

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Desarrollo conceptual de sistema modular de lanzamiento y recuperación con  
gestión de correa para vehículos operados remotamente (ROV) y jaula flotante**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA  
MECATRÓNICA**

**AUTOR**

Jose Alonso Jara Rios

**ASESOR:**

Diego Martin Arce Cigüeñas

Lima, Septiembre, 2020



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se desarrollan las bases teóricas para la obtención de un diseño conceptual óptimo el cual consiste en un sistema modular de lanzamiento y recuperación con gestión de correa para vehículos operados remotamente (ROV) y jaula flotante. El principal objetivo de este trabajo es el diseño del sistema indicado, el cual facilita el despliegue de un ROV para la obtención de información marina mediante sistemas robóticos sumergibles los cuales serán desplegados a la superficie del mar, se les brindara suministro de cable de alimentación y comunicación según se requiera y posteriormente serán extraídos hasta la embarcación. Los objetivos secundarios están basados en la metodología VDI 2221 y se centraron en: Investigar las tecnologías actuales referentes a sistemas de lanzamiento y recuperación (LARS), sistemas de gestión de correa (TMS) y jaula desplegables. Reconocer y establecer los requerimientos necesarios para el diseño conceptual del sistema. Diseñar el diagrama de estructura de funciones general por módulos o subsistemas según los dominios participantes identificados. Y la realización del diseño conceptual del sistema, el cual comprende al subsistema de lanzamiento y recuperación, el subsistema de winche con gestión de correa, subsistema de jaula flotante, subsistema de comunicación e interfaz de control y el subsistema de suministro de energía. Finalmente, se concluye con la realización de estos objetivos específicos en base a la documentación realizada y se tiene como resultado final el diseño de un concepto de solución óptimo de un sistema de lanzamiento y recuperación tipo grúa pluma con su sistema de gestión de correa con modo manual o automático y una jaula flotante.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	i
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
GLOSARIO DE ABREVIACIONES	x
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES AL DISEÑO</b>	<b>3</b>
1.1 Problemática	3
1.2 Propuesta de solución	6
1.2.1 Objetivos	8
1.2.1.1 Objetivo general	8
1.2.1.2 Objetivos específicos	8
1.2.2 Alcance	9
1.3 Metodología	9
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</b>	<b>12</b>
2.1 LARS (Launch and recovery system)	12
2.1.1 Tipos de LARS	14
2.1.1.1 A-frame:	14
2.1.1.2 Crane	15
2.1.1.3 WRS	17
2.1.1.4 HPL	18
2.1.1.5 ORS	19
2.1.1.6 Tabla comparativa de tipos de LARS	20
2.1.2 LARS y TMS (Tether management system)	21
2.1.3 Desafíos en LARS	24
2.1.4 Patentes	26
2.1.4.1 System for launch and recovery of remotely operated vehicles	26
2.1.4.2 System for launch and recovery of a vessel	28
2.1.4.3 Umbilical termination assembly and launching system	30
2.2 Winche para cable alimentación y comunicación del ROV	31
2.2.1 Gestión de correa	32
2.2.2 Tabla comparativa de tipos de gestor de correa	35

2.2.3 Patentes	36
2.2.3.1 Line Hauling Device	36
2.2.3.2 Level winding drum winch	37
2.2.3.3 Internal winch for self payout and re-wind of a small diameter tether for underwater remotely vehicle	38
2.2.3.4 Winch Assembly	39
2.2.3.5 Load compensated right angle diamond screw levelwind	40
2.3 Jaula desplegable	41
2.3.1 Patentes	42
2.3.1.1 Transportation platform for underwater towing device	42
2.3.1.2 Subsea remotely operated vehicle (ROV) HUB	43
2.3.1.3 Device for launching and recovering an underwater vehicle and implementation method	44
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL</b>	<b>46</b>
3.1 Lista de requerimientos	46
3.2 Estructura de funciones	53
3.2.1 Caja negra del sistema	53
3.2.2 Diagrama de estructura de funciones	56
3.2.3 Funciones de la estructura de funciones	57
3.4 Conceptos de solución	71
3.4.1 Concepto de solución 1	71
3.4.2 Concepto de solución 2	75
3.4.3 Concepto de solución 3	79
3.5 Evaluación	83
3.5.1 Criterios técnicos	84
3.5.1.1 Complejidad	84
3.5.1.2 Dimensiones	85
3.5.1.3 Ensamblaje	86
3.5.1.4 Resumen y comparación	87
3.5.2 Criterios económicos	88
3.5.2.1 Costo de la tecnología	88
3.5.2.2 Facilidad de adquisición de tecnología	89
3.5.2.3 Facilidad de mantenimiento	91
3.5.2.4 Resumen y comparación	92
3.5.3 Elección de la alternativa más óptima	93
3.6 Concepto de solución óptima	93
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>100</b>

<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO A: TABLA DE LA LISTA DE REQUERIMIENTOS</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO B: TABLA DE LA MATRIZ MORFOLÓGICA</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO C: DIAGRAMA DE ESTRUCTURA DE FUNCIONES</b>	<b>120</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Tabla comparativa de tipos de LARS	20
Tabla 2.2: Tabla comparativa de tipos de gestor de correa	35
Tabla 3.1: Conceptos de solución para subsistema de CIC	67
Tabla 3.2: Conceptos de solución para subsistema de LRR	68
Tabla 3.3: Conceptos de solución para subsistema de WGC	69
Tabla 3.4: Conceptos de solución para subsistema de suministro de energía	70
Tabla 3.5: Conceptos de solución para subsistema de jaula flotante	70
Tabla 3.6: Pesos relativos	83
Tabla 3.7: Efectividad de las soluciones	83
Tabla 3.8: Resumen y comparación de los criterios técnicos	88
Tabla 3.9: Resumen y comparación de los criterios económicos	92



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: LARS con sistema de gestión de correa	5
Figura 1.2: Ubicación del sistema modular en embarcación	8
Figura 1.3: Metodología VDI 2221	11
Figura 2.1: Grúa de lanzamiento de vuelo libre	13
Figura 2.2: LARS tipo A-frame	14
Figura 2.3: LARS subtipo Crane de SAAB SEAEYE	15
Figura 2.4: LARS subtipo Crane de OSIL	16
Figura 2.5: LARS subtipo Crane de HI-SEA	17
Figura 2.6: LARS tipo WRS	18
Figura 2.7: LARS tipo HPL	19
Figura 2.8: LARS tipo ORS	20
Figura 2.9: Tipos de TMS	21
Figura 2.10: Funcionamiento de LARS A-frame con TMS Top Hat	22
Figura 2.11: Arreglos posibles del sistema para el ROV	23
Figura 2.12: Sistema integrado: LARS, Winche y Panel de control	24
Figura 2.13: LARS para ROSUB6000	25
Figura 2.14: Sistema de lanzamiento y recuperación de ROV	27
Figura 2.15: Estructura del sistema de lanzamiento y recuperación	27
Figura 2.16: Sistema de lanzamiento y recuperación tipo Crane para lancha con un punto de enganche	29
Figura 2.17: Sistema de lanzamiento y recuperación tipo Crane para lancha con dos puntos de enganche	29
Figura 2.18: Sistema lanzamiento para ensamble de terminación umbilical (UTA)	30

Figura 2.19: Winche model medium 22/1000	31
Figura 2.20: Partes de un winch standard	32
Figura 2.21: Eje con rosca de diamante o rosca invertida	33
Figura 2.22: Gestor de correa por oscilador	33
Figura 2.23: El ancho del cable enrollado y brazo vs tensión del cable	34
Figura 2.24: Vista isométrica del winche con dispositivo de transporte de línea	36
Figura 2.25: Sistema de gestión de correa para cable en tambor de winch	37
Figura 2.26: Winche para cable de 7000 a 20000 m con 2.8 mm de diámetro	38
Figura 2.27: Sistema de gestión de correa con entrada paralela al eje del tambor	39
Figura 2.28: Compensación hidráulica en la unión del gestor de correa y el eje	40
Figura 2.29: Jaula desplegable	41
Figura 2.30: Plataforma transportable	43
Figura 2.31: Jaula para múltiples ROVs	44
Figura 2.32: Jaula adaptable para atrape de ROV	45
Figura 3.1: Caja negra del sistema	53
Figura 3.2: Diagrama de estructura de funciones	57
Figura 3.3: Dominio de interfaz	58
Figura 3.4: Dominio de energía	59
Figura 3.5: Dominio de comunicación	60
Figura 3.6: Dominio de sensado	61
Figura 3.7: Dominio de control	62
Figura 3.8: Dominio de actuadores	64
Figura 3.9: Dominio mecánico	65
Figura 3.10: Concepto de solución 1 - Subsistemas y dimensiones	71

Figura 3.11: CS1 - Subsistema de comunicación e interfaz de control	72
Figura 3.12: CS1 - Subsistema de lanzamiento y recuperación	73
Figura 3.13: CS1 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV	73
Figura 3.14: CS1 - Subsistema de suministro de energía	74
Figura 3.15: CS1 - Subsistema de jaula flotante	74
Figura 3.16: Concepto de solución 2 - Subsistemas	75
Figura 3.17: CS2 - Subsistema de lanzamiento y recuperación	76
Figura 3.18: CS2 - Subsistema de comunicación e interfaz de control	76
Figura 3.19: CS2 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV	77
Figura 3.20: CS2 - Subsistema de suministro de energía	78
Figura 3.21: CS2 - Subsistema de jaula flotante	78
Figura 3.22: Concepto de solución 3 - Subsistemas y dimensiones	79
Figura 3.23: CS3 - Subsistema de comunicación e interfaz de control	80
Figura 3.24: CS3 - Subsistema de lanzamiento y recuperación	81
Figura 3.25: CS3 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV	81
Figura 3.26: CS3 - Subsistema de suministro de energía	82
Figura 3.27: CS3 - Subsistema de suministro de energía	82
Figura 3.28: Gráfico de dispersión de CS's vs criterios técnicos (CT) y criterios económicos (CE)	93
Figura 3.29: CSO - Subsistema de LRR	94
Figura 3.30: CSO - Subsistema de CIC	95
Figura 3.31: CSO - Subsistema de WGC	96
Figura 3.32: CSO - Subsistema de JF	97
Figura 3.33: CSO - Subsistema de suministro de energía	98

## **GLOSARIO DE ABREVIACIONES**

ROV: Remote Operated Vehicle (Vehículo operado remotamente)

LARS: Launch And Recovery System (Sistema de lanzamiento y recuperación)

TMS: Tether Management System (Sistema de gestión de correa)

PNIPA: Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura

AC: Alternating Current (Corriente alterna)

VDI: Verein Deutscher Ingenieure (Asociación de Ingenieros Alemanes)

LRR: Subsistema de lanzamiento y recuperación del ROV

WGC: Winche con gestión de correa

CIC: Comunicación e interfaz de control

SE: Suministro de energía

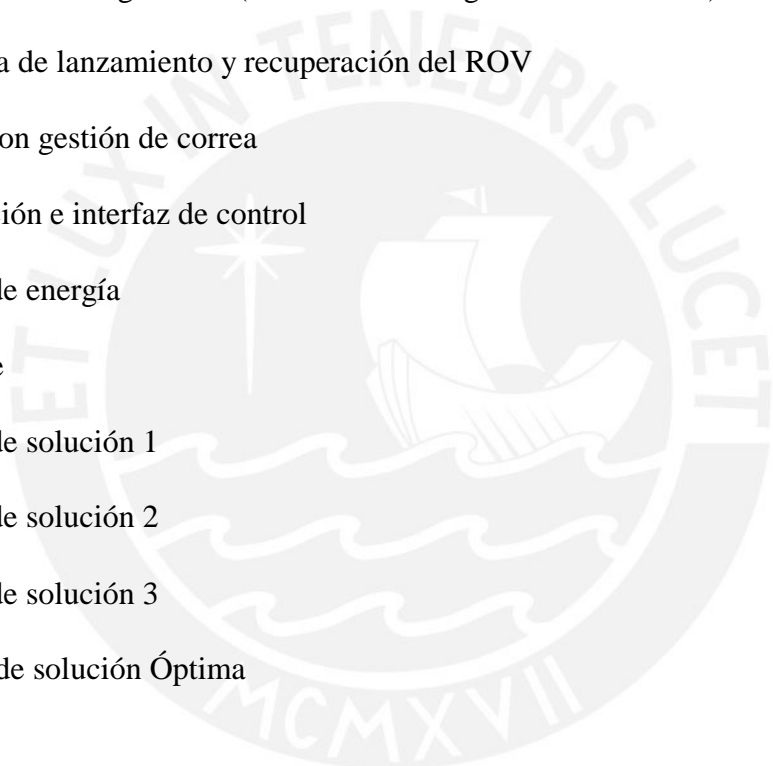
JF: Jaula flotante

CS1: Concepto de solución 1

CS2: Concepto de solución 2

CS3: Concepto de solución 3

CSO: Concepto de solución Óptima



## INTRODUCCIÓN

La investigación oceanográfica es de vital importancia en el Perú. Esto se debe principalmente a su gran variedad y cantidad de recursos marinos que se originan por el cruce de la corriente de Humboldt y la corriente del Niño. El ecosistema resultante alberga diversas especies y una gran demanda por la recolección de estas. Adicionalmente, estas zonas son óptimas para la extracción de hidrocarburos. Por ello, toda información referente a los recursos es relevante para el control y la prevención contra la escasez. La recolección de esta información se puede realizar mediante sistemas robóticos submarinos cuyos sensores proporcionan niveles en calidad de agua, temperatura, oxígeno, ph, etc. Uno de estos sistemas es el ROV (vehículo operado remotamente). Este vehículo llega a tener un gran tamaño y peso debido a la profundidad y el nivel de sensado; por lo tanto, no es factible el despliegue o extracción manual desde la embarcación a la superficie marina o viceversa mediante operarios. Como solución para realizar esta tarea, se emplea la grúa de operación o LARS (sistema de lanzamiento y recuperación) acompañados de un TMS (sistema de gestión gestión de correa) para el suministro de cable. En el presente trabajo se desarrolla conceptualmente un sistema de lanzamiento y recuperación con gestión de correa para ROV y una jaula flotante para albergar, contener y facilitar el despliegue/extracción del vehículo submarino.

En el capítulo 1 se detalla y justifica la problemática de la falta de información científica en entornos marinos, también se describe la propuesta de solución que busca dar alivio a la problemática. Además, se indican los objetivos generales, el alcance y la metodología que se implementará para el desarrollo del documento académico. Esta metodología está basada en la norma VD1 2221 para el diseño de sistemas mecatrónicos.

En el capítulo 2 se realiza la investigación de las tecnologías actuales o estado del arte. Dentro de estas se destaca el uso de LARS y de TMS. Ambos sistemas se complementan para el funcionamiento del ROV a grandes profundidades y son comerciales en el mercado internacional. También se describe el uso de jaulas desplegadas. Esta jaula tiene como función resguardar al vehículo durante el lanzamiento y extracción.

Finalmente, en el capítulo 3 se desarrolla el diseño conceptual en base a la investigación realizada y los objetivos indicados previamente. Se identifica la lista de requerimientos según las indicaciones del cliente, el cual es el equipo técnico a cargo del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170 y con ello se eligen las funciones expresadas en un diagrama de estructura de funciones dividida por dominios y subsistemas. Luego se realiza la matriz morfológica indicando las posibles alternativas para cada función de la estructura de funciones y de esta forma se determinan 3 conceptos de solución posibles. El siguiente paso es la evaluación y comparación de estos 3 conceptos en base a criterios técnicos y económicos; una vez realizada la evaluación, se selecciona un concepto de solución ganador. Por último se obtiene el concepto de solución óptima, el cual es justificado y analizado a raíz del concepto ganador.

## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES AL DISEÑO**

En el presente capítulo se describe la problemática, la propuesta de solución, los objetivos, el alcance y la metodología. La problemática es la falta de información científica de entornos marinos, la propuesta de solución es un sistema para el lanzamiento y recuperación del ROV, el objetivo general y los específicos de la propuesta de solución, su alcance en el sector correspondiente y la metodología basada de la norma VDI 2221.

#### **1.1 Problemática**

El Perú ocupa el puesto 138 a nivel mundial en protección de reservas marinas con solamente un 0.5% (Defensoría del pueblo, 2019). Debido a la notable ausencia de reservas marinas, el país asumió su responsabilidad frente a los recursos marítimos concernientes a la flora y la fauna. Adicionalmente, el estado peruano enfatizó la importancia sobre la creación de reservas naturales en dichos entornos. Actualmente se cuenta con 3 reservas naturales de

protección marina, siendo una de estas la más conocida, la Reserva Natural de Paracas; sin embargo, el año pasado se retomó como punto de agenda la actual situación de la planificación y aprobación de la Reserva Nacional Mar Tropical de Grau (Jorge Reyes, 2019). El Servicio Nacional de Áreas protegidas por el Estado (SERNANP) detalla en su página web todo lo relacionado a este proyecto que busca conformar 4 sectores: Arrecifes de Punta Sal, Cabo Blanco-El Ñuro, Isla Foca y Banco de Máncora; lo más resaltante de esta porción de franja del litoral es la fluencia de dos corrientes marinas, la de Humboldt (de aguas frías) y la del Pacífico (de aguas cálidas) las cuales generan un ecosistema óptimo que alberga una gran diversidad marina (SERNANP, 2019). Esta diversidad representa el 75% de las especies en el mar peruano y el 60% de los recursos hidrobiológicos de consumo poblacional (Defensoría del pueblo, 2019); pese a ello, el proyecto no se concretó el año pasado como anunciaba el Ministerio de Ambiente (MINAM).

Una de las principales causas del estancamiento del proyecto Reserva Natural del Mar del Grau y por ende, de la ausencia de reservas marinas en el país, es la falta de información científica de dichos entornos marinos (Juan Riveros, 2019). IMARPE es uno de los responsables en la obtención y validación de la información de entornos marinos (Yvette Sierra, 2019). Tal como indica su página web, está orientado en la investigación científica del mar peruano y sus recursos, adicionalmente asesora al Estado Peruano en la toma de decisiones concerniente a estos recursos y su conservación como indica 2013, IMARPE. Lamentablemente se puede observar que en dicha página web la información científica disponible de los entornos marinos está desactualizada (IMARPE, 2020). Esta ausencia de información orienta, como una posible solución, el uso de herramientas para la investigación científica de entornos marinos. La información requerida es de muestras marinas, sensado de



presión, conductividad, rango de temperaturas, presencia de peces, entre otros y para adquirir toda esta data es necesario un equipo especializado de investigación.

Los vehículos operados remotamente (ROV) son considerados como la herramienta ideal para conseguir información a grandes profundidades mediante el uso de sensores y de brazos mecánicos o grippers para extraer muestras. Su peso y dimensiones incrementan según el propósito y la profundidad de operación; quiere decir, que el ROV se adquiere o diseña para un entorno y labor específico. Los ROVs requieren sistemas de apoyo al superar un peso y dimensiones significativas, así como al tener una profundidad de operación de gran alcance. El sistema de apoyo empleado más común es el sistema de lanzamiento y recuperación LARS. El LARS tiene el propósito de desplegar y recuperar al ROV desde la embarcación o navío hasta la superficie del mar o viceversa; es comercial, pero es de elevado costo debido a las grandes dimensiones que requiere para poder adaptarse a la diversidad de ROVs existentes. Por otro lado, el LARS posee un subsistema que se encarga de la gestión de la correa para el ROV, tal como se observa en la Figura 1.1. Esta correa o cable es la que se emplea para soportar la carga del ROV y/o alimentar y comunicar al vehículo con una fuente de alimentación en la embarcación o estación de teleoperación respectivamente.



Figura 1.1: LARS con sistema de gestión de correa. (DECK Marine Systems, s.f). Adaptado

Es por ello que la solución que será empleada como tema de tesis en el presente documento es el diseño de un sistema modular de lanzamiento y recuperación con gestión de correa para ROV (Remote operated vehicle) y jaula flotante; este sistema es semejante al LARS, pero la característica de modularidad busca añadir valor agregado a la propuesta de diseño frente al mercado actual. Este diseño es parte del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170 (PNIPA, 2019). Realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú gracias al financiamiento del PNIPA (Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura) y otros organismos vinculados. El proyecto tiene un carácter de privacidad y como uno de sus objetivos busca la realización de la presente tesis e implementación del sistema con gestión de correa. Todo este sistema lo denominan “grúa de operación”. Para ello se identifican las características relevantes del ROV a ser empleado, el cual tiene 1000x1000x1000 milímetros de largo, ancho y alto como máximo respectivamente, peso no mayor a 120 kg, profundidad de operación entre 500 a 1000 metros, medición de parámetros de agua, tales como: oxígeno, presión pH, turbidez y clorofila, entre otros. Es por ello que el diseño de la grúa de operación debe tener un costo menor en comparación a los LARS comerciales o sistemas parecidos, capacidad de carga para soportar al ROV y resto de características que dependen de los detalles y limitaciones del vehículo.

## **1.2 Propuesta de solución**

En la presente sección se describe de manera general la propuesta de solución a la problemática indicada. El sistema basado en el LARS se caracteriza por su capacidad de carga, grados de libertad, peso, dimensiones y sistema de actuación; por ello, se emplea la capacidad de carga máxima de 250 kg, dos grados de libertad como mínimo, peso neto máximo de 500 kg, dimensiones máximas de 3200x2300x3500 mm de largo, ancho y alto

respectivamente. El sistema de actuación es electromecánico y utilizará como medio de sujeción con el ROV una jaula flotante para contenerlo, cuyas dimensiones máximas se limitan a 1100x1100x1100 milímetros de ancho, largo y alto respectivamente. El sistema podrá ser trasladado e instalado en diversas embarcaciones científicas de acero naval que cuenten con el espacio óptimo. El sistema es modular; por ende, las funciones independientes dentro del sistema podrán ser empleadas por separado para brindar flexibilidad al operador dependiendo de la situación en la cual se requiera su uso. Las principales características del sistema de gestión de correa son la longitud de cable en el tambor, peso y dimensiones; por ello, se considera la longitud de cable en el tambor de 1000 m y dimensiones de 1600x1200x1000 milímetros de largo, ancho y alto respectivamente.

La instalación del sistema completo o por partes no tendrá ninguna sujeción a la embarcación; sin embargo, se requiere de una fuente de energía para la alimentación de los componentes electromecánicos, la cual será brindada por un generador AC. La ubicación del sistema propuesto será lo más cercano al borde de la embarcación. Requiere de un espacio de operación máximo de 3000x3000x3300 milímetros de largo, ancho y alto respectivamente.

En la Figura 1.2 se observa la ubicación del sistema en una embarcación científica con grúa propia. La ubicación del subsistema de lanzamiento y recuperación debe estar lo más próximo al borde o baranda para poder ser empleado. El subsistema de gestión de correa puede o no estar cerca, dependerá de las necesidades del operador. La modularidad del sistema permitirá al operario usar la grúa de la embarcación o el sistema de lanzamiento y recuperación; si fuera el primer caso, podrá adicionar el uso del subsistema de gestión de correa para así suministrar el cable de alimentación y comunicación sin problema alguno con la jaula flotante para proteger al ROV o usar otro medio.

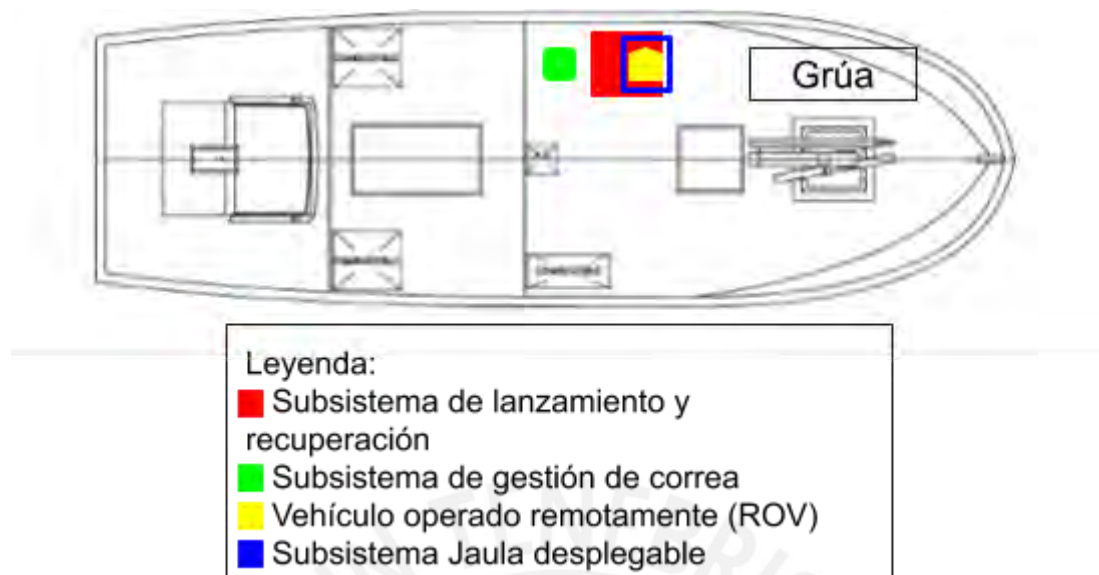


Figura 1.2: Ubicación del sistema modular en embarcación.(Under Oceans Marine Innovations S.L., s.f)  
Adaptado

## 1.2.1 Objetivos

En esta sección se presenta el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales están relacionados con el proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170.

### 1.2.1.1 Objetivo general

Desarrollar un diseño conceptual un sistema modular de lanzamiento y recuperación con sistema de gestión de correa para ROVs los cuales colectan información y muestras para la investigación marina; y una jaula flotante.

### 1.2.1.2 Objetivos específicos

- Investigar las tecnologías actuales sobre sistemas modulares de lanzamiento y recuperación con sistema de gestión de correa y la jaula flotante.

- Reconocer y establecer los requerimientos necesarios para el diseño conceptual del sistema modular de lanzamiento y recuperación con de gestión de correa y jaula flotante basados en la investigación y requisitos del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170.
- Elaborar el diagrama de estructura de funciones del sistema general por módulos o subsistemas bajo el dominio de interfaz, dominio de energía, dominio de sensores, dominio de actuadores y dominio mecánico.
- Realizar el diseño conceptual del subsistema de lanzamiento y recuperación, subsistema de winche con gestión de correa para el ROV, subsistema de jaula flotante, subsistema de comunicación e interfaz de control y subsistema de suministro de energía.

### **1.2.2 Alcance**

El sistema propuesto se desarrollará como un trabajo de investigación con la intención de obtener un concepto de solución óptimo que será la base para la comprensión y desarrollo de un sistema de lanzamiento y recuperación (grúa de operación) modular con gestión de correa y jaula flotante.

### **1.3 Metodología**

Para el desarrollo y diseño del sistema propuesto en la presente tesis se emplea como referencia la metodología VDI 2221 (Jänsch y Birkhofer, 2006). Tal como se observa en la Figura 1.3. Esto se debe por la flexibilidad y retroalimentación continua de las tareas secuenciales a realizar. En el primer cuadro a la izquierda se observa la iteración hacia

adelante y hacia atrás entre las etapas anteriores y siguientes. Esto nos facilita la corrección y mejora continua del sistema. En las siguientes siete etapas se detalla:

1. Aclarar y definir la tarea
2. Determinar las funciones y la estructura de funciones
3. Buscar soluciones principales y sus combinaciones
4. Dividir en módulos realizables
5. Desarrollar diseño de módulos clave
6. Diseño general completo
7. Preparar instrucciones de operación y preparación

En los resultados se tienen las especificaciones, la estructura de funciones, las principales soluciones, estructura de módulos, diseños preliminares, diseños definitivos y documentos del producto. El último cuadro a la derecha muestra la relación para cumplir y adaptar los requisitos, este indicador nos permite la retroalimentación durante las etapas del desarrollo y por ende facilita la mejora. Si se observa bien, una fase comienza a la par mientras otra todavía no finaliza, esta estrategia permite al diseñador realizar los cambios necesarios antes de dar por concluida una fase. Finalmente, no todas las etapas se realizarán en este trabajo de investigación; por lo tanto, se delimitará el desarrollo hasta el paso 3 indicado brevemente en la lista indicada anteriormente.

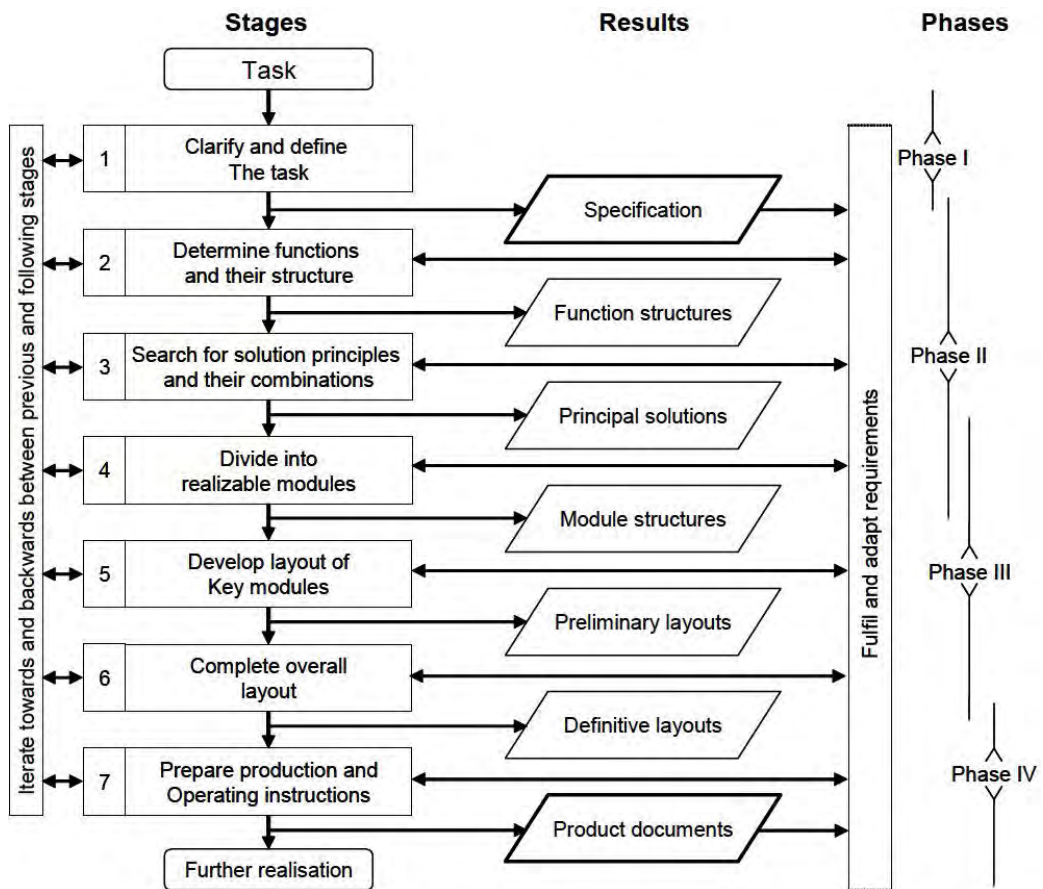


Figura 1.3: Metodología VDI 2221. (Jänsch y Birkhofer, 2006)

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTADO DEL ARTE**

El estado del arte presentado en esta sección se resume como la recopilación de información tecnológica actual con la finalidad de ser usado para el diseño de las funciones o subsistemas requeridos. Primero se realizará una descripción y clasificación del LARS (Launch and Recovery System) o grúas de operación para ROVs. Segundo, los conceptos relacionados a los winches para suministro de cable de alimentación y comunicación para ROVs con su gestión de correa y finalmente el uso de jaulas flotantes.

#### **2.1 LARS (Launch and recovery system)**

Los LARS (Launch and recovery system) se encargan de desplegar y extraer el ROV desde la embarcación hasta la superficie marina y viceversa. Estos sistemas se emplean para vehículos de dimensiones y peso considerables, es por ello que se requieren uno o dos cables para el funcionamiento general. Por lo tanto, un cable se encarga de soportar la carga del ROV y el segundo de brindarle alimentación y comunicación al vehículo sumergible (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014).





Figura 2.1: Grúa de lanzamiento de vuelo libre. (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014)

En la Figura 2.1 se muestra un cable amarillo o cable umbilical procedente del ROV y un brazo que lo traslada. Este cable amarillo está encargado de brindar alimentación y comunicación al ROV, su longitud depende de la profundidad a la cual el vehículo se sumergira para obtener la información o muestras requeridas. En otros casos, se emplea un cable para soportar la carga o peso el cual es proporcionado por un winche para poder descender el ROV desde una posición elevada al exterior de la embarcación. Este cable y su winche están en la estructura del LARS (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014).

El LARS tiene diversos modelos los cuales se caracterizan por sus grados de libertad, sistema de accionamiento, peso, dimensiones, capacidad de carga y portabilidad. Por lo tanto, es necesario mencionar los principales tipos de LARS en el mercado actual. La mayoría de estos modelos se han diseñado bajo las especificaciones tanto de los ROVs comerciales y la embarcación donde se instalará. También se cuenta con modelos estándar robustos que se adaptan a la necesidad.

### 2.1.1 Tipos de LARS

La variedad de LARS facilitan diversas configuraciones para el empleo de ROVs de diferentes dimensiones y peso. La ubicación del LARS dentro de la embarcación puede variar y de hecho puede estar integrado a la misma.

#### 2.1.1.1 A-frame:

El LARS tipo A-frame es el modelo más usado debido a su estructura desplegable y la simplicidad de accionamiento mediante un brazo en forma de A (por ello su nombre). Este LARS suele ser accionado por un sistema hidráulico y/o eléctrico en la mayoría de los casos. El movimiento del brazo facilita el traslado del ROV desde la plataforma del LARS hasta el exterior de la embarcación y luego desciende mediante un cable impulsado por un winche. En la Figura 2.2, el LARS A-Frame de la industria Northern Diver tiene una capacidad de carga de 2 Tn y su contrapeso viene a ser el winche posicionado al otro extremo del punto de lanzamiento (Northern Diver, s.f). En este caso, la carga para la cual fue diseñado es una jaula que puede albergar personas o equipos.



Figura 2.2: LARS tipo A-frame. (Northern Diver, s.f)

### 2.1.1.2 Crane

El LARS tipo Crane (grúa) es mucho más compacto que el A-frame debido al brazo que utiliza para trasladar al ROV. Sin embargo, requiere un área de operación mayor y el contrapeso debe estar en el centro de la estructura para evitar que esta se desdibuje y se desplome. El movimiento de la grúa puede ser rotacional o un brazo de dos a más grados de libertad. Por lo tanto, se divide en subtipos o modelos.

- **Crane Based:** Posee un brazo con 2 a más grados de libertad. En la Figura 2.3, se observa el modelo de la empresa SAAB SEAEYE (Marine Vision, 2013). No se menciona el detalle del diseño pero se evidencia el uso de una plataforma con el winche para el suministro de cable para soportar la carga. Uso de un sistema hidráulico para el accionamiento del brazo y el de un motor eléctrico para darle potencia al winche. En la punta del brazo hay una polea para la entrega del cable para la carga.



Figura 2.3: LARS subtipo Crane de SAAB SEAEYE. (Marine Vision, 2013)

- **Crane Rotatorio en L:** Tiene solamente un grado de libertad en la base, la cual gira respecto a la plataforma. También requiere de un centro de masa cercano al brazo, al igual que el Crane Based. En la Figura 2.4 se aprecia la grúa de la empresa Ocean Scientific International Ltd (OSIL). Esta grúa es mucho más simple y no requiere de accionamiento hidráulico, pero debido a la forma del brazo en L, se emplea un juego de bridas de sujeción con el suelo para evitar que colapse (Ocean Scientific International Ltd, s.f).



Figura 2.4: LARS subtipo Crane de OSIL. (Ocean Scientific International Ltd, s.f)

- **Crane Rotatorio:** Sólo requiere de un grado de libertad, el cual le permite rotar respecto a su eje. La base está anclada a la embarcación o muelle para evitar el colapso, también se emplea el uso de un contrapeso. En la Figura 2.5, la grúa de la empresa HI-SEA posee una capacidad de carga de 21 o 25 Tn y una capacidad de cable para su tambor de 45 m.



Figura 2.5: LARS subtipo Crane de HI-SEA. (Hi-Sea Marine, s.f)

### 2.1.1.3 WRS

El sistema de riel montado a la pared (WRS) es un tipo de LARS que va integrado a la embarcación. A diferencia de los otros sistemas, el WRS no cuenta con winche propio. El movimiento posee 3 a 4 grados de libertad. La rotación de ROV mediante el cabezal de sujeción en el extremo de la estructura facilita el posicionamiento del vehículo en la superficie marina. Como se observa en la Figura 2.6, tiene un gran brazo unido a una estructura en forma de arco que se desplaza mediante carriles laterales ubicados en la base y una abertura para elevar al ROV desde un piso inferior si se desea.



Figura 2.6: LARS tipo WRS. (Sepro Technology, s.f)

Este modelo de la empresa SEPRO tiene capacidad de carga de 15 Tn y es de fácil transporte porque se puede desplegar y ser guardado (Sepro Technology, s.f). Sin embargo, es un sistema muy grande y la embarcación debe tener un espacio considerable para la instalación y darle la sujeción necesaria para evitar que el centro de gravedad se dirija al extremo cuando se accione. Esto se podría evitar si se coloca un contrapeso al lado contrario que vendrían a ser los winches, panel de control, suministro energético, etc.

#### 2.1.1.4 HPL

El LARS tipo HPL tiene el mismo principio del A-frame. Usa un brazo accionado por hidráulica y se puede desplazar respecto a su base como el WRS. Adicionalmente se puede agregar un componente de rotación en el extremo para permitir el giro del ROV. El HPL es una versión compacta del WRS, como se observa en la Figura 2.7. El HPL de la empresa SEPRO tiene un A-frame que es móvil mediante carriles laterales en la plataforma del LARS; sin embargo, el winche que suministra el cable de carga está separado del LARS y posee el mismo problema del WRS, el centro de gravedad durante el accionamiento puede colapsar la

estructura. Tiene una capacidad de carga entre 5 a 8 Tn, pero tiene una amplia gama con diversas dimensiones y capacidades de carga (Sepro Technology Innovation, s.f).

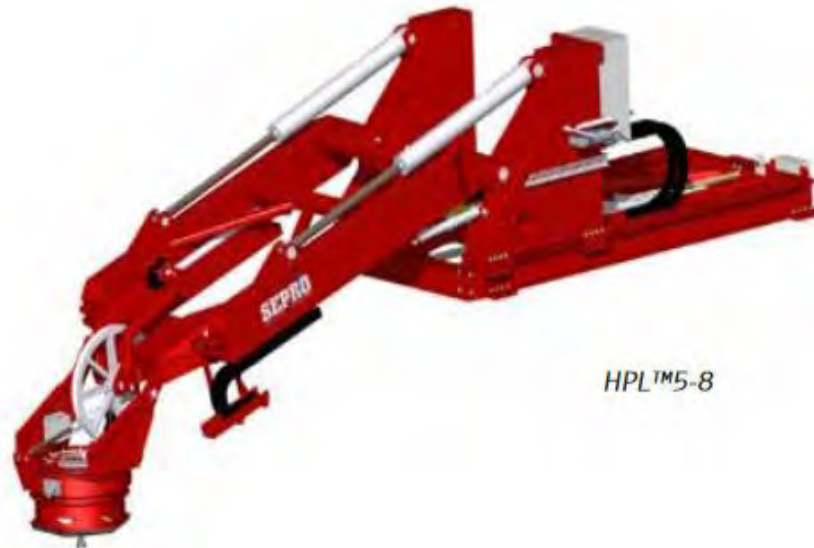


Figura 2.7: LARS tipo HPL. (Sepro Technology Innovation, s.f)

#### 2.1.1.5 ORS

El sistema de rieles elevados (ORS) es otro sistema de SEPRO GROUP. Este tipo de LARS está montado en la embarcación debido que requiere un techo o base superior para su instalación. Muy útil para embarcaciones grandes que requieren de un LARS fijo para el uso de ROVs. En la Figura 2.8, se puede visualizar una estructura que tiene dos carriles, uno para desplazamiento horizontal y otro para el vertical; el primer carril está montado en el techo o base superior de la embarcación y el segundo carril se coloca en la lateral del barco. Además, el winche de suministro de cable no está en el mismo LARS, esto indica que al igual que el WRS podría ser adaptado. No obstante, no habría problemas con el contrapeso ya que tiene sujeción fija (Sepro Technology Innovation, s.f).



Figura 2.8: LARS tipo ORS. (Sepro Technology, s.f)

### 2.1.1.6 Tabla comparativa de tipos de LARS

En resumen, en la Tabla 2.1 se observan las características de los tipos de LARS presentados. Tanto los diseños de LARS de la empresa Northern Diver, SAAB SEA-EYE, OSIL, HI-SEA, etc. y entre otros no mencionados presentan ventajas y desventajas. El LARS de tipo A-frame y Crane son los más comunes en la industria. Esto se debe esencialmente por su simplicidad y poca demanda de espacio.

Tabla 2.1: Tabla comparativa de Tipos de LARS. Elaboración propia

Criterio	Tipos de LARS				
	A-frame	Crane	WRS	HPL	ORS
Dimensiones aprox. en funcionamiento	3000x2000x450 mm	2400x2000x355 mm	2450x2000x590 mm	2500x1200x460 - 3500x2000x5100 mm	5100x5500x12000 mm
Peso neto (Tn)	3	3	-	-	-
Grados de libertad	1 - 2	2 - 3	3 - 4	2 - 4	2 - 3
Capacidad de carga (Tn)	2	1 - 3	15	5 - 15	15 - 26
Portabilidad	Si	Si	Si	Si	No
Accionamiento	Hidráulico/Eléctrico	Hidráulico/Eléctrico	Hidráulico/Eléctrico	Hidráulico/Eléctrico	Eléctrico



### 2.1.2 LARS y TMS (Tether management system)

Para reducir la cantidad de correa, se utiliza un único cable encargado de soportar la carga y también para la alimentación y comunicación del ROV. Para conseguir la secuencia es necesario que las propiedades resistivas de tensión sean mayores; es por ello, que este cable se divide en dos tramos que se enlazan mediante un TMS sumergible (Tether Management System). El primer tramo se denomina cable umbilical y el segundo cable de comunicación y alimentación. El primer cable está reforzado para soportar la tensión generada por la carga del ROV y el TMS, mientras tanto el segundo cable es más liviano y no requiere soportar tensiones significativas (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014).

El funcionamiento del LARS y TMS es independiente durante la misión, exceptuando su interacción en la fase de lanzamiento o extracción. Ambos sistemas se complementan, pero su compatibilidad depende tanto de la capacidad de carga del LARS como del peso del TMS. El TMS es comercial y por ser un elemento sumergible que posee actuadores y podría requerir sensores, es considerado como un segundo ROV en operación (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014).

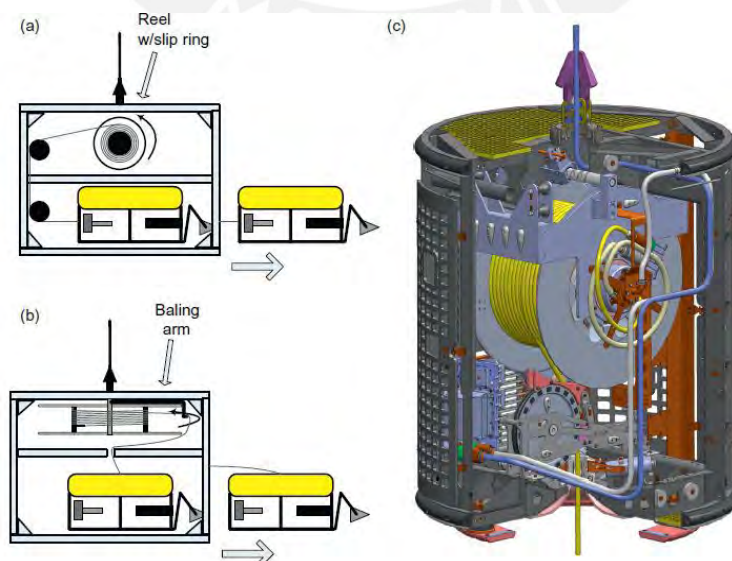


Figura 2.9: Tipos de TMS. (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014)

El TMS se encarga de brindar el cable de alimentación y comunicación al ROV y adicionalmente puede resguardarlo. En la Figura 2.9 se muestran los 2 tipos de TMS siendo (a) y (b) del tipo jaula desplegable y (c) del tipo sombrero de copa. El último se denomina así debido a su unión y posición en la parte superior del ROV. Este sistema descende por peso o propulsores a la profundidad requerida y luego libera al ROV para que pueda trabajar en el plano a dicha profundidad. Este sistema de apoyo requiere de un winche sumergible para suministrar el cable de alimentación y comunicación. Su diseño depende significativamente del ROV. En la Figura 2.10 se observa el accionamiento del LARS A-Frame con TMS Top Hat (sombrero de copa).

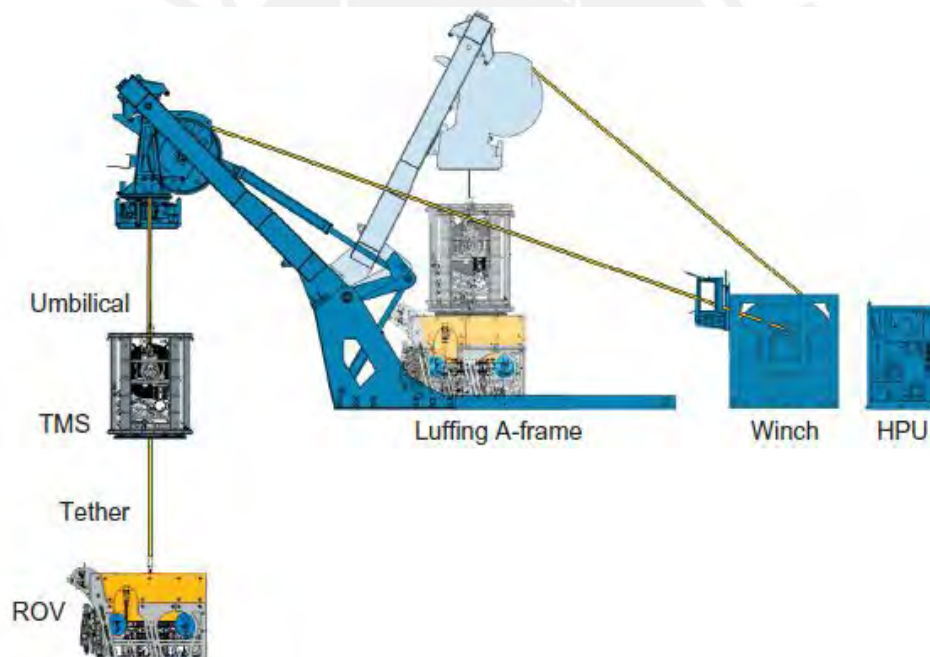


Figura 2.10: Funcionamiento de LARS A-frame con TMS Top Hat. (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014)

El winche localizado dentro del TMS, el cual se encarga de brindar el cable de alimentación y comunicación para el ROV está accionado por un motor sumergible eléctrico o hidráulico. Esta característica eleva el coste de diseño, es por ello que se opta por otras configuraciones del sistema en general para desplegar y extraer ROVs, tal como se aprecia en la Figura 2.11.

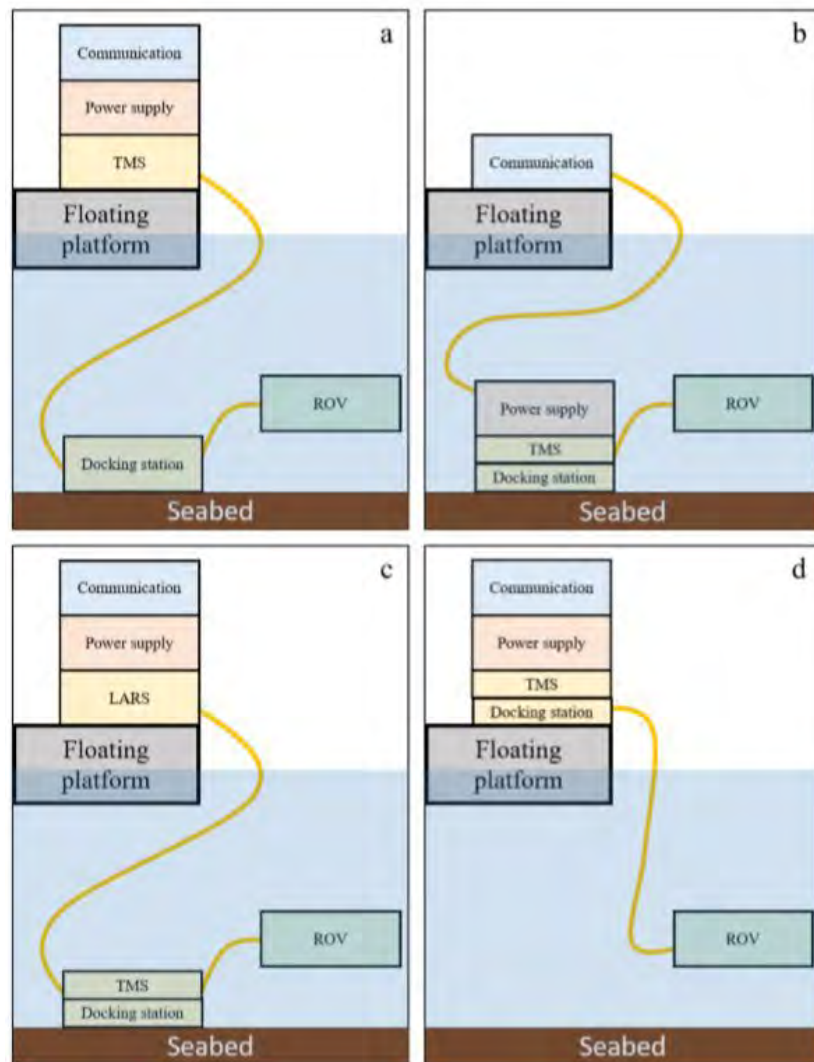


Figura 2.11: Arreglos posibles del sistema para el ROV. (Tršli'c, P. et al., 2018)

De estas configuraciones presentadas en la Figura 2.11 la d es la mejor opción para el diseño. Esto se debe porque el arreglo del sistema es simple y no requiere de componentes o sistemas sumergibles que inflan el costo. Sin embargo, las otras opciones pueden ser escogidas (Tršli'c, P. et al., 2018). Según 2014, Robert D. Christ y Robert L. Wernli, se recomienda el empleo de TMS sumergible para profundidades mayores a 500 m y como se observó en los arreglos, este sistema está antes de la estación de sujeción (docking station) que vendría a ser la corona del tipo Top Hat o la jaula desplegable.

### 2.1.3 Desafíos en LARS

Los LARS son escogidos o diseñados en base a las características del ROV, del TMS (si se considera) y de la embarcación en la cual será empleado. El diseño puede variar dependiendo del sistema general que se utilizara para el fin que vendría a ser la obtención de información y muestras dentro de un rango de profundidad marina significativa.

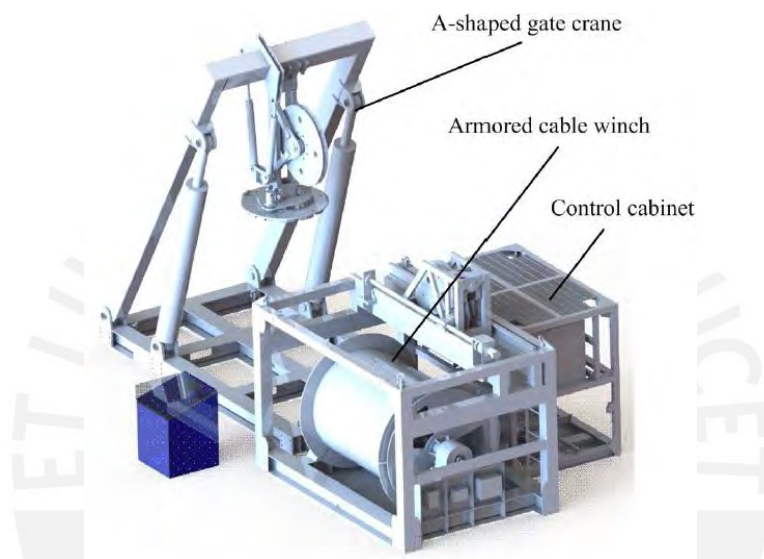


Figura 2.12: Sistema integrado: LARS, Winche y Panel de control. (Wang, H. et al., 2018)

La integración de subsistemas, como se muestra en la Figura 2.13, no tiene porque ser la más óptima. Si bien puede parecer más compacto y la estabilidad aparenta ser óptima por el contrapeso en la base, este sistema no podría ser instalado en embarcaciones que no tengan el espacio necesario o cuyo peso desestabilice al navío. El criterio de modularidad es importante si se tiene en cuenta que: Algunas embarcaciones poseen grúa propia, el sector donde será usado puede contar con un flota de navíos de diferentes dimensiones y tipos, el peso del sistema propuesto dificulta su traslado hasta las embarcaciones o el usuario requiere solo usar a lo mucho un módulo del sistema para llevar a cabo la misión del ROV (Wang, H. et al., 2018).

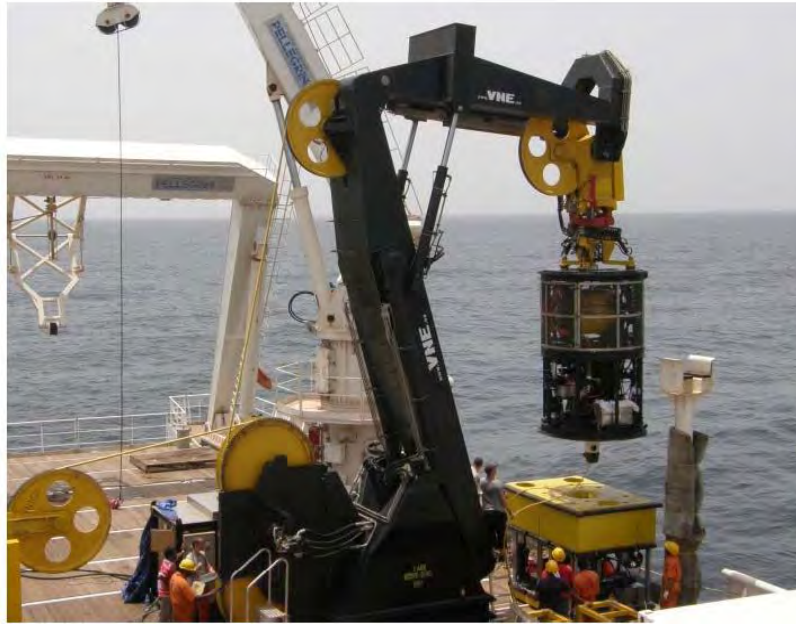


Figura 2.13: LARS para ROSUB6000. (Sthianarayanan, D., 2010)

Los LARS de accionamiento hidráulico son comunes debido a la potencia significativa que este brinda, pero son de elevado costo. En la Figura 2.13, el ROSUB6000 (Sathianarayanan, D., 2010) utiliza un LARS tipo Crane con brazo accionado por hidráulica, a pesar de ser un sistema robusto y de gran capacidad de carga, se presentaron fallas en alta mar durante sus misiones. Entre estas fallas se observa:

- Fugas en la unión de la abrazadera con la manguera de acero- Dichas fugas se dieron por la presencia de polvo de carbón, según la investigación realizada por el equipo encargado.
- Se dieron fugas en el cilindro principal. Se percataron que esto se dio por el envejecimiento del componente. Ante ello tuvieron que cambiar todos los cilindros.
- Tuvieron más problemas durante los viajes con el sistema hidráulico. Por ello tenían repuestos a la mano de los componentes como válvulas, sellos de cilindro, etc.

Estar en altamar dificulta bastante la solución de problemas sino se cuenta con los repuestos necesarios. La magnitud del problema conlleva al paro total o parcial de la misión del ROV. Por ende, si se opta por un sistema hidráulico es recomendable un nivel de robustez considerable para evitar fallas significativas. Visto de otra forma, también se puede elegir un sistema de apoyo eléctrico en caso de emergencias y/o darle la modularidad al sistema completo. Si la embarcación cuenta con grúa propia, la misión no requeriría del LARS pero si del winche para el suministro de cable de alimentación y comunicación para el ROV.

#### **2.1.4 Patentes**

Las patentes relacionadas al sistema de lanzamiento y recuperación serán usadas como guía para el diseño conceptual del sistema en cuestión. Tanto las especificaciones y/o características más relevantes para el diseño serán señaladas brevemente.

##### **2.1.4.1 System for launch and recovery of remotely operated vehicles**

Autor: Douglas, Patrick Trail

Código: US9855999B1

Año: 2018

En la Figura 2.14 se aprecia la embarcación con el LARS (12) montado en la parte trasera, adicionalmente se observa un TMS (30) y el ROV (92). El sistema está instalado e integrado a la embarcación mediante una plataforma (14). El sistema cuenta con suministro energético (7) para el subsistema electromecánico, un procesador de comunicación (6) de la data obtenida del ROV, un colector de información (9) que podría ser una computadora portátil o estación de teleoperación y por último, el uso de un transmisor-receptor acústico para complementar la ubicación y/o comunicación con el ROV (EE. UU. Patente N°. 9,855,999 B1, 2018).

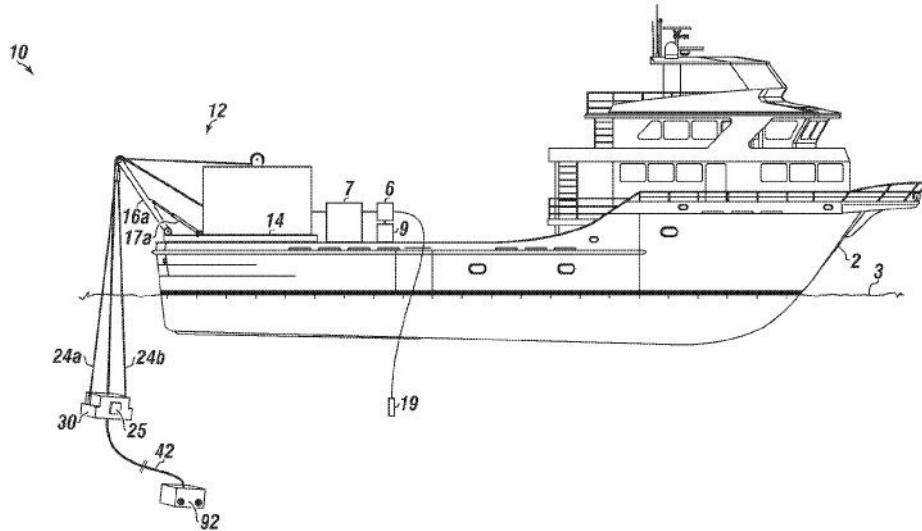
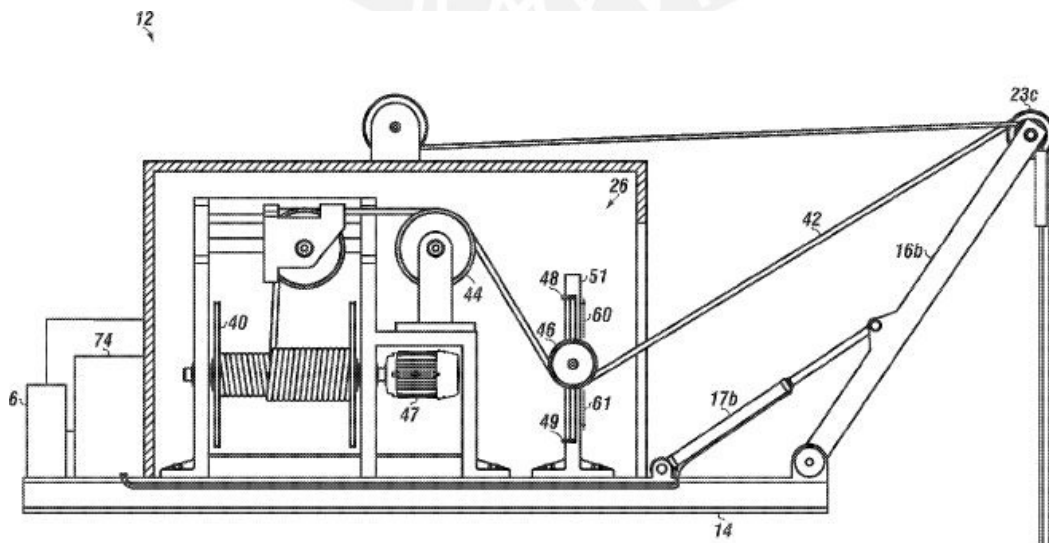


Figura 2.14: Sistema de lanzamiento y recuperación de ROV. (EE. UU. Patente N°. 9,855,999 B1, 2018)

En la Figura 2.15 se observa mejor el interior del LARS. Lo más resaltante en este diseño en concreto, es el juego de winches y poleas para darle robustez al sistema del LARS A-frame. En (b) se aprecian 3 winches con sus respectivas poleas. Este juego de winches son para soportar la carga del TMS con el ROV. En (a) se observa el motor eléctrico (27) el tambor que almacena el cable de alimentación y comunicación (40), un sistema de tensado para controlar la tensión en el cable de alimentación y comunicación (60) y el gestor de correa, el cual está ubicado encima del tambor (EE. UU. Patente N°. 9,855,999 B1, 2018).



(a)

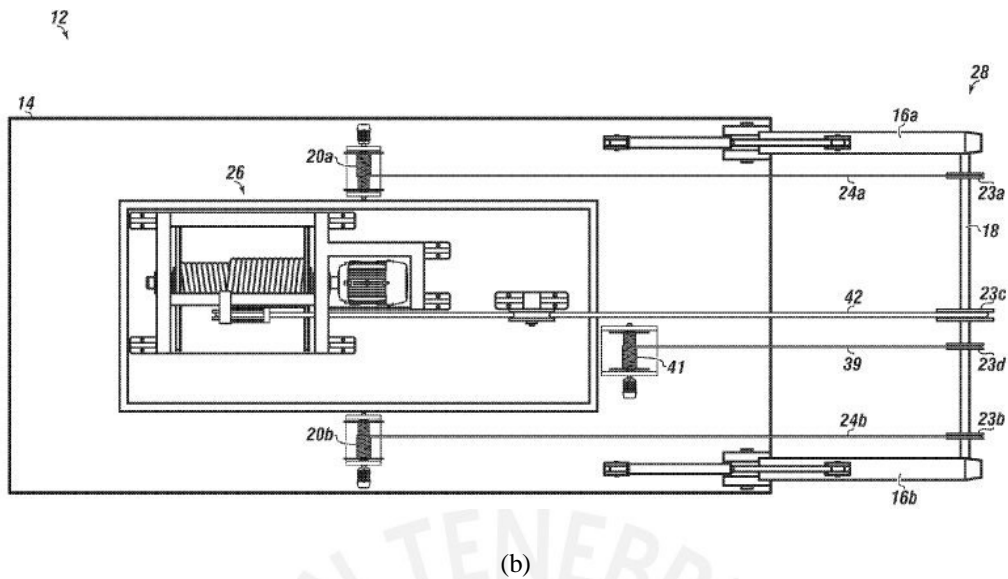


Figura 2.15: Estructura del sistema de lanzamiento y recuperación. Vista lateral (a) y vista superior (b). (EE. UU. Patente N°. 9,855,999 B1, 2018)

#### 2.1.4.2 System for launch and recovery of a vessel

Autor: Henriksen, Henrich

Código: AU 2011321096B2

Año: 2011

En la Figura 2.16, el LARS es de tipo Crane (2) con dos brazos unidos en un punto y la base está fija a la embarcación o plataforma, debido que la carga es un USV (Unmanned surface vehicle). El lanzamiento o recuperación se realiza mediante un cable para soportar la carga el cual es suministrado por un winche. Para mantener el equilibrio durante el accionamiento, se utiliza un cable con su respectivo winche localizado en el USV y se conecta a un extremo de la embarcación o plataforma donde se localiza el LARS (15). Este diseño es específico para este tipo de USV tipo lancha con solamente un winche elevador y su gancho para soportar la carga, ambos ubicados en su centro de equilibrio y su soporte en el extremo del mismo (AU Patente N°. 2011321096B2, 2011).



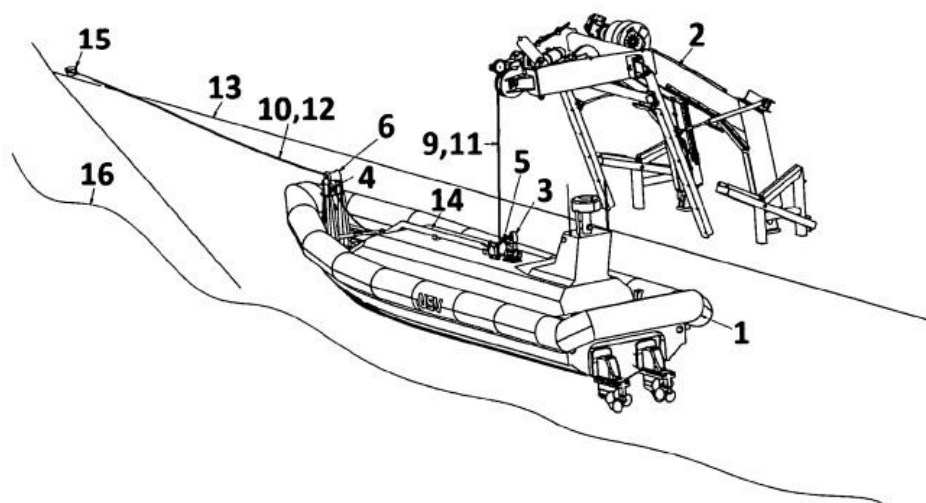


Figura 2.16: Sistema de lanzamiento y recuperación tipo Crane para lancha con un punto de enganche. (AU Patente N°. 2011321096B2, 2011)

En la Figura 2.17 se aprecia la segunda alternativa de diseño en la cual se emplean dos brazos por separado. La estructura es mucho más grande (32) y también está fija en la embarcación o plataforma. En este caso, se tiene una baranda (43) y por lo tanto se requiere de elevar a más altura el USV para su despliegue o extracción. El USV tiene dos puntos de enganche, cada uno con su winche para soportar la carga y su ganchos para recibir el cable desde el LARS (AU Patente N°. 2011321096B2, 2011).

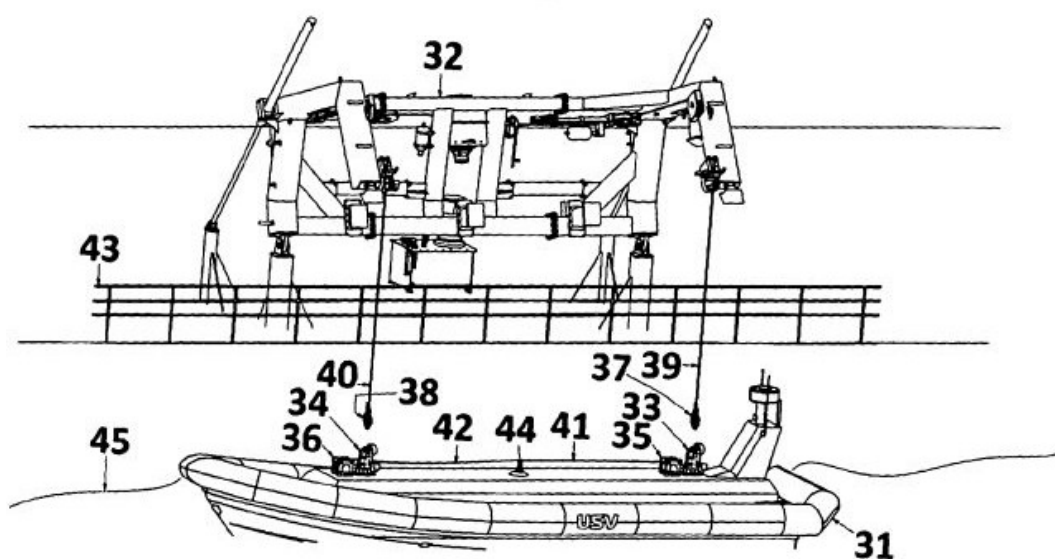


Figura 2.17: Sistema de lanzamiento y recuperación tipo Crane para lancha con dos puntos de enganche. (AU Patente N°. 2011321096B2, 2011)

### 2.1.4.3 Umbilical termination assembly and launching system

Autor: Ralph P. Rocha, Travis M. Bordman, Michael J. Galyen, Paul J. Drouet, John A.

Sweeney y Mark B. Means

Año: 2003

En la Figura 2.18 se muestra el sistema de lanzamiento del UTA (Umbilical termination assembly). El UTA es un sistema hidráulico multiplexado que permite conectar muchos módulos a las mismas líneas de suministro de comunicaciones, eléctricas e hidráulicas (Oilfield Wiki, 2016). El LARS A-frame (20) funciona mediante un sistema hidráulico (24) y un juego de poleas para controlar el tensado del cable (16) (14) (18). Asimismo tiene un winche para almacenar el cable que soporta la carga con su respectivo gestor de correa (12). El (17) es una polea que permite nivelar la posición de la polea (16) con la finalidad de tensar el cable. Es un sistema por ende complejo debido a la precisión de instalación del UTA (EE. UU. Patente N°. 6,612,369 B1, 2003).

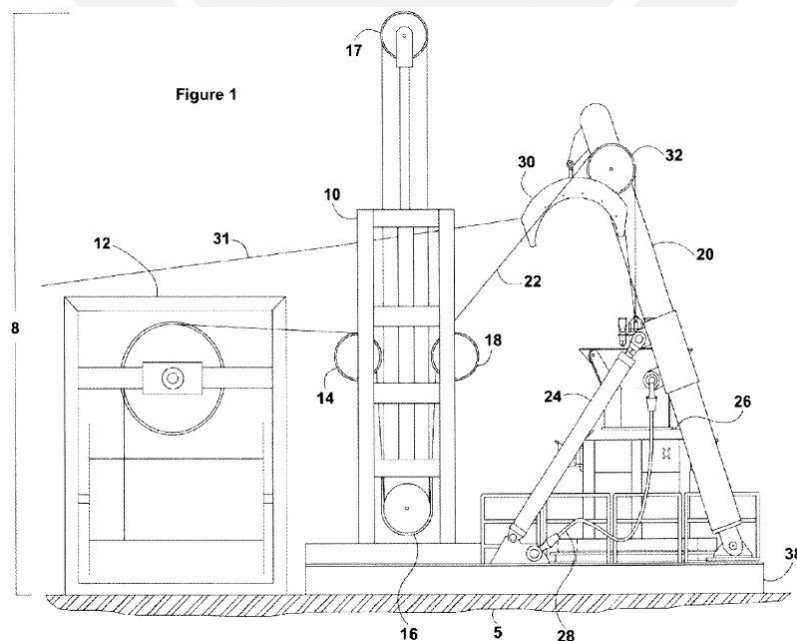


Figura 2.18: Sistema lanzamiento para ensamble de terminación umbilical (UTA). (EE. UU. Patente N°. 6,612,369 B1, 2003)

## 2.2 Winche para cable alimentación y comunicación del ROV

Los winches para alimentación y comunicación del ROV o cabrestantes se encargan del suministro de cable. Este cable se utiliza para suministrar la alimentación y comunicación o adicionalmente soportar su peso. Por ello, existe una gran variedad de winches para ROV. En la Figura 2.19 se observa un winche comercial de la empresa Sperre ROV Technology, el cual tiene un tambor que almacena un cable de 22.5 mm de diámetro con longitud de 1000 m y cuyo giro es accionado mediante un motor eléctrico de 2 HP. Adicional a ello, se emplea el uso de un level-winder (guía de nivel) para enrollar y desenrollar el cable sin que se formen aglomeraciones en algún punto del tambor (Sperre ROV Technology, s.f).



Figura 2.19: Winche model medium 22/1000. (Sperre ROV Technology, s.f)

El level-winder es un subsistema que se encarga de asegurar la tensión, darle una distribución pareja a la entrada y salida del cable y evitar la estrangulación o acumulamiento a lo largo del tambor. Este sistema de guía se detalla en el siguiente inciso.

### 2.2.1 Gestión de correa

El level-winder es el subsistema de guiado encargado de la gestión de correa o cable. Su uso es común en winches en general, no solamente para ROVs. En la Figura 2.20, se aprecia el sistema con gestión de correa por level-winder. El movimiento del gestor de correa es generado por el mismo motor encargado de darle giro al tambor. Esta interacción es necesaria para controlar correctamente el ingreso de cable de forma pareja. Se suele emplear un juego de engranes, poleas o sprockets para variar y/o igualar la velocidad de giro del eje del tambor con el eje del gestor de correa (Krishna, M. et al., 1997).

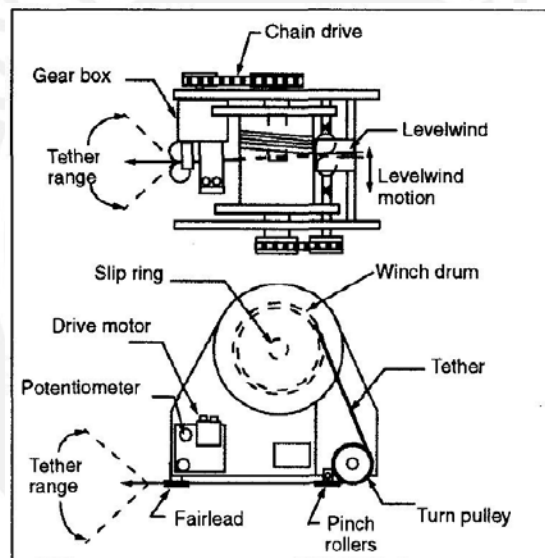


Figura 2.20: Partes de un winch standard. (Krishna, M. et al., 1997)

La pieza clave para permitir el movimiento del gestor de correa que se desplaza de extremo a extremo mientras que el tambor gira hacia un solo sentido cuando enrolla o desenrolla, es el “diamond screw” o rosca diamante, también denominado rosca invertida. Su canal se caracteriza por tener una sola hilera la cual permite el movimiento continuo del cabezal que sostiene al gestor de correa de extremo a extremo sin la necesidad de variar el sentido de giro del motor. En la Figura 2.21 se aprecia el eje y su característico canal. La empresa Bornemann

Gewindetechnik al igual que otras, se dedican a la producción de ejes con diferentes roscas. Esta rosa de diamante es común en aplicaciones como winches y suele ser de titanio (Bornemann Gewindetechnik, s.f).



Figura 2.21: Eje con rosca de diamante o rosca invertida. (Bornemann Gewindetechnik, s.f)

Sin embargo, no es el único método para la gestión de correa. En 2014, Yoneyama. M. et al. se detalla el diseño de un sistema para gestionar el cable mediante un brazo curvo que gira levemente mediante un motor para distribuir el cable al igual o de forma parecida como un level-winder. En la Figura 2.22 se muestra el sistema mencionado. El cable pasa por una polea en el extremo del brazo. El giro del mismo no es continuo, el motor debe mantener un giro horario y luego antihorario en relación al giro del tambor; por ende hay un sistema de control para validar su funcionamiento.

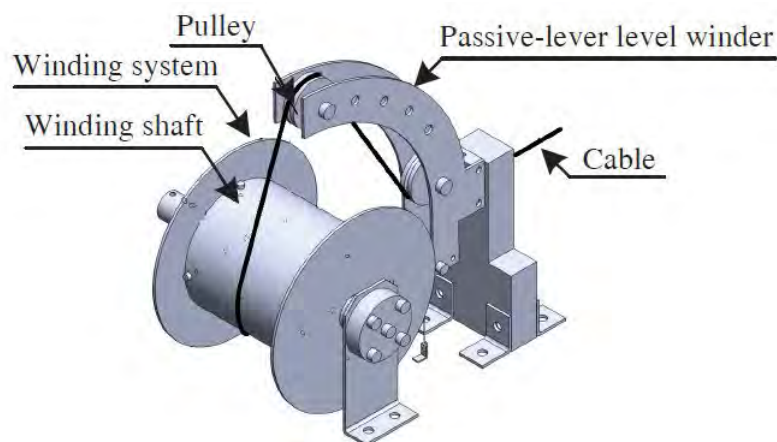


Figura 2.22:Gestor de correa por oscilador. (Yoneyama, M. et al., 2014)

Se considera bastante la distancia entre este brazo y el tambor. Esto se debe principalmente a la tensión que se genera. A mayor distancia, manteniendo la relación de velocidades entre tambor y motor del brazo, se obtuvo como se muestra en la Figura 2.23 un mejor enrollado de cable. Esto nos indica que hay una relación existente entre la distancia, la velocidad y por ende la tensión (Yoneyama, M. et al., 2014).

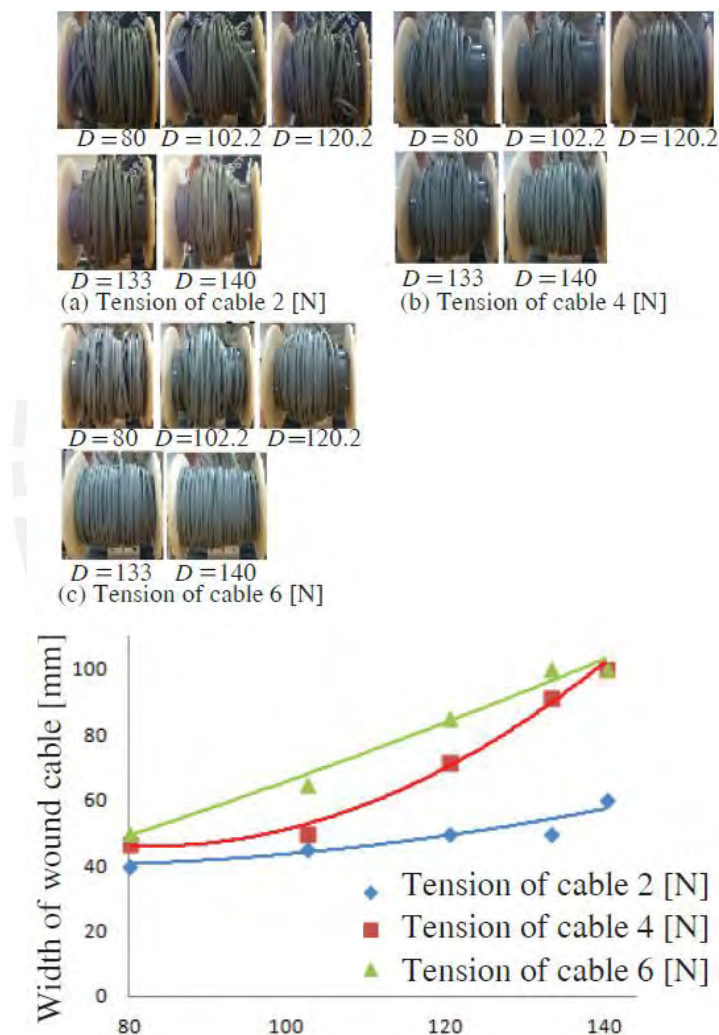


Figura 2.23: El ancho del cable enrollado y brazo vs tensión del cable. (Yoneyama, M. et al., 2014)

De igual forma se realiza un análisis con el diámetro del cable cuando varía y de la aplicación de una tensión inicial previa al enrollado o desenrollado. La que tuvo mejor respuesta fue la mostrada en la Figura 2.23. Se concluye que el sistema propuesto es eficiente como gestor de

correa luego de realizar la validación experimental; sin embargo, para cables de gran extensión y por ende, tambores de gran dimensión, la distancia entre el tambor y este sistema debe ser significativamente grande. Esto perjudica el diseño de un winche compacto (Yoneyama, M. et al., 2014).

Otro sistema para la gestión de corea es la empleada en la Figura 2.19, en la cual se aprecian 3 carriles, 1 principal donde recae el gestor de correa y 2 secundarios como apoyo para distribuir mejor el peso. Esta guía lineal es parecida al level-winder sin embargo, posee un motor independiente que genera el movimiento, sea horario o antihorario, para así trasladar al gestor de extremo a extremo.

### 2.2.2 Tabla comparativa de tipos de gestor de correa

En resumen, en la Tabla 2.2 se comparan los 3 tipos de gestor de correa según el sistema de actuación, controlabilidad y facilidad de adquisición. Si bien el eje rosca de diamante es un sistema popular en winches, este no se encuentra disponible en el mercado nacional; a diferencia de una guía lineal que dependiendo de su longitud y velocidad de carrera se puede seleccionar.

Tabla 2.2: Tabla comparativa de Tipos de gestor de correa. Elaboración propia

	Tipos de gestor de correa		
Criterio	Level-winder	Oscilador	Guía lineal
Sistema de actuación	Electromecánico	Electromecánico	Neumático/Eléctrico
Controlabilidad	Dependiente del motor principal del winche	Independiente, requiere su propio actuador	Independiente, requiere su propio actuador
Facilidad de adquisición	Mercado internacional	Investigación, no comercial	Mercado nacional e internacional

### 2.2.3 Patentes

Las patentes relacionadas al winche para cable ROV serán usadas como guía para el diseño conceptual del propio sistema y su gestión de correa. Tanto las especificaciones y/o características más relevantes para el diseño serán señaladas brevemente.

#### 2.2.3.1 Line Hauling Device

Autor: Smith, Nigel, Roberts, Philip y Falconer, Oliver

Código: EP2873642A1

Año: 2014

En la Figura 2.24 se muestra un winche cuyo sistema de gestión de correa se basa en un tornillo sinfín (42) unido a un engrane (44) el cual moviliza una plataforma inferior que varía la posición de gestor de correa (50). El movimiento del tornillo sinfín está relacionado con el giro del tambor (30) el cual está impulsado por un motor (18) (EP Patente N°. 2,873,642 A1, 2014). Este sistema depende por tanto de la relación entre el giro del engrane impulsor de la plataforma del gestor de correa y la potencia del motor.

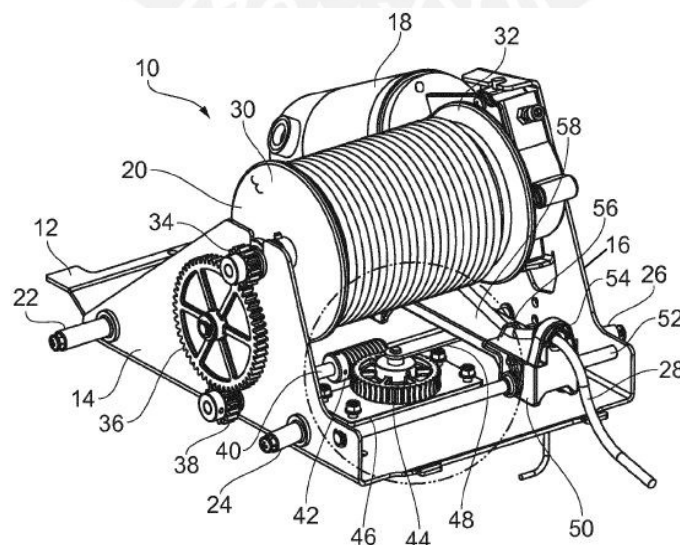


Figura 2.24: Vista isométrica del winche con dispositivo de transporte de línea. (EP Patente N°. 2,873,642 A1, 2014)



### 2.2.3.2 Level winding drum winch

Autor: Michael T. Einhorn

Código: US2014/0061558A1

Año: 2014

El diseño mostrado en la Figura 2.25 utiliza el famoso eje de rosca de diamante (51). Solo que este eje se localiza en la parte inferior del tambor (22). El accionamiento de este tambor es por energía hidráulica o neumática, la cual es suministrada mediante otro sistema externo. El eje rosca de diamante se acciona de forma externa mediante una faja (55) la cual mediante poleas (54) y (56) transmiten la potencia generada en el tambor. El winch se encuentra ubicado sobre una plataforma cuya sujeción es fija (EE.UU. Patente N°. 2014/0061558 A1, 2014). En aspectos de diseño, el sistema es útil para cables con gran dimensión y tamaño; sin embargo, la ausencia de un sistema propio que genere la potencia necesaria para el funcionamiento del winche y la presencia de una plataforma para darle robustez al sistema, lo hacen menos efectivos si hablamos de una versión mucho más grande.

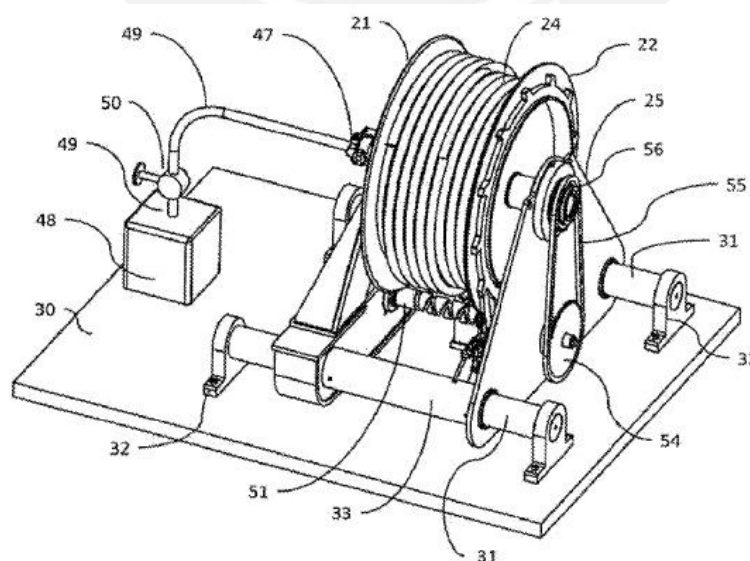


Figura 2.25: Sistema de gestión de correa para cable en tambor de winch. (EE.UU. Patente N°. 2014/0061558 A1, 2014)

### 2.2.3.3 Internal winch for self payout and re-wind of a small diameter tether for underwater remotely vehicle

Autor: Graham Hawkes, Charles Chiau y Adam Wright

Código: US2013/0193256A1

Año: 2013

El tamaño del winch está completamente relacionado con la cantidad de cable que contendrá. Es por ello, como se observa en la Figura 2.26, el winche tiene la capacidad para almacenar un cable (501) cuya longitud puede estar entre los 7000 a 20000 m de longitud. El sistema que se encarga de la gestión de correa es el eje con rosca de diamante (505). El cabezal unido al eje (504) recorre una gran distancia para abarcar todo el tambor. El tambor está impulsado mediante un juego de fajas y poleas (514) (513) (516), el motor o actuador no se especifica (EE.UU. Patente N°. 2013/0193256A1, 2013). Este diseño es simple debido al diámetro del cable el cual es igual a 2.8 mm, es un cable de fibra óptica.

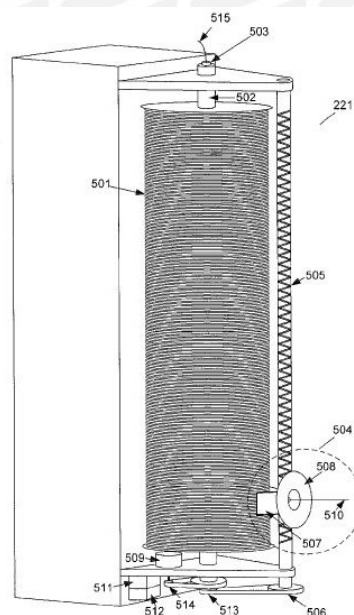


Figura 2.26: Winche para cable de 7000 a 20000 m con 2.8 mm de diámetro. (EE.UU. Patente N°. 2013/0193256A1, 2013)

### 2.2.3.4 Winch Assembly

Autor: Andrew Richards

Código: US7748685B2

Año: 2010

En este diseño, se da un especial enfoque al uso del gestor de correa cuando la tensión del cable (14) es paralela al eje del tambor (18), tal como se observa en la Figura 2.27. Para nivelar la tensión generada y por lo tanto conseguir el suministro de cable de forma efectiva, se utiliza una sección de disco en forma de polea de 90° (40) el cual está montado en el gestor de correa (30). También se emplea el uso de un eje de rosca diamante (34) para permitir el desplazamiento del gestor de correa; sin embargo, el centro del eje no es paralelo al centro del eje del tambor. Esta distancia dependerá de la tensión promedio del cable (EE.UU. Patente N°. 7,748,685 B2, 2010). El sistema de accionamiento no se detalla como en los otros sistemas indicados, pero si se emplea la transmisión de potencia por faja (38). Este factor es clave en todos los diseños; el accionamiento del sistema de gestión de correa no puede ser independiente al accionamiento del tambor.

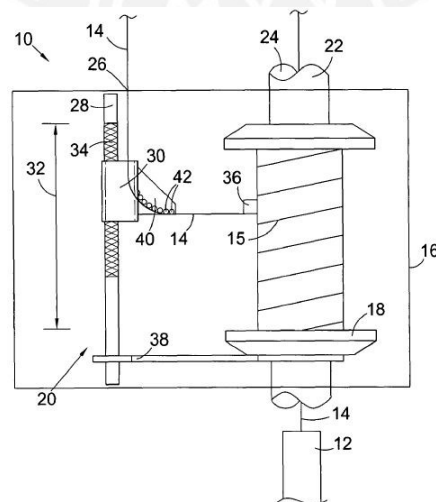


Figura 2.27: Sistema de gestión de correa con entrada paralela al eje del tambor. (EE.UU. Patente N°. 7,748,685 B2, 2010)

### 2.2.3.5 Load compensated right angle diamond screw levelwind

Autor: James Stasny, Joe Janac, Dean Carey y Toby Selcer.

Código: US6443431B1

Año: 2002

En la Figura 2.28, se observa el winche con gestor de correa (3). Este sistema tiene como objetivo indicar la importancia de compensar la carga en el eje rosca diamante (30) mediante un sistema hidráulico (18). El mismo motor hidráulico genera esta compensación previa al uso del sistema. En este caso, el cable de salida (32) es paralelo al eje del tambor y por ende del eje rosca diamante. La tensión genera una fuerza axial en el eje rosca diamante y también en la pieza que hace juego con este; este último puede llegar a ceder y fracturarse por dicha carga, por ello se emplea la compensación hidráulica como medida de prevención (EE.UU. Patente N°. 6,443,431 B1, 2002). Este diseño a diferencia al mostrado en la Figura 2.27, si considera la fuerza axial en la pieza de unión entre el gestor de correa y el eje rosca diamante. Cabe resaltar, que este análisis si bien no parece relevante a primera instancia, podría generar una gran falla en el sistema.

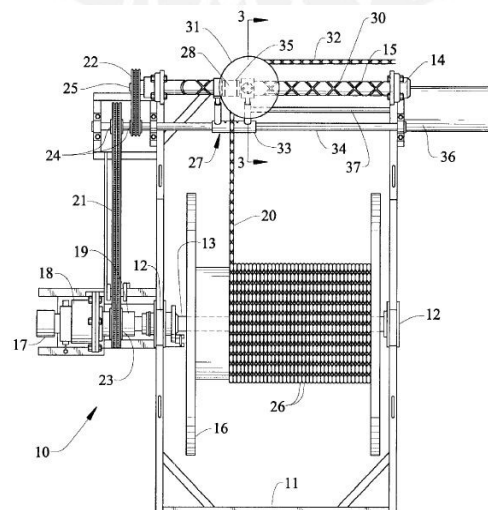


Figura 2.28: Compensación hidráulica en la unión del gestor de correa y el eje rosca diamante. (EE.UU. Patente N°. 6,443,431 B1, 2002)

### 2.3 Jaula desplegable

La jaula desplegable tiene la función de proteger al ROV hasta que este llegue a la superficie del mar, se desplace o salga de la jaula y comience su misión de navegación, obtención de información y muestras. El peso y dimensiones de la jaula están limitadas por el LARS y el ROV respectivamente.

En la Figura 2.29, la jaula no tiene compuerta y posee una abertura posterior para el ingreso y pase del cable de alimentación y comunicación. Este tipo de sujeción es efectivo y de bajo costo a comparación del TMS y permite, como se ha indicado, el uso del winche encargado de alimentar y comunicar al ROV desde la embarcación. Por ende su control y uso es directo a diferencia de un TMS sumergible que ante una falla significativa puede no ser recuperable (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014). Las jaulas desplegadas son en su mayoría sistemas simples, debido a su diseño. Es una estructura de acero inoxidable cuyas dimensiones se limitan al ROV; sin embargo, la innovación trae consigo la implementación de jaulas adaptables o de múltiples cargas como se observan en la siguiente sección. Para el sistema se implementará una jaula flotante en base a las desplegadas.

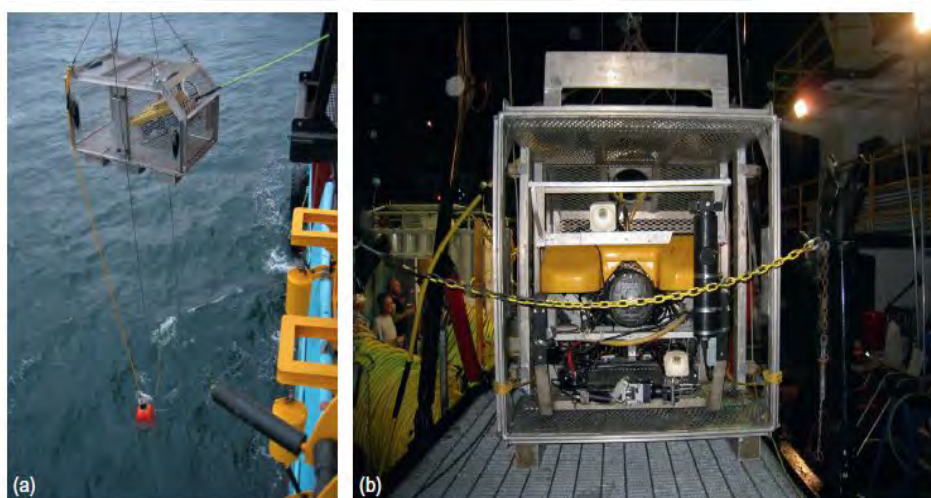


Figura 2.29: Jaula desplegable (a) OCROV y (b) MSROV. (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014)

### **2.3.1 Patentes**

Las patentes relacionadas a las jaulas desplegadas serán usadas como guía para el diseño conceptual del propio sistema y su relación con el ROV. Tanto las especificaciones y/o características más relevantes para el diseño serán señaladas brevemente.

#### **2.3.1.1 Transportation platform for underwater towing device**

Autor: Yan Lin, Xiaoning Jiang y Yanyun Yu.

Código: US10294083B2

Año: 2019

En la Figura 2.30 se aprecia una plataforma para transportar un dispositivo de remolque submarino. La estructura cuenta con una base de acoplamiento (3) y cuatro largas columnas (1) que están unidas por múltiples barras. El sistema de sujeción es simple, solo requiere la posición de unas planchas con entradas para el acoplamiento por peso del objeto a trasladar (EE.UU. Patente N°. 10,294,083 B2, 2019). A grandes rasgos, la estabilidad del sistema se basa no solamente en sus columnas y soportes; si no, en el análisis cuando la plataforma soporta la gran carga. Este análisis es clave para garantizar un factor de seguridad considerable.

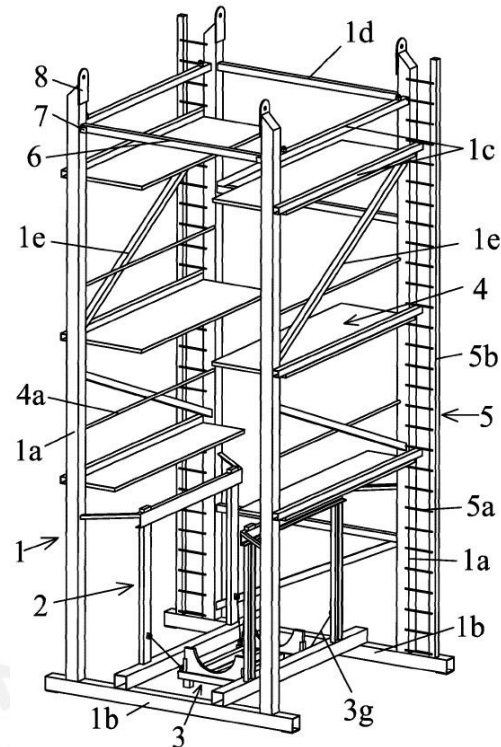


Figura 2.30: Plataforma transportable. (EE.UU. Patente N°. 10,294,083 B2, 2019)

### 2.3.1.2 Subsea remotely operated vehicle (ROV) HUB

Autor: Merchant, Aziz Amirali, Hussaien, Anis Altaf, Kumar, Sreekala y Choudhary, Ankit Kumar.

Código: WO2017/164811A1

Año: 2017

Así como las jaulas desplegadas son de uso único, también existen jaulas para múltiples cargas. Tal es el caso que se observa en la Figura 2.31. Para el empleo de varios ROVs o vehículos sumergibles, se diseñan jaulas que permiten el despliegue con solamente un ejercicio de lanzamiento y posteriormente de extracción. La jaula desplegable (10) puede transportar hasta tres ROV. Adicionalmente a ello posee un contrapeso en la parte superior para compensar el empuje que se da cuando los ROVs se retiren del mismo (WO Patente N°. 2017/164811, 2017). Si bien el diseño es novedoso y práctico, el LARS debe tener una

capacidad de carga considerable para soportar el peso total de la jaula con los ROVs, esto podría dificultar el lanzamiento o extracción. Por ejemplo, si la jaula se inclina por el golpe de una ola y produce la caída de un ROV.

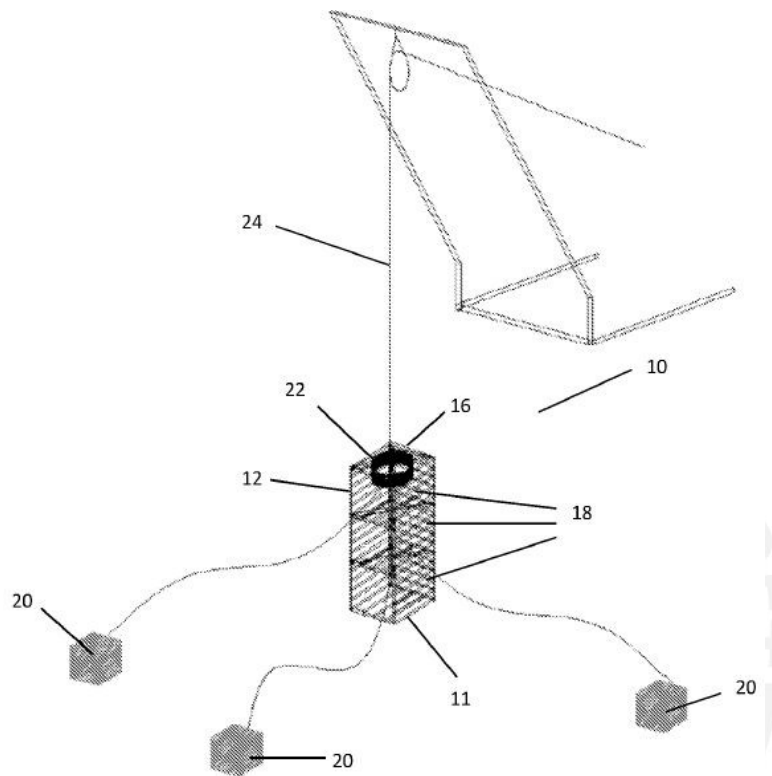


Figura 2.31: Jaula para múltiples ROVs. (WO Patente N°. 2017/164811, 2017)

### 2.3.1.3 Device for launching and recovering an underwater vehicle and implementation method

Autor: Xavier Franck Yann Delahousse, David Jean-Pierre Barre y André Honor Adolphe Meirier.

Código: US6698376B2

Año: 2004



Las jaulas también pueden tener un diseño adaptable a ROVs. En la Figura 2.32 se aprecia un sistema de sujeción mecánica desde una jaula. El juego de poleas (40) mediante cables y un conjunto de cilindros plegables (55) en la parte superior consiguen la separación de la base con el tope. Las barras verticales (53) restringen el cierre del sistema para no dañar al ROV. Para mantener la distancia antes del agarre, la base posee un peso considerable y mayor al peso de la parte superior. Finalmente, la jaula se cierra una vez esté adentro y posiciona correctamente el ROV (EE.UU. Patente N°. 6,698,376 B2, 2004). Este creativo sistema fue diseñado para el ROV mostrado. Cabe destacar, que en la base posee un sistema de anclaje (13) el cual impide el movimiento del ROV cuando este es atrapado. Caso contrario, podría caerse o deslizar.

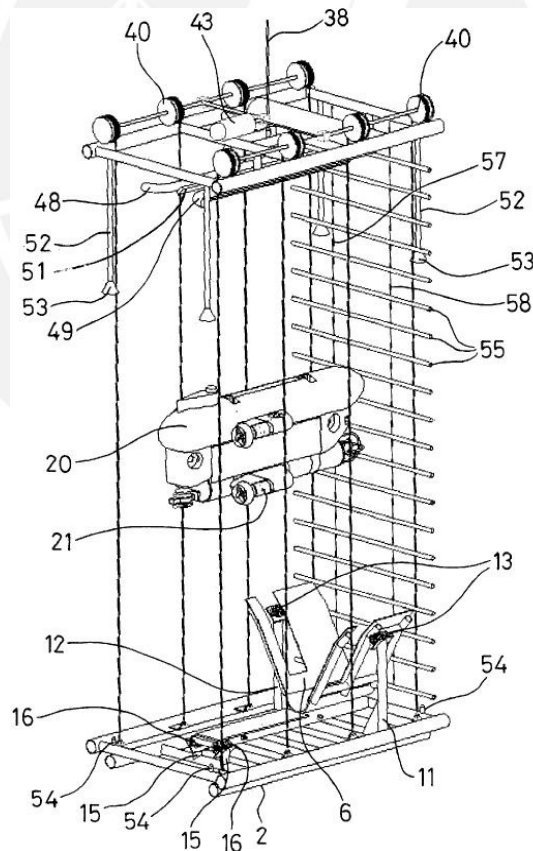


Figura 2.32: Jaula adaptable para atrape de ROV. (EE.UU. Patente N°. 6,698,376 B2, 2004)

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

En el presente capítulo se detalla el procedimiento para llegar al diseño conceptual que soluciona la problemática presentada. En este capítulo se describe la lista de requerimientos, la caja negra del sistema, la estructura de funciones, la matriz morfológica, los conceptos de solución, la evaluación y el concepto de solución óptima. Todo este proceso tiene como finalidad el desarrollo de un concepto de solución óptimo que cumpla con los requerimientos y la evaluación a ser realizada.

#### **3.1 Lista de requerimientos**

En la presente sección se desarrolla la lista de requerimientos del sistema propuesto. Esta lista se limita y dispone de los criterios del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170. Estos se detallan en la Anexo A, en la cual se describen los requerimientos más importantes a considerar respecto al sistema total y sus funciones o subsistemas. Entre estos, los de mayor exigencia son la geometría, carga y montaje; debido que estos factores caracterizan al sistema que se va a implementar.

- a) **Función principal:** Despliegue y extracción del ROV desde la embarcación hasta la superficie del mar o viceversa y suministro de cable de alimentación y comunicación con gestión de correa para el ROV. Esta función principal describe el propósito del sistema propuesto y está orientada al proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170.
- b) **Geometría:** El sistema es modular. Esto significa que emplea módulos para su funcionamiento. Por ende, existen dos distribuciones para el sistema. Una es el sistema modular integrado que contiene todos los subsistemas juntos y la otra es el sistema modular la cual tiene los módulos por separado físicamente y no requiere que estén todos los módulos o subsistemas presentes, menos el de interfaz de control y energía.
- **Sistema modular integrado:** Este sistema o arreglo contará con las dimensiones máximas de 2500 - 3200 mm de largo, 1500 - 2300 de ancho y de 2500 a 3500 de alto estas medidas han sido elegidas bajo las dimensiones del LARS tipo Crane de la Tabla 2.1 e indicaciones del proyecto de investigación del cual se rescata bastante la altura. Debido a que el sistema debe ser armado y posterior a su uso debe ser desmontado; por ello, es recomendable una altura máxima de 3500 mm, la cual debe ser accesible para los operarios y que el izado sea mayor a 1500 mm debido a la presencia de la baranda en la embarcación.
  - **Sistema modular:** Se cuenta con cinco módulos o subsistemas. Las dimensiones del subsistema de lanzamiento y recuperación es el más relevante

debido que es el más pesado y difícil de armar. Ante ello, las dimensiones de solo este subsistema son 1500 - 2000 mm de largo, 1000 - 2000 mm de ancho y 2500 - 3300 de alto. El resto de subsistemas pueden ir en el suelo a distancias máximas de 1.5 m desde el subsistema de suministro de energía; exceptuando el subsistema de jaula flotante el cual no lo requiere.

- c) **Cinemática:** El sistema debe proporcionar una velocidad de cable, sea entrega o enrollado, en relación al desplazamiento del ROV. Este vehículo puede ir como máximo a 1 m/s al navegar. Por ende necesita un suministro de cable de 60 m/min como mínimo para evitar tensiones o jalones. Los grados de libertad del sistema son dos como máximo, esto se debe principalmente a que los sistemas más simples, como LARS, presentan modelos con dos grados de libertad como mínimo, los cuales consisten en elevar el ROV y posteriormente desplazarse hasta el exterior del barco. Si bien otros tipos de LARS detallados en la sección 2.1.1 poseen un complejo y funcional sistema de despliegue, la mayoría de estos sistemas son muy grandes y difíciles de transportar o ensamblar. El 1er grado es la rotación del brazo de la grúa que sostiene al ROV dentro de la jaula para posicionarlo al exterior de la embarcación, esta rotación tiene un giro angular de  $0^\circ$  a  $270^\circ$  para limitar un ángulo de trabajo seguro donde se posicione el operador y tendrá una velocidad de giro mayor a  $90^\circ/\text{min}$ . Es una velocidad referente para realizar el traslado de la carga de forma segura. El 2do es el movimiento vertical de la carga para ascender o descender al ROV a la superficie marina o la embarcación. La carga debe ser alzada por lo menos a 1.5 metro de altura respecto al suelo de la embarcación para evitar el impacto con la baranda del navío y luego descender entre -0.8 a -2.5 m, dependiendo de la altura de la embarcación, y la velocidad de la carga para realizar esta operación vertical debe ser

mayor a 15 m/min, no requiere ser muy lento porque el peso contribuye con la estabilidad durante el proceso.

- d) Carga:** Al igual que todos los LARS, es vital indicar la capacidad de carga del sistema propuesto. Este límite viene a ser el peso de la jaula flotante más el peso del ROV, por ello se estima que el peso del ROV será como máximo de 150 - 200 kg, según se indica en el proyecto de investigación, y la jaula flotante pesará como máximo 35 kg. Por lo tanto, la capacidad de carga mínima requerida del sistema es de 235 kg como máximo; sin embargo, se debe garantizar un factor de seguridad de 1.5 el cual pueda responder correctamente a una carga mayor.
- e) Energía:** Para el suministro energético tiene 220 VAC / 60 Hz proveniente de un generador AC mediante un cable que medirá 3 m de largo como mínimo. También se contará con cables de alimentación entre módulos con una extensión máxima de 1.5 m de largo provenientes del subsistema de suministro de energía para los demás subsistemas que lo requieran. Por último, dentro del subsistema de suministro de energía se utilizarán los reguladores de potencia necesarios para el funcionamiento de los demás subsistemas que lo requieran.
- f) Materia:** El sistema se encarga del traslado del ROV desde la embarcación hasta la superficie marina o viceversa. Sin embargo, el vehículo que quiera ingresar a este sistema debe estar limitado por sus dimensiones y peso; caso contrario, el sistema no podrá realizar el traslado o fallará. Por ello, el ROV debe tener dimensiones máximas de 1000 mm de largo, 1000mm de ancho y 1000 mm de alto con un peso máximo de 150 - 200 kg.

- g) Señales:** Las señales de entrada y salida del sistema son descritas en la Sección 3.2.1 y tal como se indica, la selección de estas señales están relacionadas con el interfaz de control, procesamiento de las entradas y la información requerida para que el usuario use el sistema bajo el control del mismo. De estas señales las más importante en cuanto a seguridad son la de parada de emergencia, de estado de operación de los módulos y las alertas del sistema; estas tres señales nos garantizan que el sistema no tenderá a fallar.
- h) Control:** Para el nivel de control se manejan tres variables que nos permitirán controlar y mantener la estabilidad del sistema durante su funcionamiento (despliegue, extracción o suministro de cable), estas son: La velocidad de entrega de cable para comunicación y alimentación del ROV la cual debe tener un tiempo de respuesta rápido menor a 0.5 seg., la posición radial de giro no requiere de un tiempo de respuesta tan rapido ya que el giro del brazo de la grúa será lento y seguro. Por último, la posición vertical de la carga tiene el mismo criterio que la posición radial, se realizará de forma lenta y segura para evitar la inercia. Todas estas variables tendrán el sobreimpulso máximo del 15% y el error en estado estable cercano al 0%.
- i) Electrónica:** Los requerimientos de electrónica son el controlador, los sensores y los actuadores. Se utilizará un único controlador que se encargará de procesar las señales internas o de entrada/salida para luego realizar control por lazo cerrado o abierto dependiendo de los criterios del subsistema. Una de las principales señales es la posición relativa del ROV la cual nos permitirá realizar un modo automático para la gestión de cable. Los sensores permiten control por lazo cerrado de los subsistemas que lo requieran, posterior a la toma de data, estas señales serán procesadas para luego

ser mostradas en la interfaz de control. Finalmente, los actuadores involucrados para accionar el sistema son el winche para soportar la carga de la jaula flotante con el ROV dentro, el actuador para accionar el giro del tambor que contiene el cable de comunicación y alimentación del ROV y el actuador encargado del giro de la grúa para variar la posición radial de la grúa.

- j) Comunicación:** Se tiene dos niveles de comunicación. Uno interior entre los subsistemas mediante el subsistema de comunicación e interfaz de control el cual contiene al único controlador del sistema general y otro de nivel exterior entre el operario y el sistema que será también mediante la interfaz de control la cual cuenta con una pantalla para monitorear e indicar parámetros o señales de entrada necesarios en el sistema.
- k) Seguridad:** Como requisito de seguridad se indican dos niveles. A nivel del usuario se sigue la Ley N°29783 de seguridad y salud en el trabajo (El Congreso de la República, 2011). La cual indica el uso de EPP (equipo de protección personal) tanto durante el montaje, uso y desmontaje del sistema o módulos que se empleen. Y a nivel del sistema se deben implementar componentes con IP55 como mínimo (resistentes al polvo y a chorros de agua), se debe evitar mojar o limpiar con chorros de agua el sistema. El subsistema de suministro de energía debe estar protegido por una caja que impida el ingreso de líquidos no deseados. La principal preocupación es el ingreso del agua en los componentes electromecánicos o de suministro energético; por ello, se deben emplear cajas cerradas y compactas para evitar el ingreso de algún líquido.
- l) Mantenimiento:** Se desea como requerimiento de mantenimiento que se realice en dos niveles: el usuario y el técnico. El usuario deberá realizar un mantenimiento

superficial del sistema para limpiar la estructura del polvo o líquidos, revisar la estructura si presenta daños y reparar aquello que se pueda solucionar, caso contrario, el técnico realizará el análisis necesario. El técnico realizará una inspección a nivel de detalle de los componentes y funcionamiento del sistema cada tres meses; con la finalidad de reparar algún daño en el sistema y así garantizar la respuesta deseada del mismo como mínimo hasta la próxima revisión.

- m) Montaje:** Se requiere que el diseño sea modular, quiere decir que el sistema puede funcionar en su totalidad o por módulos, lo cuales se indican en la Figura 3.2. Estos módulos o subsistemas interactúan entre sí mediante el subsistema de interfaz de control y requieren del subsistema de suministro de energía para el encendido/apagado y parada de emergencia, si fuera el caso.
- n) Fabricación:** Se emplea el uso de materiales y accesorios disponibles en el mercado nacional o internacional, teniendo como preferencia el mercado nacional para la facilidad en adquisición de repuestos. La fabricación de piezas se realizará en los talleres de la PUCP o aledaños, dependiendo de los criterios como costos, tiempo y equipos.
- o) Costo:** El costo de los componentes y la fabricación del sistema propuesto es de S/24,500 según el proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170, el cual ha estimado esta cantidad.
- p) Plazos:** Plazo de entrega final de 1 año una vez comenzado el proyecto PNIPA-PES-SIADE-PP-000170.



### 3.2 Estructura de funciones

La estructura de funciones se encarga de subdividir la función principal del sistema en bloques de funciones vinculados a dominios y/o subsistemas; por lo tanto, se determinan estas funciones para así identificar tecnologías que den solución a cada función. Para comenzar con el procedimiento se realiza, como primer paso, la caja negra del sistema y posteriormente el diagrama de estructura de funciones donde se visualiza de forma dinámica los bloques, dominios, subsistemas, entradas y salidas del sistema.

#### 3.2.1 Caja negra del sistema

La caja negra (Black Box) es una herramienta útil para identificar la función principal y las entradas y salidas del sistema. En la Figura 3.1 se observa la caja negra y sus entradas y salidas de materia, señales y energía. Estos se detallan a continuación.

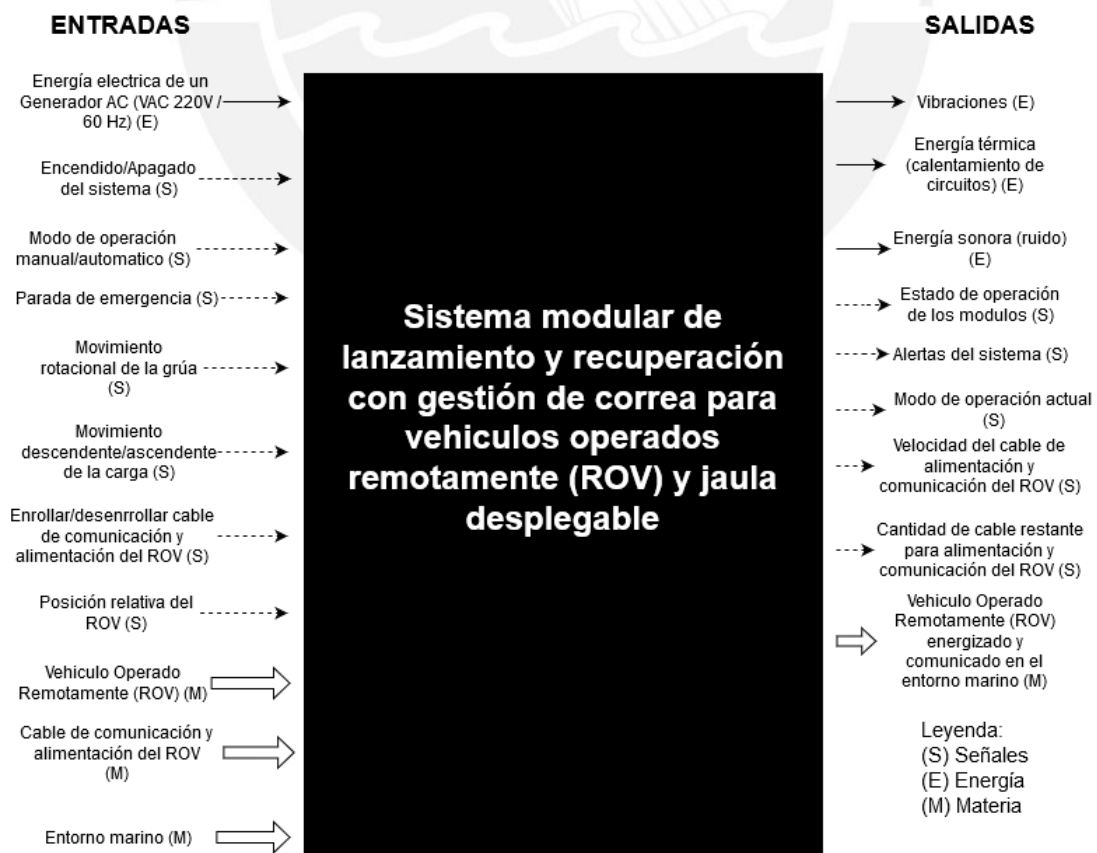


Figura 3.1: Caja negra del sistema. Elaboración propia.

**Entradas:**

- **Energía eléctrica de un generador AC:** Se considera como entrada única de energía para alimentación del sistema un generador AC que otorga VAC 220 V / 60 Hz. Esta energía será regulada dentro del sistema para el funcionamiento de sus componentes electromecánicos.
- **Encendido/apagado del sistema:** La señal de encendido/apagado del sistema permite dar el inicio eléctrico en general.
- **Modo de operación manual/automático:** La señal de modo de operación manual/automático permite el funcionamiento manual o automático del subsistema de winche con gestión de correa.
- **Parada de emergencia:** La señal de parada de emergencia corta el suministro eléctrico general en caso de una emergencia.
- **Movimiento rotacional de la grúa:** La señal de movimiento rotacional de la grúa dará inicio al movimiento rotacional del brazo de la grúa que sostiene la carga.
- **Movimiento descendente/ascendente de la carga:** La señal de movimiento descendente/ascendente de la carga dará inicio al desplazamiento vertical de la carga la cual está compuesta por el ROV dentro de la jaula flotante.
- **Enrollar/desenrollar cable de comunicación y alimentación del ROV:** La señal de enrollar/desenrollar cable de comunicación y alimentación del ROV iniciará el giro del tambor en el sentido correcto para suministrar o recoger el cable.
- **Posición relativa del ROV:** La señal de la posición relativa del ROV nos brinda el punto de navegación del vehículo para poder desenrollar o enrollar el cable y así, el ROV pueda sumergirse o emerger libremente.

- **Vehículo operado remotamente (ROV):** La entrada de materia que ingresa al sistema es el ROV, el cual es desplegado desde la embarcación hasta la superficie del mar o viceversa; por ende, sale y entra al sistema como un cuerpo que es trasladado.
- **Cable de comunicación y alimentación del ROV:** La materia que viene a ser el cable de comunicación y alimentación del ROV ingresa conectándose al winche que trae consigo un cable de amplia longitud que se conecta al vehículo.
- **Entorno marino:** La materia del entorno marino permite la flotabilidad de la jaula flotante la cual contendrá al ROV. Con esta flotabilidad la carga estará al ras de la superficie marina para luego retirarse mediante el operador.

#### **Salidas:**

- **Vibraciones:** La energía de salida de vibraciones es generada por los componentes mecánicos que al interactuar producen este fenómeno físico, por ende es considerado como energía residual.
- **Energía térmica:** La energía térmica de salida es la energía residual producto del calentamiento de los componentes eléctricos, que vienen a ser los sensores y actuadores.
- **Energía sonora:** La energía sonora de salida es la energía residual que se vendría a ser el ruido producido por los componentes mecánicos al interactuar.
- **Estado de operación de los módulos:** La señal de salida de estado de operación de los módulos indica si los módulos del sistema están energizados o no.
- **Alertas del sistema:** La señal de salida de alertas del sistema nos brinda información vital para evitar que el operario tome decisiones que afecten el funcionamiento o los componentes del sistema.

- **Modo de operación actual:** La señal de salida de modo de operación actual nos garantiza el modo de operación que se ha ingresado y está en actual funcionamiento.
- **Velocidad del cable de alimentación y comunicación del ROV:** La señal de salida de velocidad del cable de alimentación y comunicación del ROV nos permite tener presente la velocidad de cable para así tener un control manual correcto tanto para el ROV como para el suministro de este cable.
- **Cantidad de cable restante de alimentación y comunicación del ROV:** La señal de salida de velocidad del cable de alimentación y comunicación del ROV nos permite tener presente la cantidad restante de cable, debido que es importante limitar tanto el desplazamiento del ROV como el suministro del cable.
- **Vehículo operado remotamente (ROV) energizado y comunicado en el entorno marino:** La única materia de salida del sistema es el ROV energizado y comunicado en el entorno marino, listo para descender hasta la profundidad deseada.

### 3.2.2 Diagrama de estructura de funciones

El diagrama de estructura de funciones se divide por dominios en los cuales interactúan los subsistemas, tal como se observa en la Figura 3.2. En el Anexo C se observa mejor a detalle. Los dominios son: dominio interfaz, dominio energía, dominio comunicación, dominio sensores, dominio control, dominio actuadores y dominio mecánico. Mientras que los subsistemas son cinco: subsistema de lanzamiento y recuperación (LRR), subsistema de winche con gestión de correa para el ROV (WGC), subsistema de jaula flotante (JF), subsistema de comunicación e interfaz de control (CIC) y subsistema de suministro de energía (SE).

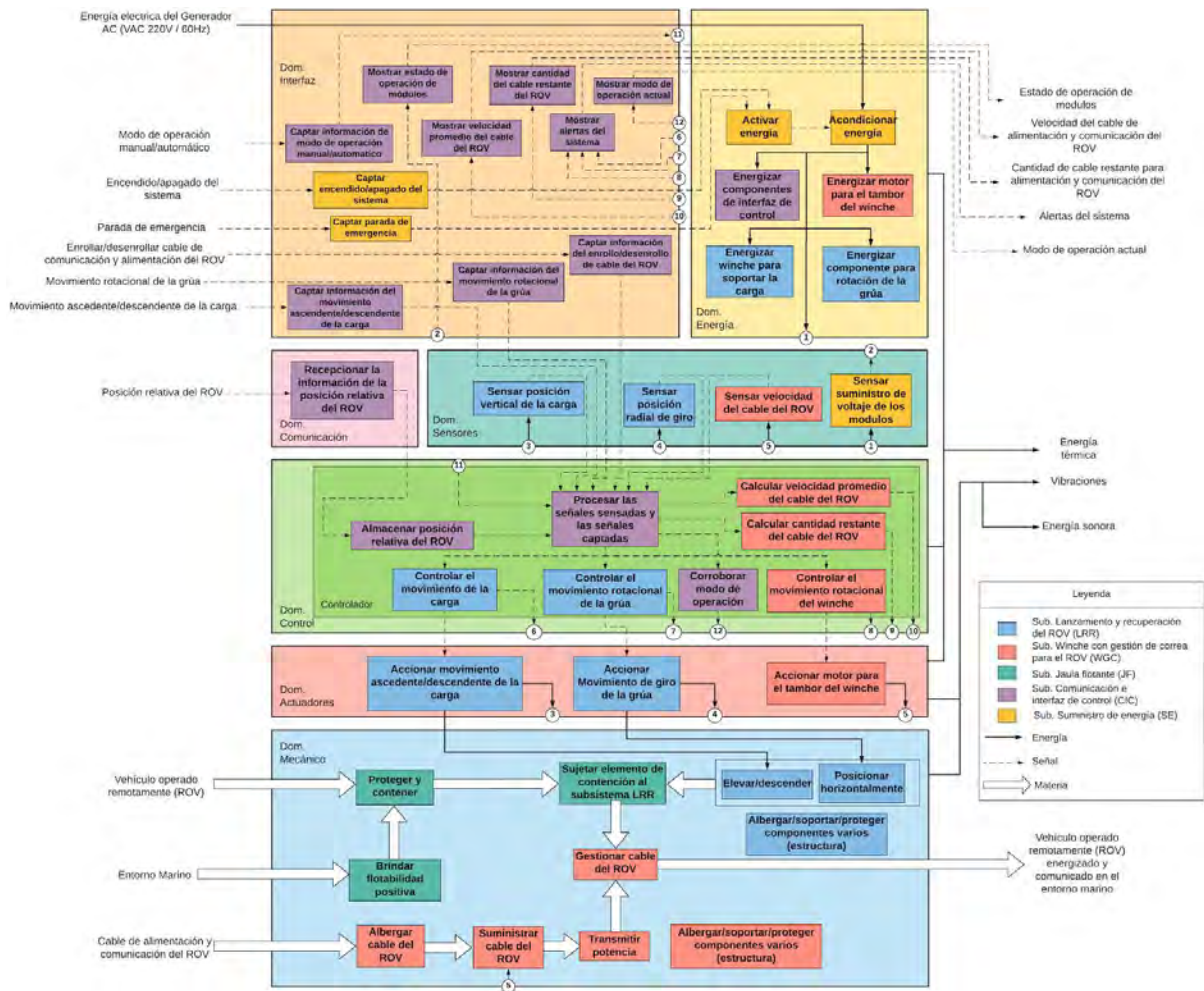


Figura 3.2: Diagrama de estructura de funciones. Elaboración propia

### 3.2.3 Funciones de la estructura de funciones

En base al diagrama de estructura de funciones presentado en la Figura 3.2 se describen brevemente las funciones por cada dominio indicado. Los dominios del sistema son 7 en total.

**Dominio de interfaz:** El dominio de interfaz se muestra en la Figura 3.3. Se observa la participación del subsistema de energía y del subsistema de comunicación e interfaz de control.

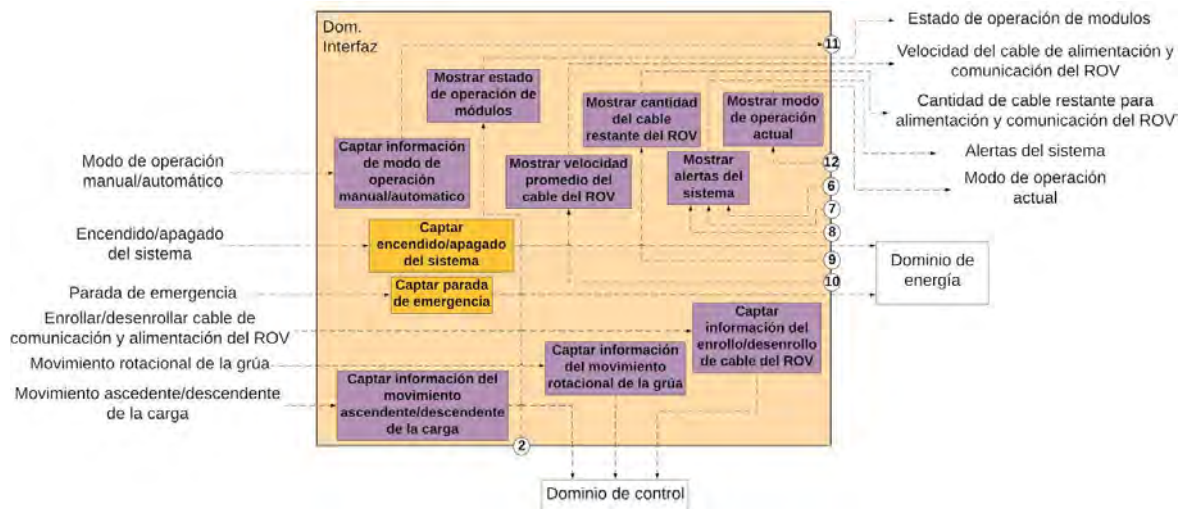


Figura 3.3: Dominio de interfaz. Elaboración propia

Captar encendido/apagado del sistema: Recibir la señal de prendido o apagado para dar inicio o finalizar el sistema energético.

Captar parada de emergencia: Recibir la señal de parada de emergencia para detener el sistema en caso se requiera.

Captar información del movimiento ascendente/descendente de la carga: Recibir la señal del movimiento ascendente/descendente para desplazar la carga en el eje vertical.

Captar información de movimiento rotacional de la grúa: Recibir la señal del movimiento rotacional de la grúa para desplazar la carga en el plano horizontal.

Captar información del enrollado/desenrollado de cable de ROV: Recibir la señal del movimiento enrollado/desenrollado de cable de ROV para comenzar el suministro de cable de alimentación y comunicación del vehículo.

Captar información de modo de operación manual/automático: Recibir la señal del modo de operación manual o automático para que el subsistema de winche con gestión de correa trabaje por automáticamente o de forma manual.

Mostrar estado de operación de los módulos: Visualizar el estado de operación actual de los módulos para confirmar si están energizados o no.

Mostrar velocidad promedio del cable del ROV: Visualizar la velocidad promedio del cable del ROV para garantizar su funcionamiento y la velocidad que posee en dicho instante.

Mostrar cantidad de cable restante del ROV: Visualizar la cantidad de cable restante del ROV para monitorear y garantizar que el ROV puede navegar con libertad o debe detenerse.

Mostrar alertas del sistema: Visualizar las alertas del sistema de acuerdo a los criterios programados en el controlador.

Mostrar modo de operación actual: Visualizar el modo de operación actual previamente elegido en el panel de la interfaz.

**Dominio de Energía:** El dominio de energía se muestra en la Figura 3.4. Se observa la participación de todos los subsistemas menos el subsistema de jaula flotante el cual no requiere de suministro energético.

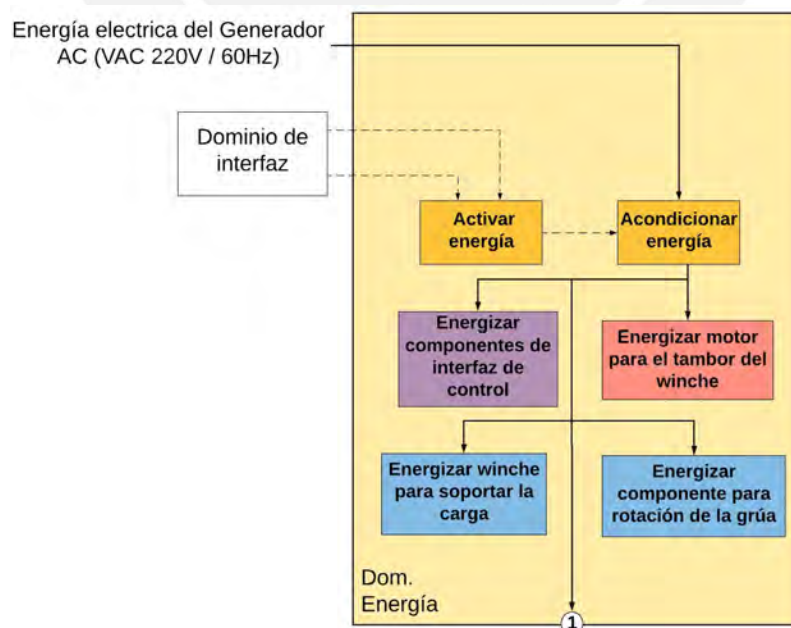


Figura 3.4: Dominio de energía. Elaboración propia

Activar energía: Se activa la energía una vez encendido el subsistema o se desactiva ni bien se utiliza el apagado; sin embargo, se puede desenergizar violentamente el suministro de energía cuando se da uso de la señal de parada de emergencia.

Acondicionar energía: Acondicionar la energía que ingresa al sistema para cada subsistema que lo requiera, esto solo se dará si se activa la energía previamente.

Energizar componentes de interfaz de control: Energizar los componentes del interfaz de control y comunicación, considerando los diferentes niveles de voltaje que se requieran en los componentes.

Energizar motor para tambor del winche: Energizar el motor para el tambor del winche que genera el movimiento rotacional necesario para el suministro del cable de alimentación y comunicación.

Energizar winche para soportar la carga: Energizar el winche que se encarga del movimiento vertical de la carga, la cual está compuesta por la jaula flotante y el ROV.

Energizar componentes para la rotación de la grúa: Energizar el componente encargado de dar movimiento rotacional de la grúa para conseguir el desplazamiento horizontal de la carga.

**Dominio de comunicación:** El dominio de comunicación se muestra en la Figura 3.5. Se observa solamente la interacción del subsistema de comunicación e interfaz de control.

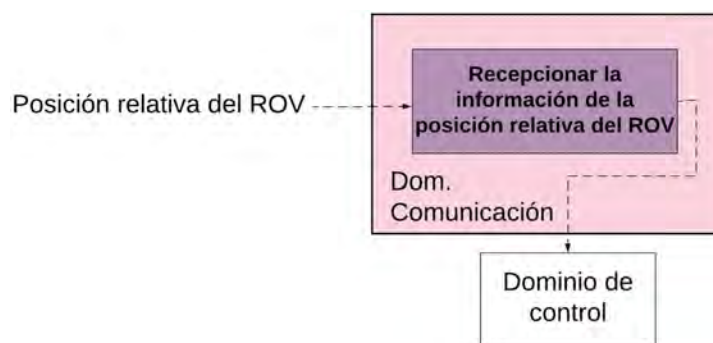


Figura 3.5: Dominio de comunicación. Elaboración propia



Recepcionar la información de la posición relativa del ROV: Recepcionar la información de la posición relativa del ROV para controlar el modo automático de forma eficiente y limitar el modo manual si fuera el caso.

**Dominio de sensores:** El dominio de sensores se muestra en la Figura 3.6. Se observa el sensado para el subsistema de lanzamiento y recuperación, el subsistema de winche con gestión de correa y el subsistema de suministro de energía.

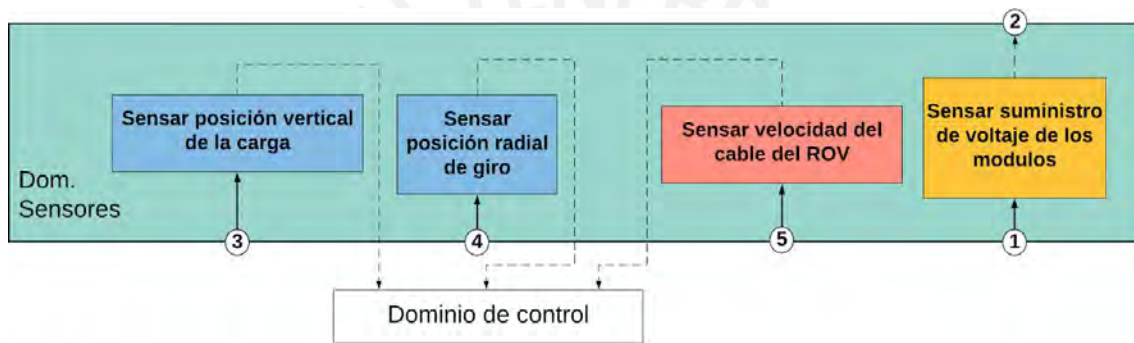


Figura 3.6: Dominio de sensado. Elaboración propia

Sensar posición vertical de la carga: Traduce la posición vertical de la carga como energía a una señal acotada para ser controlada y asegurar el desplazamiento vertical de la carga.

Sensar posición radial de giro: Traduce la posición radial de giro de la carga como energía a una señal acotada para ser controlada y asegurar el desplazamiento horizontal de la carga.

Sensar velocidad del cable del ROV: Traduce la velocidad del cable del ROV como energía a una señal acotada para ser controlada y asegurar el suministro de cable a una velocidad controlada.

Sensar suministro de voltaje de los módulos: Traduce el suministro de voltaje de los módulos o subsistemas empleados a señales acotadas para indicar su energización.

**Dominio de control:** El dominio de control se muestra en la Figura 3.7. Se observan los subsistemas que requieren control, los cuales son el subsistema de comunicación e interfaz de control, el subsistema de lanzamiento y recuperación y el subsistema de winche con gestión de correa.

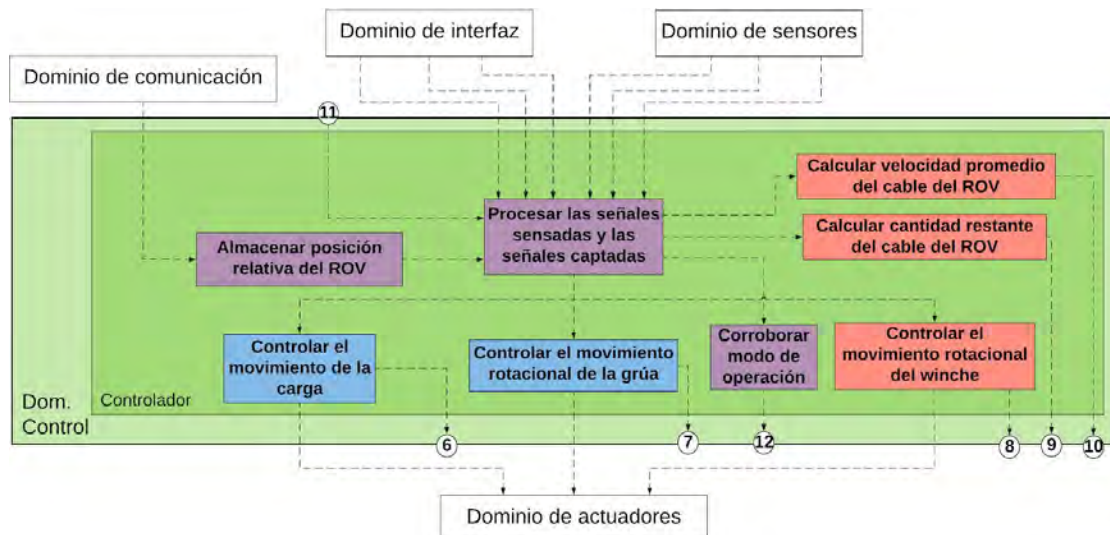


Figura 3.7: Dominio de control. Elaboración propia

Procesar las señales sensadas y las señales captadas: Procesa las señales de todo el sistema para emplear de forma digital dichos valores que serán aplicados en cálculos, algoritmos o mediante líneas de código. Como se permiten dos modos de operación, uno automático y otro manual, el método de procesamiento interno varía según el modo elegido y por ende las señales que salen tienen uno u otro propósito.

Corroborar modo de operación: Corrobora el modo de operación que se emplee o indique en la interfaz y si este presenta un cambio, esta señal será modificada inmediatamente para asegurar el modo visualizado por el operador.

Almacenar posición relativa del ROV: Almacenar la posición relativa del ROV para luego procesarla y con ello verificar si el vehículo está desplazándose o está quieto.

Controlar el movimiento de la carga: Controla el movimiento de la carga mediante la diferencia entre el valor deseado ingresado y el valor sensado en modo manual, no tiene modo automático.

Controlar el movimiento rotacional de la grúa: Controla el movimiento rotacional de la grúa mediante la diferencia entre el valor deseado ingresado y el valor sensado en modo manual, no tiene modo automático.

Calcular velocidad promedio del cable del ROV: Calcular la velocidad promedio del cable del ROV mediante el sensor o relaciones de potencia en el motor, este cálculo se muestra posteriormente para su monitoreo.

Calcular cantidad restante del cable del ROV: Calcular la cantidad restante del cable del ROV mediante relaciones entre las potencias, tiempo, dimensiones y otros factores que permitan formular una ecuación que aproxima la cantidad de cable restante la cual se mostrará posteriormente para su monitoreo.

Controlar el movimiento rotacional del winche: Controla el movimiento rotacional del winche para el modo manual mediante la diferencia entre la velocidad sensada y la velocidad deseada; y en el modo automático se estima su accionamiento según el desplazamiento del ROV dado por la variación de su posición relativa.

**Dominio de actuadores:** El dominio de actuadores se muestra en la Figura 3.8. Se observa la interacción de los actuadores del SLR y del subsistema WGC del ROV.

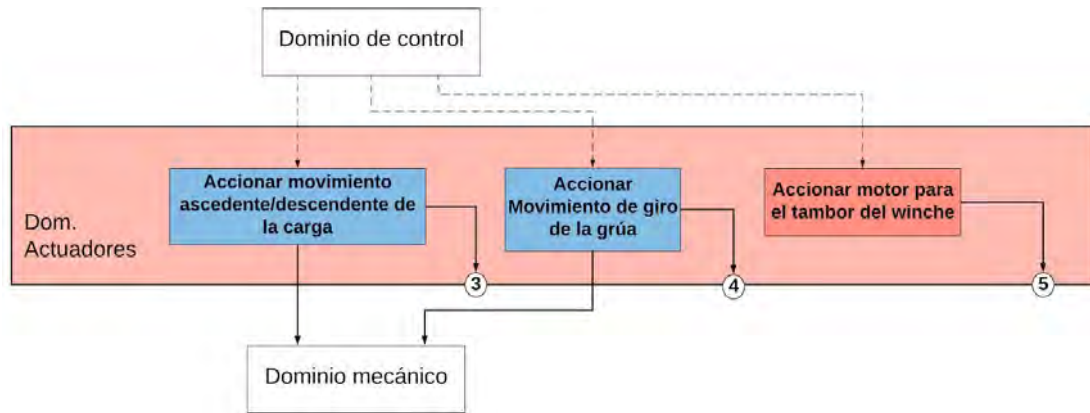


Figura 3.8: Dominio de actuadores. Elaboración propia

Accionar movimiento ascendente/descendente de la carga: Acciona el movimiento vertical de la carga según la señal de control se lo indique.

Accionar movimiento de giro de la grúa: Acciona el movimiento de giro de la grúa la cual permite el desplazamiento horizontal de la carga según la señal de control se lo indique.

Accionar motor para el tambor del winche: Acciona el movimiento rotacional del tambor que suministra el cable de alimentación y comunicación del ROV según la señal de control se lo indique.

**Dominio mecánico:** El dominio de actuadores se muestra en la Figura 3.9. Se observa la interacción de todos los subsistemas menos el subsistema de comunicación e interfaz de control y subsistema de suministro de energía.

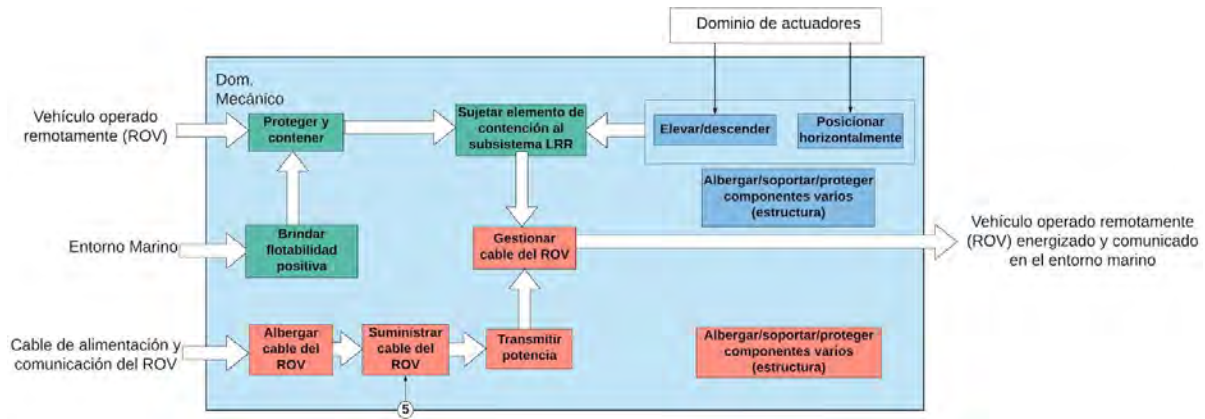


Figura 3.9: Dominio mecánico. Elaboración propia

*Proteger y contener:* La estructura de la jaula flotante se encarga de proteger y contener al ROV durante la operación de despliegue y recuperación.

*Brindar flotabilidad positiva:* Los flotadores en la estructura de la jaula flotante permiten darle flotabilidad positiva la cual reducirá significativamente la carga que soporta el actuador que acciona el movimiento vertical del ROV dentro de la jaula, este funcionamiento se observa cuando hay entorno marino, luego de ello no es relevante.

*Sujetar elemento de contención al SLR:* La unión entre la jaula flotante y el subsistema de lanzamiento y recuperación se realiza mediante una sujeción que soporte la carga y permita una rápida unión y desunión según se requiera.

*Albergar cable del ROV:* El tambor se encarga de albergar el cable del ROV el cual será posteriormente suministrado según el vehículo lo requiera cuando navegue.

*Suministrar cable del ROV:* El actuador se encarga de suministrar el cable del ROV mediante la rotación del tambor en sentido horario o antihorario según se desee enrollar o desenrollar.

*Transmitir potencia:* Para conseguir una gestión de cable, es necesario un componente que transmite la potencia desde actuador que impulsa el tambor al gestor de correa.

Gestionar cable del ROV: El gestor de correa o cable es responsable de un enrollado y desenrollado uniforme en el tambor mediante componentes de ajuste, centrado y movimiento; sin este gestor el cable sufriría de aglomeramiento o estrangulamiento.

Albergar/soportar/proteger componentes varios (WGC): La estructura del subsistema del WGC del ROV debe albergar, soportar y proteger los componentes necesarios para su funcionamiento.

Elevar/descender: El actuador encargado del movimiento vertical tiene como función elevar o descender la carga según se requiera.

Posicionar horizontalmente: El actuador encargado del movimiento horizontal tiene como función trasladar la carga mediante el giro de la grúa según se requiera.

Albergar/soportar/proteger componentes varios (SLR): La estructura del SLR debe albergar, soportar y proteger los componentes necesarios para su funcionamiento.

### 3.3 Matriz morfológica

La matriz morfológica describe las posibles alternativas a emplear por cada función indicada en el diagrama de estructura de funciones descrito en la sección anterior. En el Anexo B se indican las alternativas por cada función. A continuación se presentan las siguientes tablas vinculadas por subsistemas indicando la alternativa seleccionada para cada concepto de solución.

**Subsistema de comunicación e interfaz de control:** El subsistema de comunicación e interfaz de control se encarga de captar, mostrar y procesar el control del sistema general. Si bien muchas funciones se denominan de forma similar tienen un propósito diferente. Para

simplificar se agrupan dentro de las mismas alternativas ya mencionadas en el Anexo B. En la Tabla 3.1 se observa la elección para cada concepto de solución.

Tabla 3.1: Conceptos de solución para subsistema de CIC. Elaboración propia

Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Captar información del movimiento ascendente o descendente de la carga	Perillas y botones	Botones	Pantalla táctil
Captar información de movimiento rotacional de la grúa			
Captar información del enrollado o desenrollado del cable de ROV			
Captar información de modo de operación manual o automático			
Mostrar estado de operación de los módulos	Luces y alarmas	Luces	
Mostrar velocidad promedio del cable del ROV			
Mostrar cantidad de cable restante del ROV			
Mostrar modo de operación actual			
Mostrar alertas del sistema			
Energizar componentes de interfaz de control	Baterías	Regulador de potencia	
Recepcionar la información de la posición relativa del ROV	Inalámbrico Bluetooth	Inalámbrico Bluetooth	Inalámbrico Wifi
Almacenar posición relativa del ROV	Tarjeta de memoria	Memoria interna	Base de datos
Procesar las señales sensadas y las señales captadas	Microcontrolador	Microcontrolador	PLC
Corroborar modo de operación	Librerías	Algoritmos	Funciones

**Subsistema de lanzamiento y recuperación del ROV:** El subsistema de lanzamiento y recuperación del ROV despliega y extrae al vehículo desde la embarcación hasta la superficie marina y viceversa. La selección de las alternativas se observan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Conceptos de solución para subsistema de LRR. Elaboración propia.

Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Energizar winche para soportar la carga	Batería	Regular potencia	Regular potencia
Energizar componentes para la rotación de la grúa	Batería	Regular potencia	Regular potencia
Sensar posición vertical de la carga	Sensor angular	Sensor de distancia	Camara Giratoria
Sensar posición radial de giro	IMU - Yaw	Sensor angular	IMU - Yaw
Controlar el movimiento de la carga	Open loop	PID	Procesamiento de imágenes
Controlar el movimiento rotacional de la grúa	PID	Open loop	Open loop
Accionar movimiento ascendente/descendente de la carga	Winche manual	Winche hidraulico	Winche electrico
Accionar movimiento de giro de la grúa	Servomotor AC	Motor DC	Servomotor AC
Elevar/descender	Brazo inclinado por cable	Brazo horizontal con winche	Brazo con polea en el extremo
Posicionar horizontalmente	Rotación de brazo por eje vertical	Rotación de brazo por rodamiento	Rotación de brazo por rodamiento
Albergar/soportar/proteger componentes varios (SLR)	Grúa pluma brazo tensado	Grúa pluma brazo horizontal	Grúa pluma brazo diagonal



**Subsistema de winche con gestión de correa para el ROV:** El subsistema de winche con gestión de correa para el ROV se encarga de almacenar el cable de alimentación y comunicación del vehículo para luego ser suministrado, sea por enrollado o desenrollado, correctamente mediante el gestor de correa para un llenado uniforme del tambor. La selección de alternativas para los conceptos de solución se observa en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Conceptos de solución para subsistema de WGC. Elaboración propia.

Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Energizar motor para tambor del winche	Batería	Regular potencia	Regular potencia
Sensar velocidad del cable del ROV	Sensor angular	Sensor de velocidad	Sensor angular
Calcular velocidad promedio del cable del ROV	Regresión lineal	Regresión lineal	Cálculo directo
Calcular cantidad restante del cable del ROV	Cálculo directo	Cálculo directo	Cálculo directo
Controlar el movimiento rotacional del winche	Open loop	PID	PID
Accionar motor para tambor del winche	Motor AC	Servomotor AC	Servomotor AC
Albergar cable del ROV	Carrete de plástico	Carrete de aluminio	Carrete de plástico
Suministrar cable del ROV	Plato giratorio	Chumacera con eje	Chumaceras con eje
Transmitir potencia	-	Sprockets con cadenas	-
Gestionar cable del ROV	Oscilador	Level wind	Guia lineal con tornillo de potencia
Albergar/soportar/proteger componentes varios (WGC)	Cabrestante vertical	Cabrestantes horizontal	Cabrestante horizontal

**Subsistema de suministro de energía:** El subsistema de suministro de energía se encarga de brindar la energía necesaria a los componentes o actuadores que lo requieran y asegurar que dicha energía se transmita correctamente a los subsistemas participantes. La selección de alternativas de los conceptos de solución se observa en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Conceptos de solución para subsistema de suministro de energía. Elaboración propia.

Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Captar parada de emergencia	Botón	Botón	Botón
Captar encendido/apagado del sistema	Perilla	Botón	Botón
Activar energía	Relé	Circuito de activación	Relé
Acondicionar energía	Rectificador	Fuente switching	Rectificador - regulador
Sensar suministro de voltaje de los módulos	Sensor de voltaje	Sensor de voltaje	Sensor de voltaje

**Subsistema de jaula flotante:** El subsistema de jaula flotante se encarga de proteger y contener al ROV durante su despliegue o extracción. La selección de alternativas de los conceptos de solución se observa en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Conceptos de solución para subsistema de jaula flotante. Elaboración propia.

Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Proteger y contener	Jaula de acero inoxidable	Jaula de aluminio	Jaula de aluminio
Brindar flotabilidad positiva	Flotadores de espuma	Flotadores de plástico	Flotadores de plástico
Sujetar elemento de contención al SLR	Cadenas	Cable metálico	Soga

### 3.4 Conceptos de solución

Los conceptos de solución son tres en total y serán descritos brevemente en la presente sección. Estos conceptos parten de la selección de alternativas en la matriz morfológica del Anexo B las alternativas elegidas están visibles en la sección anterior.

#### 3.4.1 Concepto de solución 1

El concepto de solución 1 se observa en la Figura 3.10. Está compuesto por los subsistemas indicados en la estructura de funciones y posee como dimensiones máximas aproximadas de 3000 mm de largo, 1600 mm de ancho y 3500 mm de alto. A continuación, se indicará cada alternativa elegida dentro de la matriz morfológica según los subsistemas relacionados.

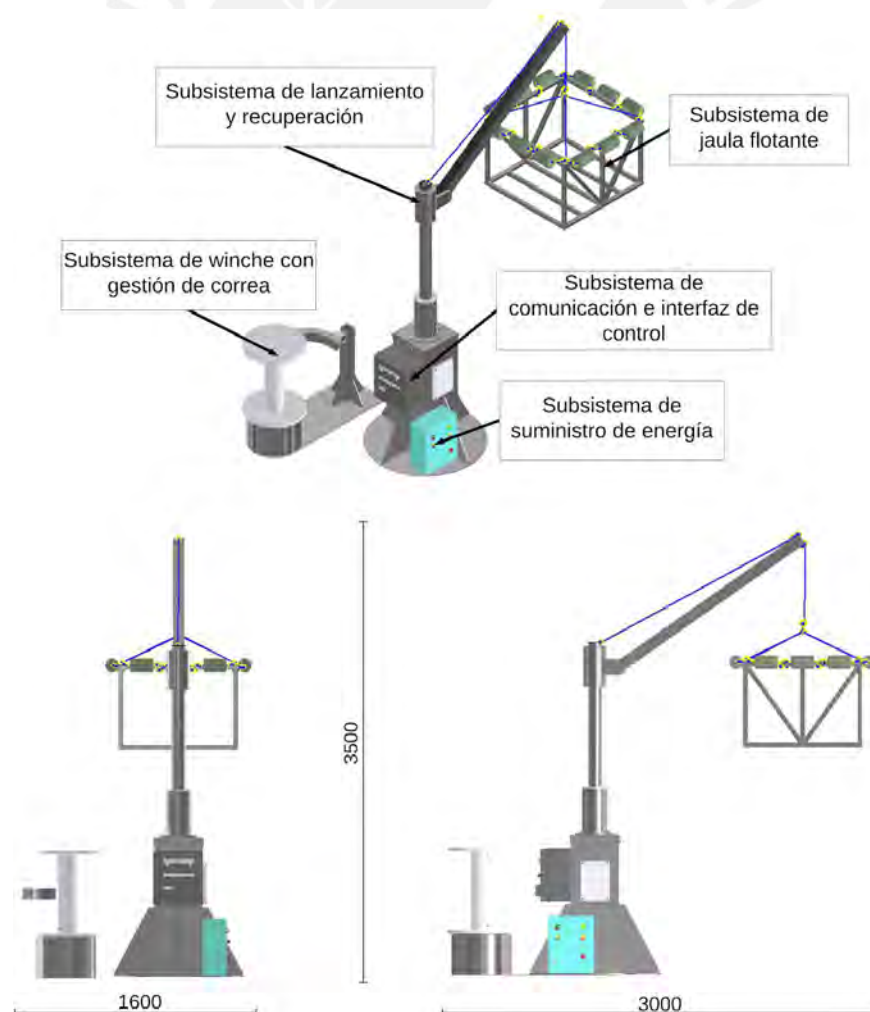


Figura 3.10: Concepto de solución 1 - Subsistemas y dimensiones. Elaboración propia

El subsistema de comunicación e interfaz de control se observa en la Figura 3.11. Está compuesto por perillas y botones para captar la información necesaria. Luces y alarmas para mostrar las información indicada. Y los diversos componentes dentro de la caja para realizar la comunicación y control de sistema. La comunicación es vía bluetooth debido a la cercanía de los componentes.

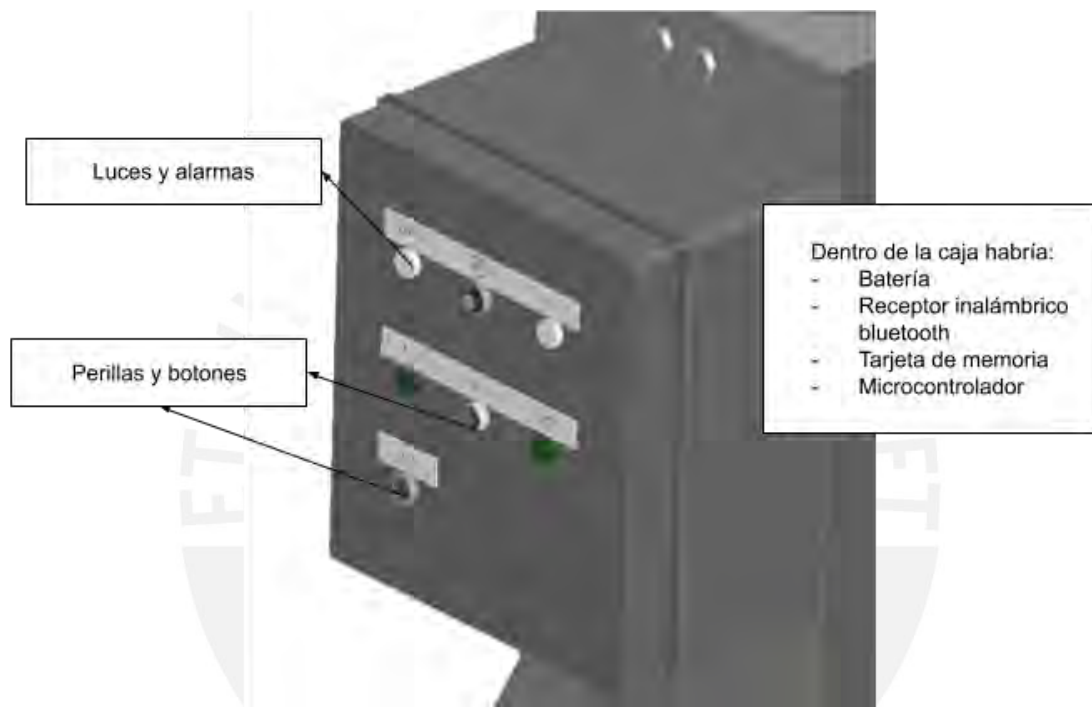


Figura 3.11: CS1 - Subsistema de comunicación e interfaz de control. Elaboración propia

El subsistema de lanzamiento y recuperación del ROV se observa en la Figura 3.12. Si bien no se detalla la ubicación de las baterías es porque están en el panel de suministro de energía. El accionamiento vertical del subsistema es a través de un winche manual con un cable que se encarga de inclinar el brazo y de esta forma eleva la carga hasta cierta altura. El movimiento horizontal de la carga se consigue con la rotación de un eje impulsado por un servomotor.

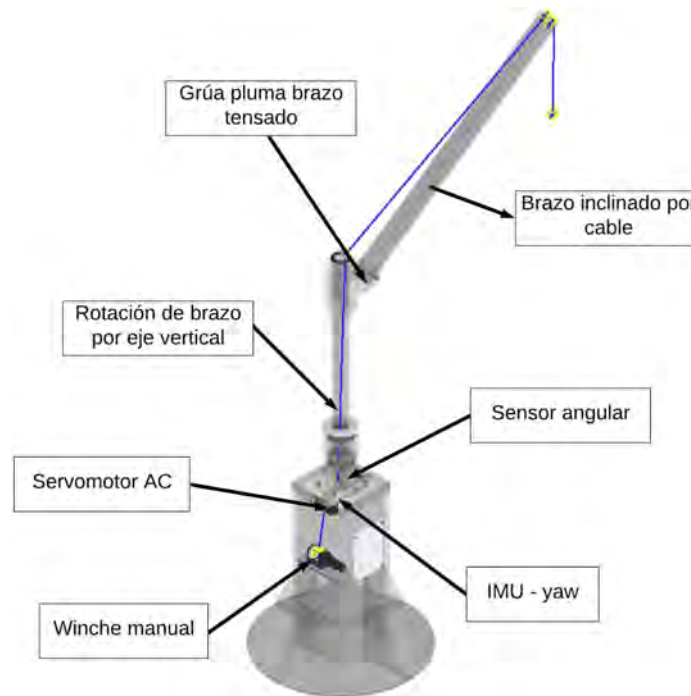


Figura 3.12: CS1 - Subsistema de lanzamiento y recuperación. Elaboración propia

El subsistema de winche con gestión de correa para ROV se aprecia en la Figura 3.13. El suministro de cable se realiza mediante un tambor vertical impulsado por un motor AC. En la base, ambos componentes se unen mediante un plato giratorio. El gestor de correa es un oscilador que gira mediante un motor paso a paso para dar precisión (Krishna, M. et al, 1997).

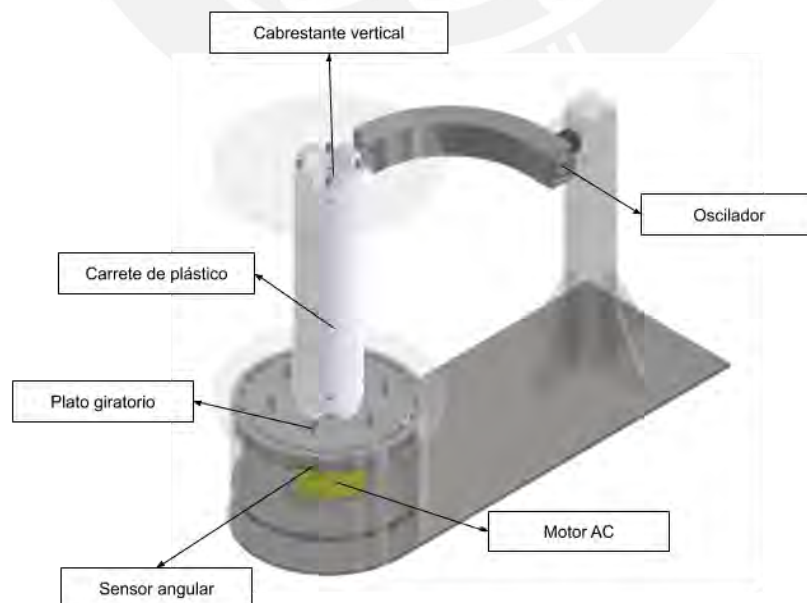


Figura 3.13: CS1 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV. Elaboración propia

El subsistema de suministro de energía representado en la Figura 3.14 tiene las baterías de otros subsistemas para así disminuir el peso y concentrarlos en una caja que contenga dichos elementos. El botón de emergencia y la perilla para encendido y apagado del sistema general se ubican en este subsistema y por ende es el primero que requiere de interacción para dar el inicio general.

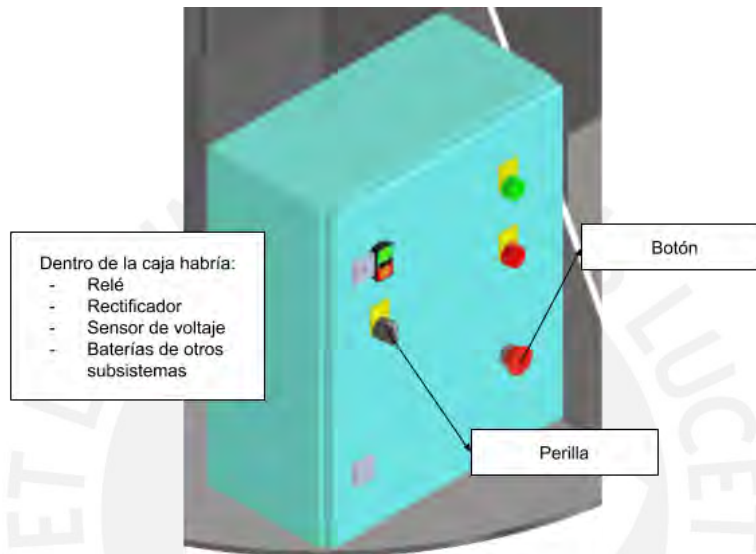


Figura 3.14: CS1 - Subsistema de suministro de energía. Elaboración propia

El subsistema de jaula flotante se observa en la Figura 3.15. Tiene una estructura de acero inoxidable para resistir la corrosión, flotadores de espuma para brindar flotabilidad positiva y cadenas para unir la jaula con el gancho proveniente del winche eléctrico.

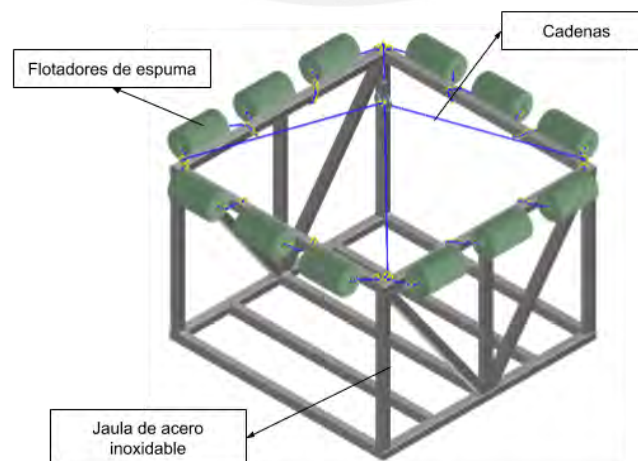


Figura 3.15: CS1 - Subsistema de jaula flotante. Elaboración propia

### 3.4.2 Concepto de solución 2

El concepto de solución 2 es una grúa pluma que mediante un rodamiento de giro impulsado por un actuador permite la rotación de la carga. El movimiento vertical es conseguido por un winche eléctrico que eleva y aterriza el ROV. En la Figura 3.11 se observa la vista isométrica del concepto de solución 2 con sus subsistemas y dimensiones máximas aproximadas de 2900 mm de largo, 2300 mm de ancho y 2700 mm de alto.

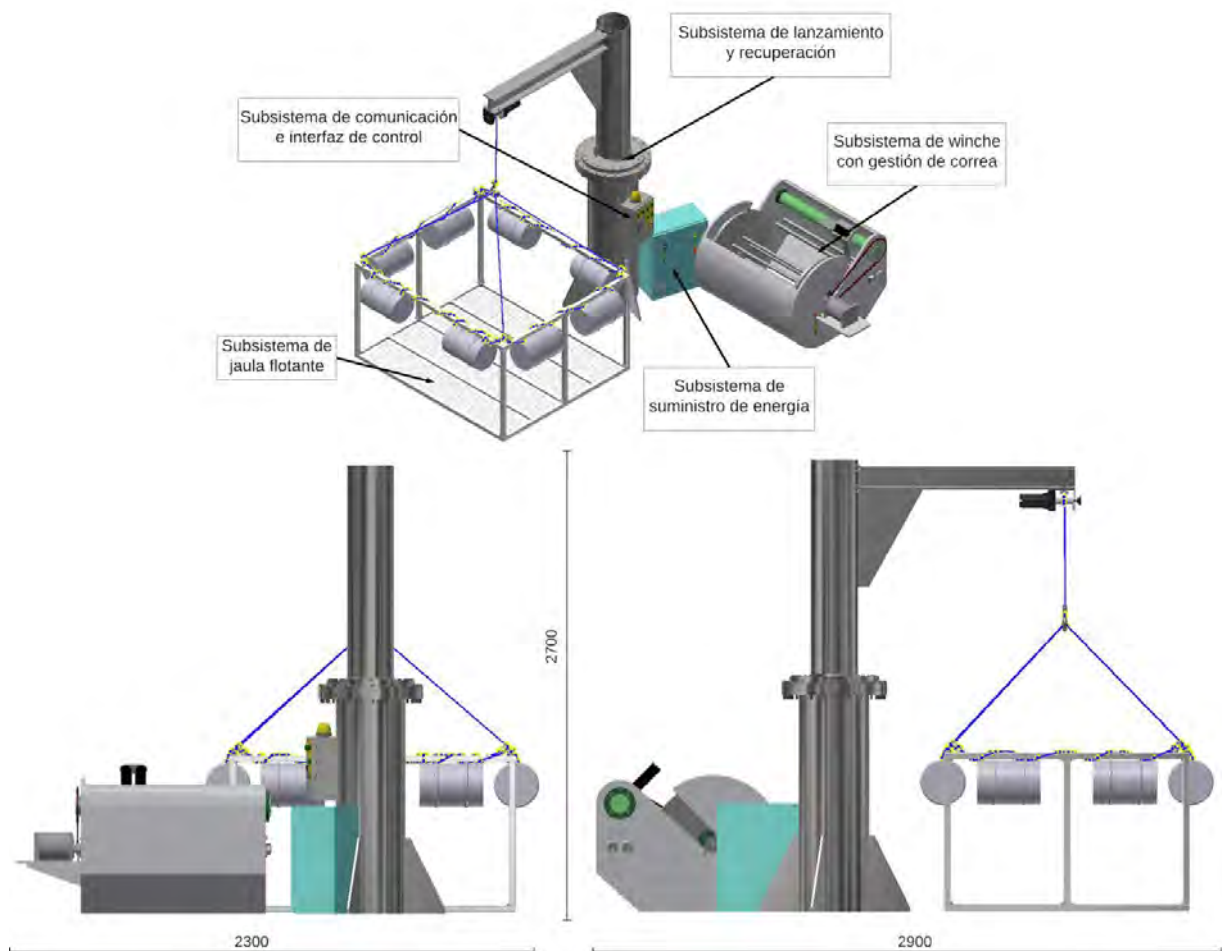


Figura 3.16: Concepto de solución 2 - Subsistemas. Elaboración propia

El subsistema de lanzamiento y recuperación se observa en la Figura 3.17. El brazo horizontal permite izar la carga con mayor facilidad y luego rotarla mediante un rodamiento de giro, o también llamado corona de orientación impulsado por un motor DC de gran potencia. Tanto el sensor angular y el motor DC se ubican dentro de la columna principal.

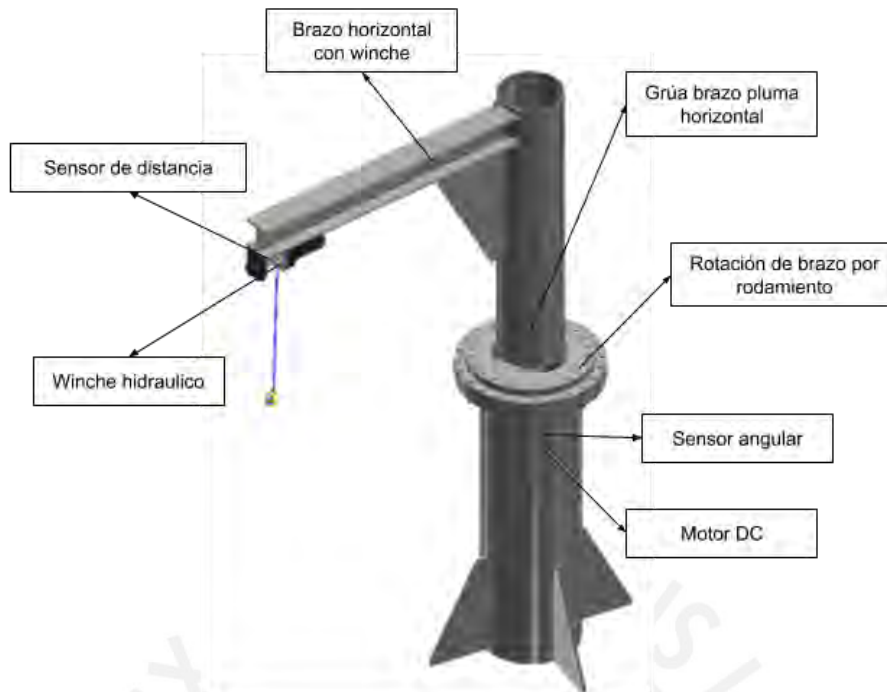


Figura 3.17: CS2 - Subsistema de lanzamiento y recuperación. Elaboración propia

El subsistema de comunicación e interfaz de control se aprecia en la Figura 3.18. Tiene botones para captar la información de entrada y luces para mostrar información requerida. Cuenta con una caja que contiene elementos para la comunicación, un receptor inalámbrico bluetooth y para el control se emplea un microcontrolador con memoria interna.

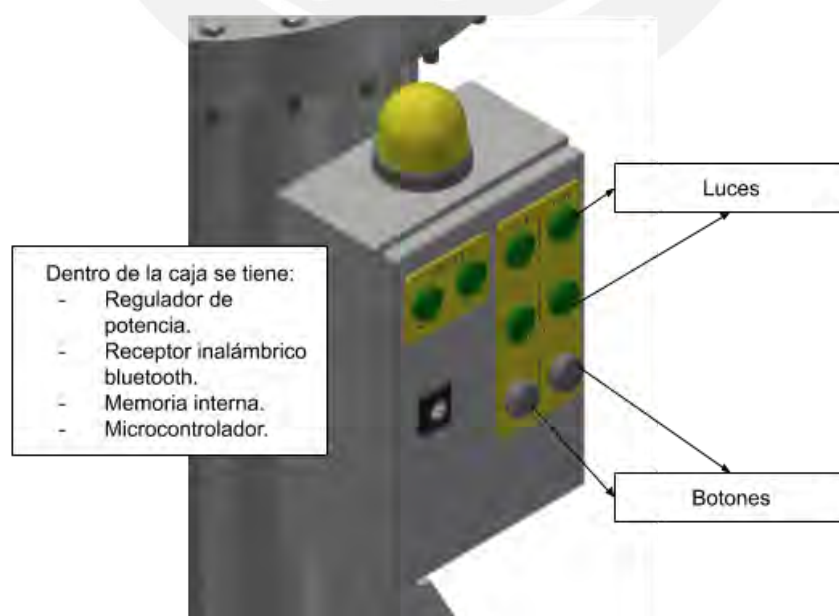


Figura 3.18: CS2 - Subsistema de comunicación e interfaz de control. Elaboración propia



El subsistema de winche con gestión de correa para ROV se observa en la Figura 3.19. El tambor está impulsado por un servomotor que mediante una chumacera se une al carrete de aluminio. El level wind posee un eje rosca diamante que tiene un solo canal, el cual permite el cambio de sentido de desplazamiento del gestor sin importar el sentido de giro que se le dé al eje; por ende, se puede transmitir la potencia del servomotor al level-wind bajo un sentido horario o antihorario.

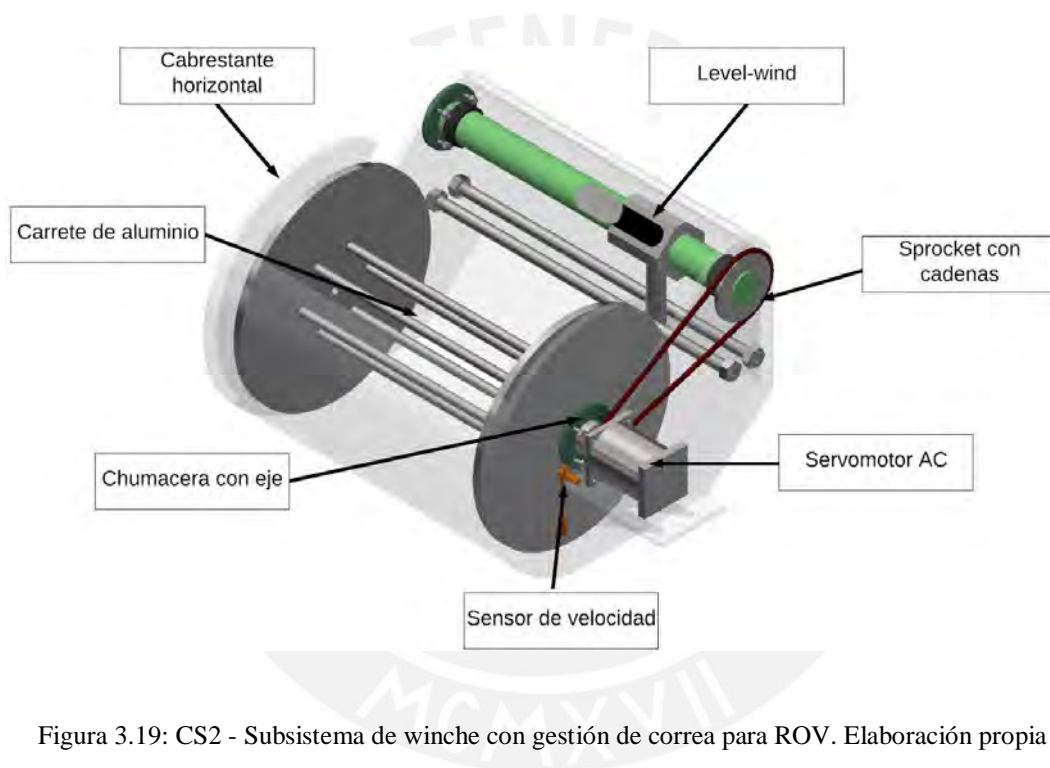


Figura 3.19: CS2 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV. Elaboración propia

El subsistema de suministro de energía representado en la Figura 3.20 es una caja que contiene los componentes necesarios para energizar y regular la potencia que requieren los otros subsistemas para proteger mejor la distribución energética.

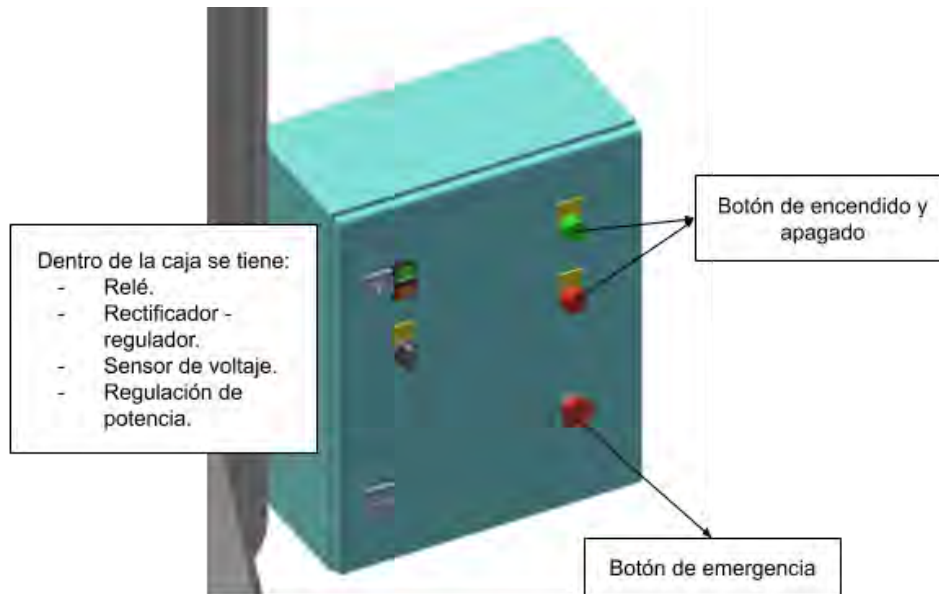


Figura 3.20: CS2 - Subsistema de suministro de energía. Elaboración propia

El suministro de jaula flotante se aprecia en la Figura 3.21. El material de la jaula es de aluminio para disminuir el peso y con ello usar menos flotadores; sin embargo, se emplean planchas de aluminio en la base para reforzar la unión de los perfiles inferiores y adicionalmente poseen orificios para filtrar el agua que se acumule.

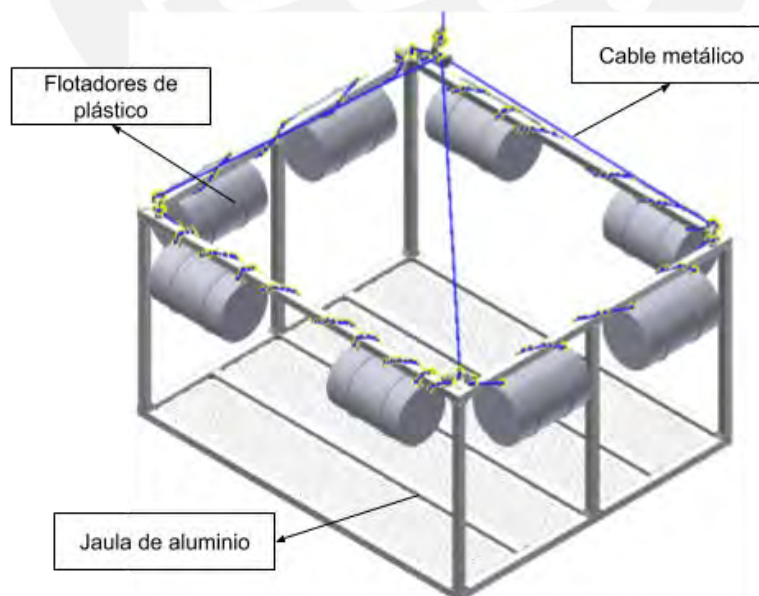


Figura 3.21: CS2 - Subsistema de jaula flotante. Elaboración propia

### 3.4.3 Concepto de solución 3

El concepto de solución 3 se muestra en la Figura 3.22 y viene a ser una grúa pluma con brazo inclinado. Tiene un determinado ángulo respecto a la base para definir una altura de izado y la distancia prudente respecto a la columna-base. A su vez se observan los subsistemas que la contienen y sus dimensiones máximas aproximadas de 3500 mm de largo, 2300 mm de ancho y 3200 mm de alto.

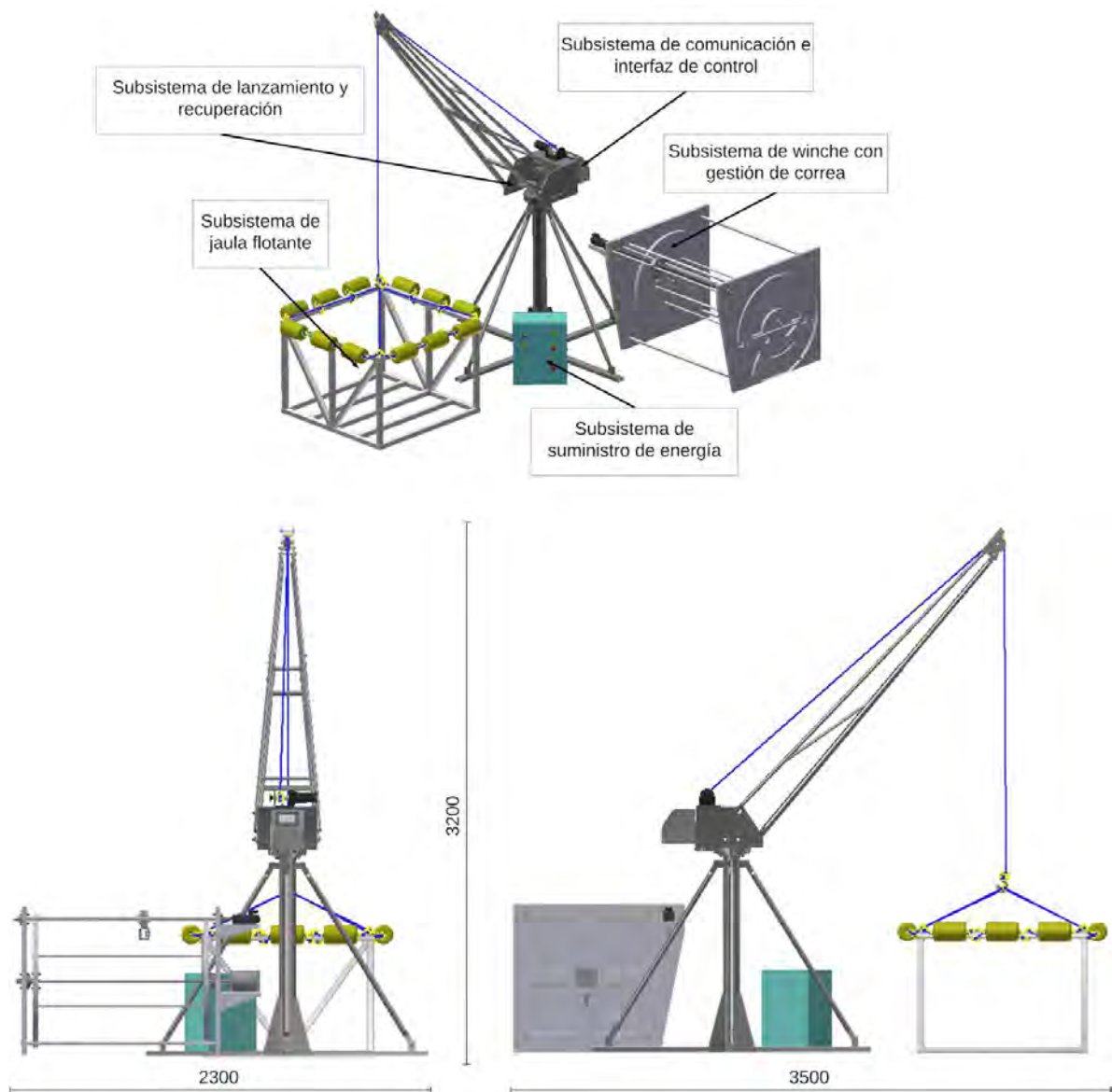


Figura 3.22: Concepto de solución 3 - Subsistemas y dimensiones. Elaboración propia

El subsistema de comunicación e interfaz de control se observa en la Figura 3.23. La pantalla táctil permite ingresar y mostrar la información indicada como señales de entrada o salida. Se tiene un PLC para realizar el control del sistema y dentro de la caja el resto de componentes que participan del subsistema.

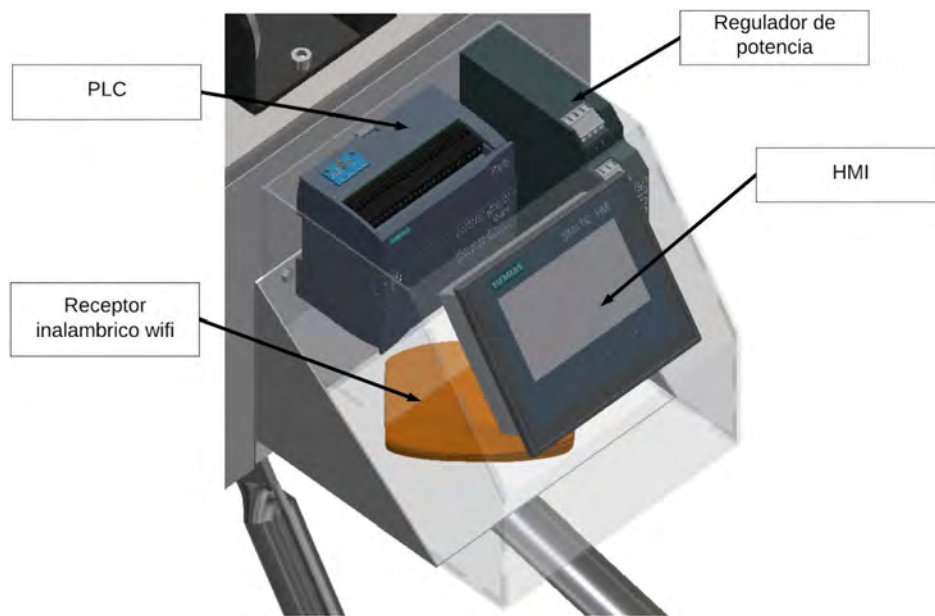


Figura 3.23: CS3 - Subsistema de comunicación e interfaz de control. Elaboración propia

El subsistema de lanzamiento y recuperación se muestra en la Figura 3.24. El movimiento vertical de la carga se consigue mediante un winche eléctrico que enrolla un cable, este cable pasa por una polea ubicada en el extremo del brazo para luego unirse a la jaula por un gancho. Se controla el movimiento vertical con una cámara giratoria. El movimiento horizontal se realiza mediante un servomotor que gira una corona de orientación para así conseguir el movimiento rotacional en el plano horizontal requerido para desplazar la carga, esto se controla mediante un IMU.

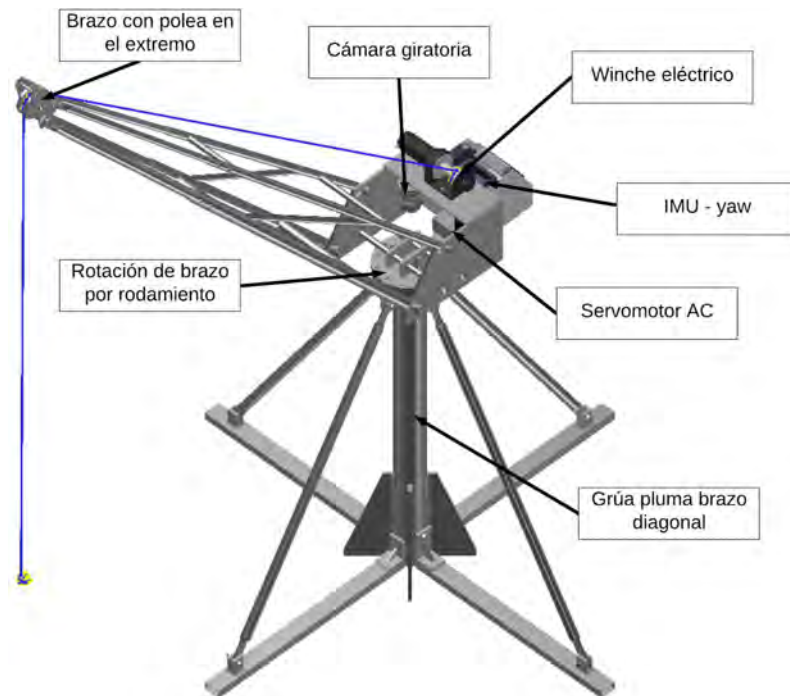


Figura 3.24: CS3 - Subsistema de lanzamiento y recuperación. Elaboración propia

El subsistema de winche con gestión de correa se observa en la Figura 3.25. El servomotor es controlado por un sensor angular. Este actuador brinda la potencia necesaria mediante una chumacera con eje para que el carrete de plástico gire a una determinada velocidad. El gestor de correa se traslada mediante un servomotor que está conectado a una guía lineal con tornillo de potencia de potencia.

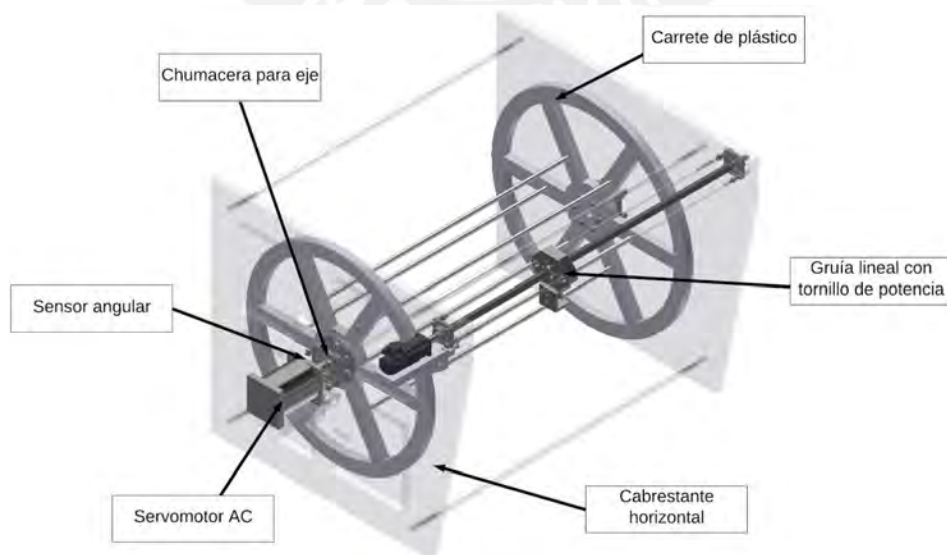


Figura 3.25: CS3 - Subsistema de winche con gestión de correa para ROV. Elaboración propia

El subsistema de suministro de energía representado en la Figura 3.26 es una caja que contiene los elementos necesarios para energizar y asegurar la alimentación energética a los subsistemas que lo requieran. Posee los botones de encendido y apagado para darle inicio al sistema energético y el botón de emergencia en caso de peligro inminente.

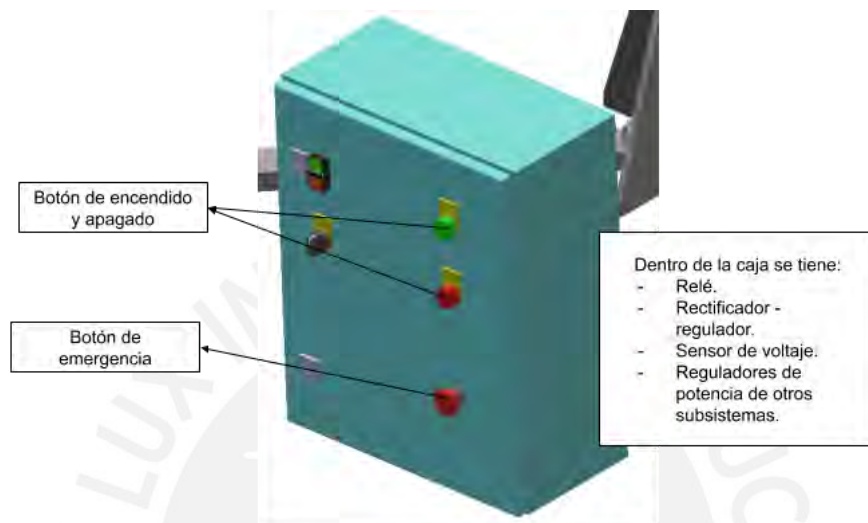


Figura 3.26: CS3 - Subsistema de suministro de energía. Elaboración propia

El subsistema de jaula flotante se observa en la Figura 3.27. La jaula es de aluminio para disminuir significativamente el peso del subsistema y el uso de flotadores de plástico para brindar la flotabilidad positiva tanto de la jaula como del ROV cuando se entre en contacto con la superficie marina. Por último, una soga para amarrar los flotadores y la jaula al gancho.

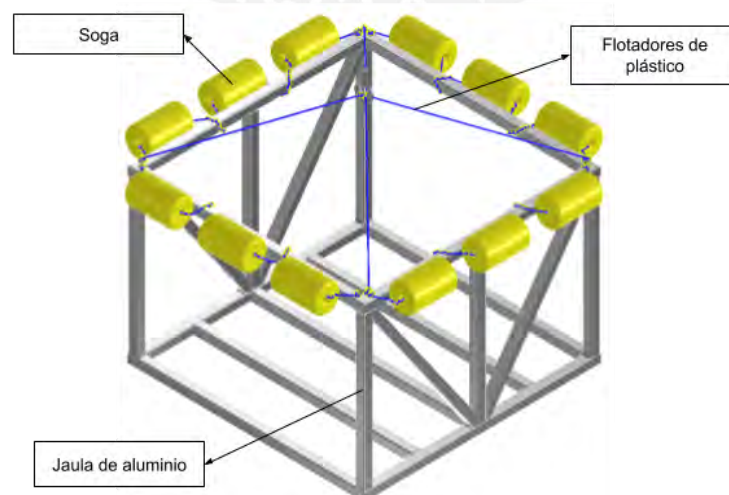


Figura 3.27: CS3 - Subsistema de suministro de energía. Elaboración propia

### 3.5 Evaluación

Los conceptos de solución son evaluados y comparados para obtener una solución ganadora. Para ello, se eligen y justifican criterios técnicos y económicos en base a las necesidades del sistema, cada criterio tiene un peso relativo. Dicho peso tiene un valor descrito en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Pesos relativos. Elaboración propia.

Valor	Significado
0	Nada importante
1	Poco importante
2	Importante
3	Muy importante
4	Bastante importante

De igual forma, se establece un valor para la comparación de efectividad entre los criterios de diferentes conceptos de solución. En la Tabla 3.7 se observa el valor y su significado.

Tabla 3.7: Efectividad de las soluciones. Elaboración propia.

Valor	Significado
0	No satisface
1	Mínimamente aceptable
2	Suficiente
3	Bien
4	Muy bien (Solución ideal)

### 3.5.1 Criterios técnicos

Los criterios técnicos que han sido elegidos para realizar la comparación de los conceptos de solución son: Complejidad, dimensiones y ensamblaje.

#### 3.5.1.1 Complejidad

La complejidad del sistema se interpreta como la cantidad y ubicación de los componentes que poseen los subsistemas para realizar las funciones asignadas; por ende, a mayor cantidad de componentes es más complejo el sistema y de la misma manera, a mayor distancia entre componentes de un mismo sistema, mayor será la complejidad.

- **Importancia del criterio:** La cantidad de elementos aumentan la complejidad del sistema debido a la distribución que estos deben tener dentro de los subsistemas pertenecientes; por lo tanto, la ubicación también es relevante, debido que si los componentes son demasiados, estos ocupan mayor espacio y tendría que replantearse las dimensiones del subsistema o la alternativa seleccionada. Por ejemplo, si se seleccionó un motor hidráulico, se requeriría de otros elementos como: una bomba, un filtro, un selector, entre otros. Por ello, algunas alternativas de solución elegidas para los conceptos de solución dados afectan directamente la complejidad del sistema que se desea concluir. Su peso relativo asignado en base a lo mencionado sería 2.
- **Evaluación de alternativas:** El CS1 posee un total de 2 componentes eléctricos en el subsistema de WGC; sin embargo, el oscilador debe poseer un actuador que posiblemente requiera también de un driver y encoder para controlar correctamente su giro. Todos estos elementos deben distribuirse de tal forma que no afecten las dimensiones o el bosquejo realizado. Por ello, se le otorga una puntuación de 2. El



CS2 posee un total de 4 componentes eléctricos en el subsistema de LRR, dos de ellos muy alejados en el extremo del brazo y los otros dos dentro de la columna base. Esto dificulta su revisión si se encontrase una falla; por lo tanto, se le asigna el puntaje de

1. El CS3 tiene la mejor distribución debido a la cercanía de sus componentes en el subsistema de LRR, en el cual existen 4 componentes eléctricos cercanos al subsistema de CIC; por ende, se le asigna un puntaje de 3.

- **Peso relativo:**  $g = 2$
- **Evaluación CS1:**  $p = 2$
- **Evaluación CS2:**  $p = 1$
- **Evaluación CS3:**  $p = 3$

### 3.5.1.2 Dimensiones

Las dimensiones del subsistema general afectan considerablemente su ubicación dentro de la embarcación y a su vez la limitación que podría tener al ser empleado.

- **Importancia del criterio:** El desarrollo conceptual posible solo garantiza un bosquejo no exacto que estima las dimensiones del sistema o subsistemas. Por ello, es necesario comprender que posiblemente las dimensiones finales de cualquier alternativa a ser seleccionada cambien significativamente en las siguientes fases del diseño. Ante este análisis, el criterio se le otorga un peso relativo de 3, teniendo en cuenta que, si bien existe una incertidumbre para determinar las dimensiones finales, de todas formas, se estiman según los requerimientos y el criterio del diseñador.
- **Evaluación de alternativas:** El CS1 posee una altura de 3500 mm que está en el rango máximo según la lista de requerimientos el cual está entre 2500 - 3500, esta altura afecta considerablemente su armado debido a la necesidad de escaleras u otros

medios para realizarlo; por ello se le otorga un puntaje de 1. El CS2 tiene dimensiones más aceptables pero el ancho de 2300 mm y largo de 2900 mm están cercano a los rangos de 1500 - 2300 mm y 2500 - 3200 mm respectivamente. Al ser dimensiones máximas se evidencia un sobredimensionamiento, que si bien se compensa con la altura, esto podría limitarnos en la ubicación del sistema dentro de la embarcación; por ello se le asigna una puntuación de 2. Por último, el CS3 también presenta falencias en cuanto a su longitud total de 3500 mm de largo, la cual excede al límite que va entre 2500 - 3200 mm según los requerimientos; ante ello, se le otorga un puntaje de 2.

- **Peso relativo:**  $g = 3$
- **Evaluación CS1:**  $p = 1$
- **Evaluación CS2:**  $p = 2$
- **Evaluación CS3:**  $p = 2$

### 3.5.1.3 Ensamblaje

El ensamblaje de los subsistemas y del sistema general es vital para estimar un tiempo de armado o desarmado aceptable que no perjudique al propósito principal del ROV y a su vez la facilidad para poder realizar esta actividad.

- **Importancia del criterio:** El ensamblaje se debe realizar en un tiempo límite de 30 - 45 min, para poder probar los subsistemas adecuadamente durante los siguientes 15 min y con ello tener el sistema general en funcionamiento en menos de 1 hora. Si bien existe dependencia energética y de señales para el control y monitoreo entre los subsistemas, la independencia física es vital para afrontar con mayor facilidad la falla de algún subsistema o varios a la vez. En resumen, el sistema óptimo debe tener una

cantidad de uniones y secuencia de armado aceptable. Por lo tanto, se le otorga un valor relativo de 4.

- **Evaluación de alternativas:** El CS1 posee 4 componentes eléctricos y 3 elementos estructurales de gran magnitud en el subsistema de LRR, estos últimos requieren de gran precisión para su ensamble debido que son piezas previamente soldadas que entraran por encaje, la columna rotatoria dentro de la base y por unión empernada la columna rotatoria con el brazo. Por ello obtiene un puntaje de 2. El CS2 posee un gran problema en el subsistema de LRR, el cual está compuesto por dos grandes piezas y rodamiento de giro que las une. El peso de estos dos grandes componentes, la base-columna y el brazo con winche en el extremo, se estiman de aproximadamente 70 kg y 60 kg respectivamente. Por lo tanto se le otorga un puntaje de 1. Finalmente, el CS3 posee en su subsistema de LRR un aproximado de 25 uniones empernadas para la estructura general, sin considerar el rodamiento de giro que por sí solo posee 24 uniones empernadas. Adicionalmente posee algunos puntos o líneas de soldadura para unir las bridas tanto para la base como para el brazo. En resumen, por su simplicidad y mayor cantidad de uniones empernadas se le otorga una puntuación de 3.

- **Peso relativo:**  $g = 4$
- **Evaluación CS1:**  $p = 2$
- **Evaluación CS2:**  $p = 1$
- **Evaluación CS3:**  $p = 3$

#### 3.5.1.4 Resumen y comparación

El resumen numérico y comparativo de puntajes con los pesos relativos de los criterios técnicos descritos y justificados previamente se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Resumen y comparación de criterios técnicos. Elaboración propia.

Técnico		Concepto solución 1			Concepto solución 2		Concepto solución 3		Concepto solución óptimo	
Nro	Criterio	g	p	p * g	p	p * g	p	p * g	p	p * g
1	Complejidad	2	2	4	1	2	3	6	4	8
2	Dimensiones	3	1	3	2	6	2	6	4	12
3	Ensamblaje	4	2	8	1	4	3	12	4	16
Suma		5		15	4	12	8	24	12	36
Promedio ponderado		0,42	0,42	0,33	0,33	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00

### 3.5.2 Criterios económicos

Los criterios económicos que han sido escogidos para la comparación de los conceptos de solución son: Costo de la tecnología, facilidad en adquisición de tecnologías y facilidad de mantenimiento.

#### 3.5.2.1 Costo de la tecnología

El costo de la tecnología hace referencia al nivel tecnológico de los procesos para la solución de tareas o funciones dentro del sistema o subsistemas, siendo la principal limitante el presupuesto o costo indicado en la lista de requerimientos.

- Importancia del criterio:** El costo tecnológico define un equilibrio entre la efectividad de los subsistemas que conforman el sistema general y la selección de componentes que lo harán posible. Si bien existe en la actualidad un gran avance tecnológico que resuelve fácilmente la problemática, su costo puede llegar a ser muy alto y de difícil acceso. Por ello, es vital analizar el costo aproximado de las alternativas seleccionadas entre los conceptos de solución, haciendo referencia a la misma función. El peso relativo para este criterio es de 3.

- **Evaluación de alternativas:** El subsistema de WGC es diferente en cada subsistema, por ende, este será el punto de comparación base. El CS1 posee como alternativa de solución al oscilador, este es un sistema novedoso que parte de [29] y no se encuentra en el mercado actual. Para implementar este sistema habría que realizar una serie de pruebas parecidas a las realizadas en el paper del cual se sustrajo la información, esto sería una inversión de tiempo y dinero alto; por ello, se le otorga una puntuación de 1. El CS2 utiliza un level-wind como gestor de correa, el cual requiere de un componente de transmisión para conducir la potencia desde el actuador que impulsa al carrete o tambor, hasta el mismo gesto; todos estos elementos incluyendo al level-wind son comerciales, pero este último se fabrica según el diseño del winche. No posee un catálogo, por lo tanto se le otorga un puntaje de 2. El CS3 emplea como gestor de correa una guía lineal con tornillo de potencia. Es más simple y menos costoso que el level-wind ya que sus componentes se pueden seleccionar de catálogo y no requieren de un diseño minucioso; ante ello se establece una puntuación de 3.
  - **Peso relativo:**  $g = 3$
  - **Evaluación CS1:**  $p = 1$
  - **Evaluación CS2:**  $p = 2$
  - **Evaluación CS3:**  $p = 3$

### 3.5.2.2 Facilidad de adquisición de tecnología

La facilidad de adquisición de tecnología se enfoca en la ubicación del proveedor para la compra o fabricación de los componentes en el mercado nacional o internacional, siendo el mercado nacional la mejor opción, pero no siempre la disponible.

- **Importancia del criterio:** El nivel tecnológico nacional está en progreso, por ende algunos componentes o la fabricación de estos son accesibles dentro de este mercado; sin embargo, la escasez a nivel nacional nos obliga a buscar otras alternativas y en contraparte el tiempo de espera del producto extranjero podría poner en parálisis el funcionamiento del subsistema o sistema general. Ante ello, se le otorga un peso relativo de 4.
  
- **Evaluación de alternativas:** El CS1 no presenta componentes de difícil adquisición, si bien el oscilador no existe en el mercado como tal, sus componentes si; sin embargo, la precisión en la fabricación de la estructura del subsistema del LRR requiere de equipos con niveles de tolerancia exigentes para que pueda realizarse la unión de la columna giratoria con la base; por ello se le asigna un puntaje de 2. El CS2 posee una gran cantidad de soldadura en el brazo y la base; aparte del level-wind utilizado en el subsistema de WGC que solo se puede adquirir del mercado internacional porque no tienen proveedores a nivel nacional, por consiguiente obtiene una puntuación de 1. Finalmente, el CS3 posee casi todos sus componentes en el mercado nacional, exceptuando por el rodamiento de giro al igual que el CS2; sin embargo, si existen proveedores de marcas de rodamiento conocidas como SKF, por ende se le concede un puntaje de 3.
  - **Peso relativo:**  $g = 4$
  - **Evaluación CS1:**  $p = 2$
  - **Evaluación CS2:**  $p = 1$
  - **Evaluación CS3:**  $p = 3$

### 3.5.2.3 Facilidad de mantenimiento

La facilidad de mantenimiento se basa en la sencillez para realizar el mantenimiento, reparación o modificación requerida a los componentes pertenecientes a los subsistemas. Por lo tanto, se garantiza un tiempo de vida que va de la mano con un mantenimiento superficial y otro técnico. Para mejorar las facilidades del mantenimiento técnico el subsistema debe presentar una robustez o factor de seguridad mínimo aceptable.

- **Importancia del criterio:** El sistema en general debe tener una resistencia a la corrosión significativa para poder ser utilizado en altamar. La robustez misma del sistema o subsistema garantiza que no tenderá a fallar; pero en contraparte, podría elevar significativamente el costo. Por lo tanto, tiene un peso relativo de 2.
- **Evaluación de alternativas:** El CS1 en su subsistema de LRR posee la unión de una columna giratoria con la base, la cual requerirá de modificaciones y reparaciones debido al ajuste por apriete para mantener ambas partes unidas y el uso de un componente como rodamientos para permitir el giro de la columna; adicionalmente la unión del actuador con la columna para realizar el giro no debe presentar alguna carga vertical al actuador para no dañarlo, caso contrario tendría que cambiarse por otro actuador que soporte dicha carga o una columna más liviana pero igual de resistente. Por ello, se le otorga el puntaje de 1. El CS2 en su subsistema de LRR presenta dos grandes piezas, la base-columna y el brazo giratorio. Dichas estructuras están compuestas y soldadas por perfiles comerciales y al ser una unión fija no permitiría alguna modificación, pero son robustas. Aparte, la reparación tendría que realizarse por soldadura y por ello se requeriría de una máquina para soldar en altamar. Por lo tanto, su puntuación es de 2. El CS3 facilita bastante el mantenimiento debido al tipo

de unión empernada que emplea. Las reparaciones pueden ser más específicas e independientes ya que se pueden separar los componentes en el subsistema de LRR y WGC sin mucho problema; sin embargo, los componentes en el subsistema de LRR están sumamente expuestos y el agua podría dañarlos severamente. Por ello, obtiene un puntaje de 2.

- **Peso relativo:**  $g = 2$
- **Evaluación CS1:**  $p = 1$
- **Evaluación CS2:**  $p = 2$
- **Evaluación CS3:**  $p = 2$

#### 3.5.2.4 Resumen y comparación

El resumen numérico y comparativo de puntajes con los pesos relativos de los criterios económicos descritos y justificados previamente se presentan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Resumen y comparación de criterios económicos. Elaboración propia.

Económico			Concepto solución 1		Concepto solución 2		Concepto solución 3		Concepto solución óptimo	
Nro	Criterio	g	p	p * g	p	p * g	p	p * g	p	p * g
1	Costo de la tecnología	3	1	3	2	6	3	9	4	12
2	Facilidad de adquisición de tecnologías	4	2	8	1	4	3	12	4	16
3	Facilidad de mantenimiento	2	1	2	2	4	2	4	4	8
<b>Suma</b>			<b>4</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>36</b>
<b>Promedio ponderado</b>			<b>0,33</b>	<b>0,36</b>	<b>0,42</b>	<b>0,39</b>	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>



### 3.5.3 Elección de la alternativa más óptima

En base a los criterios desarrollados según aspectos técnicos y económicos se realiza un gráfico de dispersión para reducir los conceptos de solución a un solo concepto de solución ganador mas no el óptimo. En la Figura 3.28 la nomenclatura CT1 hace referencia al criterio técnico 1 y CE1 al criterio económico 1, bajo esta numeración sustraída de las Tablas 3.8 y 3.9. El CS1 (color verde) y el CS2 (color naranja) quedan descartados por estar debajo de

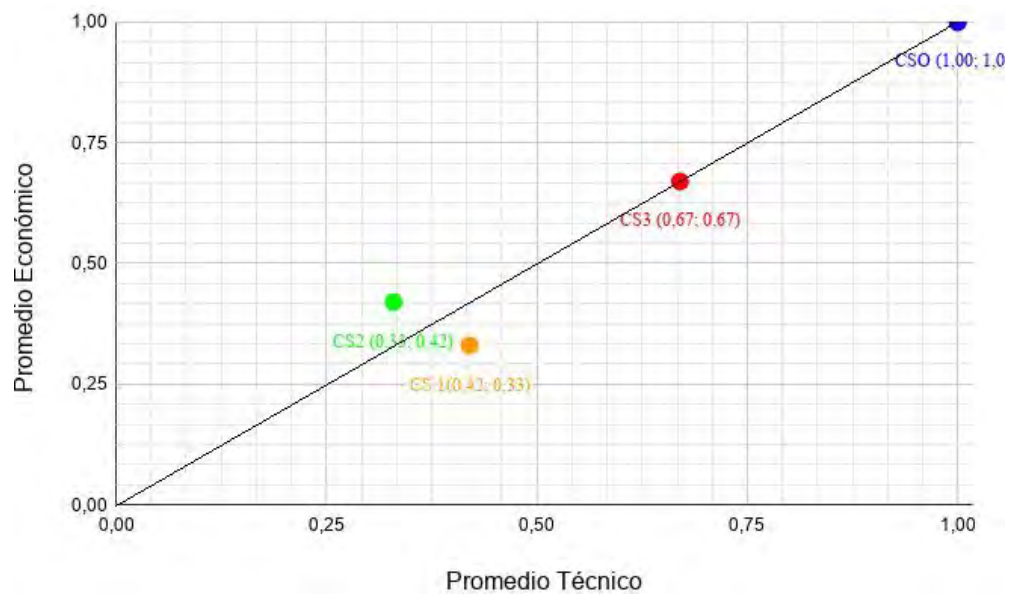


Figura 3.28: Gráfico de dispersión de CS's vs criterios técnicos (CT) y criterios económicos (CE). Elaboración propia

### 3.6 Concepto de solución óptima

Una vez obtenido el concepto de solución ganadora se analizan las falencias que este presenta para llegar a ser la opción óptima. Ante ello evidenciamos los dos criterios en los cuales el CS3 no alcanzó el puntaje máximo: Dimensiones y facilidad de mantenimiento. Por lo tanto, a continuación se mostrará el concepto de solución óptima por subsistemas y se justificará la solución que convierte al CS3 en el óptimo.

**CSO - Subsistema de LRR:** En la Figura 3.29 se muestra los principales componentes que son o conforman las funciones del subsistema. Como bien se detalla, las dimensiones

máximas son de 2520 mm de largo, 1700 mm de ancho y 3200 mm de alto; por lo tanto, no excede a las dimensiones limitadas en la lista de requerimientos. El ensamblaje de todos los componentes detallados son emperrados, exceptuando por el brazo giratorio y la estructura que posee soldadura, pero ello no dificulta el mantenimiento del resto de componentes claves para el funcionamiento.

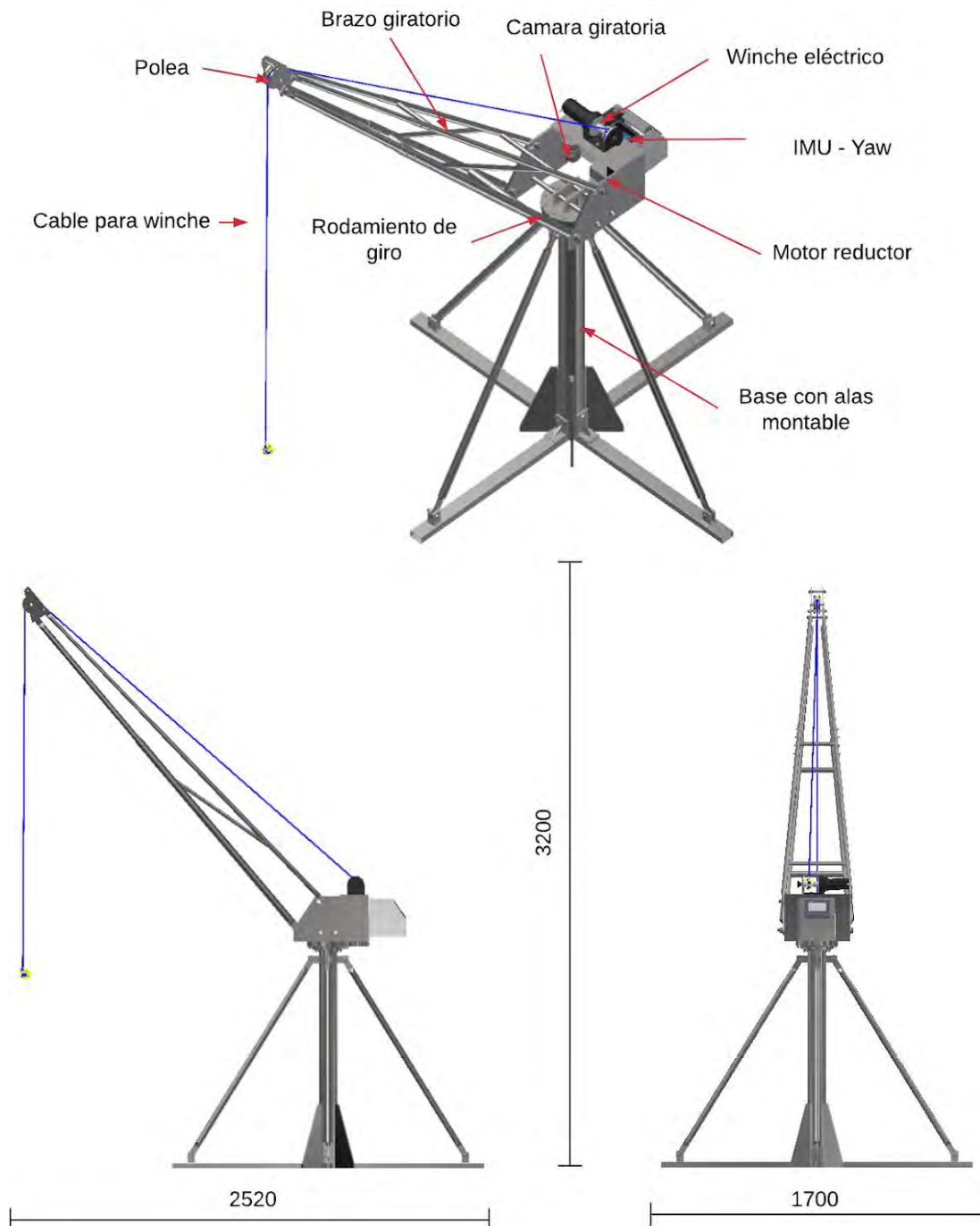


Figura 3.29: CSO - Subsistema de LRR. Fuente: Elaboración propia.

**CSO - Subsistema de CIC:** En la Figura 3.30 se muestran los principales componentes que son o conforman las funciones del subsistema de comunicación e interfaz de control. Las dimensiones máximas detalladas son de 205 mm de largo, 200 mm de ancho y 210 mm de alto; por ende, no exceden a los límites indicados en la lista de requerimientos. La facilidad de mantenimiento por el lado de la reparación o modificación que se requiera durante el uso sería sencilla debido al tamaño reducido del panel y por ende la cercanía de sus componentes. Bastaría con abrir el panel por la parte superior, revisar los componentes o el cableado.

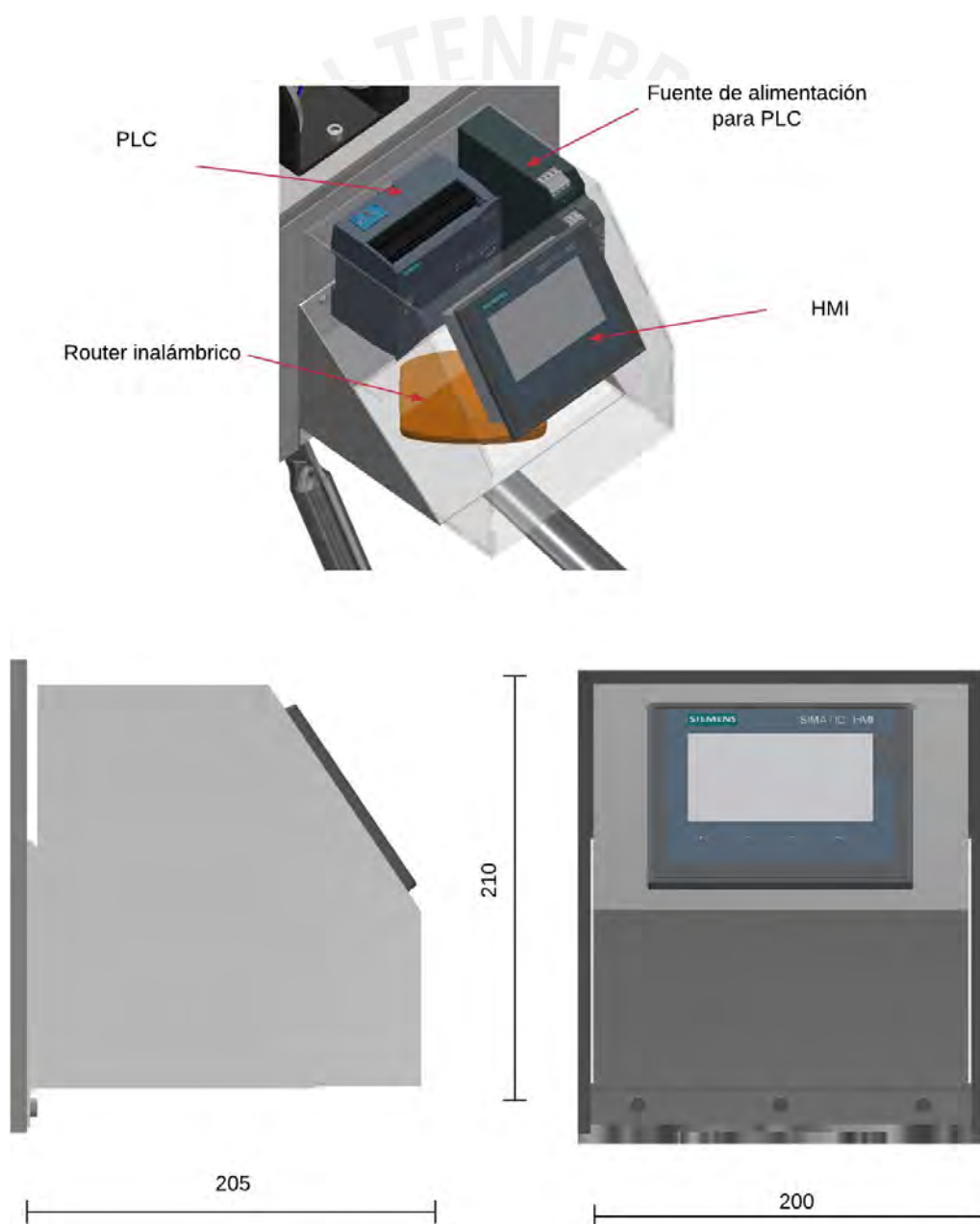


Figura 3.30: CSO - Subsistema de CIC. Fuente: Elaboración propia.

**CSO - Subsistema de WGC:** En la Figura 3.31 se muestran los principales componentes que son o conforman las funciones del subsistema de winche con gestión de correa. Las dimensiones máximas detalladas son de 1050 mm de ancho, 1500 mm de largo y 900 mm de alto; estas son cercanas a los valores indicados en la lista de requerimientos, pero no las exceden. El mantenimiento de los componentes o partes es de fácil acceso debido al tipo de unión que se emplea para ensamblar el subsistema. Aparte, las modificaciones serían posibles ya que el material de la carcasa es de plástico el cual tiene un precio inferior al acero inoxidable para soportar el contacto con el agua.

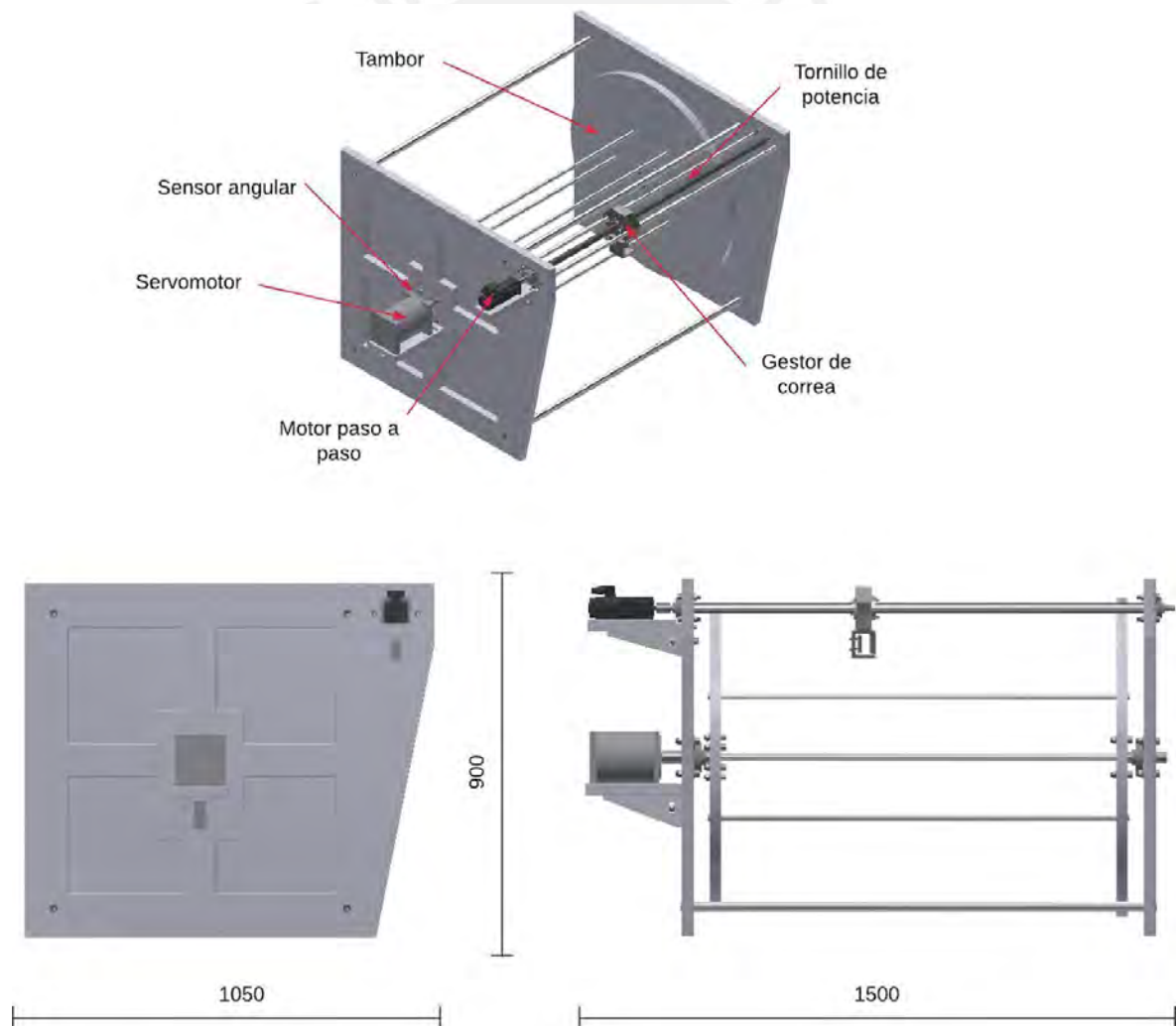


Figura 3.31: CSO - Subsistema de WGC. Fuente: Elaboración propia.

**CSO - Subsistema de JF:** En la Figura 3.32 se observan los principales componentes que son o forman parte de las funciones del subsistema de jaula flotante. Las dimensiones máximas detalladas son de 1040 mm de largo, 1040 mm de ancho y 740 mm de alto; se concluye, que no excede los límites indicados en la lista de requerimientos. La estructura de aluminio es completamente soldada debido que también será usada para resguardar al ROV durante su transporte. Si bien el ensamblaje en este subsistema es nulo, exceptuando por la unión de los flotadores mediante la soga y la cadena para el gancho, la robustez es grande.

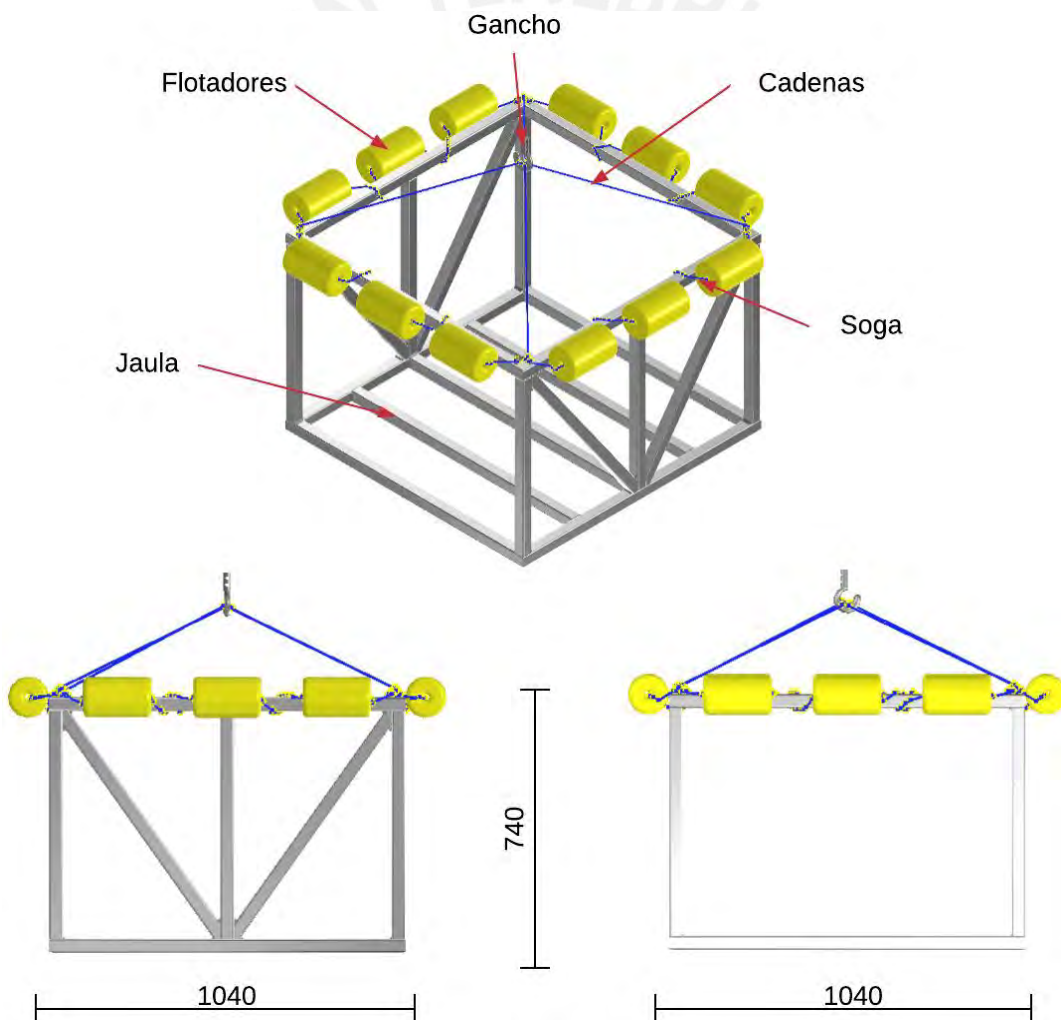


Figura 3.32: CSO - Subsistema de JF. Fuente: Elaboración propia.

**CSO - Subsistema de suministro de energía:** En la Figura 3.33 se aprecian los principales componentes que son o conforman las funciones del subsistema de suministro de energía. Las dimensiones máximas detalladas son de 400 mm de largo, 260 mm de ancho y 500 mm de alto, las cuales no exceden a los valores indicados en la lista de requerimientos. La facilidad de mantenimiento en general es sumamente sencilla, bastaría con desenergizar el sistema y abrir la caja para reparar o modificar algún componente o conexión que esté fallando.

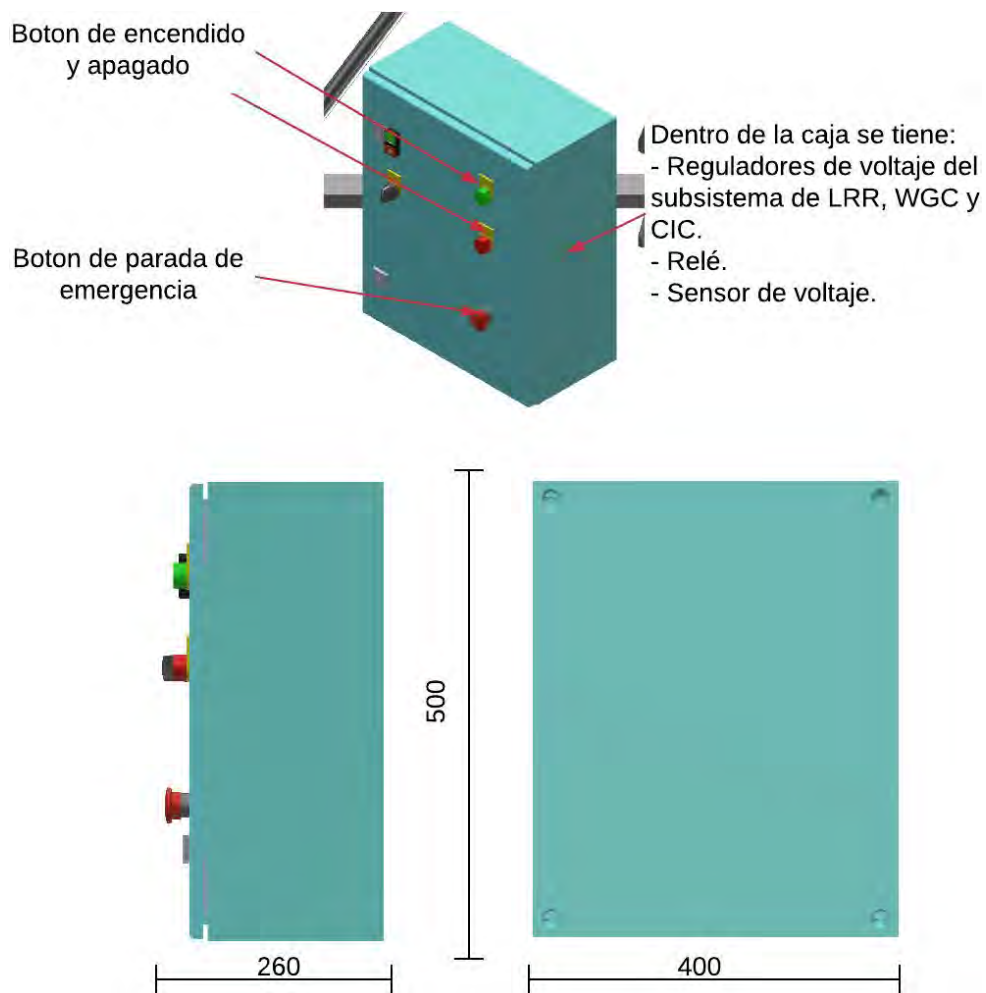
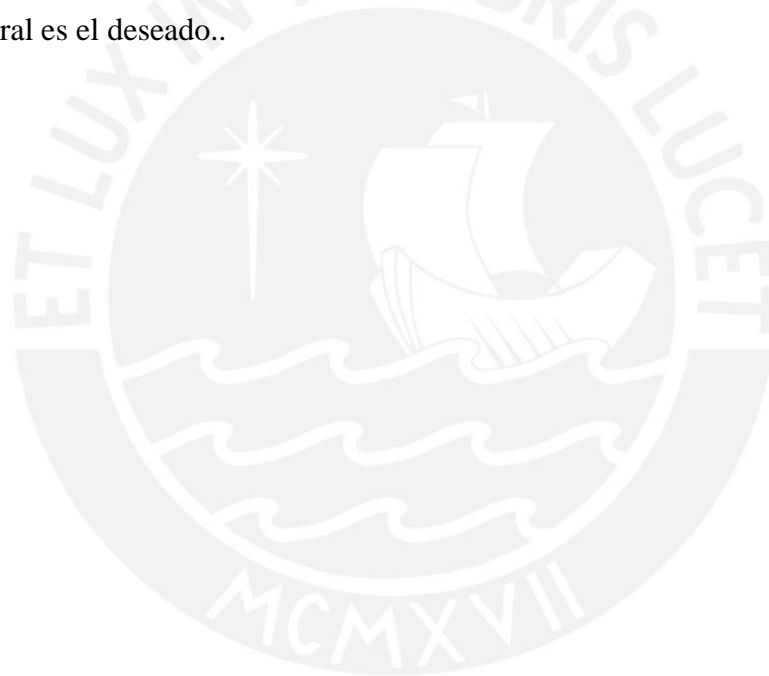


Figura 3.33: CSO - Subsistema de suministro de energía. Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, los subsistemas tienen la facilidad de ensamblaje que se busca en el concepto de solución óptimo planteado y el dimensionamiento de los subsistemas por separado respeta los valores indicados en la lista de requerimientos; sin embargo, el arreglo que se asuma para organizar el sistema general agranda considerablemente las dimensiones que podrían afectar al límite del sistema modular general. Por ello, para realizar el sistema general completo, es vital acomodar los subsistemas de forma eficiente y eficaz para tener una facilidad en el uso y ubicación de estos. El mantenimiento, reparación y modificación de los subsistemas es aceptable y posible; por ende, se concluye adicionalmente que la facilidad de mantenimiento del sistema general es el deseado..



## CONCLUSIONES

- Se investigó las tecnologías actuales respecto a los LARS, TMS y jaulas desplegables. Los LARS comerciales tienen una gran variedad en la capacidad de carga y dependiendo de ello sus dimensiones incrementan, siendo el LARS tipo A-frame el más empleado para ROVs. El TMS se encarga de gestionar el suministro de cable mediante un gestor de correa o cable, este sistema puede ser sumergible, pero debido a la simplicidad del diseño, se opta por un winche con gestión de correa que estará instalado en la embarcación; por lo tanto, el sistema de WGC no es sumergible. La jaula desplegable parte como un tipo de TMS que resguarda al ROV y desciende con este adentro hasta la profundidad de operación, dicho sistema se denomina TMS tipo jail cage; sin embargo, se tomó como concepto la jaula y se agregó flotadores para obtener finalmente una jaula flotante que permita al ROV salir y entrar a esta cuando yace en la superficie del mar.
- Se definieron los requerimientos del sistema los cuales se basaron en los deseos o exigencias del cliente, que en este caso es el equipo técnico del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170. Los tres principales requerimientos son la geometría, la carga y el montaje. La geometría del sistema general se limitó entre 2500 - 3200 mm de largo, 1500 - 2300 mm de ancho y 2500 - 3500 mm de alto. La carga se limitó como la capacidad de carga máxima que el sistema puede soportar, el cual es 250 kgf. Por último, el montaje es modular para facilitar el uso de los subsistemas por separado o juntos, siendo dos de estos principales para cualquier tipo de arreglo, el subsistema de comunicación e interfaz de control y el subsistema de suministro de energía.



- Se elaboró el diagrama de estructura de funciones mediante el cual se identificaron como funciones principales del sistema la función de elevar/descender, la función de posicionar horizontalmente y la función de gestionar cable del ROV. Estas tres funciones son las tareas más importantes para el funcionamiento del sistema y así pueda ser empleado con los vehículos sumergibles. La función de elevar/descender limita la altura de izado que el sistema debe poseer para levantar al ROV por encima de la baranda de la embarcación y luego descender hasta la superficie marina. La función de posicionar horizontalmente se encarga de movilizar al vehículo en ese plano mediante un giro controlado. Y la función de gestionar correa cuenta con dos modos de operación según la necesidad del operario, este puede ser manual o automático.
- Se desarrolló un concepto de solución óptimo, el cual consiste en un sistema de lanzamiento y extracción con gestión de correa para ROV y jaula flotante. El concepto cuenta con un sistema para despliegue y recuperación tipo grúa pluma que mediante un servomotor AC y un winche consiguen el desplazamiento radial y vertical respectivamente. El winche con gestión de correa es un cabrestante horizontal que tiene la capacidad de albergar 1000 m de cable y un gestor de correa para suministrar de forma uniforme este cable. La jaula flotante es una estructura de aluminio con asas en sus extremos superiores para unirlos con cadenas al gancho del winche eléctrico que acciona el movimiento vertical; a su vez, alberga y protege al ROV durante el lanzamiento o extracción. El suministro de energía es una caja de plástico que contiene todos los componentes necesarios para brindar la energía requerida a los actuadores, sensores y al microcontrolador. Y por último, la interfaz de control y

comunicación que permite el control de las tareas que realizará el sistema en altamar, posee un modo automático para el suministro de cable que se acciona mediante el winche con gestión de correa cuando el ROV está navegando.



## RECOMENDACIONES

- El TMS sumergible es la opción recomendada según (Robert D. Christ y Robert L. Wernli, 2014). Debido a la profundidad de operación del ROV, es preferible el uso de un sistema de gestión de correa (TMS) sumergible que descienda hasta esa profundidad y permita al vehículo trabajar en dicho plano; sin embargo, el costo de diseño e implementación es mayor en estos casos. Se recomienda una mayor investigación concerniente a este tipo de sistemas y análisis de su implementación o diseño en base a las limitantes que se tenga.
- El level-winder es el gestor de correa óptimo para el suministro de cable de alimentación y comunicación de forma uniforme y pareja. Dada a la dificultad de adquisición de este sistema, del cual solo se han obtenido referencias internacionales, es preferible el posible diseño de uno en base a los requerimientos del subsistema de winche con gestión de correa. Se recomienda el diseño del eje rosca diamante (screw diamond) y su acople para unirlos al gestor de correa.
- La modularidad del sistema es una exigencia del equipo técnico del proyecto de investigación PNIPA-PES-SIADE-PP-000170. Se recomienda que el diseño de un sistema similar o cuya función se pueda separar en sub-tareas o funciones presente el criterio de modularidad para así afrontar alguna falla con mayor detenimiento y precisión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Defensoría del Pueblo (2019). *Insistimos en la Reserva Nacional Mar Tropical de Grau*. Defensoría del pueblo. Recuperado de: <https://www.defensoria.gob.pe/insistimos-en-la-creacion-de-la-reserva-nacional-mar-tropical-de-grau/>
- Jorge Reyes (2019). *Reserva Nacional Mar Tropical de Grau se creará antes de acabar el año, estima el Minam*. Gestión. Recuperado de: <https://gestion.pe/peru/reserva-nacional-mar-tropical-grau-creara-acabar-ano-estima-minam-262630-noticia/>
- SERNANP (2019). *Propuesta de Reserva Natural Mar Tropical de Grau*. SERNANP Perú Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Recuperado de: <https://www.sernanp.gob.pe/reserva-nacional-mar-tropical-de-grau>
- Juan Riveros (2019). *Mar Tropical de Grau: Una larga espera sin final feliz*. Oceana: Protegiendo los Océanos del Mundo. Recuperado de: <https://peru.oceana.org/es/blog/mar-tropical-de-grau-una-larga-espera-sin-final-feliz>
- Ivette Praeli (2019). *Desafíos 2019 en Perú: más de 23 mil delitos ambientales por resolver y una reserva marina que espera su creación*. Mongabay Latam. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2019/01/desafios-2019-peru/>
- IMARPE (2013). *Acerca de IMARPE*. Instituto del Mar del Perú - IMARPE. Recuperado de: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=I01690000000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I01690000000000000000)
- IMARPE (2020). *Varamiento de la Fauna*. Instituto del Mar del Perú - IMARPE. Recuperado de: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/informes\\_.php?id\\_seccion=I0182000000000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/informes_.php?id_seccion=I0182000000000000000000)
- DECK Marine Systems (s.f.). *Launch and Recovery System (LARS)*. DECK Marine Systems. Recuperado de: [https://www.deckmarinesystems.com/product\\_page/launch-and-recovery-system-lars/](https://www.deckmarinesystems.com/product_page/launch-and-recovery-system-lars/)

- PNIPA (2019). *Concurso PNIPA 2018-2019: Orden de Mérito Técnico (OMT) de Propuestas de Subproyectos de Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental (SIADE)*. Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA). Recuperado de: <http://www.pnipa.gob.pe/wp-content/uploads/2019/07/lista-de-orden-de-merito-tecnico-pesca-2da-convocatoria-siade.pdf>
- Under Oceans Marine Innovations S.L. (s.f.). *Productos y servicios del Grupo*. Bajoelagua Factory. Recuperado de: <http://www.bajoelaguafactory.com/alquiler-barco-profesional-lista-5.html>
- Jansch, J. y Birkhofer, H. (2006). *The development of the guideline VDI 2221 - The change or direction*. Croatia: Design 2006.
- Robert D. Christ y Robert L. Wernli (2014). *The ROV Manual, A User Guide for Remotely Operated Vehicles. Chapter 9: LARS and TMS*. Massachusetts: Elsevier.
- Northern Diver (s.f.). *LARS - Diver Launch & Recovery Systems*. Northern Diver Commercial Suits & Equipment. Recuperado de: <https://www.ndiver-commercial.com/lars-diver-launch-recovery-systems>
- Marine Vision (2013). *LARS Crane Based sistema de despliegue y recuperación de vehículos ROV*. Marine Vision. Recuperado de: [http://www.marinevision.es/es/diving-pro/saab/lars\\_crane.html](http://www.marinevision.es/es/diving-pro/saab/lars_crane.html)
- Ocean Scientific International Ltd (2019). *Winches & LARS*. Ocean Scientific International Ltd. Recuperado de: <https://osil.com/product/winches-lars/>
- Hi-Sea Marine (s.f.). *Single Arm Electric Slewing Lifteraft Davit*. Hi-Sea Marine. Recuperado de: <http://www.hiseamarine.com/single-arm-electric-slewing-lifteraft-davit-4642.html>
- Sepro Technology (s.f.). *LAUNCH YOUR ASSETS*. SEPRO Technology. Recuperado de: [https://shgroup.dk/UserFiles/Diverse/Sepro\\_Brochure\\_Mail.pdf](https://shgroup.dk/UserFiles/Diverse/Sepro_Brochure_Mail.pdf)
- Sepro Technology Innovation (s.f.). *SEPRO Technology innovation*. SEPRO Technology Innovation. Recuperado de: [http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/2012/diego\\_gelder/relat1/catalogos/catsepro.pdf](http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2012/diego_gelder/relat1/catalogos/catsepro.pdf)

- Trslí'c, P., Rossi M., Siv'cev, S., Dooly, G., Coleman, J., Omerdi'c, E. y Toal, D. (2018). *Long term, inspection class ROV deployment approach for remote monitoring and inspection*. Centre for Robotics & Intelligent Systems University of Limerick: Ireland.
- Wang, H., Li, B., Cui, S., Zhao, Y., Zhu, P., Sun, B., Zhang, Z., Li, Z. y Li, L. (2018) *Development and Sea Trials of a 6000 m Class ROV for Marine Scientific Research*. Qifeng Zhang State Key Laboratory of Robotics Shenyang Institute of Automation: China.
- Sathianarayanan, D., Pranesh, S., Chowdhury, T., Chandrasekar, E., Murugesan, M., Radhakrishnan, M., Subramanian, A., Ramadass, G. y Atmanand, M. (2010) *Mechanical Engineering Challenges in the development of Deepwater ROV (ROSUB 6000)*. National Institute of Ocean Technology: India.
- Douglas, P. T. (2018). *EE.UU. Patente N° 9,855,999 B1*. Houston, TX: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/1b/59/f45e2e03200132/US9855999.pdf>.
- Henriksen, H. (2011). *AU Patente N° 2011321096B2*. Sydney, NSW: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c1/c2/b8/c3b205ce1eae38/AU2011321096B2.pdf>
- Oilfield Wiki (2016). *Subsea umbilicals: (Subsea) Umbilical Termination Assembly (UTA)*. Oilfield Wiki. Recuperado de: [http://www.oilfieldwiki.com/wiki/Subsea\\_umbilicals#.28Subsea.29\\_Umbilical\\_Termination\\_Assembly\\_.28UTA.29](http://www.oilfieldwiki.com/wiki/Subsea_umbilicals#.28Subsea.29_Umbilical_Termination_Assembly_.28UTA.29)
- Rocha, R., Bordman, T., Galyen, M., Drouet, P., Sweeney, J. y Means, M. (2003). *EE. UU. Patente N° 6,612,369 B1*. Houston, TX: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7c/e2/cc/72cb5faba6d2ca/US6612369.pdf>
- Sperre ROV Technology (s.f). *Winch model medium 22/1000*. Sperre ROV Technology. Recuperado de: <https://sperre-as.com/portfolio/winch-model-medium-221000/>
- Krishna, M., Bares, J. y Mutscher, E. (1997). *Tethering System Design for Dante II*. IEE: New Mexico.

- Bornemann Gewindetechnik (s.f). *Rosca de diamante o roscas invertidas*. Bornemann Gewindetechnik. Recuperado de: <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/es/productos/roscas-de-diamante/>
- Yoneyama, M., Ma, S. y Hirose, S. (2014). *Development of Unicorn Reel: Hermetic Traction-Controllable Cable Reel with Passive-Lever Level Winder*. IEEE: Japan.
- Smith, Nigel, Roberts, Philip y Falconer, O. (2014). *EP Patente N°. 2,873,642 A1*. Hampshire, GB: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8d/0f/2e/8c01f9331e566b/EP2873642A1.pdf>
- Einhorn, M. (2014). *EE.UU. Patente N°. 2014/0061558 A1*. Seattle, WA: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6a/e7/d2/e0449091dc98d1/US20140061558A1.pdf>
- Hawless, G., Chiau, C. y Wright, A. (2013). *EE.UU. Patente N°. 2013/0193256A1*. San Aselmo, CA: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0f/0c/05/1d77fa457383ae/US20130193256A1.pdf>
- Richards, A. (2010). *EE.UU. Patente N°. 7,748,685 B2*. Aberdeenshire, GB: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/da/50/78/3649b1f7cbc485/US7748685.pdf>
- Stasny, J., Janac, J., Carey, D. y Selcer, T. (2002). *EE.UU. Patente N°. 6,443,431 B1*. College Station, TX: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/95/70/2d/fd3b5c8e5c5248/US6443431.pdf>
- Lin, Y., Jiang, X. y Yu, Y. (2019). *EE.UU. Patente N°. 10,294,083 B2*. Dalian, CN: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/75/38/ee/fdbadaaa958ba1/US10294083.pdf>
- Merchant, A., Hussaien, A., Sreekala, K. y Choudhary, A. (2017). *WO Patente N°. 2017/164811*. Singapore, GP: Recuperado de: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b6/c3/34/87bf0eabe16fb9/WO2017164811A1.pdf>

Yann, X., Barre, D. y Adolphe, A. (2004). *EE.UU. Patente N°. 6,698,376 B2*. La Ciotat, FR:  
Recuperado de:  
<https://patentimages.storage.googleapis.com/6b/62/95/9503360759b969/US6698376.pdf>

El Congreso de la República (2011). *Normas Legales: Ley 29783 - Ley de seguridad y salud en el trabajo*. El Peruano. Recuperado de:  
<https://www.sunafil.gob.pe/images/docs/normatividad/LEYDESEGURIDADALSALUDTRABAJO-29783.pdf>





## ANEXOS

## ANEXO A: TABLA DE LA LISTA DE REQUERIMIENTOS

Lista de requerimientos	
Deseo (D) o Exigencia (E)	Descripción
E	<p><b>Función principal:</b> Despliegue y extracción del ROV desde la embarcación hasta la superficie del mar o viceversa y distribución de cable de alimentación y comunicación con gestión de correa para el ROV.</p>
E	<p><b>Geometría:</b>  <b>Sistema modular integrado:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 2500 - 3200 mm</li> <li>● Ancho = 1500 - 2300 mm</li> <li>● Alto = 2500 - 3500 mm</li> </ul> <p><b>Sistema modular:</b></p> <p>-&gt; Sistema de lanzamiento y recuperación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 1500 - 2000 mm</li> <li>● Ancho = 1000 - 2000 mm</li> <li>● Alto = 2500 - 3300 mm</li> </ul> <p>-&gt; Winche para cable de alimentación y comunicación de ROV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 1200 - 1600 mm</li> <li>● Ancho = 800 - 1200 mm</li> <li>● Alto = 800 - 1000 mm</li> </ul> <p>-&gt; Jaula flotante</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 1000 - 1100 mm</li> <li>● Ancho = 1000 - 1100 mm</li> <li>● Alto = 1000 - 1100 mm</li> </ul> <p>-&gt; Interfaz con control</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 200 - 250 mm</li> <li>● Ancho = 200 - 250 mm</li> <li>● Alto = 250 - 350 mm</li> </ul> <p>-&gt; Suministro de energía</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo = 300 - 600 mm</li> <li>● Ancho = 200 - 300 mm</li> <li>● Alto = 400 - 650 mm</li> </ul>
E	<p><b>Cinemática:</b></p> <p>Movimiento del winche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad del winche para entrega de cable de alimentación y comunicación del ROV &gt; 60 m/min</li> </ul> <p>Grados de libertad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotación del brazo de la grúa que sostiene la carga:</li> <li>- Ángulo de giro 0° - 270°</li> <li>- Velocidad de giro de la grúa &gt; 90°/min</li> </ul> <p>Movimiento vertical de la carga:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura vertical de 1 m desde la base de la embarcación hasta la superficie marina entre -0.8 a -2.5 m, dependiendo de la altura de la embarcación.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad de bajada o subida de la carga &gt; 15 m/min.</li> </ul>
E	<b>Carga:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de carga que soporta el sistema: &gt; 250 kg</li> </ul>
E	<b>Energía:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se emplea un generador AC (VAC 220V / 60 Hz) para alimentar al sistema mediante un cable de 3 m de largo como mínimo.</li> <li>- Cables de alimentación y comunicación entre módulos de 1.5 m de largo como máximo.</li> <li>- Uso de convertidores eléctricos en el módulo de suministro de energía</li> </ul>
E	<b>Materia:</b> Vehículo Operado Remotamente (ROV): <ul style="list-style-type: none"> <li>● Largo &lt; 1000 mm</li> <li>● Ancho &lt; 1000 mm</li> <li>● Alto &lt; 1000 mm</li> <li>● Peso &lt; 200 kg</li> </ul>
E	<b>Señales:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Señales de entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Encendido/apagado del sistema.</li> <li>● Parada de emergencia</li> <li>● Movimiento rotacional de la grúa.</li> <li>● Movimiento descendente/ascendente de la carga.</li> <li>● Enrollar/desenrollar cable de comunicación y alimentación del ROV.</li> <li>● Posición relativa del ROV.</li> </ul> </li> <li>- <b>Señales de salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Estado de operación de los módulos.</li> <li>● Alertas de sistemas</li> <li>● Velocidad del cable para alimentación y comunicación del ROV.</li> <li>● Cantidad de cable restante para alimentación y comunicación del ROV.</li> </ul> </li> </ul>
E	<b>Control:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Variables de control:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Velocidad de entrega de cable para comunicación y alimentación para el ROV (<math>T_{\text{Respuesta}} &lt; 0.5 \text{ seg}</math>, <math>T_{\text{Estabilización}} &lt; 0.5 \text{ seg}</math>, <math>M_p &lt; 15\%</math> y <math>e_{es} = 0\%</math>)</li> <li>● Posición radial del giro (<math>T_{\text{Respuesta}} &lt; 2 \text{ seg}</math>, <math>T_{\text{Estabilización}} &lt; 1 \text{ seg}</math>, <math>M_p &lt; 15\%</math> y <math>e_{es} = 0\%</math>)</li> <li>● Posición vertical de la carga (<math>T_{\text{Respuesta}} &lt; 2 \text{ seg}</math>, <math>T_{\text{Estabilización}} &lt; 1 \text{ seg}</math>, <math>M_p = 15\%</math> y <math>e_{es} = 0\%</math>)</li> </ul> </li> </ul>
E	<b>Electrónica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Controlador para el procesamiento de las variables de control y comunicación.</li> <li>● Sensores para garantizar la respuesta de las variables de control y de la cantidad de cable restante de alimentación y comunicación del ROV.</li> <li>● Actuadores para el accionamiento del sistema: Winche para soportar la carga, motor para accionar el tambor que contiene el cable de alimentación y comunicación y motor para accionar el giro de la grúa.</li> </ul>
E	<b>Comunicaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La comunicación e interacción bidireccional entre la interfaz de control y los subsistemas será mediante el controlador, exceptuando el subsistema de jaula flotante.</li> <li>● La comunicación entre el usuario y los sistema modulares o el sistema integral se realizará mediante la interfaz de control.</li> </ul>












E	<p><b>Seguridad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Usuario:</b> Según Ley N°29783 de seguridad y salud en el trabajo. <ul style="list-style-type: none"> <li>● El uso de EPP básico es necesario para evitar golpes durante la operación de la grúa.</li> </ul> </li> <li>- <b>Grúa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los componentes adquiridos deben poseer IP55.</li> <li>● Evitar mojar o limpiar con chorros de agua la estructura.</li> <li>● Medidas de protección de suministro de energía ante contacto con agua.</li> <li>● Uso de cajas para proteger los componentes electromecánicos o de suministro energético.</li> </ul> </li> </ul>
D	<p><b>Mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Por usuario: A nivel superficial, previo a su uso y al menos cada mes.</li> <li>● Por técnico: A nivel de detalle (componentes en los módulos) al menos cada 4 meses.</li> </ul>
E	<p><b>Montaje:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Diseño modular</li> </ul>
E	<p><b>Fabricación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Uso de accesorios y materiales que se encuentren en el mercado internacional o nacional.</li> <li>● La fabricación de piezas se realizará en talleres nacionales o de la misma PUCP.</li> </ul>
E	<p><b>Costo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Costo de componentes y fabricación: máximo S/24,500</li> </ul>
E	<p><b>Plazos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Plazo de entrega final de 1 año.</li> </ul>






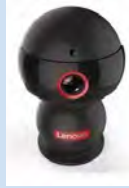

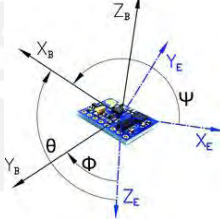







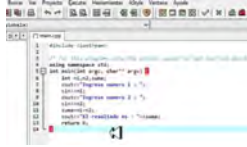
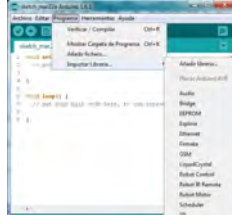
## ANEXOS

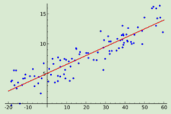
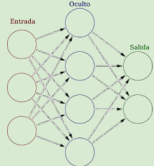
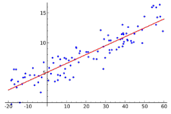
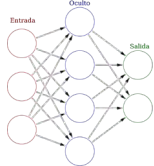
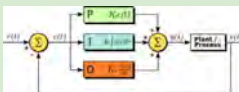
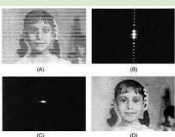

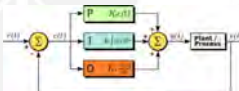

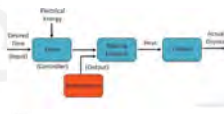
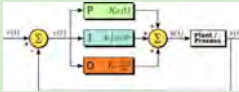








## ANEXO B: TABLA DE LA MATRIZ MORFOLÓGICA

Dominios	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Interfaz	Captar parada de emergencia	Perilla 	Botón 	Switch 
	Captar encendido/apagado del sistema	Perilla 	Botón 	Switch 
	Captar información del movimiento ascendente/descendente de la carga	Perillas 	Botones 	Pantalla táctil 
	Captar información de movimiento rotacional de la grúa			
	Captar información del enrollado/desenrollado de cable de ROV			
	Captar información de modo de operación manual/automático	Perilla 	Switch 	Pantalla táctil 


















	Mostrar estado de operación de los módulos	Luz indicadora 	Pantallas LED 	
	Mostrar velocidad promedio del cable del ROV	Luz indicadora 		Manecillas indicadoras 
	Mostrar cantidad de cable restante del ROV	Luz indicadora 		Manecillas indicadoras 
	Mostrar modo de operación actual	Luz indicadora 		
	Mostrar alertas del sistema	Luz indicadora 		Bocina 
Energía	Activar energía	Circuito de activación 	Relé 	

<p>Acondicionar energía</p>	<p>Rectificador</p> 	<p>Fuente switching</p> 	<p>Rectificador - regulador</p> 
<p>Energizar componentes de interfaz de control</p>	<p>Regulador de potencia</p> 	<p>Baterías</p> 	
<p>Energizar motor para tambor del winche</p>	<p>Regulador de potencia</p> 	<p>Baterías</p> 	
<p>Energizar winche para soportar la carga</p>	<p>Regulador de potencia</p> 	<p>Baterías</p> 	
<p>Energizar componentes para la rotación de la grúa</p>	<p>Regulador de potencia</p> 	<p>Baterías</p> 	






Comunicación	Recepcionar la información de la posición relativa del ROV	Inalámbrico Wifi 	Cable 	Inalámbrico bluetooth 
Sensores	Sensor posición vertical de la carga	Sensor de distancia 	Sensor angular 	Camara Giratoria 
	Sensor posición radial de giro	Sensor angular 	IMU - Yaw 	
	Sensor velocidad del cable del ROV	Sensor de velocidad 	Sensor angular 	
	Sensor suministro de potencia de los módulos	Sensor de voltaje 	Sensor de corriente 	
Control	Procesar las señales sensadas y las señales captadas	Embebido 	Microcontrolador 	PLC 
	Corroborar modo de operación	Algoritmos 	Funciones <pre>// a la función le llegan function ejecutarOrden(datos1, datos2 ){ // declaración variables locales var datoLocal;  // instrucciones datoLocal = datos1 + datos2; return datoLocal; }</pre>	Librerías 

	<p>Calcular velocidad promedio del cable del ROV</p>	<p>Cálculos directos</p> $F(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)x\sigma}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2}$	<p>Regresión lineal</p> 	<p>Redes neuronales</p> 
	<p>Calcular cantidad restante del cable del ROV</p>	<p>Cálculos directos</p> $F(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)x\sigma}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2}$	<p>Regresión lineal</p> 	<p>Redes neuronales</p> 
	<p>Controlar el movimiento de la carga</p>	<p>PID</p> 	<p>Procesamiento de imágenes</p> 	<p>Open loop</p> 
	<p>Controlar el movimiento rotacional de la grúa</p>	<p>PID</p> 	<p>Fuzzy</p> 	<p>Open loop</p> 
	<p>Controlar el movimiento rotacional del winche</p>	<p>PID</p> 	<p>Fuzzy</p> 	<p>Open loop</p> 
	<p>Almacenar posición relativa del ROV</p>	<p>Tarjeta de memoria</p> 	<p>Base de datos</p> 	<p>Memoria interna</p> 
<p>Actuadores</p>	<p>Accionar movimiento ascendente/descendente de la carga</p>	<p>Winche hidraulico</p> 	<p>Winche manual</p> 	<p>Winche electrico</p> 



	Accionar movimiento de giro de la grúa	Motor paso a paso 	Servomotor AC 	Motor AC 
	Accionar motor para el tambor del winche	Motor paso a paso 	Servomotor AC 	Motor AC 
Mecánico	Proteger y contener	Jaula de aluminio 	Jaula de acero inoxidable 	Jaula de plástico 
	Brindar flotabilidad positiva	Flotador de espuma 	Flotador de plástico 	
	Sujetar elemento de contención al SLR	Cadenas 	Cable metálico 	Soga 
	Albergar cable del ROV	Carrete de aluminio 	Carrete de plástico 	Carrete de acero inoxidable 

Suministrar cable del ROV	<p>Eje</p> 	<p>Plato giratorio</p> 	<p>Chumacera con eje</p> 
Transmitir potencia	<p>Sprockets con cadenas</p> 	<p>Poleas con fajas</p> 	<p>Engranajes</p> 
Gestionar cable del ROV	<p>Level wind</p> 	<p>Oscilador</p> 	<p>Guia lineal con tornillo de potencia</p> 
Elevar/descender	<p>Brazo con polea en el extremo</p> 	<p>Brazo inclinado por cable</p> 	<p>Brazo horizontal con winche</p> 
Posicionar horizontalmente	<p>Rotación de brazo por rodamiento</p> 	<p>Rotación de brazo por eje vertical</p> 	

	Albergar/soportar/proteger componentes varios (WGC)	<p>Cabrestante vertical</p> 	<p>Cabrestante horizontal</p> 	
	Albergar/soportar/proteger componentes varios (SLR)	<p>Grúa pluma brazo diagonal</p> 	<p>Grúa pluma brazo horizontal</p> 	<p>Grúa pluma brazo tensado</p> 



ANEXOS

ANEXOC: DIAGRAMA DE ESTRUCTURA DE FUNCIONES

