

**MARINA DE GUERRA DEL PERÚ  
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA NAVAL  
ESCUELA DE POSTGRADO**



**Tesis presentada para obtener el Grado de Académico de  
Maestro en Estrategia Marítima**

**“Salvamento submarino en la Armada Peruana: capacidades,  
limitaciones operativas y opciones tecnológicas para su  
desarrollo”**

**Presentado por**

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

<https://orcid.org/0000-0003-1290-0535>

**Doctor Carlos Portocarrero Ramos**

<https://orcid.org/0000-0001-8874-2348>

**Asesor Metodológico**

**V. Alm. (r) Eduardo Darcourt Adrianzén**

<https://orcid.org/0000-0002-1495-9947>

**C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos**

<https://orcid.org/0000-0002-9785-7822>

**C. de F. Carlos Holguín Valdivia**

<https://orcid.org/0000-0002-8875-6376>

**Asesores Técnicos**

**La Punta, 2018**

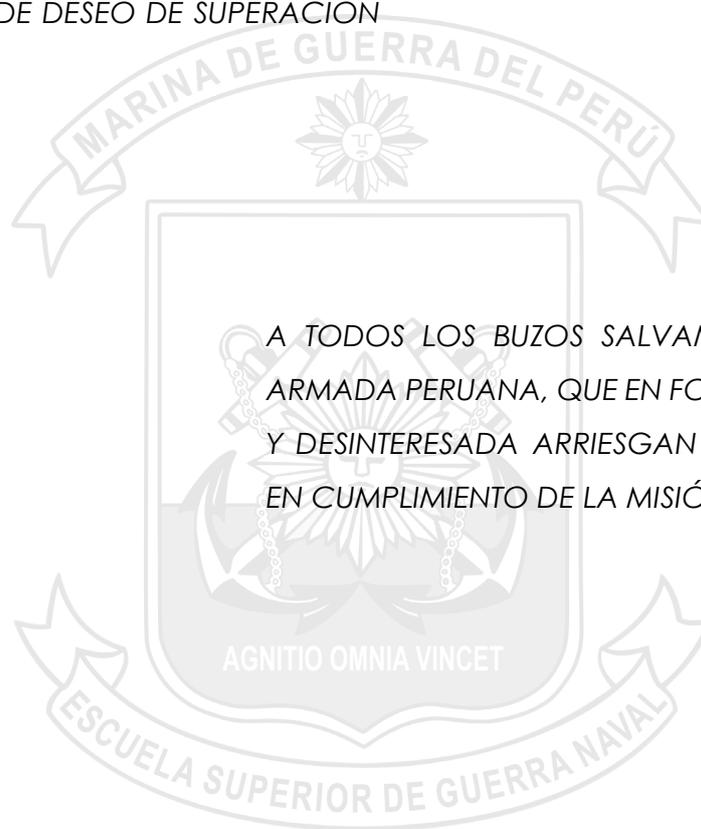
**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## DEDICATORIA

*DEDICO ESTE TRABAJO A MI FAMILIA,  
SOPORTE INCONDICIONAL, FUENTE DE  
INSPIRACIÓN Y DE DESEO DE SUPERACIÓN  
PERMANENTE.*



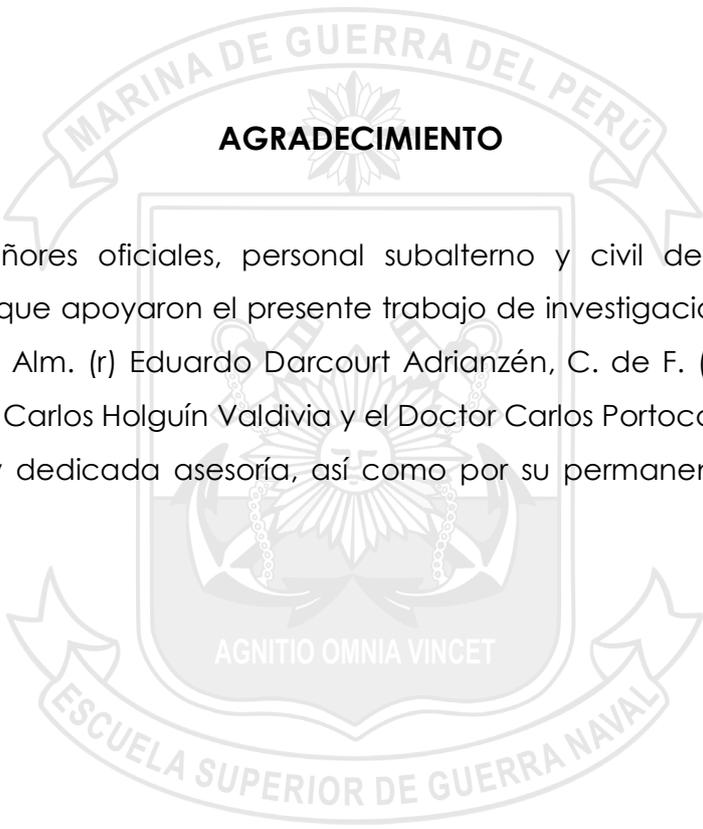
*A TODOS LOS BUZOS SALVAMENTISTAS DE LA  
ARMADA PERUANA, QUE EN FORMA SILENCIOSA  
Y DESINTERESADA ARRIESGAN SU PROPIA VIDA  
EN CUMPLIMIENTO DE LA MISIÓN ASIGNADA.*

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adriansén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia



## AGRADECIMIENTO

A todos los señores oficiales, personal subalterno y civil de las Unidades y Dependencias que apoyaron el presente trabajo de investigación, en especial a mis asesores: V. Alm. (r) Eduardo Darcourt Adriansén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia y el Doctor Carlos Portocarrero Ramos, por su importante y dedicada asesoría, así como por su permanente orientación y consejo.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## ÍNDICE

	PÁG.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	01
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	07
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	24
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS.....	52



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Matriz de consistencia	53
Anexo B	Cuestionario para expertos	54
Anexo C	Entrevistas realizadas	59
Anexo D	Carta HIDRONAV 100, con veriles de 350 y 1,500 pies	60
Anexo E	Carta HIDRONAV 200, con veriles de 350 y 1,500 pies	61
Anexo F	Carta HIDRONAV 300, con veriles de 350 y 1,500 pies	64

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

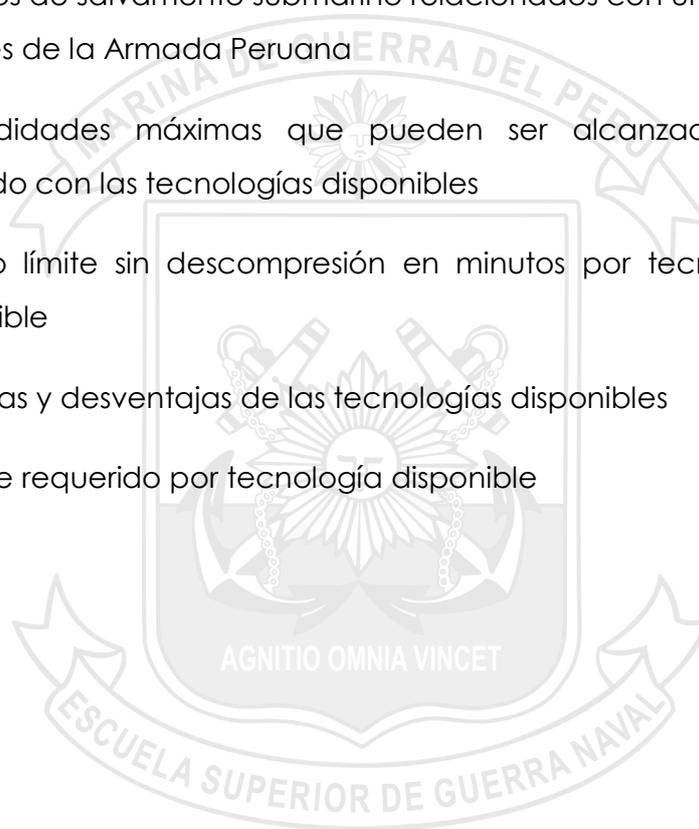
C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## LISTA DE TABLAS

Nº		Pág.
1	Equipamiento del Grupo de Salvamento de la Armada Peruana	29
2	Trabajos de salvamento submarino relacionados con unidades navales de la Armada Peruana	32
3	Profundidades máximas que pueden ser alcanzadas de acuerdo con las tecnologías disponibles	34
4	Tiempo límite sin descompresión en minutos por tecnología disponible	36
5	Ventajas y desventajas de las tecnologías disponibles	43
6	Soporte requerido por tecnología disponible	43



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## LISTA DE FIGURAS

Nº		Pág.
1	Campana de rescate subacuática Mccann, en exhibición en el Navy Undersea Museum, Seattle, Estados Unidos	18
2	Trieste II y DSRV Mystic, en exhibición en el Navy Undersea Museum, Seattle, Estados Unidos	19
3	Remolcador Auxiliar de Salvamento B.A.P. Morales (RAS-180)	28
4	Consola de distribución de gases de la sala de control de buceo del Remolcador Auxiliar de Salvamento B.A.P. Morales (RAS-180)	28
5	Vehículo de Operación Remota (ROV) y campana de buceo abierta del sistema de buceo profundo del Remolcador Auxiliar de Salvamento B.A.P. Morales (RAS-180)	30
6	Sistema de Saturación Móvil	38
7	Traje de Buceo Atmosférico (ADS) en las instalaciones de Nuytco Research Ltd. Vancouver, Canadá	39
8	Vehículos de Operación Directa (DOV) en las instalaciones de Nuytco Research Ltd. Vancouver, Canadá	40
9	Vehículo de Operación Remota (ROV) Seaeeye Leopard	40
10	Brecha identificada	44
11	Malla Curricular de la Escuela de Buceo y Salvamento	45



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## RESUMEN

Se realiza un análisis de las capacidades actuales del Grupo de Salvamento de la Armada Peruana y las contrasta con el peor escenario que se podría presentar, que es: tener una unidad submarina posada en el lecho marino con su tripulación a salvo, sin propulsión y sin capacidad de poder soplar sus tanques de lastre, al límite de su profundidad de colapso. Una vez determinada esta brecha, se realiza una descripción detallada de las ventajas y desventajas de cuatro tecnologías que se encuentran disponibles en el mercado internacional, de esa manera es que se analiza el buceo saturado, los trajes atmosféricos (ADS), los vehículos operados directamente (DOV) y los vehículos operados remotamente (ROV). Posteriormente se efectúa un análisis de la profesionalización del Grupo de Salvamento (GRUSAL), en donde se concluye la necesidad de incorporar una nueva tecnología, que permita incrementar la profundidad de inmersión en operaciones de salvamento submarino de forma segura, y que esté acompañada de la capacitación adecuada en operación y mantenimiento de estos equipos y sistemas.

**Palabras clave:** Armada Peruana, buceo profundo, salvamento submarino, capacidad, limitación operativa, opción tecnológica.



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## ABSTRACT

It does an analysis of the current capabilities of the submarine rescue of the Peruvian Navy and contrasts it with the worst scenario that can occur, which is to have a submarine at the bottom of the sea, with its crew safe, without propulsion and without the possibility of controlling their ballast tanks, at the limit of the depth of collapse. Once this gap is determined, a detailed description is made of the advantages and disadvantages of the four technologies available in the international market, evaluating the saturation diving, the atmospheric diving suits (ADS), the directly operated vehicles (DOV) and the vehicles operated remotely (ROV). An evaluation of the professionalization of the Salvage Group is also carried out. It concludes that it is necessary to incorporate a new technology that allows to increase the depth of submarine salvage operations safely, and that is accompanied by adequate training in the operation and maintenance of these equipment and systems.

**Keywords:** Peruvian Navy, deep diving, submarine salvage, capacity, operational limitation, technological option.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### A. Situación problemática

En el mundo existe un número limitado de países con capacidades de efectuar operaciones de buceo profundo, los estados que no cuentan con esta tecnología, dependen exclusivamente de la buena voluntad o disponibilidad de los medios extranjeros, que se encuentren próximos al área donde se requiere su uso.

En la actualidad el Grupo de Salvamento (GRUSAL), de la Armada Peruana (AP), cuenta con una plataforma auxiliar de salvamento moderna, incorporada a finales del año 2016, que se encuentra equipada con un sistema de buceo integrado que utiliza mezcla de gases, capaz de realizar operaciones de salvamento submarino hasta una profundidad de 350 pies, e inspecciones visuales mediante un vehículo de operación remota (ROV) hasta una profundidad de 1,000 pies.

Esta situación es problemática, ya que en el pasado han ocurrido accidentes marítimos y aéreos en el litoral peruano, en donde se requirió la participación de GRUSAL para efectuar inspecciones submarinas, a profundidades mayores de las que el equipamiento actual permite alcanzar, como el caso del hundimiento del ex B.A.P. Rio Piura a casi 600 pies de profundidad, producido frente a la península de Paracas, en el departamento de Ica, en el año 2010.

Por otro lado, desde el enfoque de estrategia marítima, el no contar con equipos y sistemas de salvamento propios de mayor capacidad, nos deja a merced de armadas extranjeras que tengan que asistirnos en la recuperación de elementos clasificados, que puedan encontrarse dentro de los artefactos hundidos, asimismo, es muy importante considerar el costo y el tiempo adicional que requerirá el despliegue y puesta en servicio de estos sistemas de buceo profundo en el área requerida, siempre y cuando no se encuentren comprometidos en otras tareas.

En el caso de unidades submarinas, de producirse una emergencia que genere el descenso de la nave en el lecho marino, generará una serie de



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

inconvenientes como la falta de una frecuente renovación del aire respirable al interior del casco resistente, por consecuencia se producirá la disminución del porcentaje de oxígeno y el aumento del porcentaje de gas carbónico como producto de la respiración humana. Esto significa que de no ser rescatados o no contar con un suministro externo de aire comprimido, el tiempo de espera será reducido. Esta situación generará un ambiente de crisis real, con un tiempo de respuesta muy corto, en el cual la prioridad será encontrar e identificar la unidad submarina utilizando todos los medios disponibles. Una vez ubicada la unidad, considerando que teóricamente la profundidad límite del casco resistente de las unidades submarinas es de 1,500 pies ya que a partir de esta profundidad es posible la implosión del casco (Gabler, 1986), se procederá a realizar el reconocimiento e inspección inicial de la nave, con el objeto de determinar cuáles serán las acciones por seguir.

La consecuencia de no contar con ningún equipo capaz de alcanzar la profundidad requerida para realizar la inspección inicial y proveer de aire comprimido fresco o una mezcla de gases adecuada al interior del casco resistente será la pérdida de vidas humanas, producto de la falta de oxígeno o la intoxicación por aumento del nivel de gas carbónico. Los tripulantes de las unidades submarinas son conscientes de los riesgos a los que se enfrentan, sin embargo, es necesario contar con los medios apropiados, para poder auxiliarlos a la profundidad máxima que es capaz de soportar el casco resistente de la unidad submarina afectada.

En la actualidad existen cuatro tipos de tecnologías submarinas en servicio a nivel internacional tanto en el ámbito militar como en la industria petrolera y minería submarina, que permiten alcanzar grandes profundidades, estas tecnologías son cuatro: El buceo saturado, los trajes de buceo atmosféricos, Atmospheric Diving Suit (ADS), los vehículos de operación directa, Direct Operated Vehicle (DOV) y los vehículos de operación remota, Remote Operated Vehicle (ROV) *workclass* de alta gama.

El grado de adiestramiento que requiere el personal del Grupo de Salvamento es muy exigente y especializado, ya que en las operaciones de salvamento no hay espacio a errores, la capacitación debe estar orientada no solo a la operación y mantenimiento de los equipos que se encuentren en servicio,



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

sino que también se debe contar con personal entrenado en sistemas que utilizan otras armadas, que potencialmente puedan ser parte de un equipo de rescate.

Lo señalado anteriormente generó el interés por la búsqueda de información específica sobre el buceo profundo a nivel nacional en los correspondientes repositorios, pero debido a la escasez de esta fuente de información local, se requirió la realización de un viaje de investigación en el extranjero, en busca de más información relacionada y de fuentes primarias para la elaboración del presente estudio, el cual está orientado a analizar el salvamento submarino en la Armada Peruana: capacidades, limitaciones operativas y opciones tecnológicas para su desarrollo.

## **B. Formulación del problema**

### **1. Problema principal**

¿Cuáles son las capacidades, limitaciones operativas, opciones tecnológicas de buceo profundo y profesionalización del personal del Grupo de Salvamento, que tiene la Armada Peruana, para el salvamento Submarino a gran profundidad?

### **2. Problemas secundarios**

- ¿Cuenta actualmente el Grupo de Salvamento de la Armada Peruana con un sistema que le permita la realización de operaciones de salvamento submarino a gran profundidad?
- ¿Cuál es la alternativa tecnológica viable que logre cerrar o reducir sustancialmente una brecha con relación al buceo profundo?
- ¿Cuál es la profesionalización del personal del Grupo de Salvamento de la Armada Peruana en operación y mantenimiento de sistemas de buceo?

## **C. Objetivos de la investigación**

### **1. Objetivo general**

Identificar las capacidades, limitaciones operativas, opciones tecnológicas de buceo profundo y profesionalización del personal del Grupo de Salvamento, que tiene la Armada Peruana, para el salvamento submarino a gran profundidad.



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## 2. Objetivos específicos

- Identificar si cuenta el Grupo de Salvamento de la Armada Peruana, con un sistema que le permita la realización de operaciones de salvamento submarino a gran profundidad.
- Identificar una alternativa tecnológica viable que logre cerrar o reducir sustancialmente una brecha con relación al buceo profundo.
- Identificar la profesionalización del personal del grupo de salvamento en operación y mantenimiento de sistemas de buceo.

### D. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación es de suma importancia, porque está orientado al análisis de la capacidad actual del salvamento submarino en la AP, buscando identificar las capacidades y limitaciones operativas existentes en operaciones de buceo profundo y en base a eso, proponer luego de la evaluación de las tecnologías disponibles en la actualidad, una alternativa viable que logre cerrar o reducir sustancialmente una posible brecha con relación al buceo profundo, acompañada de la profesionalización correspondiente.

Generar un incremento en el conocimiento sobre las consecuencias que generaría no estar preparados, ante una situación desafortunada, que involucre la pérdida de vidas humanas, por no encontrarnos debidamente equipados y entrenados.

El campo de rescate de submarinos en el Perú no está muy desarrollado, existe muy poca información especializada y casi ninguna investigación con respecto a la implementación o desarrollo de nuevas tecnologías de sistemas de buceo profundo, esto a pesar de que contamos con una Fuerza de Submarinos centenaria y un número importante de unidades de ese tipo en la región, que operan intensivamente, cumpliendo con los roles institucionales.

Contar con la capacidad de realizar operaciones de salvamento submarino hasta los 1,500 pies de profundidad, colocaría a la AP como un referente en la región, brindándole una capacidad estratégica única, en lo que respecta al buceo profundo y al auxilio de unidades submarinas en el Pacífico Sur.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Finalmente, este trabajo de investigación generará una nueva línea de investigación en el futuro, que permita dar continuidad al avance y desarrollo continuo de las operaciones de salvamento profundo en la AP.

### **E. Limitaciones y alcances de la investigación**

El trabajo de investigación a desarrollar es poco conocido en nuestra institución a pesar de su importancia, a esto se suma la falta de manuales y Procedimientos Operativos Vigentes (POV).

Internacionalmente existe un reducido número de investigaciones referentes al buceo profundo, destacando significativamente el desarrollo aportado por la Armada de los Estados Unidos (USN) en equipos, sistemas y procedimientos desde los años 60, la compañía francesa *Compagnie Maritime d'Expertises* (COMEX), con sus investigaciones en buceo saturado con empleo de hidrógeno en la mezcla respirable, sin dejar de mencionar los avances tecnológicos obtenidos por Phil Nuytten, en el desarrollo de ADS, DOV y ROV.

En este sentido, los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas son de carácter reservado, debido principalmente a que nuevas tecnologías se encuentran en investigación y desarrollo.

Una limitación importante para el desarrollo del presente trabajo de investigación, es el carácter secreto en la Armada Peruana del estado de sus unidades, en especial el estado de alistamiento de las unidades submarinas, de los equipos y sistemas de salvamento submarino del Grupo de Salvamento, ya que esta información de carácter estratégico es muy sensible, sin embargo, para el desarrollo de esta investigación consultaremos datos técnicos generales e información técnica de fuentes abiertas como trabajos de investigación, libros y manuales.

Como alcances de la investigación, una vez concluido el trabajo dispondremos de información actualizada acerca de las posibles brechas que puedan existir entre las capacidades que nos proporcionan los sistemas y equipos de buceo actuales y los posibles escenarios que incluyan emergencias submarinas y requerimientos de salvamento submarino de artefactos y aeronaves hundidos en el fondo marino, que se puedan presentar en el futuro, información que nos permitirá evaluar los sistemas y equipos de buceo profundo disponibles en el

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

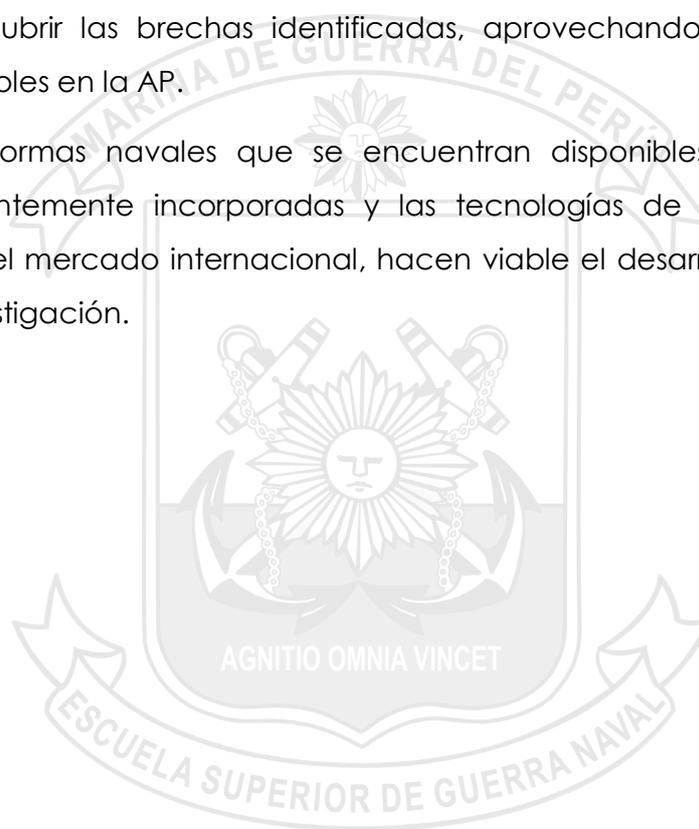
Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

mercado internacional, que permitan el cierre de las posibles brechas identificadas.

#### **F. Viabilidad del estudio**

El estudio es viable dado el impacto y la importancia que este representa para la Comandancia General de Operaciones del Pacífico (COMOPERPAC) y el Grupo de Salvamento (GRUSAL), ya que proporcionará alternativas tecnológicas que puedan cubrir las brechas identificadas, aprovechando las plataformas navales disponibles en la AP.

Las plataformas navales que se encuentran disponibles en la Armada Peruana, recientemente incorporadas y las tecnologías de buceo profundo disponibles en el mercado internacional, hacen viable el desarrollo del presente trabajo de investigación.



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### A. Antecedentes de la investigación:

El salvamento submarino es un tema muy especializado y al mismo tiempo muy poco estudiado, ya que ha existido mayor inversión en el estudio del espacio exterior que en el estudio de los fondos marinos de nuestro propio planeta. Como ejemplo concreto de esta situación, tenemos que hasta el momento 12 personas han pisado la luna como resultado de las misiones Apollo, realizadas entre 1969 y 1975, mientras que solo dos personas a bordo del batiscafo "Trieste", embarcación sumergible preparada para resistir grandes presiones y destinada a explorar las profundidades del mar, Jacques Piccard y Donald Walsh, lograron descender hasta 36,070 pies en el abismo de Challenger, en la fosa de las Marianas, el lugar más profundo conocido en el planeta.

Principalmente el estudio del salvamento submarino se encuentra dirigido hacia dos ámbitos: el ámbito militar y el comercial; en el ámbito militar está dedicado a las operaciones de rescate de submarinos y recuperación de artefactos de alto valor estratégico, mientras que, en el ámbito comercial o civil, en las operaciones de exploración científica y operaciones de extracción, relacionadas con la industria petrolera y la minería submarina.

El proceso de investigación nos ha permitido encontrar trabajos de investigación referidos al tema de estudio, a nivel nacional e internacional.

#### Nacionales

Vásquez (2011), señaló que la investigación subacuática en nuestro país no se encuentra muy desarrollada, lo que ocasiona que no podamos realizar avances científicos importantes en este campo, a pesar de tener una amplia variedad biológica y geológica en nuestro mar y lecho marino, estableciendo que esta situación se deba a que el trabajo de campo debe ser realizado por buzos, el inconveniente de este método de investigación radica en que un buzo está limitado fisiológicamente en su actividad por la profundidad y el tiempo de inmersión, identificado este problema se decidió diseñar un dispositivo electrónico, que permita operar un pequeño submarino no tripulado, con la finalidad de poder



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

realizar investigaciones subacuáticas y toma de muestras, por tiempos y profundidades mayores a la que son capaces de soportar los buzos utilizando las tablas de descompresión.

Escate (2016), en su trabajo de investigación, buscó identificar los riesgos a los que se ven inmersos los buzos comerciales y/o artesanales, encontrando un alto grado de vulnerabilidad por las condiciones de trabajo y desconocimiento de deberes y derechos en el referido grupo humano observado; analizando críticamente cual es la participación del Estado peruano, a través de sus órganos especializados como entes informativos o fiscalizadores de la correcta contratación, evaluación de incidencias ante siniestros y enfermedades profesionales y del cumplimiento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, en esta particular y poca conocida labor.

### **Internacionales**

Carter (1976), elaboró un reporte para la USN, sobre el ADS *JIM Suit*, basado en un estudio comparativo entre el *JIM Suit* y el equipo de buceo estándar utilizado por la USN en ese momento el *MK V*, el estudio fue realizado en junio de 1975 en el Reino Unido por un periodo de dos semanas, en aspectos relacionados con la maniobrabilidad, el desempeño en diferentes tareas, la antropometría y la impermeabilidad del traje en condiciones de trabajo a diferentes profundidades, concluyendo que el traje era funcional, seguro y que podría ser utilizado por la USN, luego de efectuar algunas mejoras reemplazando algunos materiales utilizados por aleaciones.

Smith (1987), examinó la logística requerida por la USN, para operar el *Navy One Man One Atmosphere Diving System (NOMOADS)*, analizando los aspectos contractuales de adquisición, concentrándose en la fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, disposición de piezas de repuesto y el costo total del ciclo de vida de cada sistema. Asimismo, desarrolló un plan de mantenimiento detallado por computadora, este plan de mantenimiento permitía administrar la disponibilidad de los *NOMOADS*, en función a sus periodos de mantenimiento, horas de uso, stock de repuestos y tiempo de vida útil remanente.

Callaghan (1987), realizó un estudio acerca los efectos del desastre del submarino nuclear *USS Thresher*, en 1963, enfocándose en cómo este incidente repercutió en las nuevas medidas de seguridad vigentes y sobre la necesidad de



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

contar con mejores capacidades en los sistemas de inmersión profunda que se encontraban en servicio en la USN.

Harris (1994), autor del libro *Ironsuit*, realizó un trabajo muy exhaustivo que describe las innovaciones tecnológicas y estancamientos producidos a lo largo del desarrollo de los trajes atmosféricos desde su concepción, explica también el funcionamiento de estos trajes en base a sus principios básicos y relata cronológicamente la historia y utilización de los ADS, haciendo mención de sus creadores. Esta obra esta comprendida desde los inicios en el siglo XVIII, hasta los años finales del siglo XX.

Morat (2010), enfocó su investigación en los Buzos Especialistas Ingenieros (BEI) como una herramienta que contribuya a colaborar en solucionar lo trágico que es afrontar una situación catastrófica por parte de la población civil, enumera las capacidades técnicas de los BEI, determina un rol específico a cumplir durante su actuación y muestra el equipamiento técnico que poseen, que hacen que esta especialidad se oriente hacia tareas mayormente técnicas y de gran utilidad en actividades de apoyo al Sistema Nacional de Emergencias. Este tipo de tareas técnicas pueden ser empleadas de manera provechosa para asistir a la población que se encuentre afectada. Los BEI requieren de una capacitación diferente, donde los conocimientos técnicos para el empleo de los distintos equipos y herramientas pueden ser la clave para el éxito de la operación a realizar. Es con esa intención que se plantea el empleo de los BEI como un instrumento para asistir a los damnificados cuando se trate de la existencia de vidas en peligro, y el Sistema Nacional de Emergencia deba actuar para salvaguardar las mismas.

Galisteo (2014), realizó un estudio con la finalidad de descubrir los mecanismos y protocolos que derivan del rescate de personas así como la posible recuperación de un submarino, en su estudio evaluó las aristas que se derivan en cuanto un submarino se ve envuelto en problemas y la tripulación debe ser rescatada, así como el posterior reflotamiento de dicho submarino u otras medidas que puede llegar a tomar el estado propietario de ese submarino o un particular, también intenta sugerir posibles mejoras para una recuperación más efectiva, para lo cual realiza su estudio en base a algunos casos ocurridos en el pasado y como se procedió en dichas ocasiones.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Noguera (2014), enfocó su investigación en cómo medir el nitrógeno residual en la sangre de un buzo de forma práctica y segura al término de una inmersión. Conocer rápidamente un exceso de este elemento en el organismo, permite si fuera el caso, iniciar un proceso de descompresión personalizado de forma controlada. Si el nitrógeno no es debidamente eliminado puede llevar a graves consecuencias e incluso la pérdida de la vida.

Colgary (2016), Realizó un estudio de los trajes atmosféricos (ADS) actualmente en servicio, analizado cuantitativamente su operabilidad. Este estudio incluyó pruebas experimentales utilizadas para determinar cómo maniobra e interactúa el piloto humano con los ADS. Los resultados del análisis son utilizados para proporcionar información técnica al nuevo diseño de las juntas giratorias del codo y rodillas en las versiones posteriores. La maniobrabilidad de los ADS actuales, específicamente la relacionada con la manipulación de extremidades, carece de movimientos naturales y un rango de movimiento completo, lo que hace que algunas de las tareas subacuáticas parezcan desafiantes y extenuantes. En general, plantea que la maniobrabilidad de los ADS debe mejorarse si se espera que sea un elemento común para las industrias y las fuerzas armadas del futuro. El primer paso para hacer una mejora de los ADS es comprender las capacidades y limitaciones del sistema existente y trabajar en minimizar las limitaciones.

## **B. Bases teóricas: Según el tipo de investigación.**

El buceo es una actividad que nace inicialmente de la necesidad del hombre para alimentarse y eventualmente como medio para la recuperación de artefactos valiosos sumergidos, aplicaciones militares como el sabotaje o salvamento de unidades navales y la exploración e investigación científica de los océanos y fondos marinos. Esta actividad como medio de vida tiene más de 5,000 años de antigüedad, en sus inicios se realizaba a poca profundidad y sin ningún tipo de suministro de aire adicional al que los pulmones podían retener. Las primeras tareas consistían en la recolección de ostras, perlas, corales y eventualmente el rescate de tesoros perdidos en naufragios. Un historiador griego, guardó la historia de un buzo llamado Scyllis, quien fue empleado por el Rey Persa Xerxes para recuperar un tesoro de oro y joyas hundido en el siglo V a. C. (US Navy, 2008)



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Además, en lo que corresponde al empleo militar, desde que los ejércitos se aventuraron a construir buques y artefactos navales cada vez más grandes que les permitieran transportarse y poder proyectar su fuerza, existieron también los saboteadores subacuáticos que realizaban acciones en contra de ellos, como el corte de las líneas de las anclas que los mantenían en su posición o perforaciones en el casco de madera de las naves. En lo que corresponde a la defensa de los puertos, estuvieron encargados de construir obstáculos submarinos en oposición de los atacantes y en puertos enemigos se encargaban de destruir las defensas implementadas por estos. (US Navy, 2008)

En la Armada Peruana, el Grupo de Salvamento es el ente rector del buceo en el Perú, reconocido por la Dirección General de Capitanías y Guardacostas, este se encuentra ubicado en las instalaciones de la Base Naval del Callao, desde su creación en el año 1969, cuenta con una infraestructura adecuada para el entrenamiento de su personal y la custodia y mantenimiento de los diferentes equipos y sistemas de salvamento. Dentro de su organización, se encuentra la Escuela de Buceo y Salvamento, dependencia encargada de los procesos de selección y capacitación del personal superior y subalterno que decide especializarse en esta calificación, cuenta además, con una planta docente integrada por experimentados profesionales que se dedican a tiempo completo al perfeccionamiento de los dicentes.

A inicios del siglo pasado, las grandes potencias militares impulsaron el desarrollo de una nueva tecnología militar con un potencial extraordinario, el submarino, arma sigilosa por excelencia, que demostró su poder no solo en la primera y segunda guerra mundial, sino que aun en la actualidad sigue conservando un protagonismo destacado en las armadas de diferentes tamaños en todo el mundo. (US Navy, 2008)

En el caso de los EE.UU, el desarrollo de los submarinos se inicia antes del siglo XX, de la mano con el desarrollo industrial y tecnológico, aumentando de manera considerable el número de estas naves, entre los años 1912 y 1939; por esa época se desarrollaron las unidades tipo "F", "H" y "S", las cuales se vieron relacionadas con una serie de accidentes, choques y naufragios, situación que dio inicio al desarrollo de manuales, técnicas de buceo y salvamento, destacando los avances

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

en procedimientos y equipos de rescate de submarinos, el desarrollo de laboratorios submarinos y los sistemas de buceo saturado. (US Navy, 2008)

Hasta 1912, los buzos de la USN no descendían a más de 60 pies de profundidad, y no fue hasta que George D. Stillson, encabezando un programa de investigación, decidiera aplicar las tablas de descompresión de Haldane y los procedimientos de recompresión por paradas de descompresión en el ascenso a superficie, el objetivo principal del programa fue mejorar el equipamiento de buceo de la USN, que hasta el momento era poco eficiente y seguro. La investigación tuvo una duración de tres años, iniciando en tierra en ambientes y condiciones controladas con tanques de agua y cámaras hiperbáricas, hasta concluir realizando buceos en aguas abiertas en el área de Long Island, desde la nave USS *Walkie*, logrando alcanzar una profundidad récord de 274 pies. (US Navy, 2008)

A fin de poder alcanzar profundidades mayores a 240 pies de forma segura, es necesario reemplazar el nitrógeno del aire por un gas que tenga un efecto colateral adverso de menor impacto, mayormente es utilizado el helio y en algunos casos hidrógeno, como fue el caso en los experimentos realizados posteriormente por COMEX a finales del siglo XX. A toda combinación de gases respirable diferente al aire comprimido se le llama mezcla, las operaciones de buceo profundo que utilizan una mezcla de gases como suministro principal son complejas desde el punto de vista técnico, puesto requieren de un constante entrenamiento y un minucioso mantenimiento del equipamiento. Otra particularidad de este tipo de actividad, es que requiere de periodos prolongados de descompresión en el agua, o en superficie en el interior de una cámara hiperbárica. Por estas razones, todo el personal involucrado en la operación debe tener pleno conocimiento de sus funciones y de los procedimientos a ser aplicados en un momento crítico, ya que una situación de emergencia o urgencia se puede presentar en cualquier momento. (US Navy, 2008)

A medida que un buzo desciende bajo el agua, la presión del agua fuerza al nitrógeno a ingresar a los tejidos del cuerpo de acuerdo con la ley de Henry. Los buzos deben eliminar con seguridad el nitrógeno absorbido cuando regresan a la superficie, a este proceso se le llama descompresión. La descompresión inadecuada puede causar enfermedades por mala descompresión tipo uno y tipo

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

dos, condición peligrosa donde se forman burbujas de gas en los tejidos corporales. Para solucionar esta situación el personal médico de la Unidad de Buceo Experimental de la Armada de los EE.UU. (NEDU) creada en 1927 comenzó a estudiar la enfermedad de descompresión en la década de 1930, crearon procedimientos que ayudaron a los buzos a descomprimirse correctamente y desarrollaron métodos para tratar las enfermedades de descompresión. (US Navy, 2008)

Las tablas de descompresión introducidas por primera vez en 1908, son una guía para los buzos de cómo descomprimirse de manera segura después de una inmersión. Los buzos usan diferentes tablas dependiendo de la profundidad y duración de la inmersión, si es agua dulce o agua salada, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar de donde bucean, del tipo de mezcla de respiración utilizada y la disponibilidad de una cámara de descompresión. (US Navy, 2008)

A partir de la década de 1930, la NEDU desarrolló mejoras importantes en las tablas de descompresión existentes para el buceo con aire comprimido. Con el tiempo la NEDU desarrolló mejoras adicionales y nuevos tipos de tablas de descompresión para diferentes medios de respiración y diferentes equipos de buceo. Muchas se han convertido en las tablas estándar utilizadas en todo el mundo como es el caso en el Perú. (US Navy, 2008)

El personal de la NEDU también diseñó procedimientos de tratamiento para buzos que sufren de enfermedades por mala descompresión o embolia gaseosa, que es el resultado de la formación de burbujas en el torrente sanguíneo. El tratamiento primario se basó en volver a presurizar a los buzos afectados a las profundidades en las que estuvieron trabajando, mientras respiraban aire comprimido en una cámara hiperbárica. Las tablas de tratamiento mejoradas, introducidas en la década de 1960, produjeron resultados más efectivos al administrar oxígeno terapéutico a profundidades menores dentro de la cámara hiperbárica. (US Navy, 2008)

En mayo de 1939, el submarino de la USN *Squalus* SS-192 se hundió a 243 pies, la operación de rescate proporcionó la primera prueba real de una mezcla respirable desarrollada por la NEDU, conformada por helio y oxígeno (HELIOX). Inicialmente en las operaciones se utilizó aire comprimido, con los consecuentes problemas de los efectos de la narcosis, posteriormente se empleó la mezcla de

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

HELIOX, eliminando los efectos de la narcosis por acción del nitrógeno y permitiendo que los buzos trabajaran durante más tiempo y de manera más eficiente y segura. Sin embargo, presentaba dos problemas, el alto costo comercial del helio y el incremento en la flotabilidad del buzo, como consecuencia de utilizar un gas menos pesado que el aire. (US Navy, 2008)

La adopción de HELIOX como gas respirable requirió que la USN desarrolle equipos especiales en las plataformas de buceo con suministro de gas respirable dependiente de superficie, implementando sistemas de recuperación de gases exhalados por el buzo, que permiten la reutilización del HELIOX y de esta forma reducir significativamente los costos de operación, para compensar la flotabilidad positiva del equipo introducida por el helio el peso del equipamiento se incrementó a 100 libras. (US Navy, 2008)

Los gases involucrados en el buceo, están regidos por tres factores estrechamente relacionados: volumen, presión y temperatura. De acuerdo con la teoría cinética de los gases, si se produce algún cambio en uno de estos factores, este cambio también afectará a los otros dos factores ya que se encuentran relacionados de forma directamente proporcional o inversamente proporcional según sea el caso. Adicionalmente, esta teoría se aplica tanto para gases puros como para mezcla de gases. Con la intención de facilitar el entendimiento de estas interrelaciones entre los factores, se han desarrollado las leyes básicas de los gases. (US Navy, 2008)

Por lo tanto, para un buzo es fundamental conocer el comportamiento del gas que se encuentra en sus pulmones y en el interior de su traje, cuando se someta a presiones mayores a la de la atmósfera, por consecuencia del aumento de la columna de agua que ejerce presión sobre él. Otro aspecto fundamental, es tener la capacidad de determinar la presión y volumen de aire necesario para mantener un suministro adecuado de aire en función a la profundidad y al requerimiento de la operación, estas leyes de los gases también facilitan el entendimiento de los manómetros empleados en los diferentes equipos bajo diferentes situaciones de temperatura y presión.

La ley de Boyle establece que, a temperatura constante, la presión y el volumen de un gas son inversamente proporcionales. A medida que aumenta la presión, el volumen del gas se reduce y a medida que se reduce la presión, el



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

volumen de gas aumenta. Esta ley es importante ya que ayuda a entender los cambios en los volúmenes de los gases de acuerdo con la presión a la que son sometidos, sobre todo cuando el contenedor de los gases no es rígido y puede expandirse o reducirse según la presión. (US Navy, 2008)

La ley de Boyle se plantea considerando una temperatura constante, sin embargo, esta situación es poco probable ya que este factor varía de acuerdo con las situaciones y afecta considerablemente la presión y el volumen de un gas. (US Navy, 2008)

La ley de Gay Lussac describe la relación que hay entre la presión y la temperatura en un recipiente que se mantiene constante, y determina que la relación entre estos dos primeros factores es directamente proporcional. (US Navy, 2008)

La ley de Charles detalla la relación entre la temperatura y el volumen a una presión constante, afirmando que, a una presión constante, el volumen de un gas varía directamente proporcional a la temperatura. (US Navy, 2008)

Ley de Henry, también llamada la ley de la absorción, nos muestra que a una temperatura constante, la cantidad de gas que es absorbida por un líquido con el que se encuentra en contacto, es directamente proporcional a la presión parcial de dicho gas. Esta ley permite comprender los fenómenos producidos por respirar a presiones mayores de una atmosfera y el desarrollo y estudio de las tablas de descompresión en función a la absorción de nitrógeno, indispensables para la realización de inmersiones seguras. (US Navy, 2008)

Boyle, Charles y Gay-Lussac demostraron que la presión, el volumen y la temperatura son factores que se encuentran estrechamente interrelacionados y que al ser alterado uno de ellos, repercute en los otros dos, debiendo tomar las precauciones del caso ya que pueden generar confusión, accidentes e incluso fatalidades. La ley general de los gases conjuga las leyes antes mencionadas, para prever cuál será el comportamiento de un gas o conjunto de gases, cuando uno o más factores cambian. (US Navy, 2008)

El buceo de saturación se introduce como concepto en la USN en la década de 1950 por el oficial médico George Bond, quien inicia la etapa de investigación en la década de 1960. El Dr. Bond organizó tres experimentos de buceo de



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

saturación, que permitieron a los buzos trabajar y vivir en hábitats submarinos llamados *Sealabs*. La NEDU brindó los medios y el soporte a los proyectos de *Sealab*, principalmente mediante el desarrollo y la prueba de los esquemas de descompresión, utilizados por los buzos después de días o semanas bajo el agua. Debido a que se tenía que analizar los efectos del buceo de saturación y el uso del HELIOX como una mezcla respirable, estos estudios fueron más complicados de realizar. (US Navy, 2008)

Los buzos de la NEDU realizaron 28 buceos de saturación de HELIOX, a profundidades de 825 pies, durante un período de tres años. Los oficiales médicos de la NEDU utilizaron los resultados de estas inmersiones, para establecer procedimientos seguros de descompresión para ser utilizados por los buzos del *Sealab III*. (US Navy, 2008)

Además de las tablas de descompresión elaboradas a partir del *Sealab*, el personal de la NEDU desarrolló tablas para otras aplicaciones de buceo de saturación. A fines de la década de 1960, la Armada de EE.UU. Introdujo el Sistema de buceo profundo *Mark I*, su primer sistema de soporte de buceo de saturación. La NEDU probó y estableció los procedimientos de descompresión a ser usados por los buzos del *Mark I*. (US Navy, 2008)

En la década de 1970, La NEDU fue la pionera en las tablas especiales de descompresión, que permitieron a los buzos de saturación cambiar la profundidad mientras trabajaban. Antes de los nuevos procedimientos, si los buzos de saturación cambiaban su profundidad de trabajo, sus procedimientos de descompresión serían modificados, con el riesgo de descompresiones incorrectas o prolongadas. (US Navy, 2008)

Esto permitió el uso efectivo del buceo de saturación durante las expediciones de búsqueda del USS *Monitor*, y reavivó el interés de la Armada de EE.UU., en mantener su propio sistema de buceo de saturación altamente portátil. Una década después de retirar su último sistema de buceo profundo, la USN inició el desarrollo de un nuevo Sistema de Buceo de Saturación Aéreo altamente móvil (SAT FADS). La NEDU manejó todas las pruebas y certificación del nuevo sistema. (US Navy, 2008)

En el caso de los ADS, fueron desarrollados inicialmente, para que los buzos puedan acceder a grandes profundidades, con el objetivo de realizar



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

operaciones de salvamento en embarcaciones hundidas y recuperar carga, monedas, lingotes de oro, torpedos, cohetes, cables de comunicaciones, así como dar soporte a operaciones relacionadas con la extracción petrolera fuera de costa y ayudar en situaciones que expongan a los buzos a condiciones extremas, reduciendo los problemas fisiológicos, en especial los relacionados con las enfermedades de descompresión y narcosis. El gran problema del desarrollo de esta tecnología, son las juntas rotatorias que permiten la movilidad de las articulaciones del traje. (Harris 1994)

Así que, el primer diseñador en utilizar juntas articuladas en un traje acorazado fue Walter Taylor en 1838, pero en 1856 antes de la guerra civil norteamericana Charles Phillips desarrolla el primer traje acorazado completamente cerrado. En 1929 la firma *Neufeldt and Kuhnke* desarrolló una nueva junta articulada, la cual fue patentada y habilito la construcción de un traje que permitía al buzo mover sus cuatro extremidades, este sistema fue relativamente exitoso y se hizo famoso por el salvamento de monedas de oro de la embarcación *Egypt*, después de este periodo, no fue hasta la década de los años 60 que se retomará la utilización de los ADS, con la aparición del *JIM suit* equipado con un sistema de regeneración de aire conocido como rebreather, este traje es el predecesor de los sistemas actuales. (Harris 1994)

En lo que corresponde al rescate de tripulaciones de unidades submarinas, dos hundimientos de submarinos en la década de 1920 revelaron importantes deficiencias en las capacidades de salvamento en la USN. Es por esta situación, que decidieron formar la Unidad de Buceo Experimental de la Armada en 1927. El trabajo inicial del NEDU, se centró en las necesidades inmediatas de la Armada, que consistían en mejorar las capacidades de rescate y escape de los submarinos, desarrollar mezclas de respiración que extendieran las profundidades de buceo, y establecer tablas de descompresión y tablas de tratamiento. En los años sesenta y setenta, con los fundamentos establecidos, la NEDU cambió su atención a la creación de procedimientos de buceo de saturación y a la evaluación de equipos para buzos, personal de desactivación de explosivos subacuáticos y fuerzas especiales. (Callaghan 1987)

El 17 de diciembre de 1927, el destructor de la Guardia Costera *Paulding* golpeó el submarino USS S-4 que estaba procediendo a superficie. Los buzos

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

localizaron la nave y se comunicaron mediante golpes en el casco con seis sobrevivientes, lamentablemente el clima frustró todos los esfuerzos para mover el submarino. Los sobrevivientes preguntaron a los buzos si había alguna esperanza, desgraciadamente los buzos respondieron que no, sesenta horas después de la colisión los 40 hombres en el interior del submarino fallecieron. (Callaghan 1987)

Hasta 1939, las armadas del mundo creían que el rescate de submarinos tenía pocas posibilidades de ser realizado con éxito y salvar a las tripulaciones atrapadas. Posteriormente la USN rescató a 33 sobrevivientes del submarino hundido USS *Squalus* en mayo de 1939, utilizando una campana de rescate, logrando de esta manera romper el paradigma de rescate submarino. Tras la exitosa operación, la USN adoptó la campana de rescate (SRC) como un procedimiento estándar. Esta campaña fue desarrollada por los comandantes Charles Momsen y Allan McCann, permitiendo que cualquier plataforma de salvamento pueda bajar una campana de rescate hasta una profundidad de 850 pies a un submarino inhabilitado, para que los sobrevivientes puedan ser subidos a la superficie, hoy en día, el SRC sigue siendo parte del arsenal de rescate de los EE.UU. gracias a su diseño simple, efectivo y confiable. (Callaghan 1987)



**Figura 1. Campana de rescate Mccann, Navy Undersea Museum Seattle.**

**Fuente: Archivo personal.**



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Con el hundimiento de USS *Thresher* (SSN 593) en 1963, se dieron cuenta de que estaban operando a una profundidad mayor que la del equipo de rescate. El programa de desarrollo que se formó en respuesta a esta situación diseñó dos sumergibles de rescate muy sofisticados llamados vehículos de rescate de inmersión profunda (DSRV), y a la puesta en servicio del submarino de gran profundidad *Trieste II*. El concepto de estos DSRV era que pudiesen ser desplegados cuando sea necesario por mar, aire o tierra para rescatar a los submarinistas en cualquier parte del mundo. Los DSRV *Mystic* y *Avalon* se lanzaron a principios de la década de 1970, se encontraron plenamente operativos en 1977, y sirvieron como sistema de rescate submarino en la Armada de EE.UU. hasta el 2008. Estos aparatos contenían dentro del casco exterior de fibra de vidrio, tres esferas de acero de alta resistencia que conformaban el casco resistente, dos pilotos operaron el DSRV desde la esfera delantera, mientras que la esfera central y trasera podrían albergar a un rescatista y 12 submarinistas. Los DSRV podían ser llevados al área del siniestro por medio de otro submarino o una plataforma de superficie especialmente acondicionadas. Con su establecimiento en 1927, la NEDU se convirtió en el primer comando responsable del rescate submarino. (Callaghan 1987).



**Figura 2. Trieste II y DSRV Mystic, Navy Undersea Museum Seattle.**

**Fuente: Archivo personal.**



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

En el 2008, la USN adoptó un nuevo sistema de rescate actualizado, el Sistema de Buceo y Recompresión de Rescate Submarino (SRDRS). Este sistema realiza una operación en tres partes: (US Navy, 2013)

- 1) Reconocimiento: Inspección inicial de la situación del submarino averiado, mediante la utilización de trajes atmosféricos.
- 2) Rescate: Acoplado a la nave siniestrada a un módulo llamado Falcón, al cual ingresan los tripulantes rescatados.
- 3) Descompresión: Una vez en superficie, el Falcón se acopla a una cámara de descompresión, a donde son transferidos los sobrevivientes para iniciar un proceso de descompresión, de acuerdo con las tablas correspondientes, para evitar cambios de presión descontrolados.

Como un sistema modular, fácilmente transportable, el SRDRS es más fácil y más rápido de desplegar que sus predecesores, los DSRV. Los modernos sistemas de rescate de la USN Incluidos los DSRV y la actual SRDRS, son deliberadamente compatibles con los submarinos y los sistemas de rescate de las armadas de todo el mundo. La USN participa regularmente en ejercicios de rescate con otras naciones y tiene acuerdos y asociaciones oficiales de rescate de submarinos con más de 40 países a través del *International Submarine Escape and Rescue Liaison Office* (ISMERLO). (US Navy, 2013)

### C. Base normativa

La Armada Peruana adopta como doctrina de buceo el USN *Diving Manual* 2008, revisión 6, en el cual basa su normativa en los capítulos de principios de buceo, operaciones con aire comprimido, operaciones con mezcla de gases, medicina de buceo y operación de cámaras hiperbáricas.

En lo que respecta a doctrina de salvamento, adopta el USN *Salvage Manual* 2013, revisión 2, en el cual basa su normativa en los capítulos de remoción de obstáculos submarinos, reflotamientos, remolque y zafado de varadura.

### D. Definiciones conceptuales

**-Aire atmosférico.** Es el gas más común utilizado en el buceo, para efectos generales se suele considerar que está conformado por 79 por ciento de nitrógeno y 21 por ciento de oxígeno, cualquier gas encontrado en concentraciones diferentes a lo normal, es considerado como un elemento contaminante,



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

pudiendo encontrarse una variación en el porcentaje de oxígeno, dependiendo de la altura a la que se encuentre en relación con el nivel del mar. Es común encontrar monóxido de carbono cuando existe la presencia de algún motor de combustión interna, como los compresores de aire comprimido. También se encuentra presente el vapor de agua cuya concentración es variable y también debe ser considerada en algunos casos. (US Navy, 2008)

**-Buceo de intervención.** Término utilizado para diferenciar las inmersiones convencionales de las que son realizadas mediante sistemas de saturación, pueden requerir o no un proceso de descompresión en el agua y/o en superficie, utilizan como gas respirable el aire comprimido o una mezcla de gases. (US Navy, 2008)

**-Buceo profundo.** Se utiliza este término cuando las inmersiones se realizan a más de 120 pies de profundidad, a partir de esta profundidad el nitrógeno del aire comprimido puede generar narcosis, debido a la complejidad de las operaciones se requieren de elementos de apoyo y plataformas navales especializadas para minimizar los potenciales riesgos. (US Navy, 2008)

**-Buceo de saturación.** De acuerdo con la ley de Henry, cuando un buzo es expuesto a una presión superior a la atmosférica por 12 horas, sus tejidos se saturan con gas que está respirando, esto significa que después de las 12 horas los tejidos no pueden absorber más gas, por lo tanto, el tiempo que requerirá para descomprimirse será igual sin importar cuánto tiempo más permanezca el buzo a esta misma profundidad. Para el empleo de esta técnica, se requiere de una plataforma naval que alberga en su interior un sistema de cámaras hiperbáricas y campanas de buceo, que permiten mantener a los buzos a una presión determinada, y por medio de un sistema de lanzamiento y recuperación de campana, llevarlos hasta la profundidad de trabajo por un periodo de tiempo determinado y luego recuperarlos de forma segura, realizando al término de la operación una única descompresión relativamente prolongada. (US Navy, 2008)

**-Narcosis.** Es un estado de euforia que se puede percibir a partir de los 100 pies de profundidad, afectando la habilidad del buzo de pensar claramente, aumentando su severidad conforme se incrementa la profundidad; a 200 pies de profundidad sus efectos son muy severos. Esta condición no afecta a todos los

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

buzos por igual, depende del estado físico y mental de cada individuo. (US Navy, 2008)

**-Presión atmosférica.** Es la presión que ejerce el peso de la atmosfera terrestre sobre el nivel del mar, equivalente a 33 pies de agua salada. La presión atmosférica es constante a nivel del mar, existen pequeñas variaciones por factores climatológicos, pero no son consideradas; la presión atmosférica sumada a la presión de un manómetro instalado en un cilindro da como resultado la presión absoluta. (US Navy, 2008)

**-Profundidad de colapso.** Es la profundidad límite de resistencia a la que está diseñado el casco de un submarino, más allá de esa profundidad la estructura de la nave faya y colapsa en sí misma como resultado de la excesiva presión, esta es calculada, por lo tanto, no es siempre precisa. (Pike, 1998)

**-Salvamento submarino.** Está definido como el rescate de bienes materiales o artefactos que se encuentran sumergidos, existe una gran variedad de tipos de salvamento submarino, dependiendo de donde se realizan encontramos los trabajos de salvamento submarino costeros y fuera de costa, también se pueden clasificar por el tipo de operación como son los reflotamientos, recuperación de carga, remoción de naufragios, remoción de obstáculos submarinos entre otros. (US Navy, 2013)

**-Síndrome Nervioso de las Altas Presiones.** *High Pressure Nervous Síndrome* (HPNS), es una alteración de la función normal del sistema nervioso central, que se produce durante inmersiones profundas con mezclas respirables de HELIOX, especialmente en buceos de saturación. La causa se desconoce en la actualidad, los síntomas que se manifiestan son náuseas, temblores, calambres, pérdida de control de los esfínteres, descoordinación muscular y cognitiva, sensación de persecución, temor, vértigo. El HPNS se presenta normalmente en profundidades que varían entre 400 y 500 pies, realizando una compresión lenta se pueden alcanzar los 1,000 pies de profundidad sin síntomas de HPNS, más allá de los 1000 pies el HPNS puede aparecer repentinamente. Se ha intentado bloquear la aparición del síndrome, reemplazando el helio por hidrógeno a la mezcla de respiración, mediante este método COMEX se logró la realización del buceo de saturación más profundo, llegando a una profundidad superior a los 1,700 pies. (US Navy, 2008)



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

**-Traje atmosférico.** *Atmospheric Diving Suit (ADS)*, Equipo de buceo profundo, capaz de mantener la presión interna del traje en una atmosfera y así eliminar los problemas ocasionados por la presión de la columna de agua, evitando largos periodos de compresión y descompresión, funciona básicamente como un submarino unipersonal, con la capacidad de tener articulaciones en los miembros superiores e inferiores, que permiten la utilización de herramientas e instrumentos, cuenta con un umbilical que le proporciona energía y transmisión de telemetría. (Nuytten, 2014)

**-Vehículo de operación remota.** *Remote Operated Vehicle (ROV)*, es un artefacto no tripulado, capaz de ser operado desde superficie con un piloto por medio de un cable umbilical que proporciona energía y transmisión de telemetría, teniendo como principales ventajas: evitar exponer a situaciones de riesgo vidas humanas y la capacidad de operar a grandes profundidades mediante su sistema de video y brazo robótico que le permite realizar una gran variedad de tareas. (US Navy, 2008)

**-Vehículo de Operación Directa.** *Directly Operated Vehicle (DOV)*, es un artefacto similar al ROV, pero este es tripulado y no requiere de una línea umbilical que lo conecte a superficie, permitiendo al piloto mantenerse a presión atmosférica y al mismo tiempo estar en contacto directo con la operación y no mediante sensores. Para poder interactuar con el exterior, a diferencia del ADS, cuenta con un brazo robótico operado desde el interior de la cabina por un joystick para los trabajos manuales, es propulsado mediante cuatro motores compensados que se controlan mediante pedales ubicados en los apoyos de los pies del piloto, este arreglo permite que el DOV pueda desplazarse a cualquier dirección. (Nuytten, 2014)



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

L4

## CAPÍTULO III.

### METODOLOGÍA

#### A. Diseño Metodológico

##### 1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cualitativa, análisis documentario (Hernández, Fernández y Baptista 2016). Los referidos autores definen este tipo de investigación como aquella que es el resultado de la combinación del enfoque cualitativo y el análisis documentario.

##### 2. Diseño de investigación

- Descriptivo documental.
- Entrevistas reservadas, mediante un cuestionario de 18 preguntas, enfocadas desde tres categorías:

Categoría 1, Con respecto a la profundidad de las operaciones de buceo.

Categoría 2, Con respecto a las tecnologías disponibles para operaciones de buceo profundo.

Categoría 3, Con respecto a la profesionalización del personal del Grupo de Salvamento.

#### B. Población y muestra

##### 1. Población de estudio.

Se entrevistó a expertos relacionados con operaciones de salvamento submarino, desarrollo de tecnologías de buceo profundo, historia de sistemas de buceo profundo, unidades submarinas e hidrografía.

##### 2. Tamaño de muestra.

Está conformada por expertos nacionales y extranjeros, el Vicealmirante en situación de retiro Eduardo Darcourt Adrianzén, experto en operaciones de reflotamiento de unidades submarinas; el Capitán de Fragata en situación de retiro Luis Giampietri Ramos, experto en operaciones de salvamento y buceo profundo; el Capitán de Fragata Carlos Holguín Valdivia, experto en hidrografía; el Capitán de Fragata Luis Soto Mendoza, buzo saturado y experto en operaciones de



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

salvamento y buceo profundo; Phil Nuytten presidente de Nuytco Research Ltd., buzo saturado experto en saturación y principal desarrollador de sistemas ADS, DOV, ROV; Jeff Heaton, jefe de operaciones de Nuytco Research Ltd., Jefe de pilotos y piloto experto de ADS, DOV y ROV; Mary Ryan, curadora del Museo submarino de la USN, en Seattle EE.UU., experta en la historia de la evolución de los sistemas de salvamento y buceo profundo de la USN. Estos expertos cuentan con una amplia trayectoria en temas relacionados con operaciones de salvamento y buceo profundo, asimismo, se encuentran familiarizados con los últimos avances tecnológicos que se han desarrollado.

### 3. Selección de muestra.

Expertos con experiencia en el tema de investigación que residen en el Lima, Perú; Seattle, EE.UU.; y en Vancouver, Canadá.

## C. Variables e indicadores

### 1. Identificación de las variables:

- Capacidad operativa de salvamento.

### 2. Definición conceptual de las variables:

La capacidad operativa de salvamento es la capacidad que tiene el Grupo de Salvamento de la Armada Peruana para actuar ante un siniestro submarino, el cual puede estar constituido por el hundimiento de una unidad naval de superficie, submarina, artefacto o aeronave. Esta capacidad puede ser medida por la profundidad a la que es posible descender, también puede estar referida a los medios de apoyo con que se cuenta para facilitar los trabajos, dentro de estos medios están: las plataformas de buceo, sistemas de buceo profundo y el equipamiento de buceo. Otro aspecto que puede ser medido es el nivel de profesionalización del personal calificado en buceo y salvamento.

### 3. Indicadores:

- Profundidad de las operaciones de buceo.
- Tecnologías disponibles para operaciones de buceo profundo.
- Profesionalización del personal del grupo de salvamento.

## D. Técnicas de recolección de datos

### 1. Descripción de las técnicas



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Una entrevista es una técnica cualitativa para recoger información específica sobre un tema previamente planteado, en la que participan dos o más personas.

## 2. Descripción de los instrumentos

- Como instrumento se planteó la elaboración de un cuestionario, que fue entregado a los expertos entrevistados. El cual permitió formar un criterio sobre los sistemas que se utilizan actualmente y cuál es la tendencia futura de los mismos.
- Se realizó un viaje de investigación con el objeto de conocer el desarrollo de las tecnologías y procedimientos del salvamento submarino en el continente americano, desde sus orígenes hasta la actualidad, evaluando la interoperabilidad de los sistemas y equipos más modernos con los sistemas y plataformas que se encuentran en servicio en la Armada Peruana.

## 3. Procedimientos de comprobación de la validez

Se elaboró un cuadernillo de validación de los instrumentos de recolección de datos a través de juicio de expertos, el cual contenía una carta de presentación, las definiciones de las variables y dimensiones, la matriz de operacionalización de variables y el certificado de validez de contenido del instrumento.

## E. Técnicas para el procesamiento de la información y prueba de hipótesis

Análisis descriptivo de los datos generados a partir de las entrevistas, contrastados mediante preguntas cruzadas en las visitas realizadas.

Complementariamente a lo anterior, se realizó el análisis de la información documental recopilada de trabajos de investigación, libros y manuales relacionados con el tema de investigación.

## F. Aspectos éticos

Por la naturaleza del trabajo, no va a afectar a personas, instituciones o medio externo.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

21

## CAPÍTULO IV.

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se procede al análisis y desarrollo de la investigación a partir de la revisión de las diversas fuentes de información, documentales y entrevistas realizadas para tal fin. Para ello se desarrolla cada uno de los problemas y objetivos específicos formulados.

En cuanto al primer problema de estudio que planteo ¿Cuenta actualmente el Grupo de Salvamento de la Armada Peruana, con un sistema que le permita la realización de operaciones de salvamento submarino a gran profundidad?, y su correspondiente objetivo que se orienta a analizar, si cuenta actualmente el Grupo de salvamento de la Armada Peruana con un sistema que le permita la realización de operaciones de salvamento submarino a gran profundidad, se procede a continuación al análisis del mismo.

Empezaremos por analizar el suministro de gas respirable, al respecto respirar aire comprimido a una profundidad mayor de 100 pies puede causar narcosis por nitrógeno, lo que afecta el juicio y la conciencia del buzo, poniéndolo en riesgo a él y a toda operación de buceo. En la década de 1930, la NEDU desarrolló y perfeccionó una mezcla de gases respirables diferente al aire comprimido que reemplazaba el nitrógeno por helio. Respirar una mezcla de HELIOX hace que el buceo en aguas profundas sea más seguro y permite a los buzos sumergirse más profundo por más tiempo. Actualmente la Armada Peruana utiliza la mezcla HELIOX para operaciones de buceo profundo hasta los 350 pies de profundidad. (Bond 1993)

En lo que respecta a plataformas de salvamento y equipamiento, en el año 2016 se incorporó a la Armada Peruana el Remolcador Auxiliar de Salvamento B.A.P. Morales RAS-180, nave que cuenta con un sistema de buceo profundo con mezcla de gases, que utiliza como gas respirable el HELIOX, en proporciones variables de oxígeno y helio, y permite alcanzar profundidades de hasta 350 pies, logrando superar los 240 pies que es la profundidad límite para realizar buceos con únicamente aire comprimido, marcando así un avance importante en las operaciones de buceo profundo. Logrando incrementar en gran medida el área de fondo marino a la que se puede acceder en caso se requiera el auxilio de una



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

unidad submarina, recuperación de artefactos de alto valor estratégico o la realización de inspecciones subacuática. (Watson 2016).



**Figura 3. Remolcador Auxiliar de Salvamento B.A.P. Morales RAS-180.**  
Fuente: Archivo personal.



**Figura 4. Consola de buceo de mezcla de gases, B.A.P. Morales RAS-180.**  
Fuente: Archivo personal.



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

El Grupo de Salvamento de la Armada Peruana, tiene una amplia variedad de equipos y sistemas de buceo que emplean aire comprimido como gas respirable, estos son utilizados en operaciones de salvamento de forma eficiente y segura hasta los 190 pies y en casos excepcionales hasta los 240 pies; estos sistemas y equipos fueron adquiridos, como resultado de distintas experiencias obtenidas en una amplia variedad de trabajos subacuáticos de pequeña y gran envergadura, como el reflotamiento del submarino B.A.P Pacocha en el año 1989, que se realizó en inmediaciones del puerto del Callao a una profundidad de 122 pies, utilizando como gas respirable el aire. A continuación, en la tabla 1 se hace referencia al equipamiento del Grupo de Salvamento de la Armada Peruana.

**Tabla 1.**

**Equipamiento del Grupo de Salvamento de la Armada Peruana.**

PLATAFORMAS		EQUIPOS DE BUCEO		EQUIPOS DE INGENIERIA		EQUIPOS DE SALVAMENTO		SANIDAD	
CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	TIPO
1	REMOLCADOR AUXILIAR DE SALVAMENTO	80	EQUIPOS SCUBA	5	MOTOCOMPRESORES QUINCY	50	BOLSAS DE LEVANTAMIENTO TOTAL 200 TONELADAS	3	CAMARAS HIPERBARICAS
2	LANCHAS BALLENERAS	1	ESTACION DE BUCEO CON MEZCLA DE GASES (EMBARCADA)	4	MOTOCOMPRESORAS DE BUCEO PORTATILES	30	PONTONES DE SALVAMENTO DE 2 TONELADAS	3	EQUIPO DE RESPUESTA RAPIDA
1	LANCHA TRITON	4	ESTACIONES DE BUCEO CON CASCOS SUPERLITE 37	1	PLANTA DE AIRE COMPRINIDO	1	SISTEMA DE APAREJO DE PLAYA		
8	BOTES ZODIAC F470	1	ROV FALCON (1000 PIES)	2	SISTEMA DE SOLDADURA SUBMARINA	1	EQUIPO COMPLETO PARA MANIOBRAS SUBMARINAS		
		1	ESTACION DE BUCEO MOVIL	6	MOTOBOMBAS DE SALVAMENTO				

**Fuente: Elaboración propia.**

Podemos identificar tres periodos bien definidos en GRUSAL, en lo que a equipamiento se refiere, el primer periodo se inicia desde su creación en el año 1969, con las escafandras que corresponden al equipo de buceo pesado MK V, que fue el primer sistema de buceo dependiente de superficie en la Armada Peruana; el segundo periodo se inicia como resultado de la llegada de los cascos de buceo SuperLite 17B, con sus respectivos componentes periféricos y una serie



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

de equipos y herramientas de salvamento como producto del planeamiento desarrollado para el reflotamiento del submarino B.A.P Pacocha en el año 1989; y el tercer periodo se inicia con la incorporación del Remolcador Auxiliar de Salvamento en el año 2016, el cual está equipado con el primer sistema de buceo profundo de la Armada Peruana que utiliza HELIOX como gas respirable, cascos SuperLite 37 con sus respectivos sistemas periféricos, campana de buceo abierta y en el caso de inspecciones subacuáticas, esta nave está equipada con un ROV Falcón capaz de descender hasta una profundidad de 1000 pies.



**Figura 5. ROV Falcon y Campana abierta, B.A.P. Morales RAS-180.**

**Fuente: Archivo personal.**

Analizando los posibles escenarios que se pueden presentar, encontramos que las unidades submarinas tipo 209 que se encuentran en servicio en la Armada Peruana, tienen un solo compartimiento estanco contenido por el casco resistente de la nave, que de acuerdo con su diseño cuenta una profundidad de colapso teórica de 1,500 pies (Gabler, 1986), profundidad a la cual en caso de producirse un desperfecto en los sistemas de propulsión o trimado, podría mantenerse a salvo la tripulación.

En caso se presente una emergencia con una unidad submarina y esta pierda propulsión o la capacidad de emerger a superficie por sus propios medios, la nave se irá a pique hasta chocar con el fondo, dependiendo de su posición podría descender a cualquier profundidad. Considerando que el casco resistente colapsa teóricamente a 1,500 pies, nos encontramos ante el posible escenario que



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

un submarino pueda encontrarse en esta situación límite, inmovilizado a la máxima profundidad de diseño del casco resistente con su tripulación a salvo en su interior.

Lo señalado nos lleva a establecer que GRUSAL, se encuentra equipado para realizar operaciones de buceo profundo e inspecciones submarinas con aire comprimido hasta profundidades de 190 pies, en casos excepcionales hasta 240 pies, 350 pies utilizando HELIOX y hasta 1000 pies solo para inspecciones visuales con el ROV. Utilizando una amplia variedad de plataformas que varían desde embarcaciones menores hasta unidades especializadas.

GRUSAL no cuenta con equipamiento, que permita realizar operaciones de salvamento submarino a más de 350 pies, e inspecciones visuales a más de 1000 pies de profundidad, teniendo una dependencia exclusiva de las potencias extranjeras que puedan prestar ese servicio, considerando el costo y tiempo que demande su traslado siempre y cuando esté disponible y no esté comprometido en otra operación o se encuentre fuera de servicio por efectos de mantenimiento o fallas, sin dejar de mencionar que tendrían acceso irrestricto al artefacto que se encuentra en el fondo, pudiendo existir la posibilidad de que quede expuesta información sensible.

La operación de salvamento submarino más emblemática de GRUSAL, es el reflotamiento del B.A.P Pacocha en el año 1989, que se realizó en inmediaciones del puerto del Callao, a una profundidad de 122 pies, utilizando como gas respirable el aire comprimido. (Duboc 1989).

En el año 2010 se realizó una operación exitosa de salvamento submarino profundo a 230 pies de profundidad, frente al balneario del distrito de Zorritos, en el departamento de Tumbes, teniendo como objetivo la recuperación de la caja fuerte del Ex B.A.P. Supe, la cual contenía material clasificado, la misma que se encontraba en el interior del camarote del segundo comandante de la unidad. Esta operación de salvamento fue la más profunda registrada hasta ese momento en el Departamento de Operaciones de GRUSAL. Se realizó con los cascos SuperLite 17B, utilizando como gas respirable aire comprimido. En promedio el tiempo total en el fondo disponible para hacer el trabajo por cada buceo fue de 15 minutos, debiendo realizar paradas de descompresión en el agua y casi dos horas y media más de descompresión en superficie con oxígeno en la cámara hiperbárica. (Peralta 2008)

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Ese mismo año, la Comandancia General de Operaciones del Pacífico (COMOPERPAC) solicitó a GRUSAL, pasar inspección al Ex B.A.P. Rio Piura, hundido frente a la península de Paracas, en el departamento de Ica, el cual se encontraba a una profundidad de casi 600 pies, sin embargo, no fue posible realizar la inspección debido a la falta de equipos y sistemas de buceo profundo. (Chino 2010)

A continuación en la Tabla 2, se detallan los trabajos de salvamento submarino relacionados con unidades navales de la AP que se encuentran registrados en GRUSAL, tomando como indicadores la profundidad a la que se encontraban, el gas respirable, el objetivo de la operación y las observaciones generales.

**Tabla 2.**

**Trabajos de salvamento submarino relacionados con unidades navales de la Armada Peruana.**

TRABAJOS DE SALVAMENTO SUBMARINO EN UNIDADES DE LA ARMADA PERUANA					
AÑO	UNIDAD	PROFUNDIDAD EN PIES	GAS RESPIRABLE	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1989	B.A.P. PACOCHA	122	AIRE	REFLOTAMIENTO	REFLOTADO
1997	B.A.P. LA MACHA	80	AIRE	REFLOTAMIENTO	REFLOTADO
2004	B.A.P. COMAINA	30	AIRE	REFLOTAMIENTO	REFLOTADO
2010	B.A.P. SUPE	230	AIRE	RECUPERACION DE LA CAJA FUERTE	RECUPERADA
2010	B.A.P. RIO PIURA	600	AIRE	INSPECCION	NO SE PUDO REALIZAR

**Fuente: Elaboración propia.**

En el ámbito internacional, el caso más reciente de una situación de emergencia con una unidad submarina en donde fueron requeridos equipos y sistemas de buceo profundo, es el del submarino argentino A.R.A. San Juan S-42, desaparecido el 15 de noviembre del 2017, en aguas argentinas con 44 tripulantes a bordo y que fue encontrado el 17 de noviembre del 2018, a casi 3,000 pies de profundidad, después de un año de intensa búsqueda en donde se contó inicialmente con la ayuda destacada de EE.UU., Gran Bretaña, Rusia, Brasil, Chile y Uruguay entre otros estados; sin embargo, luego de transcurrido un mes, esta



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

ayuda fue retirada y debido a que la Armada Argentina no contaba con los equipos y sistemas necesarios para continuar la búsqueda, fue necesario realizar una licitación internacional para contratar los servicios de una empresa que se hiciera cargo de la búsqueda de la nave siniestrada, esto representó un altísimo costo económico y un costo de tiempo importante de movilización y despliegue de la plataforma naval designada para la operación. (Ministerio de Defensa de Argentina 2018)

Con la experiencia del A.R.A. "San Juan", se ha evidenciado un apoyo internacional casi inmediato y aparentemente desinteresado de las naciones con capacidad de detección y rescate de unidades submarinas, sin embargo es importante resaltar, que no es obligación de ninguna de estas potencias efectuar el apoyo, por lo que debemos estar en capacidad por lo menos de efectuar la detección y estar en capacidad de poder realizar alguna conexión de aire al interior del casco resistente, a los tanques de lastre o a los bancos de aire comprimido, siempre y cuando la profundidad lo permita.

Es una oportunidad para la Armada Peruana contar con la capacidad de realizar operaciones de salvamento submarino profundo, y convertirse en el primer país del Pacífico Sur en tener los medios adecuados para realizar operaciones de salvamento profundo, convirtiéndonos en un referente en el Pacífico Sur.

Es necesario contar con algún sistema de buceo profundo, que esté compuesto de elementos adecuados de almacenamiento, aditamentos especiales para su transporte, soporte vital del buzo o piloto, módulo de control y monitoreo en superficie adecuado, que nos permitan llegar hasta los 1,500 pies de profundidad, para realizar operaciones de salvamento submarino, y en caso de unidades submarinas seguir los procedimientos de emergencia establecidos por el diseñador y constructor, de forma rápida y segura, aumentando de esta manera las posibilidades de rescate de las tripulaciones de las unidades submarinas que se encuentren atrapadas.

A continuación, en la tabla 3 se presenta una comparación entre las profundidades máximas que pueden alcanzar las tecnologías que se encuentran disponibles en el mercado internacional y que son parte del análisis de este trabajo de investigación.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Tabla 3.

**Profundidades máximas que pueden ser alcanzadas de acuerdo con las tecnologías disponibles.**

PROFUNDIDADES MÁXIMAS QUE PUEDEN SER ALCANZADAS DE ACUERDO CON LAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES						
PROFUNDIDAD (EN PIES)	TECNOLOGÍA DISPONIBLE					
	BUCEO DE INTERVENCIÓN		BUCEO SATURADO	ADS	DOV	ROV
	AIRE	MEZCLA				
240	X	X	X	X	X	X
350		X	X	X	X	X
1,000			X	X	X	X
1,400			X	X	X	X
2,000				X	X	X
3,000					X	X
19,800						X

**Fuente: Elaboración propia.**

Aumentar la profundidad de operación de GRUSAL, no solo permitirá brindar auxilio a las unidades submarina en fondos marinos de hasta 1,500 pies en caso lo requieran, sino que también permitirá tener acceso a la recuperación de artefactos de alto valor militar y civil como aeronaves y torpedos, en una amplia área de lecho marino.

En los anexos D, E y F, que corresponden a las zonas norte, centro y sur respectivamente, se puede apreciar de color verde el veril de 350 pies, el área de lecho marino a la cual se tiene acceso con los equipos que se encuentran actualmente en servicio en la AP, y de color magenta el veril de 1,500 pies, el área de lecho marino que podría ser incorporada, de contar con un sistema de buceo profundo que nos permita alanzar los 1,500 pies de profundidad.

Actualmente la Armada Peruana, no se encuentra preparada para una emergencia con una unidad submarina a más de 350 pies. Existe una importante brecha en GRUSAL, entre los 350 pies que se puede descender y los 1,500 pies de profundidad en donde se puede producir una situación extrema, en la que una unidad submarina se encuentre sentada en el fondo con su tripulación a salvo, pero sin capacidad de emerger por sus propios medios. Este posible escenario



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

genera la interrogante de cómo o con qué tecnología debemos cubrir la brecha identificada.

En cuanto al segundo problema de estudio que planteo ¿Cuál es la alternativa tecnológica viable, que logre cerrar o reducir sustancialmente una brecha con relación al buceo profundo?, y su correspondiente objetivo que se orienta a analizar las alternativas tecnológicas viables, que logren cerrar o reducir sustancialmente una brecha con relación al buceo profundo, se procede a continuación al análisis del mismo.

Empezaremos por analizar el principal problema del buceo dependiente de superficie en modalidad de intervención, y es que se encuentra limitado por el tiempo que disponen los buzos para trabajar bajo el agua y los expone a largos e incómodos períodos de descompresión, situación que generó la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías a lo largo de los años, que permitan alcanzar mayores profundidades durante más tiempo, de forma segura para los buzos y operadores.

George Bond (1993), quien fue un oficial médico y científico de la USN, introdujo el concepto de buceo de saturación en la década de 1950, fue el responsable del proyecto Génesis, inicialmente los experimentos se realizaron con ratas de laboratorio y fue evolucionando hasta experimentar con humanos en cámaras hiperbáricas respirando helio y oxígeno. Mediante la aplicación práctica de esta técnica, permitió a los buzos vivir y trabajar bajo el agua durante días o semanas, realizando al término de su estadía un único período de descompresión, comparativamente corto. La NEDU brindó apoyo técnico para las hipótesis de Bond, mediante el desarrollo de tablas especiales de descompresión para buceos de saturación.

A continuación, en la tabla 4 se presentan los tiempos límites que puede permanecer un buzo a una profundidad determinada, sin la necesidad de realizar algún tipo de procedimiento de descompresión durante el ascenso a superficie, en función a la profundidad de trabajo y a las tecnologías que se encuentran disponibles en el mercado internacional, y que son parte del análisis de este trabajo de investigación. Nótese que en el caso del buceo de saturación, sin importar la profundidad o el tiempo de permanencia en el fondo, siempre es

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

necesario efectuar un proceso de descompresión debido a que los tejidos del buzo se encuentran saturados del gas inerte.

**Tabla 4.**

**Tiempo límite sin descompresión en minutos por tecnología disponible.**

TIEMPO LÍMITE SIN DESCOMPRESIÓN EN MINUTOS POR TECNOLOGÍA DISPONIBLE						
PROFUNDIDAD (EN PIES)	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES					
	BUCEO DE INTERVENCIÓN (TIEMPO EN MINUTOS)		BUCEO DE SATURACIÓN	ADS	DOV	ROV
	AIRE	HELIOX				
30	SIN LIMITE	SIN LIMITE				
40	200	260				
50	100	180				
60	60	130				
70	50	85				
80	40	60				
90	30	45				
100	25	35	SIEMPRE REQUIERE DESCOMPRESIÓN	SIN LÍMITE DE TIEMPO	SIN LÍMITE DE TIEMPO	SIN LÍMITE DE TIEMPO
110	20	30				
120	15	25				
130	10	20				
140	8	15				
150	5	12				
160	4	10				
170	3	8				
180	REQUIERE DESCOMPRESION					

**Fuente: Elaboración propia.**

Nuytten (2014), uno de los principales desarrolladores de ADS, ROV y DOV, en North Vancouver, Canadá, es presidente de Nuytco Ltd., quien desarrolló el concepto de los DOV, a partir del concepto de mantener la presión de trabajo del piloto a una atmósfera y así evitar las complicaciones de la compresión y la descompresión, con la diferencia de que el piloto no requiere de la utilización de su propia fuerza para la realización de las tareas, ya que emplea uno o dos brazos robóticos operados desde el interior de la nave mediante joysticks, al no tener articulaciones, no requiere de juntas giratorias. Otra diferencia importante, es que este vehículo es autónomo, no requiere de una línea umbilical que lo provea de aire, energía o telemetría.

El uso de los ROV data de la década de los años 60, la Armada de los Estados Unidos desarrolló el Cable Controlled Underwater Recovery Vehicle CURV, con la finalidad de contar con un sistema de recuperación de artefactos del fondo



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

marino a gran profundidad, basados en esta tecnología fueron desarrollados los ROV work class de alta gama, los cuales en la actualidad son considerados como una herramienta esencial.

En operaciones de buceo profundo que involucre buzos, ya sea en modo intervención o en modalidad de saturación, es mandatorio el uso de ROV de observación por parte del supervisor de buceo, ya que mediante esta herramienta puede tener una visión completa de las operaciones que se están realizando.

En el campo militar, los ROV son utilizados para realizar inspecciones y realizar operaciones de recuperación de torpedos, minas y otros artefactos de alto valor militar y en el ámbito civil para realizar inspecciones de estructuras sumergidas y en operaciones relacionadas con la industria petrolera *offshore*, minería submarina y recuperación de artefactos y minerales de alto valor comercial.

Como resultado de la investigación realizada se han identificado cuatro tecnologías que podrían cerrar la brecha existente entre los 350 pies, que es la profundidad actual a la que se podría realizar una operación de salvamento submarino profundo con el apoyo del B.A.P. Morales y los 1,500 pies que es la profundidad de colapso del casco resistente de una unidad submarina, situación a la cual la AP no se encuentra en condiciones de afrontar de forma autónoma en la actualidad.

La primera tecnología considerada para cubrir la brecha identificada es el buceo de saturación, esta tecnología utilizada principalmente en operaciones relacionadas a la industria petrolera, nos permite realizar inmersiones de hasta 1,400 pies, realizando una sola compresión inicial y una sola descompresión al término del trabajo, la duración de este proceso de descompresión depende directamente de la profundidad de trabajo y no del tiempo de permanencia en la presión de trabajo.

Para el funcionamiento del sistema se requiere de una plataforma de oportunidad o una unidad especializada, equipada con un sistema de anclas de gran agarre y/o de un sistema de posicionamiento dinámico tipo 2, una serie de cámaras hiperbáricas interconectadas entre sí y diferentes sistemas de soporte vital para el sostenimiento de las condiciones de hábitat del equipo de buzos saturados que se encuentren saturados en su interior.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia



**Figura 6. Sistema de Saturación Móvil, Unique Group.**

**Fuente: Unique Group.**

La segunda tecnología estudiada son los ADS, que permiten realizar inmersiones de hasta 2,000 pies, permitiendo al piloto el uso de sus extremidades para realizar trabajos manuales de precisión, su operación y mantenimiento es relativamente sencillo, el periodo de entrenamiento básico tiene una duración de dos semanas.

Esta tecnología tiene como principales ventajas su bajo costo de operación y mantenimiento y que el piloto permanece en todo momento a la presión atmosférica, por lo tanto no requiere realizar ningún proceso de compresión ni descompresión.

El traje está conectado a superficie mediante un umbilical el cual funciona como línea de vida y lo provee de energía y de telemetría, el sistema de soporte vital proporciona 40 horas de suministro de aire, cuenta con cuatro impulsores que facilitan su operación, pudiendo variar la profundidad de trabajo sin tener que realizar ningún procedimiento de compresión o descompresión; como soporte en superficie, requiere de una plataforma que cuente con anclas de gran agarre o un sistema posicionamiento dinámico, una grúa o pescante de por lo menos 1,5 toneladas, que sirva como sistema de lanzamiento y recuperación del ADS.



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia



**Figura 7. Traje de Buceo Atmosférico, Nuytco Research Ltd. Canadá.**

**Fuente: Archivo personal.**

La tercera tecnología evaluada consiste en la utilización de los DOV, capaces de descender 3,000 pies, están provistos de hasta dos brazos robóticos utilizados para efectuar las tareas manuales, manteniendo en su interior hasta dos pilotos a presión atmosférica; no requiere de un umbilical ya que cuenta con dos bancos de baterías y dos sistemas de soporte vital que le proporcionan 50 horas de autonomía la energía suficiente para cada inmersión, sin embargo puede ser conectado uno, al igual que los ADS requiere como soporte en superficie una plataforma que cuente con anclas de gran agarre o un sistema posicionamiento dinámico, una grúa o pescante que sirva como sistema de lanzamiento y recuperación del DOV.

La cuarta tecnología considerada está centrada en la utilización de ROV workclass de alta gama, los modelos más completos pueden sumergirse hasta 19,800 pies, utilizan brazos robóticos y una serie de sensores que permiten al piloto que se encuentra en superficie tener una buena descripción del lugar de trabajo en el fondo, requieren de una línea umbilical que les proporcione energía y telemetría, tienen como principal ventaja que ningún buzo o piloto se encuentra expuesto a los riesgos que existen en el lugar de trabajo. Este tipo de tecnología tuvo un papel muy destacado en la búsqueda, detección e identificación del



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

submarino argentino A.R.A. San Juan S-42, hundido a casi 3,000 pies de profundidad en el océano Atlántico, gracias a sus excelentes capacidades como herramienta de observación y a la ventaja de que puede permanecer un tiempo indefinido en área del siniestro.



Figura 8. Vehículos de Operación Directa, Nuytco Research Ltd. Canadá.

Fuente: Archivo personal.



Figura 9. ROV Seabeey Leopard, Saab Group.

Fuente: Saab Group.



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

En el viaje de investigación realizado a la ciudad de Vancouver, Canadá, se tuvo oportunidad de conocer y conversar sobre la situación actual de los equipos y sistemas de buceo profundo con Phil Nuytten y Jeff Heaton, presidente y jefe de operaciones respectivamente de *Nuytco Research Ltd.* Esta empresa es protagonista del desarrollo y de los más recientes avances en ADS, DOV y ROV.

Durante la visita se pudo conocer las instalaciones de *Nuytco Research Ltd.*, se pudo apreciar como es el proceso de fabricación de sus productos, conocer también el funcionamiento de los sistemas, e incluso poder ingresar al interior de un ADS y de un DOV y experimentar como es que estos dispositivos interactúan con el exterior.

Entre los temas que se trataron en la entrevista, estuvieron los costos de operación y mantenimiento de las diferentes tecnologías evaluadas, dentro de los cuales, el que tiene mayor costo de mantenimiento es el buceo de saturación, debido a la gran cantidad de componentes que tiene el sistema para mantener en condiciones adecuadas a los buzos que se encuentran saturados, en el caso de los ROV, el costo de mantenimiento es menor que en los sistemas de saturación sin embargo es elevado también, los DOV tienen costos de operación mucho menores, sin embargo la tecnología que requiere menor costo de mantenimiento son los ADS, gracias a que no utilizan sistemas electrónicos complejos.

De acuerdo con lo investigado, la incorporación del buceo de saturación, requerirá de la Armada Peruana la decisión y el presupuesto necesario para adquirir una nueva plataforma que cuente con posicionamiento dinámico tipo 2 (DP2) y con el suficiente espacio para la instalación de los módulos portátiles, paquetes de cilindros con diferentes tipos de mezclas, cámaras hiperbáricas y diferentes componentes que conforman el sistema.

En cuestiones de tiempo, tomando como ejemplo una operación que deba realizarse a una profundidad de 1000 pies y que requiera de al menos 8 horas de trabajo, debemos considerar 24 horas de compresión, más el tiempo que se emplee para la realización de la tarea, en este caso son 8 horas más 10 días de descompresión, tenemos un total de casi 12 días de operación, por 8 horas de trabajo efectivo en el fondo. Un aspecto importante por considerar, es la cantidad de mezcla que se debe tener como stock permanente en caso de una



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

emergencia, y el tiempo en el que puede ser proporcionada por el proveedor local. (Bond 1993)

Este problema de costos, plataforma, espacio y tiempo se reduce significativamente con el empleo de los ADS, ya que puede ser operado desde las plataformas que cuenta actualmente la Armada Peruana, porque no requieren de mucho espacio para ser estibados y la grúa requerida para su despliegue es de 3 toneladas, en lo que respecta al tiempo, para la misma operación de 8 horas en el fondo a 1,000 pies de profundidad, este sistema no requiere de tiempo de compresión ni descompresión, requiriendo aproximadamente 10 minutos para descender y otros 10 minutos para su ascenso a superficie al término del buceo, reduciendo los 12 días de operación que requeriría el sistema de saturación a solo horas.

En el caso de optar por la utilización de los DOV o los ROV *work class*, estos equipos requieren de plataformas más grandes y con una grúa más potente, dependiendo las características específicas de los ROV, requerirán también de un complejo soporte técnico con especialistas en robótica, electrónica y sistemas así como un amplio catálogo de repuestos críticos, que permita la continua operatividad de los diferentes componentes y subsistemas.

Ninguna de las tecnologías identificadas puede por sí sola reemplazar a las demás, ya que cada una cuenta con diferentes ventajas y limitaciones entre sí, por ejemplo en el buceo de saturación los buzos pueden realizar las tareas con total libertad de movimiento, pero requiere de una plataforma especializada y de un considerable tiempo de descompresión final, en el caso de los ADS, los pilotos no se encuentran expuestos al aumento o disminución de la presión, sin embargo estos trajes tienen cierta limitación de la movilidad, requiriendo de un constante entrenamiento; los DOV no requieren de una línea umbilical a superficie, no obstante tienen una maniobrabilidad restringida y requieren de un soporte técnico importante; los ROV *work class*, tienen la capacidad de descender a grandes profundidades, muy superiores a los tres sistemas anteriores con la contraparte de tener un alto costo, y requieren de un complejo soporte técnico durante su operación sin dejar de lado, que hasta el momento ningún ROV ha podido igualar la destreza e intuición de un humano al momento de realizar una tarea bajo el agua.

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

Tabla 5.

Ventajas y desventajas de las tecnologías disponibles.

COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES				
	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES			
	BUCEO SATURADO	ADS	DOV	ROV
VENTAJAS	EL BUZO SE ENCUENTRA DIRECTAMENTE EN EL LUGAR DE TRABAJO Y UTILIZA SUS MANOS PARA REALIZAR LAS TAREAS	EL PILOTO SE ENCUENTRA DIRECTAMENTE EN EL LUGAR SIN ESTAR EXPUESTO A LA PRESIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TRABAJO Y UTILIZA DIRECTAMENTE SUS ARTICULACIONES PARA REALIZAR LAS	EL PILOTO SE ENCUENTRA DIRECTAMENTE EN EL LUGAR SIN ESTAR EXPUESTO A LA PRESIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TRABAJO Y UTILIZA BRAZOS ROBÓTICOS PARA REALIZAR LAS TAREAS	EL PILOTO SE ENCUENTRA EN SUPERFICIE LIBRE DE RIESGOS Y UTILIZA BRAZOS ROBÓTICOS PARA REALIZAR LAS TAREAS
DESVENTAJAS	EL BUZO SE ENCUENTRA EXPUESTO A LA PRESIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TRABAJO Y SIEMPRE REQUIERE DE UN PROCESO DE DESCOMPRESIÓN	LIMITACIÓN EN LA REALIZACIÓN DE ALGUNAS TAREAS DEBIDO A LAS RESTRICCIONES DE LAS ARTICULACIONES DEL TRAJE ATMOSFÉRICO	LA REALIZACIÓN DE LAS TAREAS SE EFECTÚA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BRAZOS ROBÓTICOS, LO CUALE REQUIERE DE ENTRENAMIENTO CONSTANTE	EL PILOTO DEPENDE DEL SISTEMA DE VIDEO Y SENSORES, ASÍ COMO DE BRAZOS ROBÓTICOS PARA EFECTUAR LAS TAREAS LO CUALE REQUIERE DE ENTRENAMIENTO CONSTANTE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.

Soporte requerido por tecnología disponible.

SOPORTE REQUERIDO POR TECNOLOGÍA				
	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES			
	BUCEO SATURADO	ADS	DOV	ROV
PERSONAL	01 SUPERVISOR DE OPERACIONES 09 BUZOS SATURADOS 01 MEDICO HIPERBÁRICO 12 PERSONAL DE SOPORTE	01 SUPERVISOR DE OPERACIONES 02 PILOTOS 02 TENDER 01 OPERADOR DE CONSOLA 01 TÉCNICO ESPECIALIZADO	01 SUPERVISOR DE OPERACIONES 02 PILOTOS 02 TENDER 01 OPERADOR DE CONSOLA 01 TÉCNICO ESPECIALIZADO	01 SUPERVISOR DE OPERACIONES 02 PILOTOS 02 TENDER 01 OPERADOR DE CONSOLA 01 TÉCNICO ESPECIALIZADO
PLATAFORMA	POSICIONAMIENTO DINÁMICO O CAPACIDAD DE FONDEO CON ANCLAS DE GRAN AGARRE	POSICIONAMIENTO DINÁMICO O CAPACIDAD DE FONDEO CON ANCLAS DE GRAN AGARRE	POSICIONAMIENTO DINÁMICO O CAPACIDAD DE FONDEO CON ANCLAS DE GRAN AGARRE	POSICIONAMIENTO DINÁMICO O CAPACIDAD DE FONDEO CON ANCLAS DE GRAN AGARRE
ESPACIO EN CUBIERTA	400 METROS CUADRADOS	100 METROS CUADRADOS	100 METROS CUADRADOS	100 METROS CUADRADOS PARA ROV DE TRABAJOS LIGEROS Y 300 METROS CUADRADOS PARA ROV DE TRABAJOS PESADOS
GRÚA REQUERIDA	NO, CUENTA CON UN SISTEMA DE LANZAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE CAMPANA DE BUCEO	3 TONELADAS A 15 METROS	3 TONELADAS A 15 METROS	3 TON. A 15 M. PARA ROV DE TRABAJOS LIGEROS, Y 5 TON. A 15 M. PARA ROV DE TRABAJOS PESADOS

Fuente: Elaboración propia.



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

La utilización de los ADS, podría ser una solución rápida de implementar y de bajo costo para la Armada Peruana, ya que puede ser operado desde las plataformas que se encuentran en servicio, no requiere de mucho espacio para su estiba, tiene un bajo costo de mantenimiento, no requiere de un soporte técnico complejo y el curso de capacitación en operación y mantenimiento tiene una duración de dos semanas, capacitación que se puede realizar en el territorio nacional a bordo de nuestra propia unidad de salvamento.

Es indispensable implementar alguna de las tecnologías modernas disponibles en el mercado extranjero, que nos permita contar con la capacidad de reducir la brecha identificada. En la situación de una operación de rescate de una unidad submarina, la capacidad adquirida nos permitirá iniciar la operación de rescate pudiendo ser capaces de realizar la identificación e inspección inicial de la nave, y la conexión de mangas al exterior del casco resistente. Los sistemas de buceo profundo deben permitirnos contar con la misma profundidad de operación que las unidades submarinas que se encuentran en servicio, debiendo ser seguros, confiables, de fácil operación y mantenimiento.

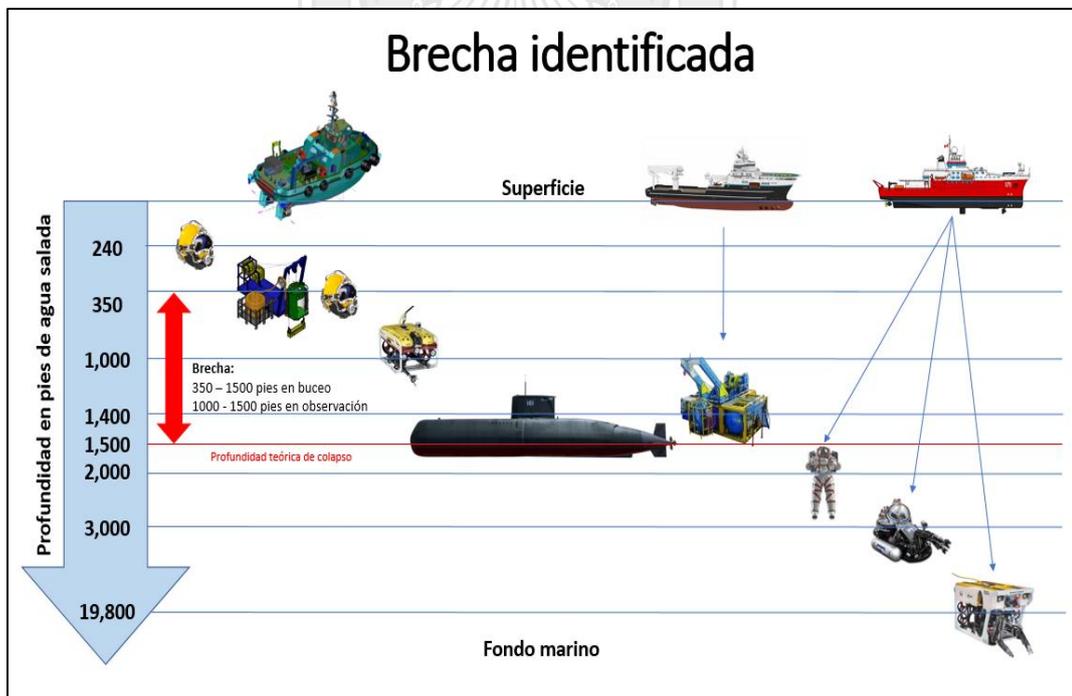


Figura 10. Brecha Identificada.

Fuente: Elaboración propia.



Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

En cuanto al tercer problema de estudio que plantea ¿Cuál es la profesionalización del personal del grupo de salvamento en operación y mantenimiento de sistemas de buceo? y su correspondiente objetivo, que se orienta a analizar la profesionalización del personal del Grupo de Salvamento en operación y mantenimiento de sistemas de buceo, se procede a continuación al análisis del mismo.

La escuela de Buceo y Salvamento de la Armada Peruana cuenta con una malla curricular variada, que permite al alumno de buceo obtener un amplio conocimiento de la especialidad y una condición física adecuada para afrontar las exigencias propias de la actividad. (Escuela Superior de Guerra Naval 2013)

La profesionalización del personal de GRUSAL, está enfocada en dos aspectos fundamentales: la operación y el mantenimiento de los diferentes equipos y sistemas de buceo con que cuenta la Armada Peruana.

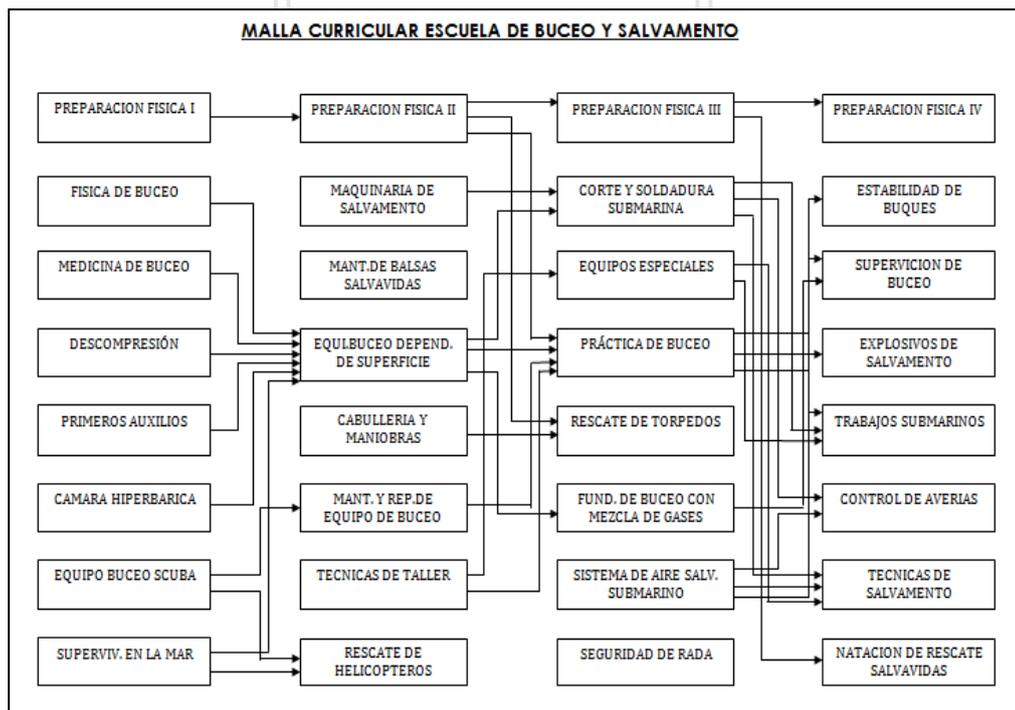


Figura 11. Malla Curricular Escuela de Buceo y Salvamento.

Fuente: Escuela de Buceo y Salvamento.

Dentro de la operación de los sistemas de buceo, podemos hacer una subdivisión a lo que corresponde al trabajo que se desarrolla dentro del agua y en la superficie: la primera demandará que el buzo se encuentre en un óptimo estado



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

físico, mental y tenga un conocimiento integral de su equipo y de los procedimientos establecidos, mientras que en la segunda requerirá que el personal que se encuentra en la superficie, comprenda su función a detalle y tenga un amplio entendimiento del equipo o sistema que está operando así como de los procedimientos de emergencia en caso se presente una falla.

En lo que corresponde a mantenimiento, dependiendo de cada región o país, encontramos diferentes términos, definiciones y normas, por ejemplo, la norma francesa AFNOR NF X 60-010, la cual dice que el mantenimiento es “el conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un bien a un estado especificado o a una situación tal, que pueda asegurar un servicio determinado”, la norma británica BS 3811, dice que es “la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas tendientes a conservar un ítem o restablecerlo a un estado, tal que pueda realizar la función requerida”, la norma militar norteamericana que es una de las más exigentes MIL – STD – 721 C, dice que son “todas las acciones necesarias para conservar un ítem en un estado especificado o restablecerlo a él”.

En general podemos clasificar el mantenimiento en dos tipos: el preventivo y el correctivo, el primero puede ser programado o también puede ser deducido, y el segundo dependiendo de la gravedad de la falla puede ser inmediato o puede ser diferido.

En los años 2009, 2010 y 2014 la Armada Peruana envió al Centro de Instrucción Almirante *Átilla Monteiro Aché* (CIAMA) de la Armada de Brasil, un grupo de oficiales y personal subalterno a capacitarse en la técnica de buceo saturado, con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos y aplicarlos a las necesidades propias de la AP.

La constante innovación tecnológica requiere que eventualmente se incluyan cursos específicos en la maya curricular de la Escuela de Buceo y Salvamento de la AP, esto permite el mejor entendimiento de estas nuevas tecnologías por parte del personal superior y subalterno de GRUSAL, y por consiguiente una rápida adaptabilidad en caso sean incorporadas.

Cada uno de los desarrolladores internacionales ha generado su propia experiencia y su propia doctrina, es por esto por lo que cada sistema está asociado a un tipo de capacitación en operación y mantenimiento diferente y específico.



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

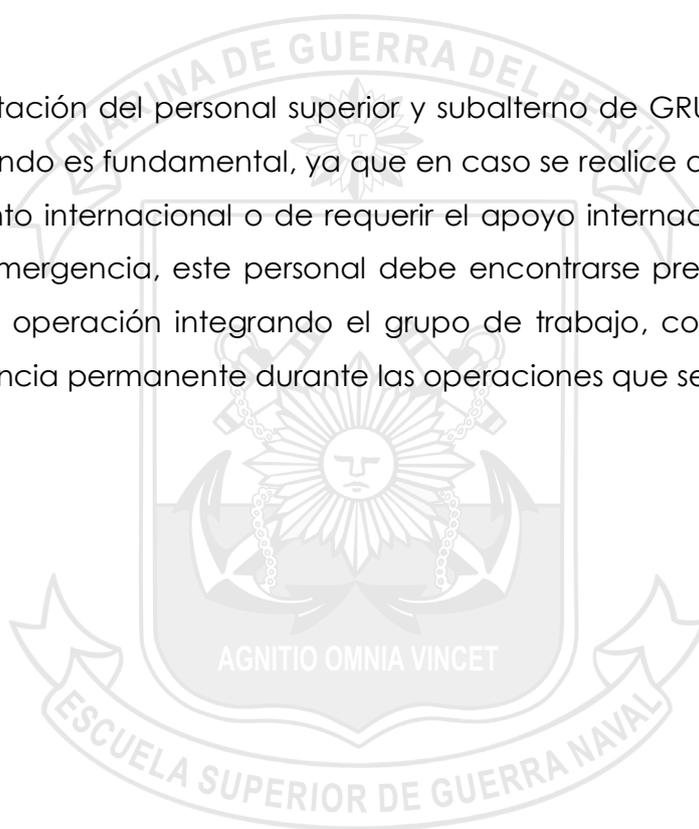
Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

La capacitación no debe estar limitada solo a los equipos y sistemas con que cuenta la Armada Peruana, sino que se debe tener un acercamiento constante a las nuevas tecnologías, las cuales tienden a ser más seguras y con una reducción en costos de operación significativos,

Deben ser incluidos en la malla curricular de la escuela de buceo y salvamento, cursos específicos que permitan el mejor entendimiento de las tecnologías de buceo profundo por parte del personal superior y subalterno de GRUSAL.

La capacitación del personal superior y subalterno de GRUSAL, en sistemas de buceo profundo es fundamental, ya que en caso se realice alguna operación de entrenamiento internacional o de requerir el apoyo internacional en caso se presente una emergencia, este personal debe encontrarse preparado y pueda participar de la operación integrando el grupo de trabajo, con la finalidad de tener una presencia permanente durante las operaciones que se realicen.



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## CONCLUSIONES

1. GRUSAL tiene la capacidad de efectuar operaciones de salvamento submarino hasta una profundidad de 350 pies, encontrándose limitado a realizar operaciones a mayor profundidad, sin embargo, existen cuatro opciones tecnológicas que permiten alcanzar los 1,500 pies, profundidad que se ha determinado como necesaria de poder alcanzar. En lo que respecta a profesionalización, su personal en general está bien capacitado y entrenado, aunque es necesario actualizar la malla curricular, incorporando el estudio de nuevas tecnologías.
2. La Armada Peruana está equipada con una plataforma naval, equipos y sistemas de buceo que utilizan aire comprimido y mezcla de gases para realizar buceos profundos de hasta 240 pies y 350 pies respectivamente, pero existe una brecha considerable entre esta profundidad y el peor escenario, que sería tener a una unidad submarina al límite de su profundidad de colapso, a 1,500 pies en el lecho marino con su tripulación a salvo, pero sin propulsión ni capacidad de soplar sus tanques de lastre.
3. Luego de efectuar un análisis comparativo entre las tecnologías disponibles, con el criterio formado como resultado de las entrevistas con los expertos, se llega a la conclusión de que ninguna tecnología reemplaza a las demás, cada una cuenta con ventajas y desventajas específicas, sin embargo, la incorporación de los ADS nos permitiría cerrar la brecha identificada de forma eficiente, en un mediano plazo.
4. La profesionalización del personal de GRUSAL, es adecuada en los cursos de operación y mantenimiento de los equipos y sistemas que se encuentra actualmente en servicio, no obstante, requiere de una actualización en la malla curricular que incluya cursos nuevos relacionado las nuevas tecnologías, que permitan un mejor entendimiento y adaptabilidad a las mismas, asimismo, es necesario continuar capacitando y entrenando personal en el extranjero.



**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## RECOMENDACIONES

1. Tomar como referencia el presente estudio para que la Armada Peruana adquiera un sistema de buceo profundo de forma progresiva, que nos permita estar preparados para afrontar situaciones de emergencia que se puedan presentar con alguna unidad submarina o artefacto, y posicionarnos como un referente en operaciones de salvamento submarino profundo en el pacífico sur.
2. Nombrar una comisión que realice pruebas de maniobrabilidad y confiabilidad a los ADS, y redacte un informe dando su opinión sobre la factibilidad de la incorporación de este sistema en la Armada Peruana, de igual manera capacitar un grupo de oficiales y personal subalterno en la operación y mantenimiento de los ADS, con la finalidad de contar con personal capacitado como piloto y operador en superficie de ADS, en caso se requiera de la utilización de estos sistemas en caso de presentarse una emergencia.
3. Realizar estudios complementarios que permitan determinar qué tipo de soporte logístico requerirán los ADS, de ser implementados en el mediano plazo por la AP.
4. Realizar un estudio logístico que permita identificar los requerimientos para la puesta en servicio de equipos y sistemas de rescate submarinos extranjeros, en caso de una emergencia con una unidad submarina a una profundidad superior a la que el equipamiento actual de la AP permite descender, que incluya aeropuertos, carreteras, puertos y embarcaciones capaces de permitir los traslados hacia el área de operaciones.
5. Continuar con la capacitación de oficiales y personal subalterno en cursos en el extranjero, que permitan mantener actualizados los conocimientos y procedimientos en operaciones de salvamento y buceo profundo.



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

- Bond G. (1993). Papa Topside: The Sealab Chronicles of Capt. George F. Bond, US Naval Institute Press, Annapolis, EE.UU.
- Callaghan P. (1987). Efectos del desastre del submarino nuclear USS Thresher y como este incidente repercutió en las nuevas medidas de seguridad vigentes y sobre la necesidad de contar con mejores capacidades en los sistemas de inmersión profunda (Thesis Master of Arts in History). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, EE.UU.
- Carter R. (1976). Reporte para la Armada de los Estados Unidos sobre el ADS JIM Suit, Navy Experimental Diving Unit, Panamá City, Florida.
- Chino J. (13 de agosto de 2010). Patrullera se hunde y desaparecen 3 marinos. Diario Correo. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/patrullera-se-hunde-y-desaparecen-3-marinos-295133/?ref=dcr>
- Colgary J. (2016). An Experimental Study of the One Atmosphere Diving Suit (ADS) and Data Analysis of Military Diving (Naval Engineer's Degree and Master of Science in Mechanical Engineering). Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, EE.UU.
- Duboc R. (1989). Operación reflotamiento Pacocha. Revista de Marina, volumen 4, 8-21.
- Escate J. (2017). ¿Se cumplen las medidas de prevención y protección legal para buzos profesionales ante accidentes de trabajo y/o enfermedades profesionales en el Perú?, (Trabajo Académico de segunda especialidad). Pontificia Universidad Católica del Perú, Surco – Lima.
- Escuela Superior de Guerra Naval (2013). Escuela de Buceo y Salvamento. Recuperado de <https://www.esup.edu.pe/buceo.html>
- Gabler U. (1986), Submarine Design, Augsburg, Alemania: Bernard & Grafte Verlag
- Galisteo H. (2014). Proceso de salvamento de un submarino hundido y posibles mejoras de rescate (Diplomatura en Máquinas Navales). Facultad de Náutica de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Harris G. (1994). Ironsuit, Flagstaff, Arizona, EE.UU.: Best Publishing Company.



C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

- Hernández R., Fernández C. y Baptista M. (2016). Metodología de la investigación. México: Editorial Mc Graw Hill Education, Interamericana de Editores S.A. de C.V.
- Ministerio de defensa de Argentina. (2018). Submarino A.R.A. "San Juan" Toda la Información. Recuperado de <http://www.ara.mil.ar/submarino/sanjuán/index.html>
- Morat N. (2010). Empleo de los Buzos Especialistas de Ingenieros en apoyo al Sistema Nacional de Emergencia ante la ocurrencia de catástrofes acuáticas (Tesis de Bachiller). Instituto Militar de Estudios Superiores, Montevideo, Uruguay.
- Noguera J. (2014). Medidor de Nitrógeno Residual (Tesis de Bachiller). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Nuytten, P. (2014). The Case for One Atmosphere Diving. Diving Magazine. Recuperado de <http://divermag.com/the-case-for-one-atmosphere-diving-exosuit>
- Peralta N. (2008). Perú - Accidente en Tumbes: Explosión del BAP Supe hiere a 13 personas. OANNES. Recuperado de <http://www.oannes.org.pe/noticias/peru-accidente-en-tumbes-explosion-del-bap-supe-hiere-a-13-personas/>
- Pike J. (1998). Run Silent, Run Deep. Military Analysis Network. Recuperado de <https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/deep.htm>
- Smith M. (1987). Soporte logístico para el One Man One Atmosphere Diving System, NOMOADS (Thesis Master of Science in Management). Naval Postgraduate School, Monterrey, California, EE.UU.
- U.S. Navy, (2008). US Diving Manual Revision 6, Volume 1-5, Naval Sea Systems Command.
- U.S. Navy, (2013). US Salvage Manual Revision 2. Naval Sea Systems Command.
- Vásquez M. (2011). Desarrollo de un Control Electrónico Para un Submarino Eléctrico Experimental, (Tesis de bachiller). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Watson P. (2016). SIMA Callao bota el RAS-180 BAP "Morales". Infodefensa.com. Recuperado de <https://www.infodefensa.com/latam/2016/09/08/noticia-callao-remolcador-auxiliar-salvamento-ras180-morales.html>

Este trabajo está sujeto a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini**

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

Anexo B: Cuestionario para expertos

Anexo C: Entrevistas realizadas

Anexo D: Carta HIDRONAV 100, con veriles de 350 pies y 1,500 pies.

Anexo E: Carta HIDRONAV 200, con veriles de 350 pies y 1,500 pies.

Anexo F: Carta HIDRONAV 300, con veriles de 350 pies y 1,500 pies.





C. de C. Carlo Mario Bertalmio Nicolini

Asesor Metodológico: Doctor Carlos Portocarrero Ramos

Asesores Técnicos Especialistas: V. Alm.(r) Eduardo Darcourt Adrianzén, C. de F. (r) Luis Giampietri Ramos, C. de F. Carlos Holguín Valdivia

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 009 -2018**

**Programa:** Maestría en Estrategia Marítima  
**Nombre del estudiante:** C. de C. CG. BERTALMIO Nicolini Carlo Mario  
**Título de la tesis:** "Salvamento submarino en la Armada Peruana: capacidades, limitaciones operativas y opciones tecnológicas para su desarrollo"

**Fecha de presentación de la solicitud de exposición y defensa de la tesis:**

**Fecha de exposición y defensa de la tesis:** 11 de diciembre del 2018

Indicadores	Nota Integr. 1	Nota Integr. 2	Nota Integr. 3	Nota Integr. 4	Nota Presid.	Nota promedio	Peso	Nota Prom. x peso	Calificación Final de la tesis
Texto escrito de la tesis	15.00	16.32	15.42	15.00	15.00	15.35	0.6	9.21	APROBADO
Exposición y defensa de la tesis	18.00	16.35	18.00	18.00	15.00	17.07	0.4	6.83	
<b>Nota Final:</b>								<b>16.04</b>	

La punta, 11 de diciembre del 2018

**INTEGRANTE**  
 Magister Capitán de Fragata (r)  
 Oscar PRIETO Meléndez  
 DNI 18090425

**INTEGRANTE**  
 Magister Capitán de Fragata (r)  
 Juan IRIGORYEN Noriega  
 DNI 09874294

**INTEGRANTE**  
 Magister Capitán de Navío (r)  
 Félix LUNA Aubry  
 DNI 40407997

**INTEGRANTE**  
 Doctor  
 Carl Johan BLYDAL  
 CE 000876227

**PRESIDENTE DEL JURADO EVANJADOR**  
 Magister Capitán de Navío  
 Bruno QUEIROLO Morales  
 DNI 00884947

>19,00 – 20,00	Aprobado "Summa Cum Laude".
>18,00 – 19,00	Aprobado "Magna Cum Laude".
>17,00 – 18,00	Aprobado "Cum Laude"
14,00 – 17,00	Aprobado
00,00 – <14,00	Desaprobado

