcaciones. Además incluye control remoto inalámbrico para desplegar la barrera, cinta transportadora y otros equipos. Su velocidad de traslación es de 1- 3 kts (0.5 - 1.5 m/s) y su capacidad de recolección (LAMOR skimmer) es de 55 m<sup>3</sup>/h.

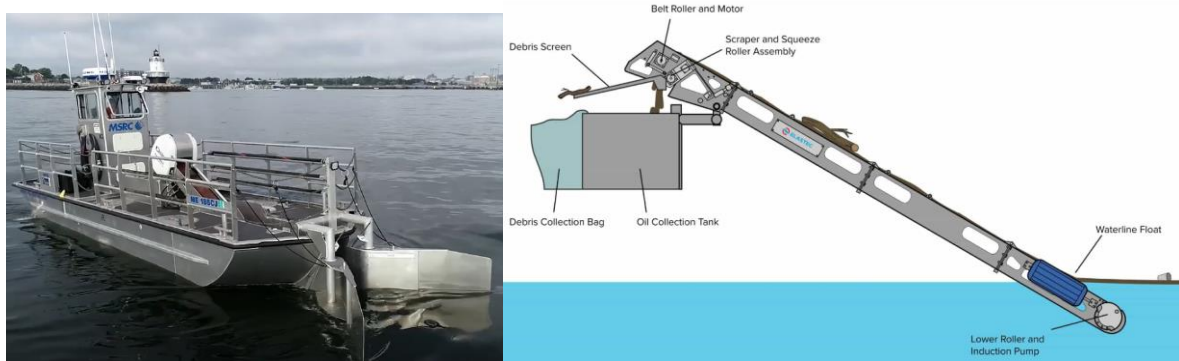


Figura 5. Sea Machines SM300 KVICHAK

### 2.2.2. SWORC (Knud-E-Hansen)

Es un vehículo de longitud: 5.8 m, ancho 3.1 m, altura: 2.2 m y peso de 1800 kg. Su capacidad de recolección (LAMOR skimmer) es de 40 m<sup>3</sup>/h. La velocidad máxima de recolección es de 0.5 - 2 m/s. Además, la velocidad de traslación es de 7.5 m/s la cual es lograda con 2 motores de 40 - 80 HP cada uno.



Figura 6. SWORC (Knud-E-Hansen)

### 2.2.3. Autonomous Oil Skimmer (AOS)- Alion Science and Technology

La entidad Alion Science and Technology (Alion) propuso la elaboración de un oil skimmer autónomo el cual posee un nivel de funcionalidad de alta gama. El nivel de detección de manchas negras se respalda por el uso de un arreglo de sensores que identifican con particularidad la ubicación de la zona con mayor espesor de aceites, en este caso petróleo. Entre sus principales características, se tienen:

#### Características:

- Sensor de petróleo, para medir el espesor de la capa de petróleo vs posición
- Manejo autónomo mediante un sistema de control de motores
- Skimmer de tambores acoplado
- Velocidad de traslación : 0.4 - 0.8 m/s
- Velocidad de recolección 0.75 - 1.5 kts (0.375 - 0.75 m/s)
- Velocidad de traslación : 0.4 - 0.8 m/s
- Capacidad de recolección: 20 m<sup>3</sup> / h

En la Figura 7, se observa el sistema integrado y cómo se posicionan los principales componentes, los cuales son en cuestión: La embarcación principal o AOS, el oil skimmer y la barrera de contención.



Figura 7: Sistema Integrado del AOS - Alion. *Fuente: Alion (2016)*

Adicionalmente, los componentes que integran el sistema principal o AOS tiene por función tanto la navegación autónoma como el uso de un contenedor para almacenar el aceite sustraído mediante el oil skimmer. En la Figura 8, se observan las partes del AOS, este vehículo no requiere de un operador que monitoree la cantidad de aceite recolectado o la dirección de navegación, esta última posee un sistema lazo abierto sin retroalimentación mediante un sistema hidráulico con bomba inteligente para así permitir movimientos suaves.

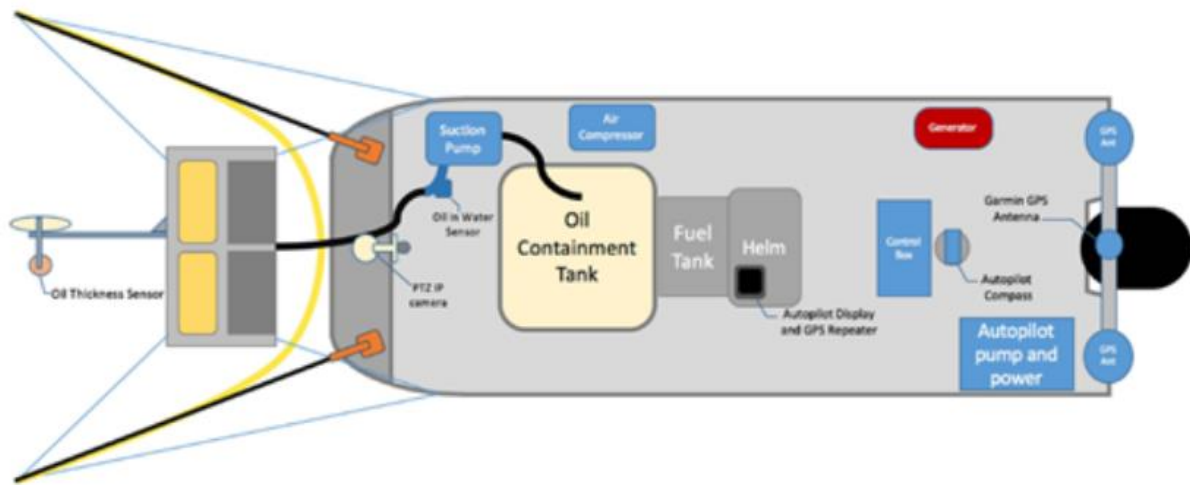


Figura 8: Partes del Sistema Integrado del AOS. *Fuente: Alion (2016)*

En la Figura 9, se observa el sistema de navegación y de señales para el control autónomo del catamarán. Se tiene el DATAQ DI-245, el cual es un sistema de adquisición de datos de bajo precio, para la recepción de la señal del suministro de bomba automático, el sensado del espesor de aceite y de la relación de agua/aceite en el tubo de descarga del oil skimmer; este último es esencial para garantizar la eficiencia del sistema. Se cuenta con dos antenas GPS que garantizan la ubicación del vehículo y adicionalmente la precisión del rumbo respecto al desfase de las señales entre ambas antenas. También cuenta con una conexión módem a enrutador Wifi para tener acceso a la red y así transmitir en tiempo real el funcionamiento del AOS. Finalmente, la computadora principal Twister 77E y un paquete de baterías provisional en el caso de pérdidas momentáneas de energía.



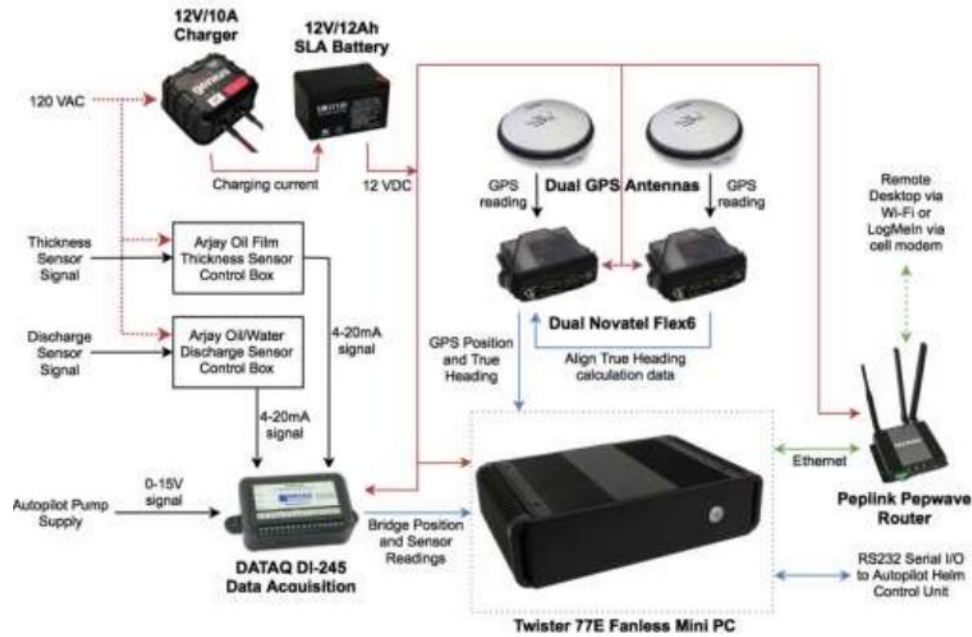


Figura 9: Sistema de navegación y señales. Fuente: Alion (2016)

El sistema fue sometido a pruebas en un ambiente controlado, para así ver inicialmente la eficiencia de la extracción del aceite mediante el sistema autónomo de detección y control mediante el oil skimmer y el sensor para determinar el espesor del aceite. En la Figura 10, se visualiza una prueba de bombeo de aceite usando el sistema de sensado para identificar el espesor y los parámetros de extracción de aceite según el espesor y la ubicación de la mancha.

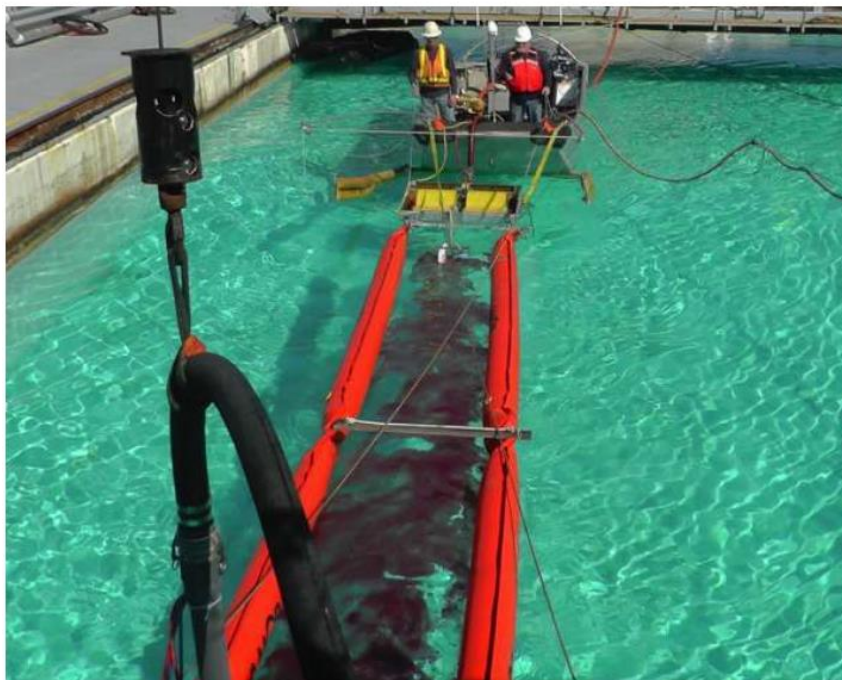





Figura 10: Pruebas en ambiente controlado del sistema de extracción del aceite. Fuente: Alion (2016)

## 2.2.4. Comparación entre diseños existentes

En la Tabla 1, se visualizan los 3 sistemas de extracción de hidrocarburos o aceites. Solamente el AOS de Alion es totalmente autónomo mientras los otros 2 sistemas dependen de un operario y apoyo para realizar la tarea de extracción. Sin embargo, el sistema de Sea Machines tiene mayor capacidad de recolección y almacenamiento del crudo; por ende, permite ser usado con mayor confiabilidad en tiempos prolongados de extracción. Asimismo, el sistema SWORC es el más liviano y por ende es el más veloz para llegar a las manchas negras.

Tabla 1. Comparación de tecnologías USV-Skimmer

Modelo	Sea Machines SM300 KVICHAK / MARCO FILTERBELT BOAT	SWORC (Knud-E-Hansen)	Autonomous Oil Skimmer (AOS)- Alion Science and Technology
			
Peso	2500 kg	1800 kg	2300 kg
Dimensiones (L - W - H)	9 m - 6 m - 5 m	5.8 m - 3.1 m - 2.2 m	7 m - 3 m - 4 m
Capacidad de recolección	55 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h
Velocidad de traslación	0.5 - 1.5 m/s	7.5 m/s	0.4 - 0.8 m/s
Capacidad de almacenamiento de petróleo	5000 litros	500 litros	1500 litros

## 2.3. POWER PACK DIESEL VS POWER PACK ELECTRICO

En la Tabla 2, se observan las ventajas y desventajas de las unidades de potencia hidráulica impulsadas por motor eléctrico DC y motor diesel. Si bien los beneficios en cuanto a uso de motor eléctrico son superiores, este motor es dependiente de un suministro eléctrico que produce muchas limitantes para su uso; ya que necesitaría de un paquete de baterías o energía de otros medios, lo cual requiere de un sistema extra que dependerá netamente del tiempo de uso del sistema integrado. Cabe resaltar que el propósito del sistema integrado es la extracción de hidrocarburos

derramados y por ello el uso de diesel podría resultar contradictorio por el hecho de que el sistema debería ser amigable con el ambiente; teniendo una emisión de residuos mínima para no perjudicar el entorno en el cual se emplee.

Tabla 2. Ventajas y desventajas

	Unidad de potencia hidráulica conducida por motor eléctrico DC	Unidad de potencia hidráulica conducida por motor diesel
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay emisiones por gases de combustión</li> <li>- Son menos pesados que los equivalentes de potencia en diesel</li> <li>- Costos de operación y mantenimiento reducidos</li> <li>- Poseen menos partes móviles</li> <li>- Son más eficientes que sus equivalentes diésel en cuanto al consumo de energía.</li> <li>- El motor eléctrico es más confiable en ambientes con temperaturas altas</li> <li>- El accionamiento del sistema se puede realizar de forma remota</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere ningún cableado eléctrico</li> <li>- Resistente a ambientes con humedad</li> <li>- Completa autonomía para ubicarlo en lugares limitados de energía.</li> </ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requieren personal de mantenimiento altamente especializado</li> <li>- Requiere de una fuente limitada por el tiempo de uso del sistema.</li> <li>- Riesgos en uso de energía eléctrica en ambientes o entornos difíciles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más costosos</li> <li>- El costo de recarga de combustible diesel es mayor</li> <li>- El mantenimiento del motor diesel requiere de mayor tiempo y es más costoso</li> <li>- Emisiones tóxicas al ambiente debido a la combustión en el motor</li> <li>- Accionamiento manual del motor diesel</li> </ul>

### 2.3.1. Generador de Energía D10 YANMAR

Entre los generadores con motor diesel se encuentra el D10 YANMAR, tal como se observa en la Figura 11. Este producto es de la empresa Elastec, especializada en sistemas de extracción de hidrocarburos. Entre sus principales características se tiene:

Características:

- Potencia de 10 hp / 7.4kw con sistema enfriamiento con aire
- Control de variación de flujo
- Estructura del cuerpo sólida para montaje
- Tanque de combustible de 47 litros



- Dimensiones: 1.45 x 0.91 x 1.07 m
- Peso máximo: 222 kg



Figura 11: D10 Yanmar. *Fuente: Elastec (s.f.)*

### 2.3.2. ALTERNATIVAS DE POWER PACK HIDRAULICO CONDUCTIDOS POR MOTOR ELÉCTRICO DC

Para la simplificación del sistema energético, se investigó otras unidades de poder con motor eléctrico DC que podrían ser compatibles con el sistema integrado; para ello, se detallan las siguientes tecnologías, entre estas: Bailey Hydraulics (Figura 12) y Maxim Hydraulics (Figura 13).

#### BAILEY HYDRAULICS

Características principales: Control remoto de hasta 3 m / Alimentación: 12 VDC / Material: Acero / Capacidad del tanque: 5.7 L / Flujo: 0.3 m<sup>3</sup>/h / Peso máximo: 20.4 kg



Figura 12: Bailey Hydraulic Power Unit. *Fuente: Bailey Hydraulics (2022)*

## MAXIM HYDRAULICS

Características principales: Alimentación: 12 VDC / Material: Acero / Capacidad del tanque: 4.5 L / Flujo: 0.3 m<sup>3</sup>/h / Peso máximo: 16 kg



Figura 13: Maxim Hydraulic Power Unit. Fuente: Maxim Hydraulics (2022)

### 2.3.3. ALTERNATIVAS DE POWER PACK HIDRAULICO CONducidos POR MOTOR DIESEL

Entre los generadores hidráulicos con motor diesel se encuentran los de la marca Lamor, Grainger, y Power packs, tal como se observa en las Figuras 14, 15 y 16.

#### Hydraulic Power Pack 14 - LAMOR



#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Length	1200 mm	47 in
Width	860 mm	34 in
Height	830 mm	33 in
Weight	195 kg	430 lbs
Hydraulic flow	45 l/min	12 gpm
Hydraulic pressure	180 bar	2610 psi
Power	14 kW	18.7 hp

Figura 14. Lamor Hydraulic Power Pack 14. Fuente: Lamor (2022)

## Hydraulic Power Unit - GRAINGER



### Technical Specs

Frame Design - Hydraulic Power Units	Wheeled Mount	Reservoir Capacity	3 gal
Item	Gas Powered Hydraulic Power Unit	Relief Valve Range	1000 to 3000 psi
Engine Size	570cc	Pressure Port Thread Size	7/8"-14 UNF
Engine RPM	1800-3100	Return Port Thread Size	3/4"-16 UNF
Engine Brand	Briggs and Stratton	Hose Length	25 ft
Max. Pressure	2,500 psi	Sound Level	104 dB
Nominal Flow	8 gpm	Overall Length	36 in
Flow @ 500 psi	5 to 8 gpm	Overall Width	36 in
Flow @ 1000 psi	5 to 8 gpm	Overall Height	29 1/2 in

Figura 15. Grainger Hydraulic Power Unit. Fuente: Grainger (2022)

## Compact Gas Hydraulic Power Packs - RCGTools



### Product Specifications

HYDRAPAKS – GAS ENGINES							
Part #	Model	Engine	Fuel Capacity	Flow	Pressure	Hour Meter	Dry Weight
2544501	HH1358	13 hp Honda	7 qt. (6.6 ltr.)	5 or 8 gpm (20-30 lpm)	2250 psi (155 bar)	Yes	270 lbs. (123 kg.)
2512161	HV1658	16 hp B&S Vanguard	9 qt. (8.6 ltr.)	5 or 8 gpm (20-30 lpm)	2250 psi (155 bar)	Yes	280 lbs. (127 kg.)
2514404	HV1810XL	18 hp B&S Vanguard	9 qt. (8.6 ltr.)	0-10 gpm (0-38 lpm)	1750 psi (120 bar) 2000 psi (138 bar) 2500 psi (172 bar)	Yes	320 lbs. (145 kg.)

Figura 16. RCGTools Compact Gas Hydraulic Power Packs. Fuente: RCGTools (2022)

### 2.3.4. Comparativa entre Power Packs Hidráulicos accionados por Motor Diesel

En la tabla 3 se presenta la tabla comparativa de los generadores hidráulicos (power packs) conducidos por motor a Diesel.

Tabla 3. Comparativa de Power Pack conducidos por motor Diesel

FABRICANTE	D10 YANMAR POWER PACK-ELASTEC	RCG TOOLS	LAMOR	GRAINGER
				

Modelo	15300	8095 - 11350	No se especifica	8550
DIMENSIONES L - W - H	1.45 x 0.91 x 1.07m	No se especifica	1.2 - 0.86 - 0.82 m	0.91 - 0.58 - 0.74 m
PESO	277 kg	145 kg	195 kg	149.6 kg
CAUDAL	10 gpm (23 lpm)	0 - 10 gpm	12 gpm	8 - 12 gpm
PRESIÓN MÁXIMA	2500 psi	1750 - 2500 psi	2610 psi	2500 psi
CAPACIDAD DEL TANQUE HIDRÁULICO	47 L	8.6 L	No se especifica	11 L
POTENCIA	9.11 HP	18 HP	18.7 HP	23 HP

### 3. Requerimientos del sistema (consideraciones, restricciones, fuera de alcance)

En la tabla 4, se presentan los requerimientos que debe cumplir el sistema, divididos en diferentes ámbitos como Geometría, Cinemática, requerimientos de Fuerzas, Energía, Materia, Señales de información de entrada y de salida, Control, Comunicaciones, entre otros.

Tabla 4. Lista de requerimientos

Característica de diseño	Deseo o exigencia	Descripción
Función Principal	E	El sistema cumple la función de focalizar el petróleo vertido en el mar con la ayuda de barreras flotantes para evitar que se extienda, mientras lo recolecta y separa del mar y luego lo almacena en un contenedor inflable.
Geometría	E	Volumen del Contenedor: 1000 galones o 3785 litros de petróleo
	E	Geometría máxima del transporte del contenedor: L : 7 m x A: 1.50m x H: 1.5 m
	E	Simetría en la geometría del USV principal, de los auxiliares y la del elemento de succión (skimmer)
Cinemática	E	Velocidad máxima: 15 cm/s
	E	Tasa máxima de remoción de petróleo: $20 \text{ m}^3 / \text{h}$ . (Skimmer: TDS 118)

Característica de diseño	Deseo o exigencia	Descripción
<b>Fuerzas</b>	E	La estructura mecánica debe mantener su configuración bajo cualquier condición de fuerzas o impactos producidos por las olas.
	E	Estabilidad del sistema ante las olas y corrientes del mar
<b>Energía</b>	E	El sistema debe tener una autonomía de 8 horas
	E	La fuente de energía de los componentes electrónicos será baterías de Polímero de Litio
	E	La fuente de energía del skimmer y la bomba de transporte será gasolina Diesel
<b>Materia</b>	E	Entrada: El petróleo ingresa al sistema utilizando un elemento de succión y viaja a través de una manguera hacia el contenedor
	E	Salida: Petróleo almacenado que será retirado del contenedor
<b>Señales (Información)</b>	E	Entradas: El sistema debe tener como señal de entrada el accionamiento del skimmer para realizar la operación de limpieza, las direcciones del movimiento de los USV mediante el control remoto.
	E	Salidas: El sistema debe tener como señales de salida: su posición medida por GPS, la velocidad a la que viajan los USV (medida por un sensor de velocidad) y la dirección del desplazamiento sobre la superficie ( medida por un sensor inercial)
<b>Control</b>	E	El sistema debe poder controlar su velocidad, dirección y su posición sobre la superficie del mar
	E	El sistema debe contar con sensor de localización GPS
	E	Cada USV del sistema debe incluir un módulo de comunicación inalámbrica por Radio Frecuencia (con antena) de un alcance mayor a 10 m.
	E	Cada USV debe tener un microcontrolador que procese las señales de los módulos RF de comunicación inalámbrica, del sensor de dirección y el sensor de velocidad
<b>Software</b>	E	Programa que detecte la posición de los USV y el skimmer
<b>Comunicaciones</b>	E	Los datos de monitoreo: posición de los USV, velocidad del sistema deben ser transmitidos al equipo terrestre por telemetría
	E	Los equipos de telemetría constan de una antena en el contenedor y una en la estación portable que transmite los datos a la tablet o laptop.

Característica de diseño	Deseo o exigencia	Descripción
Seguridad	E	El contenedor debe ser regulado con el Reglamento de prevención contra la contaminación por aceite para evitar derrames.
	E	No utilizar mecanismos de limpieza que afecten la flora y/o fauna del ecosistema
Ergonomía	E	Facilidad en la portabilidad y uso del equipo terrestre que monitorea los procesos del sistema
	E	Los skimmers, contenedor y estación terrestre deben ser etiquetados con la información del equipo
	E	No usar colores oscuros en la fabricación de los componentes para evitar confusión con el petróleo
Fabricación	E	El material de fabricación de los cascos de los 3 USV será fibra de vidrio.
	E	El material de las estructuras de unión entre cascos será de Aluminio 6063 T-5.
Control de calidad	E	El contenedor debe cumplir las normas del Reglamento de prevención contra la contaminación por aceite.
	E	La geometría del USV debe cumplir con la norma ISO 8666
	E	Cumplimiento de la norma IEC60529 Degrees of protection para los sistemas electrónicos
	E	Cumplimiento de la Norma ISO 12944 para protección contra corrosión
	E	Cumplimiento de la Norma 14509 para regular ruido del motor
	E	Testear la velocidad de recolección del elemento de succión con el estándar ASTM F2709
Montaje	E	Los skimmers son externos y estarán unidos al contenedor mediante una manguera.
	E	Los componentes electrónicos estarán montados en una caja electrónica usando soportes sujetos por tornillos.
	E	Durante el proceso de acople, los cascos y las barreras tendrán mecanismos para acoplarse entre ellos y moverse juntos.
	E	Grado de hermeticidad de los componentes eléctricos de IP67
Transporte	E	La estación en tierra será portátil ( laptop o tablet con conexión a internet)

Característica de diseño	Deseo o exigencia	Descripción
	E	Los componentes serán preensamblados y llevados a la playa en una camioneta para culminar con los ensambles mayores.
Uso	E	El sistema debe operar con condiciones ambientales de 0°C a 70°C
Mantenimiento	E	Frecuencia de mantenimiento preventivo del sistema: 1 vez por mes
	E	Se requiere la limpieza de los equipos al finalizar la labor diaria
Costos	E	Los costos de los materiales del proyecto estarán por debajo de S/. 3000.



#### 4. Diseño del sistema integrado

Para la elaboración de la propuesta del diseño del vehículo marino no tripulado primero es necesario definir el modo de uso y tipo de operación con el que se haría uso. Para esto se revisaron diferentes métodos de uso de los desnatadores de petróleo, para lo cual se presentan algunos ejemplos en las Figuras 17 y 18.

En la Figura 17 se puede apreciar dos modos de operación de los desnatadores de skimmer siendo operados por una o dos embarcaciones, siendo montados sobre un USV y complementados por barreras flotantes.

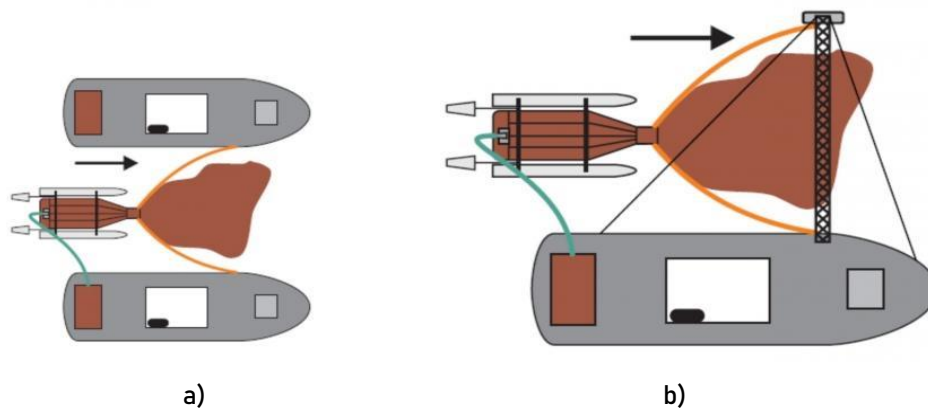


Figura 17. Modos de uso de skimmer con USV y barreras flotantes. a) Impulsado por dos embarcaciones y b) impulsado por una embarcación.

En la figura 18 se presentan los modos de despliegue de las barreras flotantes. La primera imagen muestra una embarcación arrastrando una barrera flotante antes del despliegue del skimmer y en la segunda imagen se presenta a la barrera siendo desplegada con un elemento mecánico guiado por la corriente.



Figura 18. Modos de despliegue de barreras flotantes. a) con embarcación y b) con elemento guía.



A partir de los modos de operación previamente utilizados para los desnatadores de petróleo y las barreras flotantes, se propone el vehículo marino no tripulado representado en la Figura 19. En esta figura se puede observar que el vehículo submarino está compuesto por seis principales componentes: Dron, con sistema de detección, USV principal, dos USVs auxiliares, dos barreras de contención, skimmer hidráulico y tanque flotante de almacenamiento.

El funcionamiento del vehículo propuesto inicia con la detección de la zona de derrame mediante el dron (descrito en el informe de diseño de vehículo aéreo no tripulado). A partir de la detección de la zona afectada, se despliega el vehículo marino no tripulado desde la costa o desde un punto de reposo. Este vehículo marino es propulsado por un USV principal, el cual tendrá montado al skimmer hidráulico con su generador hidráulico. Además al USV principal se acoplan dos barreras de contención, las cuales a su vez son arrastradas por dos USVs auxiliares autopropulsados. Por último, el USV principal también tiene acoplado un tanque flotante de almacenamiento para contener el hidrocarburo recopilado durante la operación.

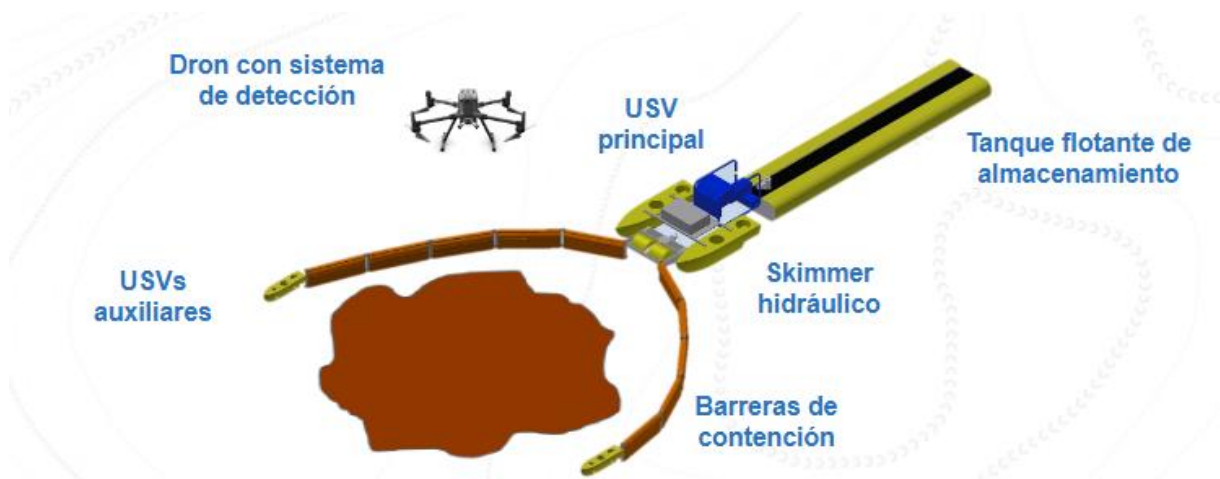


Figura 19. Componentes principales del vehículo marino no tripulado.

#### 4.1. Diseño del USV Principal

La configuración básica del USV principal o central consistirá en: los cascos de flotación, estructura para la unión de cascos y una plataforma fija además de los

componentes electrónicos correspondientes como los propulsores y baterías de propulsores.

#### 4.1.1. Configuración y diseño de cascos

La configuración a emplear será la de tipo catamarán el cual emplea dos cascos debido a que presenta la mayor estabilidad, los cascos a emplear tendrán el volumen suficiente para soportar el peso del USV y sus accesorios adicionales. En la Figura 20 se muestran las dimensiones aproximadas de los cascos a implementar los cuales son de 1860 x 860 x 560 mm.

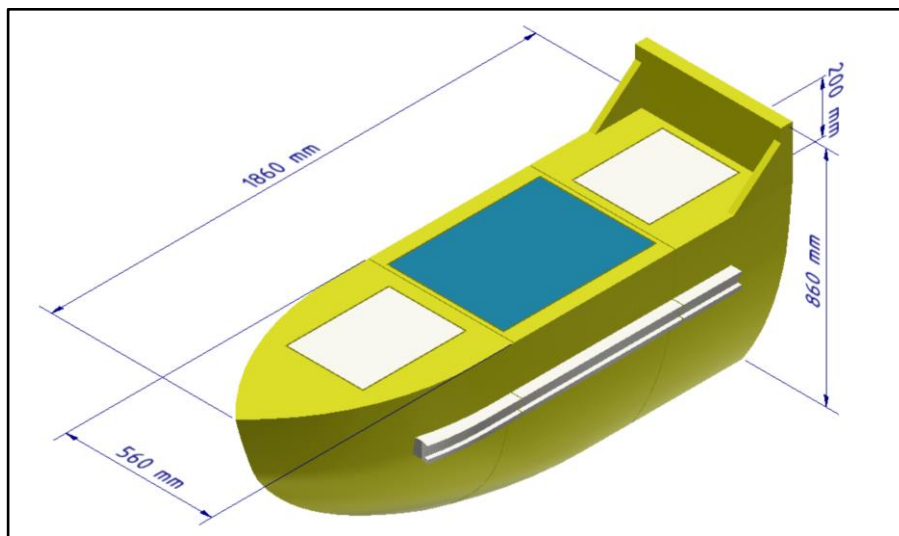


Figura 20. Dimensiones generales de cascos a emplear.  
Fuente: Elaboración propia

En la parte trasera de cada casco se considera un saliente para colocar los propulsores y tener suficiente espacio de sujección. Se propone que los cascos sean segmentados en 3 partes, de esta manera se facilita su transporte y se aprovechan los espacios interiores. Adicionalmente se considera implementar puntos de anclaje para facilitar su traslado. En la Figura 21 se muestra un ejemplo de casco segmentado de la empresa Mokai.



Figura 21. Casco seccionado en 3 partes.

Fuente: Mokai.

Dentro de cada sección de los cascos se posicionan componentes esenciales para asegurar el correcto funcionamiento durante su desplazamiento en el mar. La primera sección, correspondiente a la parte frontal del casco, servirá para colocar en caso se necesite pesos adicionales para regular la inclinación del USV. Este espacio permitirá añadir hasta 60 kg de peso adicional ya sea empleando pesas de metal o sacos de arena. La segunda sección o sección media, al ser de mayor volumen, servirá para colocar la batería del propulsor. Es necesario acondicionar registros para permitir la salida de cables que permitirán suministrar energía a los propulsores y para cargar las baterías. La tercera sección será donde se ubiquen los propulsores del USV. En la Figura 22 se muestra un esquema de ubicación de componentes.

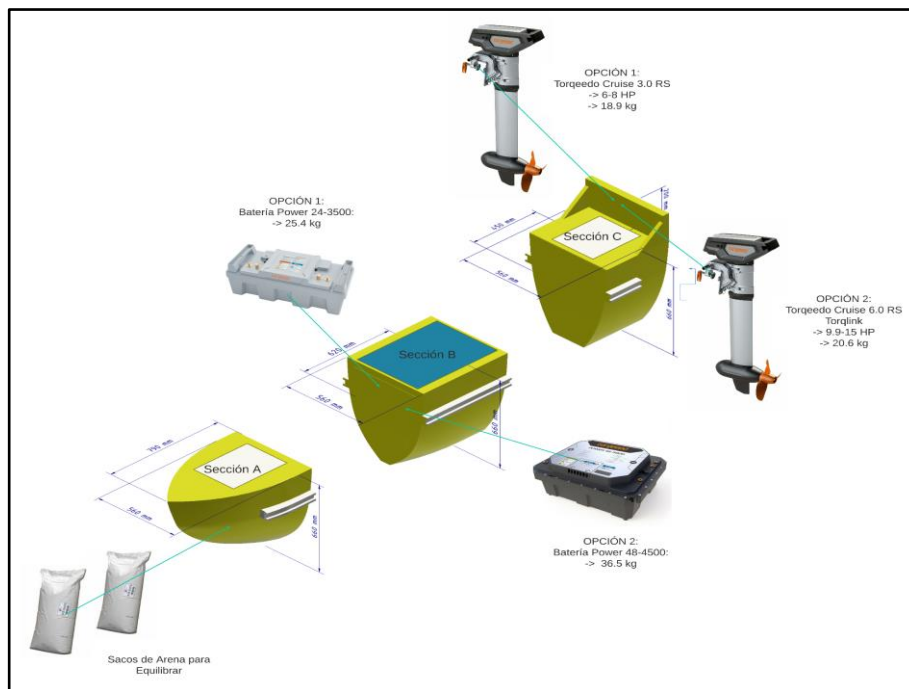


Figura 22. Ubicación de componentes dentro de cada sección de casco

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.2. Estructura para unión de cascos y plataforma fija

La estructura de unión de cascos deberá considerar las dimensiones necesarias para ubicar los componentes electrónicos del USV además del módulo del desnatador de aceite. La plataforma fija será donde se ubican los componentes necesarios para el control del USV y sus módulos. En ambos casos el material a emplear será acero con una capa de pintura epóxica para evitar corrosión por agua. En la Figura 23 se muestra un esquema de las consideraciones al delimitar las dimensiones de ambas partes.

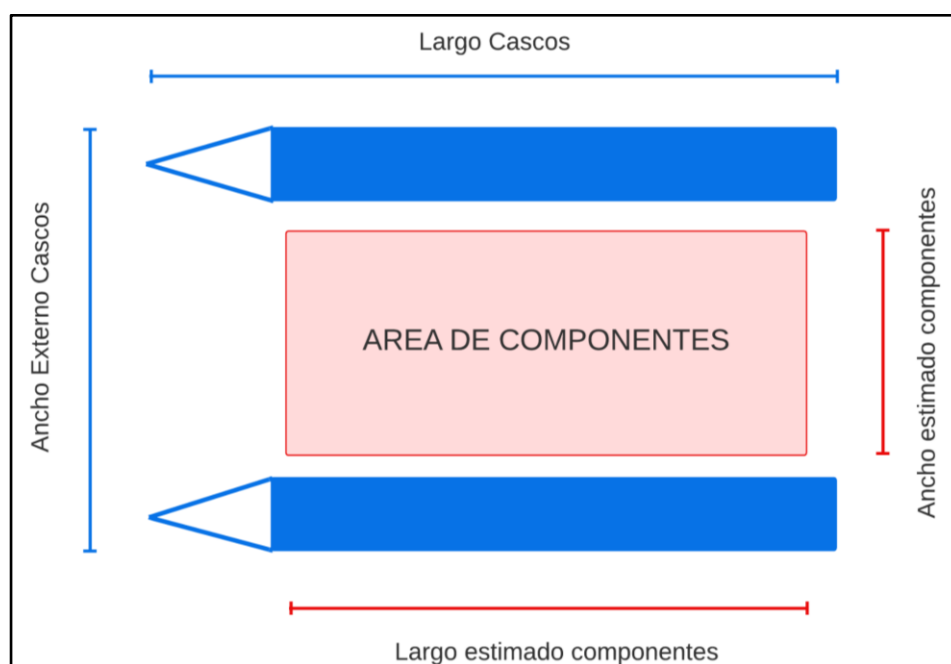


Figura 23. Esquema de configuración de USV.  
Fuente: Elaboración propia.

La estructura de unión considera un sistema de amortiguamiento y suspensión que permitirá mantener la estabilidad de los componentes electrónicos ubicados en la plataforma fija. En la plataforma fija deberán ubicarse la caja de control del robot, antena de comunicación inalámbrica, generador eléctrico para suministro de energía al oil skimmer y sensores adicionales. Se estima que el peso total que deberán cargar los cascos será de 450 kg aproximadamente. En la Figura 24 se muestra el diseño del USV en su configuración básica, es decir, no se incluye el desnatador de aceite ni las boyas de contención.

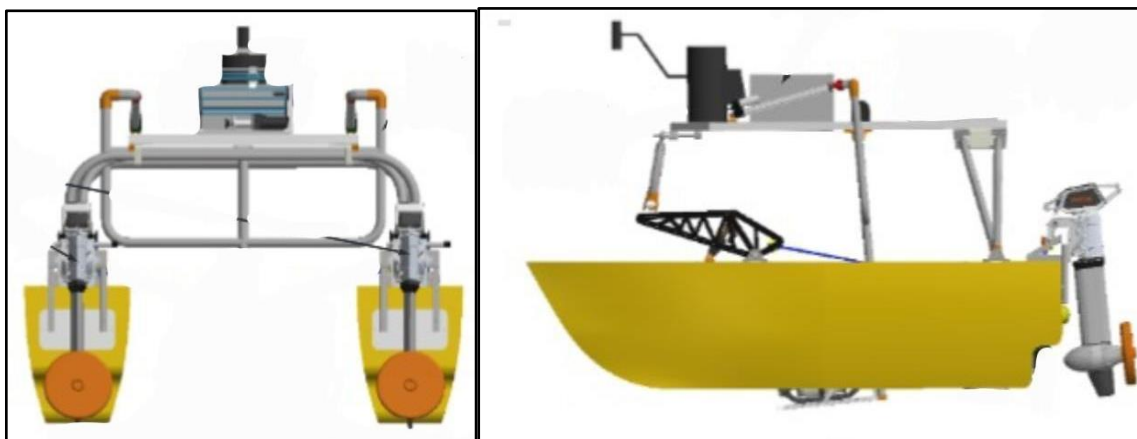


Figura 24. Izquierda: Vista trasera de USV. Derecha: Vista frontal de USV.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Diseño del sistema de recuperación de hidrocarburo

Para el diseño del sistema de recuperación de hidrocarburos primero se tuvo que realizar cálculos que permitan determinar la capacidad de petróleo que se debe recopilar y a partir de esto determinar los componentes comerciales requeridos para el funcionamiento del sistema.

### 4.2.1. Cálculos para determinación del desnatador de aceite (skimmer)

Se realizó una búsqueda de información estadística de derrames en el Perú durante los últimos 12 años, tal como se muestra en la Tabla 5. En esta tabla se puede apreciar que los casos más críticos fueron los del año 2022, en donde se llegaron a tener alrededor de 6mil barriles de petróleo derramados en menos de un mes.

Tabla 5. Recopilación de información sobre derrames en el Perú de petróleo durante los últimos 12 años. Fuente: Elaboración propia.

		Barriles	Galones (US)	m3
Derrame de petróleo 01/2022		6000	252000	960
Derrame de petróleo 02/2022		11000	462000	1760
Derrame de petróleo 2014 (Zorritos)		0,25	10,5	0,04
Derrame de petróleo 2013		49	2058	7,84
Derrames en Amazonia entre 2009 y 2019		25000	1050000	4000

A partir de la información identificada sobre los derrames de petróleo en el Perú, se realizó una búsqueda de sistemas comerciales de desnatadores hidráulicos y se realizó una tabla resumen con la principal información técnica, la cual se presenta en la Tabla 6. A partir de esta información se decidió optar por la alternativa TDS118, debido a que es una alternativa medianamente ligera que podría ser montada sobre un USV catamarán, a fin de que se pueda tener una operación no tripulada. Además con el uso de este tipo de sistema, dada su capacidad de recolección de petróleo se llegó a calcular que hubiese sido posible recolectar los 6mil barriles de petróleo derramados a inicios del 2022 en un máximo de 58 horas (2.5 días) considerando una operación de 24 horas al día, ya que este tipo de equipos están diseñados para que puedan tener una operación continua.

Tabla 6. Comparación de desnatadores hidráulicos de la empresa Elastec. Fuente: Elaboración propia

Skimmers	Peso (kg)	Dimensión	Recolección (opt. - 20%)		Limpieza del derrame en Enero (horas)	Limpieza del derrame en Febrero (horas)
			Galones x min	m3 h		
MiniMax - \$ 4500	23	1.1 x 0.7 x 0.4	20	5	192	352
TDS118 - \$ 8000	38	1.3 x 1.0 x 0.5	90	20	48	88
TDS136 - \$ 10200	61	2.4 x 1.1 x 0.5	170	38	25	46
Magnum 100 - \$13800	92	1.8 x 1.8 x 0.7	202	56	17	31

A partir de la selección del desnatador de petróleo, se procede con la selección de los otros componentes necesarios para su operación (ver Figura 25). Por recomendación del proveedor, el skimmer hidráulico, modelos TDS118 opera con una bomba hidráulica modelo E150, la cual brinda la capacidad de recolección de hasta 90 galones por minuto. Además ambos equipos deben ser alimentados por un generador hidráulico, el cual por recomendación del proveedor se sugiere trabajar con un generador diesel-hidráulico modelo D10 Powerpak.

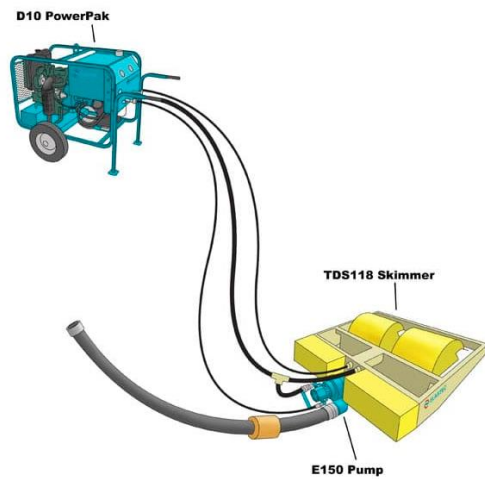


Figura 25. Componentes seleccionados para el sistema de recuperación de hidrocarburos.. Fuente:  
Elastec

### 4.3. Diseño del sistema de contención de hidrocarburo

De igual manera, se revisó el catálogo comercial de barreras de contención para hidrocarburos. Para esto se hizo la búsqueda con alternativas de barreras flotantes que sean flexibles y ligeras para que puedan ser arrastradas por un sistema robótico tipo USV catamarán. Para esto se encontró la línea Simplex de la marca Elastec, las cuales brindan alternativas de diferentes profundidades según el uso que se requiera. En este caso se procedió a seleccionar la opción Simplex de 18 pulgadas dado que se hará uso de este sistema la costa del mar a profundidades medias y en ríos. En caso de requerirse una operación en zonas con mayor profundidad se pueden reemplazar las barreras por una alternativa de mayor dimensión.

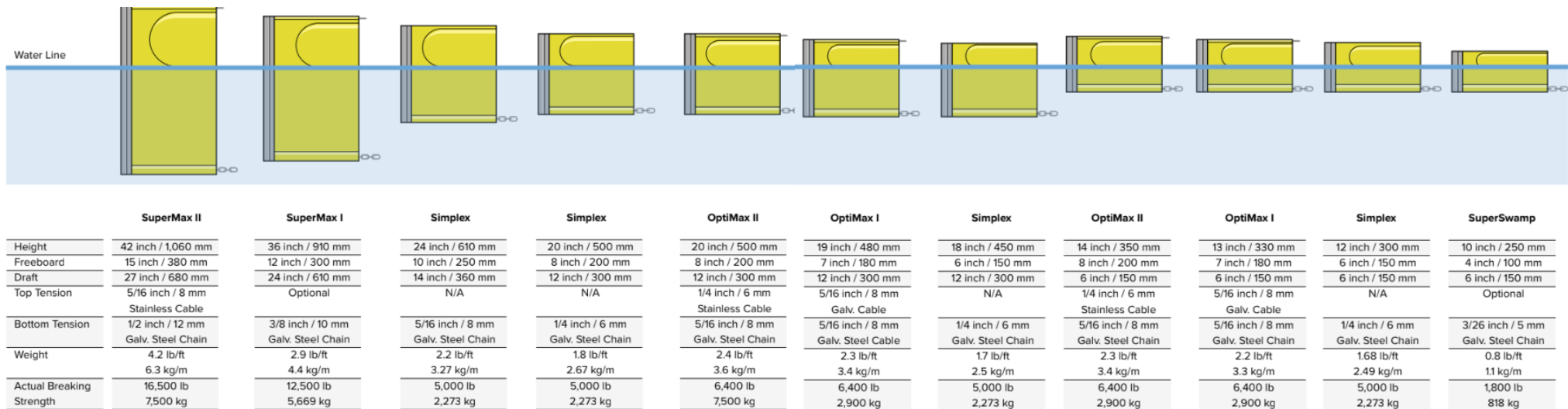


Figura 26. Comparación de barreras de contención flexibles. Fuente: Elastec



Asimismo fue necesario seleccionar un sistema de contención del hidrocarburo recolectado. Para esto se decidió utilizar un sistema flotante que permitiera brindar autonomía al vehículo no tripulado durante su operación. Se decidió hacer uso de un contenedor (denominado como vejiga) flotante. Este componente fue seleccionado según las dimensiones y capacidad, por lo que se determinó el uso de un modelo de 1000 galones el cual tiene un tamaño de 7.3 x 1.5 m, el cual deberá ser arrastrado por el USV principal.



Figura 27. Contenedor o vejiga flotante. Fuente: Elastec.

## 5. Diseño electrónico

A partir de los componentes determinados previamente, se procede a representar la transmisión de energía entre cada uno de estos elementos, tal como se muestra en la Figura 28. En la imagen se puede observar que tanto el USV principal como los USVs auxiliares contarán con energía propia obtenida por baterías. Estas baterías serán utilizadas para poder energizar a sus respectivos propulsores y a los componentes electrónicos para el sistema de control. Por otra parte, los componentes del sistema de recuperación de hidrocarburos cuentan con su propia fuente de energía, el generador, el cual proporciona energía hidráulica hacia la bomba hidráulica y hacia el skimmer hidráulico.

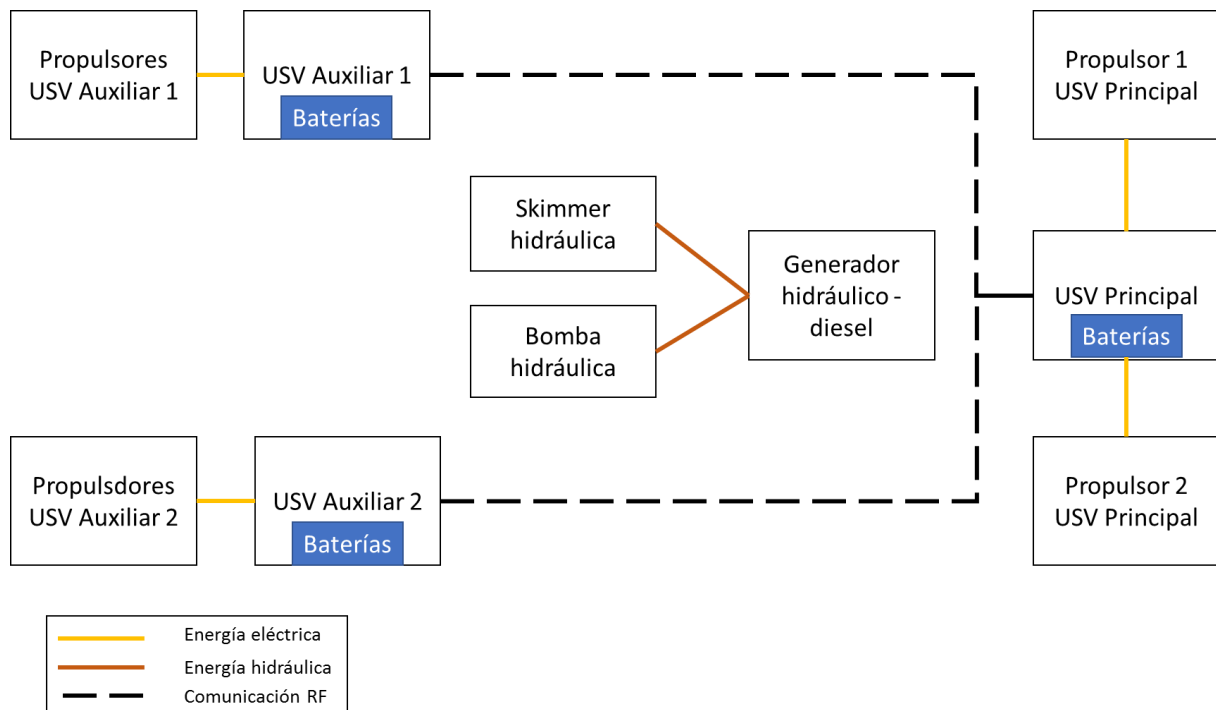


Figura 28. Diagrama de energía y comunicaciones.

En esta figura también se representa la comunicación que se tendrá entre cada uno de los componentes. EL USV principal y los USVs auxiliares tendrán una comunicación inalámbrica mediante receptores y emisores de radio frecuencia (RF). Los USV auxiliares funcionarán como módulos esclavos y seguirán las instrucciones de control del USV principal. Además el USV principal contará con una comunicación

alámbrica con el generador hidráulico para poder accionar la operación del skimmer y de la bomba.

## 6. Conclusiones

En el presente informe se determinó el diseño del vehículo marino no tripulado que será utilizado para la recuperación de hidrocarburos. El funcionamiento del vehículo propuesto inicia con la detección de la zona de derrame mediante el dron (descrito en el informe de diseño de vehículo aéreo no tripulado). A partir de la detección de la zona afectada, se despliega el vehículo marino no tripulado desde la costa o desde un punto de reposo. Este vehículo marino es propulsado por un USV principal, el cual tendrá montado al skimmer hidráulico con su generador hidráulico. Además al USV principal se acoplan dos barreras de contención, las cuales a su vez son arrastradas por dos USVs auxiliares autopropulsados. Por último, el USV principal también tiene acoplado un tanque flotante de almacenamiento para contener el hidrocarburo recopilado durante la operación

También se pudo definir el diseño del USV a implementar en base a los requerimientos del subproyecto y componentes adquiridos durante el primer hito. Este diseño considera una configuración tipo catamarán de dos cascos para obtener una mejor estabilidad del sistema. Los espacios dentro de los cascos serán aprovechados para colocar las baterías, peso adicional y propulsores del USV. Las estructuras adicionales a emplear serán resistentes a la corrosión y permitirán acoplar los diferentes componentes electrónicos.

Por último, se llegaron a determinar todos los componentes necesarios para la implementación del sistema de recuperación y contención de hidrocarburos. Para esto se seleccionaron equipos de la empresa Elastec, entre los cuales se encuentran el skimmer hidráulico de tambor modelo TDS118 con una bomba hidráulica E150 con una capacidad de recolección de hasta 90 galones por minuto, barreras contenedoras flotantes modelo Simplex de 18 pulgadas, un contenedor flotante con capacidad de hasta 1000 galones y un generador hidráulico-diesel para brindar autonomía de operación al sistema.

El sistema propuesto tendrá la capacidad de operar de manera autónoma mediante la teleoperación remota para el desplazamiento hacia la zona afectada, pero también podrá ser usado de manera conjunta con una embarcación, de tal manera que se pueda tener una operación continua por largos periodos de tiempo.

## 7. Bibliografía

AOS - Alion Science and Technology -> <https://www.bsee.gov/research-record/osrr-1037-development-autonomous-oil-skimmer-aos>

Power pack diesel vs power pack electric -> <https://edgeinnovate.com/diesel-versus-electric-power/>

<https://www.riggingdoctor.com/life-aboard/2015/11/2/advantages-of-electric-motor-vs-diesel>

<https://www.pumpsandsystems.com/powering-pump-diesel-versus-electric-motors>

<https://guide.directindustry.com/choosing-the-right-hydraulic-power-unit/>

Generador D10 YANMAR ->

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj\\_wcruwYH6AhWRCrkGHfB3DkkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Ftradecentre.bulbeck.com.au%2Fapi%2Fv1%2Fdownload%2F58575cb58512e&usg=AOvVaw1-Ws02hhz6YXlAC0Y3a\\_s2](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj_wcruwYH6AhWRCrkGHfB3DkkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Ftradecentre.bulbeck.com.au%2Fapi%2Fv1%2Fdownload%2F58575cb58512e&usg=AOvVaw1-Ws02hhz6YXlAC0Y3a_s2)

Bailey Hydraulics -> <https://www.applied.com/c-brands/c-bailey-hydraulics/253106/Maxim-Hydraulic-Power-Unit/p/111913070>

<https://www.applied.com/categories/hydraulic-products/hydraulic-power-units/dc-power-units---12-v/c/1110>

<https://www.baileyhydraulics.com/products/power-units/HPU-PSI/1500-~-2500>