

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional



Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas para la flota de la Armada Nacional

Reney Patiño Alarcón

Tania Benavides Calvache

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Octubre de 2025

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas para la flota de la Armada Nacional

Reney Patiño Alarcón

Tania Benavides Calvache

Monografía presentada como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor

Hugo Alejandro Muñoz Bonilla

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

NRC 3523

Octubre 2025

## Tabla de Contenido

Lista de Figuras.....	7
Lista de Tablas .....	9
Lista de anexos.....	10
Resumen.....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	13
1 Planteamiento Del Problema .....	15
1.1 Descripción Del Problema .....	16
1.2 Pregunta de Investigación.....	18
1.3 Los Objetivos de la Investigación.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 Justificación de la Investigación .....	20
1.4.1 Justificación Gerencial y Estratégica .....	20
1.4.2 Justificación Practica y Operativa.....	20
1.4.3 Justificación Académica y Metodológica .....	21
2 Marco de Referencia.....	23
2.1 Marco de Antecedentes.....	23
2.2 Marco Teórico.....	24
2.2.1 La Gerencia de Proyectos .....	24
2.2.2 Pruebas no Destructivas .....	27

# Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

2.2.3	Inspecciones Subacuáticas .....	28
2.2.4	Partículas Magnéticas .....	30
2.2.5	Partículas Magnéticas Subacuáticas .....	30
2.2.6	Gestión de Riesgos en Entornos Militares o Navales .....	32
2.3	Marco Normativo.....	33
3	Metodología.....	35
3.1	Enfoque y Alcance de la Investigación.....	35
3.2	Variables a Analizar.....	38
3.2.1	Nivel de Conocimiento Técnico .....	38
3.2.2	Actitud-Predisposición Hacia Adopción de Nueva Técnica de PND.....	38
3.2.3	Variables Intervinientes .....	38
3.2.4	Taxonomía de la Unidad a Flote.....	38
3.3	Población y Muestra .....	39
3.3.1	Definición de la Población.....	39
3.3.2	Población Conformada Por Las Unidades a flote .....	40
3.3.3	Cálculo y Selección de la Muestra.....	40
3.3.4	Área Geográfica de la Muestra .....	41
3.4	Instrumentos.....	42
3.5	Descripción Del Procedimiento .....	42
3.5.1	Aplicación de Encuesta Por Medio de la Metodología DELPHI .....	43
3.5.2	Contexto de la Primera Fase (Ronda 1):.....	43
3.5.3	Segunda Fase (Ronda 2): Nuevo Ciclo de Preguntas .....	45

# Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

3.5.4	Relación de los factores de conocimiento técnico con respecto a los factores de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote .....	47
3.5.5	Clasificación de Las Unidades a Flote.....	47
3.6	Codificación De Los Datos.....	51
3.6.1	Codificación Para la Encuesta DELPHI -Primera Fase de Preguntas .....	52
3.6.2	Codificación Para la Encuesta DELPHI – Segunda Fase de Preguntas....	56
3.6.3	Codificación Para la Relación Entre Fase 1 y Fase 2 .....	60
3.6.4	Codificación Para la Tabla de Taxonomía.....	62
4	Análisis de la Información.....	65
4.1	Análisis de Las Encuestas.....	65
4.1.1	Análisis Para la Primera Fase de Preguntas .....	65
4.1.2	Análisis Para la Segunda Fase de Preguntas.....	74
4.1.3	Análisis Para la Relación Entre Fase 1 y Fase 2.....	76
4.1.4	Análisis de la Taxonomía.....	78
5	Consideraciones Éticas .....	80
5.1	Análisis de Las Consideraciones Éticas.....	80
5.2	Consentimiento Informado y Participación Voluntaria .....	80
5.3	Confidencialidad y Protección de la Información .....	80
5.4	Respeto Institucional y Normativo .....	81
5.5	Uso Ético de Los Resultados .....	81
5.6	Pertinencia Social y Compromiso Con la Mejora Institucional.....	81

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

5.7	Integridad Académica y Científica .....	82
6	Resultados.....	83
6.1	Resultado Objetivo 1.....	83
6.2	Resultado Objetivo 2.....	84
6.3	Resultado Objetivo 3.....	85
6.4	Resultado Objetivo 4.....	87
7	Conclusiones.....	89
7.1	Implicaciones Prácticas.....	92
7.2	Futuras Líneas de Investigación.....	92
7.3	Limitaciones.....	93
7.4	Recomendaciones .....	93
8	Referencias .....	95
	Anexos .....	98

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

**Lista de Figuras**

Figura 1	<i>Inspección visual con buzos a buque ARC</i>	27
Figura 2	<i>Prueba de partículas magnéticas subacuáticas</i>	32
Figura 3	<i>Cebolla de investigación - enfoque y alcance de la investigación</i>	37
Figura 4	<i>Primera fase del cuestionario realizado en Forms de office</i>	45
Figura 5	<i>Segunda fase del cuestionario realizado en Forms de office</i>	46
Figura 6	<i>Organización de los datos en Excel</i>	52
Figura 7	<i>Asignación de códigos</i>	53
Figura 8	<i>Archivo CSV delimitado por comas</i>	54
Figura 9	<i>Datos cargados al software JASP</i>	55
Figura 10	<i>Datos decodificados</i>	56
Figura 11	<i>Datos segunda fase de preguntas organizados en Excel</i>	57
Figura 12	<i>Variables identificadas y codificación</i>	57
Figura 13	<i>Códigos asignados</i>	58
Figura 14	<i>Proceso de cargue al software JASP</i>	59
Figura 15	<i>Decodificación en JASP</i>	60
Figura 16	<i>Decodificación en JASP</i>	61
Figura 17	<i>Ubicación de los datos para el análisis en JASP</i>	62
Figura 18	<i>Tabla depurada</i>	63
Figura 19	<i>Tabla abierta en JASP</i>	64
Figura 20	<i>Distribución del Nivel Académico</i>	66
Figura 21	<i>Repercusión de los efectos en la pérdida de la capacidad operativa</i>	67

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

Figura 22	<i>Conocimiento de las pruebas no destructivas</i> .....	68
Figura 23	<i>Conocimiento de las PND aplicadas en dique seco</i> .....	69
Figura 24	<i>Conocimiento de las PND aplicadas en ambientes subacuáticos</i> .....	69
Figura 25	<i>Efecto positivo con la aplicación de PND en el aseguramiento de la calidad</i> .....	71
Figura 26	<i>Mejor método de prueba no destructiva para aplicar en el ambiente subacuático</i> ....	72
Figura 27	<i>Conocimiento de la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático</i> .....	73
Figura 28	<i>Conocimiento de la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático</i> .....	74
Figura 29	<i>Distribución del tipo de casco de las unidades a flote de la guarnición Cartagena</i> ..	79

Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas en la flota de la Armada Nacional

**Lista de Tablas**

Tabla 1	<i>Ventajas y desventajas de las inspecciones subacuáticas a unidades ARC</i> .....	29
Tabla 2	<i>Taxonomía de las unidades a flote en la guarnición de Cartagena</i> .....	49
Tabla 3	<i>Distribución de frecuencias de las variables de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de las unidades a flote hacia la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas</i> .....	75
Tabla 4	<i>Relación entre respuestas a preguntas fase y fase 2 de la encuesta</i> .....	76
Tabla 5	<i>Tabla de contingencia</i> .....	77
Tabla 6	<i>Contraste chi-cuadrado</i> .....	77
Tabla 7	<i>Frecuencia para Tipo de casco</i> .....	78

### **Lista de anexos**

Anexo 1 Cuestionario: Efectos e implicaciones en el aseguramiento de calidad en unidades a flote de la Armada Nacional de Colombia.....	98
Anexo 2 Cuestionario efectos e implicaciones del nuevo procedimiento en el aseguramiento de la calidad. ....	102

## Resumen

En la Armada Nacional, las inspecciones técnicas visuales subacuáticas hacen parte del mantenimiento de la flota como único método no destructivo usado, pero no logra identificar discontinuidades críticas en los cascos de las unidades a flote. Esta limitación aumenta riesgos de capacidad operativa y sobrecostos de mantenimiento. La monografía propone evaluar la influencia del recurso humano experto en mantenimiento de unidades a flote de la guarnición de Cartagena, para determinar la viabilidad de la adopción de esta nueva tecnología. Se empleó un enfoque mixto, aplicando la metodología DELPHI en dos fases mediante encuestas analizando las variables de conocimiento técnico y actitud hacia la nueva técnica, además de realizar una taxonomía de la flota. Se realizó análisis estadístico mediante distribuciones de frecuencia y la prueba Chi-cuadrado para establecer la correlación entre factores. La flota cumple con el requisito para su aplicación, pero solo un 16.66% del personal conoce la técnica subacuática. Sin embargo, se registró una favorabilidad a la implementación de la técnica como complemento a la inspección visual, con la percepción generalizada de que la falta de conocimiento es el principal impedimento. El recurso humano es un factor clave y receptivo a la innovación. La baja tasa de adopción se debe al desconocimiento específico y no a una actitud negativa, lo cual es una barrera superable. La Gerencia de Proyectos debe asumir la iniciativa para cerrar la brecha de conocimiento, lo que garantizará una mejora sustancial en el mantenimiento preventivo y la eficiencia operacional de la flota.

**Palabras clave:** Recurso Humano, Partículas Magnéticas Subacuáticas, Pruebas No Destructivas (PND), Mantenimiento Naval, Armada Nacional

### **Abstract**

In the National Navy, subaquatic visual technical inspections are part of fleet maintenance as the only non-destructive method used, but they fail to identify critical discontinuities in the hulls of afloat units. This limitation increases risks to operational capacity and leads to maintenance overruns. The monograph proposes to evaluate the influence of the expert human resource in the maintenance of afloat units in the Cartagena garrison to determine the viability of adopting this new technology. A mixed approach was used, applying the DELPHI methodology in two phases through surveys, analyzing the variables of technical knowledge and attitude towards the new technique, in addition to conducting a fleet taxonomy. Statistical analysis was performed using frequency distributions and the Chi-square test to establish the correlation between factors. The fleet meets the requirement for its application, but only 16.66% of the personnel know the subaquatic technique. However, a favorability was recorded toward implementing the technique as a complement to visual inspection, with the generalized perception that the lack of knowledge is the main impediment. The human resource is a key factor and receptive to innovation. The low adoption rate is due to specific lack of knowledge and not a negative attitude, which is a superable barrier. Project Management must take the initiative to close the knowledge gap, which will guarantee a substantial improvement in the quality assurance and operational efficiency of the fleet.

**Keywords:** Human Resource, Subaquatic Magnetic Particles, Non-Destructive Testing (NDT), Naval Maintenance, National Navy

## **Introducción**

En la actualidad, la eficacia de las organizaciones, tanto en el sector público como en el privado, depende en gran medida de su capacidad para gestionar de manera óptima sus procesos y recursos. En el contexto de la Armada Nacional, institución que soporta el poder naval colombiano y que contribuye a la defensa de los intereses nacionales (Armada Nacional, 2024, pág. 10), el mantenimiento de las unidades a flote no solo es un requisito operativo, sino una necesidad imperativa para garantizar la integridad del personal y el éxito de las operaciones.

La presente monografía, titulada “Incidencia del recurso humano en la adopción de prueba de partículas magnéticas subacuáticas para la flota de la Armada Nacional”, tiene como objetivo analizar la incidencia del recurso humano experto en el mantenimiento de unidades a flote vinculado a la Armada Nacional, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo.

Esta técnica de pruebas no destructivas de partículas magnéticas, es vital para detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales, en este caso aplicado en el ambiente subacuático para las estructuras de los cascos de los buques, y que actualmente son invisibles a la inspección visual tradicional. Sin embargo, la integración de una tecnología y un proceso de esta naturaleza, representa un proyecto de alta complejidad que exige una planificación y ejecución muy organizada. La investigación se enfoca en la premisa de que, desde la gerencia de proyectos, debe haber una ruptura de paradigmas para las nuevas tecnologías y más cuando se trata de

aquellas que hacen referencia a los ambientes subacuáticos que ya de por sí, son muy complejas de adoptar tanto por falta de conocimiento como por temor a los costos elevados.

La investigación se alinea con la sublínea de “Gerencia de proyectos de inversión privada, social y comunitaria” de la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, ya que examina un proyecto de inversión institucional con un claro impacto social y operativo.

Para llevar a cabo el análisis, este documento se ha estructurado de la siguiente manera: en la primera parte, se presenta el planteamiento del problema, incluyendo la descripción detallada, la pregunta de investigación, los objetivos y la justificación. Una segunda parte se dedica a la construcción del marco de referencia, que abarca los antecedentes de investigación, el marco teórico y el marco normativo que sustentan el estudio. Posteriormente, se describe la metodología empleada para la investigación, seguida de la presentación de los resultados y el análisis de los hallazgos. Finalmente, se exponen las conclusiones y se proponen recomendaciones para futuros proyectos.

## **1 Planteamiento Del Problema**

Para la Armada Nacional de Colombia, (en adelante ARC), el sostenimiento de la flota hace parte primordial del plan estratégico naval y, por ende, repercute directamente en la misión institucional (Armada Nacional, 2024, pág. 53). El mantenimiento subacuático es, además un potencial estratégico con el que cuenta la ARC y que permite realizar “variedad de servicios submarinos requeridos para contribuir al mantenimiento de la integridad estructural y funcionabilidad de la obra viva de los cascos de los buques y demás material flotante que integra la flota naval” (Rodriguez Gonzalez & Villalba Ospina, 2011, pág. 11), sin embargo, hay una gran cantidad de esos mantenimientos que no logran su objetivo limitando la capacidad operativa de cualquier unidad (buque o lancha con capacidad operativa) e incluye el aumento de los costos directamente relacionados a este tipo de actividades de mantenimiento principalmente las que incluyen la subida a dique de cualquier unidad.

A nivel subacuático, las actividades con las que se desarrollan estas tareas hacen parte de las inspecciones técnicas de peritaje subacuático, que acuerdo (Armada Nacional, 2021, pág. 17) “son actividades de buceo realizadas por personal con conocimientos especializados, a estructuras submarinas, portuarias o embarcaciones, entre otras con el fin de emitir un concepto de carácter técnico”, las pruebas no destructivas, (en adelante PND) por medio de la inspección subacuática permiten dar la mejor guía para el planeamiento operacional y de mantenimiento en cualquier unidad de la flota naval aprovechando sus métodos para evaluar las propiedades de cualquier componente estructural sumergido sin necesidad de que se someta a daño en la integridad durante su intervención.

## **1.1 Descripción Del Problema**

La prueba de partículas magnéticas a nivel subacuático se utiliza en las grandes industrias petroleras Off shore a nivel mundial para la verificación de líneas de oleoductos y gasoductos principalmente, aunque la técnica está destinada a “la inspección externa de construcciones de acero soldadas utilizadas en alta mar” (Davey, 1999, pág. 2).

En el continente, este tipo de técnicas de PND son aplicadas en “ los programas de inspección, evaluación y mantenimiento de las estructuras submarinas instaladas en el Golfo de México” (Hinojosa, 2010, pág. 40), como se evidencia, son técnicas que a pesar de ser conocidas en el exterior, a nivel nacional no hay registro de aplicación reciente.

La prueba no destructiva que actualmente se usa a nivel subacuático en Colombia y específicamente en la ARC es la inspección visual, sin embargo, presenta una limitación significativa: su incapacidad para detectar fallas o defectos superficiales o subsuperficiales como micro fisuras en los materiales sumergidos de los buques. Esta limitación representa un riesgo potencial que puede comprometer la vida útil de los activos y la seguridad del personal.

La implementación de un nuevo método de inspección, que incorpore la PND de partículas magnéticas subacuáticas, se plantea como una solución técnica factible para elevar los estándares de calidad y mitigar los riesgos inherentes a las limitaciones de la inspección visual. No obstante, la adopción de una tecnología de esta complejidad en la ARC es un proyecto que va más allá de la simple adopción de una nueva tecnología, ya que exige una gerencia estratégica

adecuada para garantizar que el nuevo proceso se integre de manera exitosa a las directrices institucionales, además de contemplar un factor que aunque poco perceptible, es altamente relevante, determinar si a toda la flota naval de la guarnición de Cartagena se le puede aplicar esta técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas acuerdo las características mínimas que se deben cumplir para la aplicación de partículas magnéticas.

La ausencia de una gerencia de proyectos para este tipo de iniciativas puede generar problemas, como el que se aborda en este documento, la posible resistencia al cambio por parte del personal experto en mantenimiento de la flota. Este fenómeno, si no se estudia adecuadamente, puede llevar al fracaso del proyecto, limitando los beneficios que las PND pueden aportar al mantenimiento subacuático de la flota naval. Por lo tanto, se hace necesario un análisis del conocimiento técnico del personal sobre este tipo de PND en ambientes subacuáticos, su predisposición y la relación de esos factores en la toma de decisiones sobre la incorporación de este método.

## **1.2 Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la incidencia del recurso humano vinculado a la Armada Nacional en la guarnición de Cartagena, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en función del mantenimiento preventivo?

## **1.3 Los Objetivos de la Investigación**

### ***1.3.1 Objetivo General***

- Analizar la incidencia del recurso humano experto en el mantenimiento de unidades a flote vinculado a la Armada Nacional, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Identificar el nivel de conocimiento técnico a través de la aplicación de la metodología DELPHI, a un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo.
- Caracterizar la actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de las unidades a flote hacia la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas, para su aplicación a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo.

- Evaluar la relación de los factores de conocimiento técnico con respecto a los factores de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición de Cartagena en función del mantenimiento preventivo.
- Clasificar las unidades a flote de la Armada Nacional en la guarnición de Cartagena, según su taxonomía y características técnicas, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas en función del mantenimiento preventivo.

## **1.4 Justificación de la Investigación**

### ***1.4.1 Justificación Gerencial y Estratégica***

La presente investigación se justifica en la necesidad de mejorar los procesos de mantenimiento preventivo de la flota que pudiesen afectar tanto la seguridad operativa de la institución, como la optimización de sus recursos. Este trabajo de monografía es de gran relevancia, ya que se alinea de manera directa con la sublínea de "Gerencia de proyectos de inversión privada, social y comunitaria" de la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, al centrarse en un proyecto institucional dentro de una entidad pública, el estudio trasciende el ámbito técnico para explorar cómo la gerencia de proyectos puede forjar un impacto social y organizacional tangible, mejorando la seguridad, la eficiencia y la vida útil de activos estratégicos para el país. Además, sirve como base para generar conocimiento aplicable no solo al entorno institucional, sino también a otros contextos donde se realicen inspecciones subacuáticas como infraestructuras portuarias, plataformas offshore, represas, etc. La información obtenida puede ser ajustada y adaptada a otras instituciones o sectores que enfrenten retos similares.

### ***1.4.2 Justificación Práctica y Operativa***

El valor práctico de esta investigación para la ARC es innegable. La monografía servirá como un recurso fundamental para la planificación y ejecución de futuros proyectos enfocados al mantenimiento de la flota, proporcionando una hoja de ruta para la implementación exitosa de nuevas tecnologías. La correcta aplicación de los principios de la gerencia de proyectos en este caso específico permitirá conocer la incidencia del recurso humano experto en el mantenimiento

de la flota y de esta manera orientar a la institución no solo mejorar la precisión de las inspecciones, sino también optimizar la asignación de recursos y reducir los riesgos operativos asociados con el mantenimiento de sus unidades a flote. A través de este estudio de caso, la ARC podrá tomar decisiones informadas sobre la adopción de nuevas técnicas de PND subacuáticas que aportaran a la seguridad y confiabilidad en el mantenimiento subacuático de su flota, ofreciendo la posibilidad de implementar mejoras técnicas de bajo costo en comparación con las consecuencias de fallas estructurales no detectadas, como el deterioro prematuro de componentes críticos, la salida de servicio no programada de una unidad o la costosa subida a dique.

### ***1.4.3 Justificación Académica y Metodológica***

En el ámbito académico, esta monografía enriquece la literatura existente al ofrecer un caso de estudio real y detallado sobre la aplicación de la gerencia de proyectos en un contexto altamente especializado como el militar. El análisis de cómo la metodología DELPHI y la recolección de información de expertos contribuyen a un proyecto de esta naturaleza, aporta un conocimiento valioso que puede ser replicado y adaptado a otros proyectos de alta complejidad en los sectores público y social. De esta manera, el trabajo no solo cumple con los requisitos del programa de especialización, sino que también contribuye al avance del conocimiento en la gestión de proyectos en escenarios no convencionales.

Los resultados permitirán generalizar principios técnicos y gerenciales que pueden ser replicados en otros entornos con necesidades similares, y ofrecerán una perspectiva sobre cómo la incidencia del recurso humano es vital para la toma de decisiones; además, se espera conocer con mayor profundidad las debilidades del método actual, las oportunidades de mejora y el

impacto real de las tecnologías complementarias, aspectos que hasta ahora no se han abordado con suficiente detalle y que hacen parte fundamental en la gerencia de proyectos a la hora de destacar en un proyecto de inversión.

## **2 Marco de Referencia**

### **2.1 Marco de Antecedentes**

El estudio de la gerencia de proyectos se ha consolidado como una disciplina académica y profesional indispensable para la optimización de recursos y el logro eficiente de objetivos estratégicos. A nivel global, el Project Management Institute (PMI) ha jugado un papel fundamental en la estandarización de las prácticas de gestión, proporcionando una referencia a través de la Guía PMBOK. Esta guía, no solo establece los procesos y áreas de conocimiento clave, sino que también destaca la importancia de los enfoques para abordar la complejidad de los proyectos modernos. La aplicación de estas prácticas ha demostrado ser importante para garantizar que las iniciativas se mantengan dentro de los límites de tiempo, costo y alcance establecidos, siendo este un factor determinante de su éxito.

La relevancia de la gerencia de proyectos se extiende a todos los sectores, incluyendo el público, donde la optimización de los recursos y el impacto social son prioritarios. En el contexto de la ARC, la gerencia de proyectos de inversión se alinea con la sublínea de investigación de “Gerencia de proyectos de inversión privada, social y comunitaria” de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, ya que examina la aplicación de una metodología en un proyecto con un claro beneficio social y operativo. Es crucial para una entidad de esta naturaleza, donde la seguridad y la misión institucional son no negociables.

En el ámbito nacional, la investigación sobre la aplicación de la gerencia de proyectos ha revelado una necesidad de profesionalización y estandarización. Un estudio publicado en la Revista EAN en febrero de 2022, titulado “Aplicación de prácticas en gerencia de proyectos de

investigación, desarrollo tecnológico e innovación en grupos de investigación”, mostró que, si bien un 74.1% de los grupos de investigación en Bogotá aplican prácticas gerenciales, lo hacen de manera empírica, a menudo basándose en la experiencia acumulada. Este hallazgo es significativo, ya que pone en evidencia una brecha entre la práctica informal y la necesidad de una metodología formal que garantice la trazabilidad y el éxito de los proyectos. (Contreras Gutierrez, 2021, pág. 48), Dicho estudio identificó los procesos más críticos como la validación del alcance y la determinación del presupuesto, lo que refuerza la relevancia de la presente investigación en su enfoque de establecer un direccionamiento formal para la implementación de nuevas tecnologías y propender por la adecuada gestión del mantenimiento de la flota naval en la ARC. La falta de un marco de gestión claro en proyectos de este tipo, que son muy poco conocidos puede llevar a desviaciones en su análisis, retrasos en la proyección y en última instancia, a enfrascar las ideas en valoraciones que no se pueden expresar de manera clara.

## **2.2 Marco Teórico**

El marco teórico de esta investigación se sustenta en dos grandes pilares conceptuales que se interrelacionan : la gerencia de proyectos y las pruebas no destructivas (PND) como herramientas esenciales para la gestión del mantenimiento.

### **2.2.1 La Gerencia de Proyectos**

La gerencia de proyectos, según la definición PMI (Project Management Institute, 2021, pág. 3) es:

Aplicación de conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas a actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. La dirección de proyectos se refiere a orientar el trabajo del proyecto para entregar los resultados previstos. Los equipos del proyecto pueden lograr los resultados utilizando una amplia gama de enfoques (por ejemplo, predictivos, híbridos y adaptativos).

En el contexto de la gerencia de proyectos, el mantenimiento de la flota naval se plantea como parte fundamental de la operatividad y por ende en la consecución del objetivo misional de la institución, lo que convierte al mantenimiento preventivo en un factor crítico para la seguridad y la fiabilidad operativa. Aquí es donde las (PND) adquieren una relevancia fundamental.

Teniendo en cuenta los planes estratégicos de la institución, estos determinan directrices de 2 tipos: Operacionales y de desarrollo; desde el punto de vista estratégico, las actividades de mantenimiento podrían, en términos generales, tener presencia en las dos 2 directrices. El mantenimiento preventivo se convierte en un lineamiento que no escatima esfuerzos ni costos de inversión (Gonzales Guzman, 2016, pág. 28), ya que permiten tener un estado ideal de cualquier unidad a flote y, por ende, en garantizar la directriz operacional; sin embargo, en gran medida, estos planes estratégicos operacionales y de desarrollo se ven afectados cuando una unidad tiene algún tipo de falla debido a la falta de planificación de mantenimiento. Una visión hacia la proyección de acciones de ingeniería que puedan minimizar los riesgos, generaría un cambio significativo en las directrices y con la guía estructurada en la gerencia de proyectos, sería un aporte vital a la proyección del desarrollo institucional.

Para tener en cuenta la relación de fallas mencionadas anteriormente, se ha logrado establecer que en el año 2024, las inspecciones técnicas subacuáticas no programadas a buques en la guarnición de Cartagena fueron un total de ocho (8) y en el año 2023 fueron siete (7), (archivo estadístico DEBUS, 2024) aunque los datos estadísticos son escasos, reflejan prematuramente que hay algún tipo de afectación por algún tipo de mantenimiento y repercute en la operatividad de un buque, lo que en términos sencillos significa, que tener un buque sin capacidad de navegación por algún mantenimiento, es no contar con un buque que pueda aportar a la salvaguarda de la vida en el mar, también se traduce en una unidad menos que no podrá prestar apoyo en emergencias o una unidad menos que salvaguarde los intereses marítimos del territorio nacional a través del empleo efectivo de los atributos del poder naval, lo que repercute directamente en los objetivos estratégicos de la institución (Armada Nacional, 2024, pág. 47).

## **Figura 1**

*Inspección visual con buzos a buque ARC*



Fuente. Archivo fotográfico Departamento de Buceo y Salvamento – Armada Nacional

### **2.2.2 Pruebas no Destructivas**

A diferencia de las pruebas destructivas, que implican dañar o destruir el material para evaluar su integridad, las Pruebas no destructivas “tienen por objeto detectar discontinuidades internas y superficiales en los materiales, soldaduras, piezas fabricadas y otros componentes” (Ramirez, 2021). Permiten inspeccionar componentes y estructuras sin causarles daño alguno. Esto las convierte en métodos idóneos para el monitoreo continuo de activos de alto valor como los buques de la ARC.

Hay una gran variedad de PND que existen en la industria y que son aplicados para la detección de discontinuidades como lo son “ensayos de tintas penetrantes, partículas magnéticas, radiografía industrial, inspección visual, ultrasonido, entre otros” (Ramirez, 2021).

### **2.2.3 Inspecciones Subacuáticas**

Las inspecciones subacuáticas son uno de los soportes fundamentales que tiene la flota naval para hacer una verificación de sus estructuras sumergidas para determinar su estado; su descripción detallada la expresa (Armada Nacional, 2021, pág. 17):

Las inspecciones subacuáticas son el reconocimiento previo que se realiza con buzos empleando diversas técnicas de buceo, medios y métodos de inspección; además, teniendo en cuenta las técnicas para búsqueda y recolección de información del objetivo en un cuerpo de agua, el cual puede ser concluyente para la toma de decisiones en las operaciones de buceo.

Esta inspección subacuática es en el medio de las PND la misma inspección visual y es, actualmente el único método que se utiliza de manera regular y de forma general para verificar la condición sumergida de un buque.

Este método de inspección tiene una gran cantidad de beneficios y limitaciones que pueden ser, en cierta medida, un aspecto a tener en cuenta a la hora de determinar la viabilidad del objeto de estudio de la presente monografía, estos beneficios y limitaciones son:

**Tabla 1**

*Ventajas y desventajas de las inspecciones subacuáticas a unidades ARC*

<b>Beneficios</b>	<b>Limitaciones</b>
Ofrece una verificación del área sumergida de un buque sin tener que contemplar la sacada del buque a dique.	Se debe realizar con personal entrenado y capacitado, en primera instancia como buzo y en segunda instancia en la técnica de inspección.
Si la inspección se realiza con equipo de comunicaciones y filmación, el buzo puede en tiempo real, dar información y mostrar en tiempo real el área inspeccionada.	Por ser un medio completamente diferente al de superficie, los factores físicos del medio presentan una importante limitación (corrientes submarinas, baja visibilidad).
La inspección subacuática permite realizar la verificación del buque en tiempo relativamente corto, lo que garantiza mantener su operatividad.	La inspección subacuática no permite garantizar que discontinuidades pequeñas a la vista sean identificadas.
	Hasta el momento, la inspección subacuática es la única PND que se realiza en la zona sumergida de los buques debido a que aún no se ha ahondado en otro tipo de técnicas que puedan ser un buen complemento para este tipo de inspección.

*Nota:* hay un método subacuático con la técnica de ultrasonido que se usa para la medición de espesores de la lámina, pero no se aplica en este apartado ya que se hace referencia a las PND que permitan detectar una discontinuidad superficial.

#### **2.2.4 Partículas Magnéticas**

Dentro del amplio espectro de las PND, la prueba de partículas magnéticas se destaca como una técnica eficaz para la inspección de materiales. Es un método para localizar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos (Echevarría, 2025). Las PND de partículas magnéticas se acentúan en lo expresado por (Villacís, 2011, pág. 9).

Los materiales ferromagnéticos tales como muchos aceros desarrollan, cuando son magnetizados, un flujo magnético mucho mayor que en los materiales no magnéticos. Si existiera un defecto cerca de la superficie se produce un escape de este flujo, llamado campo de fuga, en el espacio cercano a la superficie de la pieza. Así este método puede localizar defectos superficiales y/o subsuperficiales por la detección del campo de fuga. Para visualizar los campos de fuga se utilizan comúnmente partículas magnetizables y en algunos casos sensores magnéticos tal como un generador o cintas magnéticas, El campo de fuga que producen los defectos depende de la orientación de magnetización en la pieza y dimensiones del defecto.

#### **2.2.5 Partículas Magnéticas Subacuáticas**

Su aplicación en entornos subacuáticos es especialmente valiosa para el mantenimiento de los cascos de las unidades a flote, ya que permite identificar discontinuidades potenciales

antes de que se conviertan en un riesgo estructural, estas discontinuidades pueden ser según (Echavarría, 2011, pág. 7) “fisuras, solapes, costuras, cerramientos en frío, y laminaciones”.

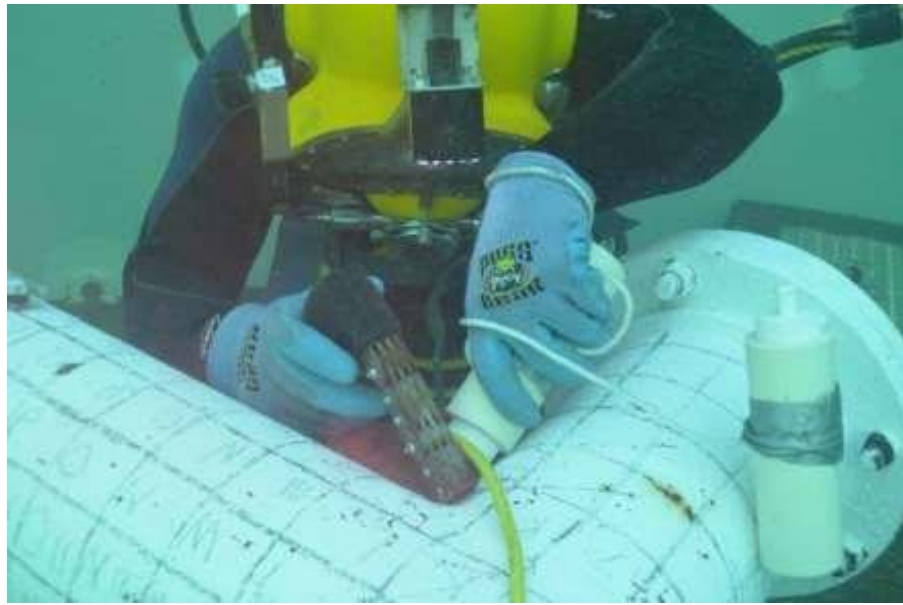
La relación entre la PND de partículas magnéticas en superficie y en el agua se expresan Según (Davey, 1999, pág. 17) como:

La inspección por partículas magnéticas bajo el agua no es, en principio, muy diferente de la inspección por partículas magnéticas sobre el agua. Las principales diferencias son la necesidad de aplicar la suspensión de partículas magnéticas a través del agua, y la turbidez del agua, que puede limitar la visibilidad significativamente.

La implementación de esta tecnología es, en sí misma, un buen proyecto que permitiría servir como un complemento adecuado a la inspección visual que actualmente se realiza a los buques de la flota naval en beneficio del mantenimiento preventivo y operatividad de las unidades, esta idea del complemento adecuado para la inspección visual se refuerza con lo que expresa (Zawawi, 2019, pág. 5) “La inspección por partículas magnéticas, aparte de la inspección visual, ha sido el método más utilizado bajo el agua. Es un método muy efectivo para detectar grietas que rompen la superficie, tanto bajo el agua como sobre ella”.

## Figura 2

### *Prueba de partículas magnéticas subacuáticas*



Fuente: CoreIRM, 2019. [https://www.researchgate.net/figure/Magnetic-Particle-Methods-testing-underwater-CoreIRM-2019\\_fig2\\_337574309](https://www.researchgate.net/figure/Magnetic-Particle-Methods-testing-underwater-CoreIRM-2019_fig2_337574309)

### **2.2.6 Gestión de Riesgos en Entornos Militares o Navales**

En entornos de alta complejidad y riesgo, como el militar o naval, la gestión de riesgos es vital. Esta área de la gerencia de proyectos se encarga de identificar, analizar, planificar y responder a los riesgos potenciales que podrían afectar el éxito del proyecto. En la implementación PND de partículas magnéticas subacuáticas, los riesgos pueden ir desde la resistencia del personal al cambio, los ajustes a las doctrinas, los desafíos técnicos en la operación de los equipos, la sensibilidad en la limitaciones operacionales de la flota, hasta los

factores ambientales que pueden afectar el proceso. Una gestión proactiva de estos riesgos es fundamental para mitigar su impacto y asegurar el cumplimiento de los objetivos.

### **2.3 Marco Normativo**

En el marco de la aplicación de normas en los procesos de calidad y sus derivados en el área de PND se encuentran tanto entes internacionales como nacionales que avalan o marcan las pautas para cumplir con los estándares, de esta manera se pueden encontrar:

- NTC 2034 (Norma Técnica Colombiana): esta norma especifica la calificación y certificación del personal involucrado en ensayos no destructivos (END). es aplicable a la competencia en uno o más de los siguientes métodos: ensayos de partículas magnéticas.
- Código ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos): regula el diseño, desarrollo y construcción de calderas y recipientes a presión utilizados en una variedad de industrias; el tema de pruebas no destructivas se describe en su sección V y sería uno de los códigos que se tendría en cuenta para la elaboración de procedimientos de aplicación una vez se adapte la técnica de partículas magnéticas subacuáticas
- Conceso de normas Internacionales para Buceo Comercial y Operaciones submarinas (ADCI): El propósito de este consenso de normas es proporcionar las mejores prácticas de la industria en un formato claro y completo con el fin de contribuir a la seguridad y al bienestar de todos los que trabajan en la industria del buceo comercial, especialmente los buzos comerciales, los tender/buzos, el personal de soporte en cubierta y los supervisores. (Asociación Internacional de Contratistas de Buceo, INC, 2011, pág. 20)

- Manual de procedimientos de inspecciones subacuáticas de la Armada Nacional: es uno de los documentos que rigen las actividades subacuáticas en el marco institucional, proporciona fundamentos y directrices para las inspecciones subacuáticas; por ende rige las actividades subacuáticas que cualquier buzo realice en unidades a flote en el marco de una inspección subacuática.

### **3 Metodología**

Esta investigación se plantea bajo los siguientes parámetros:

#### **3.1 Enfoque y Alcance de la Investigación**

La presente investigación maneja una estructura metodológica que integra elementos de la investigación cuantitativa y cualitativa. La definición del diseño se realiza bajo la jerarquía de la gráfica de la cebolla metodológica (figura 3). El estudio se fundamenta en un paradigma interpretativo porque el objetivo principal es analizar y comprender los juicios de valor y el conocimiento técnico de un grupo de expertos para poder formular los factores de éxito del proyecto, por ende, la interpretación del consenso es el eje central del análisis. El enfoque es mixto ya que articula elementos cuantitativos y cualitativos con el fin de lograr una comprensión del fenómeno estudiado. De acuerdo con (Hernandez, 2014, pág. 20), el enfoque mixto permite aprovechar las fortalezas de ambos paradigmas, siendo ideal para evaluar resultados técnicos y, al mismo tiempo, interpretar juicios de expertos.

El método cuantitativo se utiliza para la clasificación de los buques de la guarnición de Cartagena y su evaluación mediante el análisis estadístico descriptivo; así mismo, el método cualitativo se realiza a través del empleo de un cuestionario especializado bajo la técnica DELPHI, facilitando la obtención de resultados técnicos entre personal de buceo, ingenieros navales y especialistas en pruebas no destructivas.

El estudio es de tipo exploratorio y sigue una lógica deductiva pues se parte de conceptos teóricos consolidados en el marco teórico para aplicarlos a la situación específica de la ARC y de

esta manera gestionar un desarrollo eficaz de los procesos de mantenimiento de la flota naval.

Tiene un diseño no experimental ya que no se realizó ninguna manipulación intencional de variables o experimentos con la población; se observaron y analizaron los fenómenos en su ambiente natural como lo fueron la flota y el personal experto. La investigación se limita concretamente a los buques de la guarnición de Cartagena y al personal experto asociado, constituyéndose en un caso de estudio único y delimitado; de la misma manera, el estudio maneja una temporalidad transversal ya que los instrumentos de recolección de datos se aplican en un único momento en el tiempo, aunque se estructuran en dos fases (metodología Delphi), esto permite establecer un análisis del estado actual del conocimiento y predisposición. Las fuentes de información se basan en la articulación de datos primarios y secundarios.

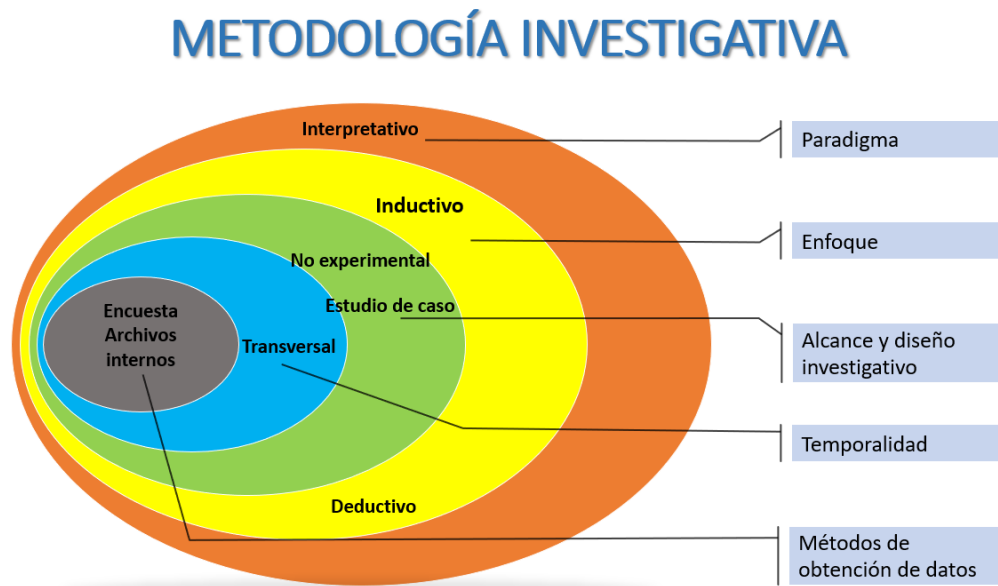
- Datos Primarios- Encuestas: Dirigidas al recurso humano experto (buzos, personal naval), sirviendo como herramienta central para el análisis cualitativo y la obtención del consenso.
- Datos Secundarios- Análisis de Archivos Internos: Se utilizó para la clasificación y el análisis de la flota naval (como el tipo de casco) para determinar la factibilidad técnica de la aplicación del método de partículas magnéticas subacuáticas a las unidades a flote de la guarnición de Cartagena.

Esta aproximación metodológica se alinea de manera directa con la sublínea de gerencia de proyectos de inversión privada, social y comunitaria, ya que no solo se enfoca en las variables humanas y organizacionales (cualitativas), sino que también considera los datos medibles y

descriptivos (cuantitativos) que son fundamentales para la gestión eficaz de un proyecto de inversión institucional.

**Figura 3**

*Cebolla de investigación - enfoque y alcance de la investigación*



Fuente: Adaptación propia a partir de Muñoz-Bonilla y Chaves-Campo (2023)

## **3.2 Variables a Analizar**

### ***3.2.1 Nivel de Conocimiento Técnico***

Esta variable se centra en conocer el conocimiento técnico y de valor del personal experto, que son esenciales para comprender las implicaciones de la nueva técnica expuesta más allá de los datos numéricos, esta información se determinó por unas dimensiones determinadas por la primera fase de preguntas formuladas en el cuestionario a través de la metodología Delphi.

### ***3.2.2 Actitud-Predisposición Hacia Adopción de Nueva Técnica de PND***

Esta variable percibe la predisposición que tiene el personal experto para la adopción del método de pruebas no destructivas aplicadas en ambientes subacuáticos y que fueron determinadas luego del análisis de la primera fase de preguntas resueltas por dicho personal.

### ***3.2.3 Variables Intervinientes***

Esta variable involucra las dos variables anteriores y permitirá determinar la relación que se puede generar al evaluar el nivel de conocimiento y la predisposición del personal experto, para ello se tomarán las respuestas con picos más altos y que además estén relacionadas directamente a las PND de partículas magnéticas.

### ***3.2.4 Taxonomía de la Unidad a Flote***

Esta variable proporciona un contexto descriptivo y numérico que complementa el análisis cualitativo; es crucial para cumplir con los objetivos de clasificar y describir la flota de la

ARC ya que se debe conocer si la técnica de partículas magnéticas se puede aplicar físicamente a los diferentes buques de la flota en la guarnición de Cartagena.

### **3.3 Población y Muestra**

#### **3.3.1 Definición de la Población**

- Personal experto en unidades a flote de la ARC: Este grupo incluye a oficiales y suboficiales con experiencia en la operación, mantenimiento y gerencia de proyectos en el campo naval, cuya perspectiva es fundamental para responder los cuestionarios desde el punto de vista de los desafíos operacionales y las necesidades de un nuevo proceso de inspección.
- Buzos de la ARC: Constituyen un grupo vital, ya que son quienes ejecutan las inspecciones subacuáticas. Su experiencia en el campo provee una visión de primera mano sobre las limitaciones de los métodos actuales y la viabilidad de implementar nuevas técnicas.
- Personal experto en mantenimiento y pruebas no destructivas: Este grupo aporta la perspectiva técnica y de ingeniería, esencial para evaluar la factibilidad de adopción de una nueva técnica de inspección.

La selección de esta población garantiza una visión integral, que abarca desde la perspectiva estratégica y operacional hasta la técnica, lo cual es fundamental para un trabajo en gerencia de proyectos.

### **3.3.2 Población Conformada Por Las Unidades a flote**

- Unidades a flote de la Guarnición de Cartagena: Se realiza la clasificación de las unidades que pertenecen a la Fuerza Naval del Caribe, específicamente de aquellas unidades operativas que tienen como atracadero los muelles de la Base Naval ARC Bolívar en la ciudad de Cartagena.

### **3.3.3 Cálculo y Selección de la Muestra**

Debido a la naturaleza altamente especializada del tema, la selección de la muestra no fue aleatoria, sino que se realizó mediante un muestreo no probabilístico, intencional y por conveniencia. En el primer caso, se seleccionaron a los participantes con experiencia, conocimiento técnico y rol estratégico en la institución. Se estima un grupo de 12 expertos para la aplicación de la metodología DELPHI. La finalidad de esta muestra es obtener una visión integral y profunda del fenómeno de estudio, garantizando que la información recopilada sea de alta calidad y relevancia. Los criterios para la selección de los participantes fueron los siguientes:

- Experiencia relevante: Los participantes fueron seleccionados por su trayectoria de al menos 5 años en el campo del mantenimiento naval, operaciones subacuáticas o gerencia de proyectos en el ámbito militar.
- Conocimiento técnico: Se incluyó a individuos con un amplio conocimiento en los procedimientos de inspección y de las pruebas no destructivas.
- Rol estratégico: Se priorizó a los participantes que ocupan roles en la toma de decisiones o que tienen una influencia directa en los procesos de mantenimiento y seguridad.

Como se describió anteriormente, la muestra está compuesta por un grupo de 12 expertos, Este tamaño de muestra, aunque reducido en términos estadísticos, es óptimo para la metodología cualitativa, ya que permite la profundidad en el logro de un consenso en el método Delphi. El objetivo es la obtención de información de alta calidad, que refleje el concepto entre los especialistas, lo cual es un aporte directo a la sublínea de investigación.

Para el segundo caso se tomaron las unidades con capacidades operativas relevantes y que son fundamentales para el cumplimiento de la misión institucional, quedan por fuera del análisis unidades pequeñas que son usadas para transporte de personal en trayectos cortos o son unidades tipo bote.

#### ***3.3.4 Área Geográfica de la Muestra***

El estudio fue realizado en la ciudad de Cartagena, específicamente en la Base Naval ARC Bolívar, debido a que, en primera instancia, allí se encuentran las unidades que fueron parte del estudio y por ende, parte de su tripulación estuvo en la lista de encuestados, por otro lado es en esta ciudad donde se encuentra el mayor de los astilleros que recibe esta flota para su mantenimiento y por lo mismo, allí se encuentra en personal experto en este tema, y también porque en la Base Naval se encuentra el Departamento de Buceo y Salvamento, donde está el personal experto en el área del buceo y mantenimiento subacuático de la ARC.

### **3.4 Instrumentos**

### **3.5 Descripción Del Procedimiento**

El procedimiento de recolección de información se estructuró en dos partes principales, de acuerdo con la naturaleza cualitativa y cuantitativa de las variables. La primera parte se centró en la recopilación de datos primarios a través de la interacción con los expertos, mientras que la segunda parte fue dedicada a la obtención de información descriptiva y de referencia a partir de fuentes secundarias, como lo fue la información de las unidades a flote.

El procedimiento general diseñado para cumplir con los objetivos del estudio es el siguiente:

- **Identificación y selección de la muestra:** Con base en los criterios de selección definidos, se identificaron a los expertos con la trayectoria y el conocimiento necesarios para participar en el estudio.
- **Aplicación del método DELPHI:** A los expertos seleccionados se les invitó a participar en el proceso DELPHI, este método consistió en realizar dos ciclos de preguntas con el que se decantaron el nivel de conocimiento técnico sobre el tema abordado y las percepciones sobre la nueva técnica de inspección planteada.
- **Clasificación y descripción de las unidades a flote de la Armada Nacional:** a través la organización taxonómica general de las unidades a flote en la guarnición de Cartagena se verificará la viabilidad del uso de las partículas magnéticas subacuáticas en dichas unidades.

- Fechas de recolección de la muestra: Para el diligenciamiento de la encuesta con el método Delphi, la primera etapa de preguntas se desarrolló entre la primera y segunda semana de abril del 2025, la segunda fase de preguntas entre la segunda semana de abril y la primera semana de mayo del 2025. Para la elaboración de la taxonomía de las unidades, se tomó todo el mes de mayo del 2025.

### ***3.5.1 Aplicación de Encuesta Por Medio de la Metodología DELPHI***

La metodología DELPHI fue empleada como un instrumento clave para el primer objetivo específico, que busca obtener un consenso técnico entre los expertos sobre el tema de estudio. La aplicación de este método se llevó a cabo en dos fases principales:

- Primera Fase (Ronda 1): El instrumento consistió en un cuestionario con preguntas abiertas que se enviaron a cada uno de los expertos seleccionados.
- Segunda Fase (Ronda 2): Con las respuestas de la primera fase, se realizó un resumen de los puntos más relevantes, de los argumentos a favor y en contra de ciertas ideas, y de los temas emergentes, con ello se elaboro un nuevo ciclo de preguntas.

### ***3.5.2 Contexto de la Primera Fase (Ronda 1):***

- Tema: Efectos e implicaciones en el aseguramiento de calidad en unidades a flote de la Armada Nacional de Colombia

- Elaboración de cuestionario: Se elabora una primera ronda de preguntas con el fin de conocer el nivel de conocimiento técnico del tema planteado en los encuestados. Contará con la siguiente metodología
  - a). Aplicación en formato digital Forms de office (figura 4).
  - b). Enlace enviado por correo electrónico o por WhatsApp
  - c). Tiempo estimado por persona: 10 a 15 minutos

Se aplica a la muestra seleccionada, el objetivo es que cada participante exprese libremente su punto de vista y su conocimiento sobre el tema de las pruebas no destructivas y su aplicación en el contexto de la ARC. Esta fase busca generar una amplia gama de ideas y argumentos sin la influencia de opiniones ajenas. En el anexo 1, se muestra el cuestionario realizado.

## Figura 4

*Primera fase del cuestionario realizado en Forms de office*

**Percepción del aseguramiento de calidad en las unidades a flote de la ARC**

Este encuesta está direccionada para conocer la percepción sobre el aseguramiento de calidad en la gestión del mantenimiento subacuático en las unidades a flote de la Armada Nacional (específicamente para las unidades de la cuarnición de Cartagena)

1. A qué componente pertenece? \*


Fuerte Naval del Caribe

Fuerte Naval del Pacifico

4. Dentro del aseguramiento de la calidad y enfocada a la gestión del mantenimiento, se encuentran las pruebas no destructivas, ¿conoce alguna de estas pruebas no destructivas? \*

Inspección visual

Tests penetrantes



Fuente: Adaptación propia a partir de forms de office

### 3.5.3 Segunda Fase (Ronda 2): Nuevo Ciclo de Preguntas

Con las respuestas de la primera fase, se realizó una organización con los puntos más relevantes. El objetivo de esta fase fue obtener una convergencia de opiniones para recibir la percepción de cada experto con respecto a la nueva técnica de inspección plateada. Conto con la misma metodología que la de la primera fase:

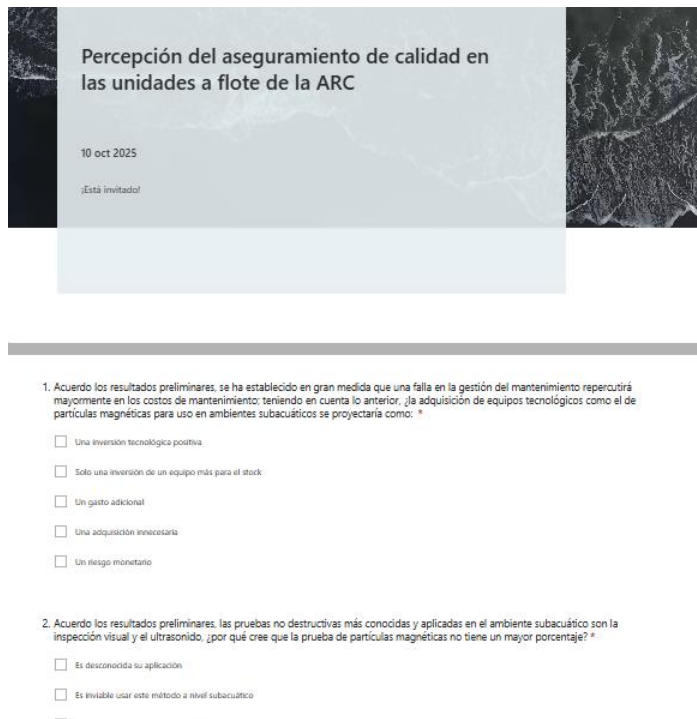
- Aplicación en formato digital Forms de office. (figura 5)
- Enlace enviado por correo electrónico o por WhatsApp

c). Tiempo estimado por persona: 10 a 15 minutos

En el anexo 2 se muestra el cuestionario realizado.

## Figura 5

*Segunda fase del cuestionario realizado en Forms de office*



The image shows a screenshot of a Google Forms survey. The title is "Percepción del aseguramiento de calidad en las unidades a flote de la ARC". The date is "10 oct 2025" and it says "¡Esta invitado!". The survey contains two questions with multiple-choice options.

1. Acuerdo los resultados preliminares, se ha establecido en gran medida que una falla en la gestión del mantenimiento repercutirá mayormente en los costos de mantenimiento; teniendo en cuenta lo anterior, ¿la adquisición de equipos tecnológicos como el de partículas magnéticas para uso en ambientes subacuáticos se proyectaría como: \*

- Una inversión tecnológica positiva
- Solo una inversión de un equipo más para el stock
- Un gasto adicional
- Una adquisición innecesaria
- Un riesgo monetario

2. Acuerdo los resultados preliminares, las pruebas no destructivas más conocidas y aplicadas en el ambiente subacuático son la inspección visual y el ultrasonido, ¿por qué cree que la prueba de partículas magnéticas no tiene un mayor porcentaje? \*

- Es desconocida su aplicación
- Es inviable usar este método a nivel subacuático

Fuente: Adaptación propia a partir de forms de office

### ***3.5.4 Relación de los factores de conocimiento técnico con respecto a los factores de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote***

Una vez se cuenta con las respuestas de la primera y segunda fase de la encuesta, se procede a realizar verificación de las preguntas directamente asociadas a la técnica de partículas magnéticas con el fin relacionar un algún grado de incidencia del personal experto hacia mencionada técnica de PND y que se muestra en el análisis de los resultados.

### ***3.5.5 Clasificación de Las Unidades a Flote***

Esta clasificación se realiza tomando las unidades que actualmente están en operación en Cartagena y que atracan en la Base Naval ARC Bolívar, se ha descartado de este listado las unidades a flote tipo lanchas debido a la facilidad de ser puestas en tierra para su mantenimiento.

Esta aproximación taxonómica permite estructurar la información de la flota de manera detallada y facilita el análisis de las variables críticas para el proyecto. En este caso, la clasificación se basa en las siguientes categorías de la tabla proporcionada:

- Tipo de Unidad: Identifica el rol principal de cada embarcación (fragata, submarino, patrullero, buque de entrenamiento, etc.).
- Designador de Raíz: Proporciona un código alfanumérico que define de forma estandarizada la función de cada unidad (FF para fragatas, SS para submarinos) (Armada Nacional , 2022).

- Tipo de Casco: Esta es la variable más crítica para la monografía, ya que determina la viabilidad de aplicación de la nueva técnica de inspección. La clasificación en casco de acero y casco de aluminio es fundamental para delimitar el alcance del proyecto ya que, esta técnica es aplicable únicamente en materiales ferromagnéticos; “los materiales ferromagnéticos incluyen a la mayoría de las aleaciones de hierro, cobalto, níquel” (Echavarría, 2011, pág. 7). Así mismo, esta taxonomía permite aprovechar la técnica de aplicación de partículas magnéticas al conocer plenamente sus limitaciones, tales como las que describe (Echavarría, 2011, pág. 7) Los materiales no ferromagnéticos no pueden ser inspeccionados por este método como aluminio y aleaciones de aceros inoxidables austeníticos.

La clasificación detallada de la flota, como se presenta en la Tabla 2, sirve como la base para el análisis cuantitativo del proyecto. Al categorizar las unidades por estas características técnicas, se hace posible no solo describir la composición de la flota, sino también identificar con precisión las unidades aplicables a la inspección con partículas magnéticas, lo que es esencial para la gestión de riesgos y responde a uno de los objetivos del documento.

**Tabla 2**

*Taxonomía de las unidades a flote en la guarnición de Cartagena*

Ítem	tipo de unidad	Designador de raíz	Clase	Nombre	Tipo de casco
1				ARC Almirante Padilla	casco en acero
2	Fragata	FF	Almirante	ARC Caldas	casco en acero
3			Padilla	ARC Antioquia	casco en acero
4				ARC Independiente	casco en acero
5	Corbeta	FS	Almirante Tono	ARC "Tono"	casco en acero
6			209	ARC Pijao	casco en acero
7	Submarino	SS		ARC Tayrona	casco en acero
8			206	ARC Intrépido	casco en acero

---

9				ARC Indomable	casco en acero
10				ARC 20 De Julio	casco en acero
11	Patrullero de alta mar	PSO	OPV-80	ARC Victoria	casco en acero
12				ARC 24 de Julio	casco en acero
13	Patrullero de costa	PB	Juan N. Eslava	ARC José María García de Toledo	casco en aluminio
14			CPV-1	ARC 11 de Noviembre	casco en acero
15	Buque de entrenamiento	AX	Gloria	ARC Gloria	casco en acero
16	Buque de investigación Oceanográfico polar	AGOB	Simón Bolívar	ARC Simón Bolívar	casco en acero
17	Buque de apoyo a la investigación	AGOR	Caribe	ARC Caribe	casco en acero
18	Oceanográfico		Roncador	ARC Roncador	casco en acero

---

---

19			Providencia	ARC Providencia	casco en acero
20	Buque balizador	ABUD	Isla Albuquerque	ARC Isla Albuquerque	casco en acero
21	Pilot	YGS	Isla Tesoro	ARC Isla Tesoro	casco en aluminio
22				ARC Isla Fuerte	casco en aluminio
23	Buque de desembarco	LC	BDA	ARC Golfo de Urabá	casco en acero
24	Anfibio			ARC Golfo de Morrosquillo	casco en acero

---

Fuente: Adaptación propia a partir del Extracto de Doctrina de Material Naval. Tomo I. Generalidades. Segunda Edición. 2022. Versión Final Preliminar. (3) (FP11MAY2023).

### 3.6 Codificación De Los Datos

Para el desarrollo de esta etapa y los posteriores análisis se utiliza el software JASP. Este software estadístico permite determinar relaciones entre variables y hacer predicciones, y además de que es gratuito, “cuenta con una interfaz amigable e intuitiva para el usuario, incluso para aquellos que dan sus primeros pasos en la estadística o para quienes no somos estadísticos de profesión, lo cual permite su rápida comprensión” (Villena, 2019, pág. 113)

### 3.6.1 Codificación Para la Encuesta DELPHI -Primera Fase de Preguntas

Primero se recopilaron los datos a través de la herramienta Microsoft Forms, exportando los resultados a un archivo en Excel (figura 6). Posteriormente, se realizó la codificación de los datos, asignando valores numéricos a las respuestas (figura 7). Cabe resaltar que algunas preguntas permitían seleccionar varias opciones de respuesta al mismo tiempo; por esta razón, fue necesario enumerar todas las respuestas de cada encuestado en lugar de registrar una sola opción.

**Figura 6**

*Organización de los datos en Excel*

	C	D	E	F	
	Nivel de formación académica:	Si se presenta una falla en la gestión del mantenimiento, ¿Cuál es la repercusión en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la Armada Nacional? (1)	Si se presenta una falla en la gestión del mantenimiento, ¿Cuál es la repercusión en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la Armada Nacional? (2)	Si se presenta una falla en la gestión del mantenimiento, ¿Cuál es la repercusión en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la Armada Nacional? (3)	Si se presenta una falla en la gestión del mantenimiento, ¿Cuál es la repercusión en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la Armada Nacional? (4)
1					
2	Profesional	Perdida de la capacidad operativa	Mayores costos de mantenimiento		
3	Tecnológica	Perdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Deterioro en la vida útil de la unidad	Ma
4	Maestría	Deterioro en la vida útil de la unidad	Mayores costos de mantenimiento		
5	Tecnológica	Perdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Deterioro en la vida útil de la unidad	Ma
6	Maestría	Perdida de la capacidad operativa			
7	Tecnológica	Mayores costos de mantenimiento			
8	Especialización	Deterioro en la vida útil de la unidad	Mayores costos de mantenimiento		
9	Tecnológica	Perdida de la capacidad operativa			
10	Profesional	Perdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Deterioro en la vida útil de la unidad	Ma
11	Maestría	Perdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Deterioro en la vida útil de la unidad	Ma
12	Profesional	Riesgo de una falla catastrófica			
13	Profesional	Mayores costos de mantenimiento			
14					
15					
16					
17					

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7**

*Asignación de códigos*

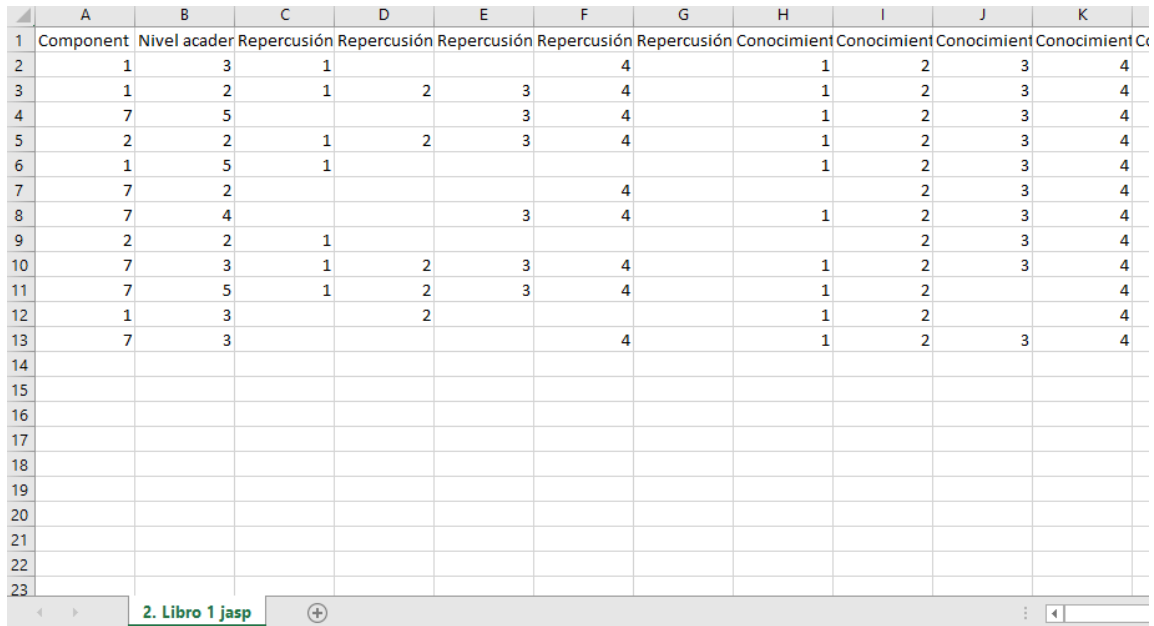
12	Nivel academico		
13	Tecnica	1	
14	Tecnologica	2	
15	Profesional	3	Variable Ordinal Tiene jerarquia en la formación
16	Especializacion	4	
17	Maestria	5	
18			
19			
20	Repercusión		
21	Perdida de la capacidad operativa	1	
22	Riesgo de una falla catastrofica	2	
23	Deterioro en la vida util de la unidad	3	variable cualitativa donde la magnitud no implica
24	Mayores costos de mantenimiento	4	
25	Mejora en el bienestar por el tiempo de	5	
26			
27			
28			
29			
30	Conocimiento PND (pruebas no destructivas)		
31	Inspeccion visual	1	
32	Tintas penetrantes	2	
33	Particulas magneticas	3	variable cualitativa donde la magnitud no implica
34	Ultrasonido	4	
35	Radiografia industrial	5	
36			
37			
38			

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, los valores numéricos se trasladaron a un nuevo formato y se guardaron en un archivo CSV delimitado por comas, con el fin de realizar la carga en el software de análisis estadístico JASP para su respectivo análisis.

**Figura 8**

*Archivo CSV delimitado por comas*



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Component	Nivel acader	Repercusión	Repercusión	Repercusión	Repercusión	Repercusión	Conocimient	Conocimient	Conocimient	Conocimient
2	1	3	1			4		1	2	3	4
3	1	2	1	2	3	4		1	2	3	4
4	7	5			3	4		1	2	3	4
5	2	2	1	2	3	4		1	2	3	4
6	1	5	1					1	2	3	4
7	7	2				4			2	3	4
8	7	4			3	4		1	2	3	4
9	2	2	1						2	3	4
10	7	3	1	2	3	4		1	2	3	4
11	7	5	1	2	3	4		1	2		4
12	1	3		2				1	2		4
13	7	3				4		1	2	3	4
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											

Fuente: Elaboración propia

Después, el archivo fue cargado al software de análisis estadístico JASP para realizar la decodificación de los datos, es decir, traducir los valores numéricos previamente asignados a las respuestas en sus categorías originales. Este procedimiento permitió interpretar los resultados del análisis de manera comprensible y presentarlos en términos significativos para la investigación como se observa en la Figura 9.

**Figura 9**

*Datos cargados al software JASP*

	Componente	Nivel academico	Repercusion (1)	Repercusion (2)	Repercusion (3)	
1	Fuerza Naval del Caribe	1 Profesional	3 Perdida de la capacidad operativa	1 .	.	
2	Fuerza Naval del Caribe	1 Tecnologica	2 Perdida de la capacidad operativa	1 Riesgo de una falla catastrofica	2 Deterioro en la vida util de la unidad	3
3	Otro	7 Maestria	5 .	.	Deterioro en la vida util de la unidad	3
4	Fuerza Naval del Pacifico	2 Tecnologica	2 Perdida de la capacidad operativa	1 Riesgo de una falla catastrofica	2 Deterioro en la vida util de la unidad	3
5	Fuerza Naval del Caribe	1 Maestria	5 Perdida de la capacidad operativa	1 .	.	
6	Otro	7 Tecnologica	2 .	.	.	
7	Otro	7 Especializacion	4 .	.	Deterioro en la vida util de la unidad	3
8	Fuerza Naval del Pacifico	2 Tecnologica	2 Perdida de la capacidad operativa	1 .	.	
9	Otro	7 Profesional	3 Perdida de la capacidad operativa	1 Riesgo de una falla catastrofica	2 Deterioro en la vida util de la unidad	3
10	Otro	7 Maestria	5 Perdida de la capacidad operativa	1 Riesgo de una falla catastrofica	2 Deterioro en la vida util de la unidad	3
11	Fuerza Naval del Caribe	1 Profesional	3 .	Riesgo de una falla catastrofica	2 .	
12	Otro	7 Profesional	3 .	.	.	
13						
14						

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 10 se evidencia que los datos fueron decodificados siguiendo el debido proceso metodológico aplicado en el ejercicio. Este procedimiento permitió recuperar el significado original de las respuestas a partir de los valores numéricos asignados durante la codificación, garantizando así una interpretación precisa y coherente de la información.

**Figura 10**

*Datos decodificados*

Componente	Nivel académico	Reparación (1)	Reparación (2)	Reparación (3)	Reparación (4)	Reparación (5)	Conocimiento PND (grubas no destructi...	Conocimiento PND (grubas no destructi...	Conocimiento PND (grubas no destructi...	Conocimiento PND (grubas no destructi...
1 Flota Naval del Caribe	Profesional	Pérdida de la capacidad operativa	No	No	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
2 Flota Naval del Caribe	Tecnológica	Pérdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
3 Otro	Más allá	No	No	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
4 Flota Naval del Pacífico	Tecnológica	Pérdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
5 Flota Naval del Caribe	Más allá	Pérdida de la capacidad operativa	No	No	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
6 Otro	Tecnológica	No	No	No	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
7 Otro	Especialización	No	No	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
8 Flota Naval del Pacífico	Tecnológica	Pérdida de la capacidad operativa	No	No	No	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
9 Otro	Profesional	Pérdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido
10 Otro	Más allá	Pérdida de la capacidad operativa	Riesgo de una falla catastrófica	Defectos en la vida útil de la unidad	Mejores costos de mantenimiento	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	No	Ultrasonido
11 Flota Naval del Caribe	Profesional	No	No	No	No	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	No	Ultrasonido
12 Otro	Profesional	No	No	No	No	No	Inspección visual	Tritas penetrantes	No	Ultrasonido

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2 Codificación Para la Encuesta DELPHI – Segunda Fase de Preguntas

Para la segunda fase de recolección de información se diseñó un cuestionario en Microsoft Forms, compuesto por cuatro preguntas orientadas al objeto de estudio. Los datos obtenidos siguieron los mismos pasos para su codificación que los de primera fase. Los datos se organizaron y se exportados a un archivo en Excel, tal como se evidencia en la Figura 11. En la Figura 12 se presentan las variables identificadas, acompañadas de su respectiva codificación para el análisis. Cabe resaltar que algunas preguntas admitían la selección de múltiples opciones de respuesta de manera simultánea; por ello, fue necesario enumerar y registrar cada una de las alternativas seleccionadas por los encuestados, en lugar de consignar una única opción.

**Figura 11**

*Datos segunda fase de preguntas organizados en Excel*

	D	E	F	G	H	I
	¿Por qué cree que la prueba de partículas magnéticas no tiene un mayor porcentaje?			¿La inspección visual fue votada como el método más usado a nivel subacuático, cree que la implementación de la prueba con partículas magnéticas subacuáticas puede ser un buen complemento para la inspección visual?	Teniendo en cuenta el poco conocimiento que se tiene en la técnica de partículas magnéticas subacuáticas, usted considera que (1)	
1						
2	Es mas costoso que los otros métodos	Requiere de un equipo demasiado robusto	No hay personal capacitado en el tema			
3	No	No	No	Siempre		Con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable
4	No	No	No	Casi siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
5	No	No	No	Siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
6	No	No	No	Algunas veces		Con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable
7	No	No	No	Algunas veces		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
8	No	No	No	Siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
9	No	No	No	Siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
10	No	No	No hay personal capacitado en el tema	Siempre		Con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable
11	No	No	No	Casi siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
12	No	No	No hay personal capacitado en el tema	Siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
13	No	No	No hay personal capacitado en el tema	Casi siempre		Con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable
14	No	No	No	Algunas veces		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
15	No	No	No	Siempre		Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas

Fuente: Elaboración propia

**Figura 12**

*Variables identificadas y codificación*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9	Percepcion PM								
10	Es desconocida su aplicación	1							
11	No	2							
12	Percepcion PM								Variable: Cualitativa ordinal, se mide con categorías de nivel
13	Es inviable usar este método a nivel subacuático	1							
14	No	2							
15	Percepcion PM								
16	Es mas costoso que los otros métodos	1							
17	No	2							
18	Percepcion PM								
19	Requiere de un equipo demasiado robusto	1							
20	No	2							
21	Percepcion PM								
22	No hay personal capacitado en el tema	1							
23	No	2							
24									
25	Complementariedad con inspección visual								
26	Siempre	1							
27	Casi siempre	2							
28	Algunas veces	3							Variable: Cualitativa ordinal, se mide con categorías de nivel
29	Casi nunca	4							
30	Nunca	5							
31									
32									
33	Consideración partículas magnéticas subacuáticas								
34	No es adecuado implementarla	1							
35	Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas	2							
36	Necesita de mayor estado de investigación	3							Variable: Cualitativa ordinal, se mide con categorías de nivel

Fuente: Elaboración propia

**Figura 13**

*Códigos asignados*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Proyección d	Percepcion F	Percepcion F	Percepcion F	Percepcion F	Percepcion F	Complemen	Consideración	partículas magnéticas	subacuáticas	
2											
3	1	1	2	2	2	2	1	4			
4	1	1	2	2	2	2	2	2			
5	1	1	2	2	2	2	1	2			
6	1	1	2	2	2	2	3	4			
7	1	2	1	2	2	2	3	2			
8	1	1	2	2	2	2	1	2			
9	1	1	2	2	2	2	1	2			
10	1	1	2	2	2	1	1	4			
11	1	1	2	2	2	2	2	2			
12	1	1	2	2	2	1	1	2			
13	1	2	2	2	2	1	2	4			
14	1	1	2	2	2	2	3	2			
15	1	1	2	2	2	2	1	2			
16											

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13 se muestra la construcción del nuevo archivo con los datos transformados en formato numérico, el cual fue guardado en formato CSV con el fin de ser cargado y analizado posteriormente en el software estadístico JASP.

**Figura 14**

*Proceso de cargue al software JASP*

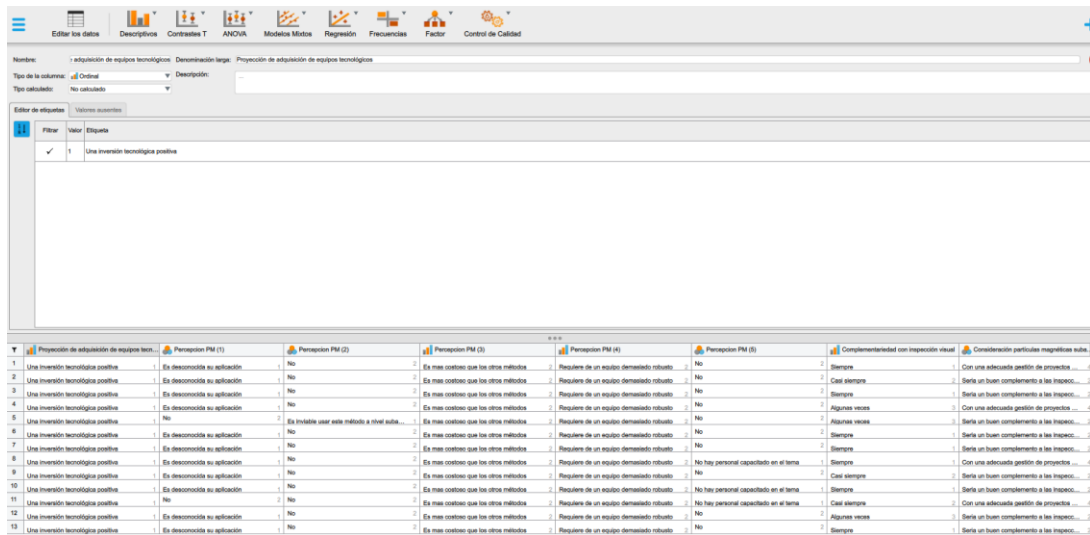
	Proyección de adquisición de equipos te...	Percepcion PM (1)	Percepcion PM (2)	Percepcion PM (3)	Percepcion PM (4)
1	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
2	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
3	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
4	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
5	Una inversión tecnológica positiva 1	No 2	Es inviable usar este método a nivel su... 1	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
6	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
7	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
8	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
9	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
10	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
11	Una inversión tecnológica positiva 1	No 2	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
12	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
13	Una inversión tecnológica positiva 1	Es desconocida su aplicación 1	No 2	Es mas costoso que los otros métodos 2	Requiere de un equipo demasiad 2
14					

Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 muestra el proceso de cargue del archivo en la plataforma JASP, con el propósito de proceder a su decodificación y análisis de manera estructurada.

**Figura 15**

*Decodificación en JASP*



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Figura 15 se presenta la decodificación realizada en JASP, proceso clave para organizar la información en variables cuantificables que aseguran la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación.

### 3.6.3 Codificación Para la Relación Entre Fase 1 y Fase 2

Para esta relación, se escogieron los datos con mayor grado de respuesta y se siguieron los mismos pasos para su codificación que los de primera fase y segunda fase hasta incorporarlas al software JASP, las preguntas 7 y 10 de la primera fase que están relacionadas directamente a las PND y las 1 y 3 de la segunda fase que se relacionan específicamente a la de partículas magnéticas subacuáticas. Figura 16.

**Figura 16**

*Decodificación en JASP*

	7. pruebas no destructivas -efecto positivo	10. Part. mag. sub. aporta al manteni...	1. la adqul. de equipos tecnol.gicos	3. Part. magnet.subac. complemento	
1	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
2	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Casi siempre	2
3	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
4	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Algunas veces	3
5	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Algunas veces	3
6	Siempre	1 algunas veces	3 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
7	Siempre	1 Casi siempre	2 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
8	Siempre	1 algunas veces	3 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
9	Siempre	1 Casi siempre	2 Inversion tec. positiva	1 Casi siempre	2
10	Siempre	1 Siempre	1 Inversion tec. positiva	1 Siempre	1
11	Siempre	1 Casi siempre	2 Inversion tec. positiva	1 Casi siempre	2
12	Siempre	1 algunas veces	3 Inversion tec. positiva	1 Algunas veces	3

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado se buscó la relación entre las respuestas más votadas de la primera fase, en este caso la pregunta 3 fue enfocada por tener en cuenta que una de las mayores repercusiones para la gestión del mantenimiento es la generación de mayores costos de mantenimiento; esta se relacionó con la respuesta a la pregunta 2 de la fase 2 que hace referencia a que el desconocimiento de la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas es la percepción de no obtener mayor porcentaje como una técnica adecuada para el uso subacuático. Para llevar a cabo esta relación, se aplica una tabla de contingencia en JASP.

**Figura 17**

*Ubicación de los datos para el análisis en JASP*

	Rep. Mayor cost. matto	Percep. PM. desconocida su aplicacion	Percepcion PM. inviable su uso	Percepcion PM. mayor costo	Percepcion PM. equipo robusto	Percepcion PM no hay personal cap.
1	Si	Si	No	No	No	No
2	Si	Si	No	No	No	No
3	Si	Si	No	No	No	No
4	Si	Si	No	No	No	No
5	No	No	Si	No	No	No
6	Si	Si	No	No	No	No
7	Si	Si	No	No	No	No
8	No	Si	No	No	No	Si
9	Si	Si	No	No	No	No
10	Si	Si	No	No	No	Si
11	No	No	No	No	No	Si
12	Si	Si	No	No	No	No

Fuente: elaboración propia

### 3.6.4 Codificación Para la Tabla de Taxonomía

Al tener una tabla con la taxonomía de las unidades a flote, hay que enfocarse en los aspectos que, para efectos puntuales del aporte al trabajo son más relevantes, por ello se crea una nueva tabla Excel donde se colocan los 2 temas relevantes: el nombre de la unidad a flote y el tipo de casco que tiene (ver Figura 18).

**Figura 18**

*Tabla depurada*

	Nombre	Tipo de casco
4	ARC Almirante Padilla	casco en acero
5	ARC Caldas	casco en acero
6	ARC Antioquia	casco en acero
7	ARC Independiente	casco en acero
8	ARC "Tono"	casco en acero
9	ARC Pjao	casco en acero
10	ARC Tayrona	casco en acero
11	ARC Intrépido	casco en acero
12	ARC Indomable	casco en acero
13	ARC 20 De Julio	casco en acero
14	ARC Victoria	casco en acero
15	ARC 24 de Julio	casco en acero
16	ARC José María García de Toledo	casco en aluminio
17	ARC 11 de Noviembre	casco en acero
18	ARC Gloria	casco en acero
19	ARC Simón Bolívar	casco en acero
20	ARC Caribe	casco en acero
21	ARC Roncador	casco en acero
22	ARC Providencia	casco en acero
23	ARC 1 de Agosto	casco en acero

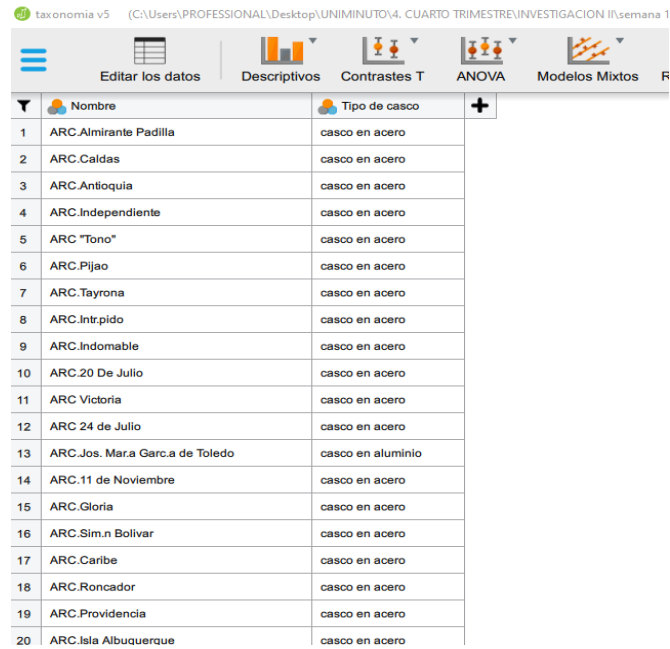
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado este paso, se procede a guardar el Excel en formato CSV con el que se podrá trabajar en la plataforma JASP.

Una vez abierto se verifica la clasificación de las variables para que JASP pueda hacer el análisis (figura 19).

**Figura 19**

*Tabla abierta en JASP*



The image shows a screenshot of the JASP software interface. At the top, there is a menu bar with options: 'Editar los datos', 'Descriptivos', 'Contrastes T', 'ANOVA', and 'Modelos Mixtos'. Below the menu bar is a table with the following data:

	Nombre	Tipo de casco
1	ARC.Amirante Padilla	casco en acero
2	ARC.Caldas	casco en acero
3	ARC.Antioquia	casco en acero
4	ARC.Independiente	casco en acero
5	ARC."Tono"	casco en acero
6	ARC.Pijao	casco en acero
7	ARC.Tayrona	casco en acero
8	ARC.Intr.pido	casco en acero
9	ARC.Indomable	casco en acero
10	ARC.20 De Julio	casco en acero
11	ARC.Victoria	casco en acero
12	ARC.24 de Julio	casco en acero
13	ARC.Jos. Mar.a Garc.a de Toledo	casco en aluminio
14	ARC.11 de Noviembre	casco en acero
15	ARC.Gloria	casco en acero
16	ARC.Sim.n Bolivar	casco en acero
17	ARC.Caribe	casco en acero
18	ARC.Roncador	casco en acero
19	ARC.Providencia	casco en acero
20	ARC.Isla Albuquerque	casco en acero

Fuente: Elaboración propia

## **4 Análisis de la Información**

Se describen los resultados de los análisis realizados tanto para la encuesta como para la clasificación de las unidades usando el software JASP.

### **4.1 Análisis de Las Encuestas**

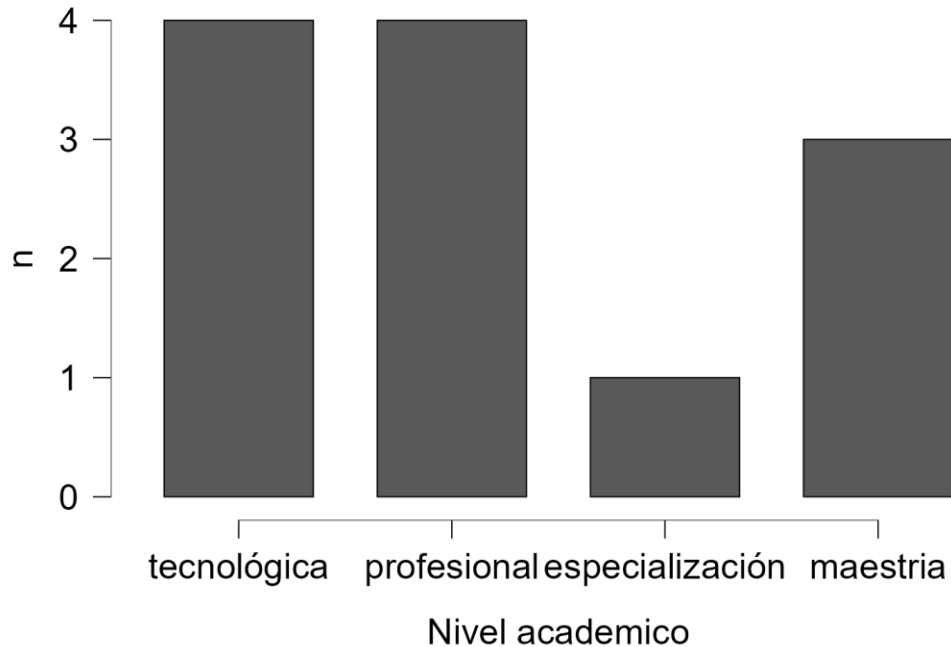
Luego de que la información se ha organizado en JASP, se procede al análisis de las encuestas realizadas con el método Delphi, se utiliza la exploración descriptiva que ofrece JASP.

#### ***4.1.1 Análisis Para la Primera Fase de Preguntas***

- a) Perfil de los Expertos Consultados: Para contextualizar los resultados, se analizó primero el perfil académico del panel de expertos. Esta distribución es clave para entender el nivel de formación y experiencia que respalda las opiniones recopiladas.

**Figura 20**

*Distribución del Nivel Académico*



Fuente: Elaboración propia

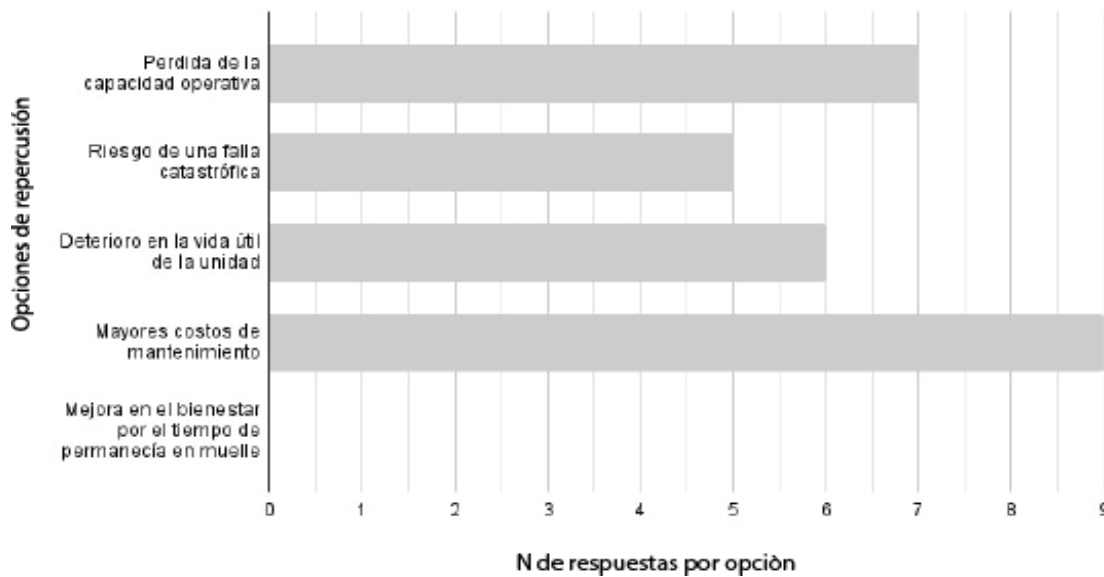
Como se observa en la Figura 20, el panel de expertos presenta una sólida base tecnológica y de formación superior. Esta diversidad garantiza una perspectiva equilibrada, que combina el conocimiento práctico de campo con la visión estratégica y de gestión, aportando una mayor solidez a los hallazgos del estudio.

- b) Puntos de vista sobre las repercusiones de fallas en el mantenimiento: Se consultó a los expertos sobre las consecuencias más críticas derivadas de una gestión deficiente del mantenimiento. Dado que podían seleccionar múltiples opciones, se desglosa la

frecuencia con la que cada repercusión fue mencionada, permitiendo identificar las áreas de mayor preocupación.

**Figura 21**

*Repercusión de los efectos en la pérdida de la capacidad operativa*



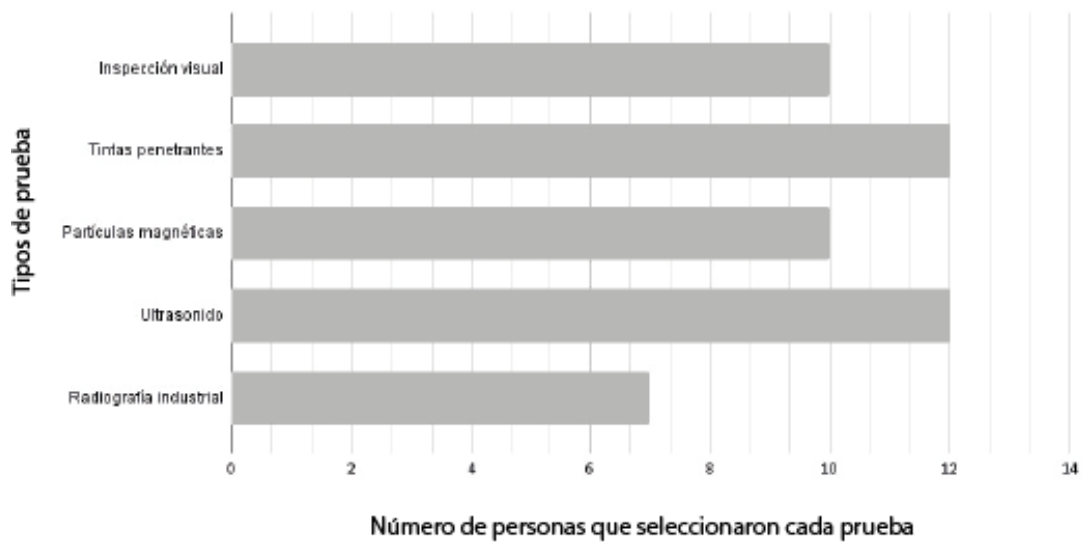
Fuente: Elaboración propia

El análisis revela un claro consenso sobre las amenazas más significativas, los mayores costos de mantenimiento y la pérdida de la capacidad operativa fueron las consecuencias más seleccionadas por los expertos, indicando que los impactos directos en la operatividad y el presupuesto son las principales preocupaciones.

c) Conocimiento Sobre Pruebas no Destructivas (PND): Esta sección evalúa el grado de familiaridad de los expertos con las diferentes PND disponibles. La figura 22 muestra la frecuencia con la que cada método es reconocido por el panel.

**Figura 22**

*Conocimiento de las pruebas no destructivas*



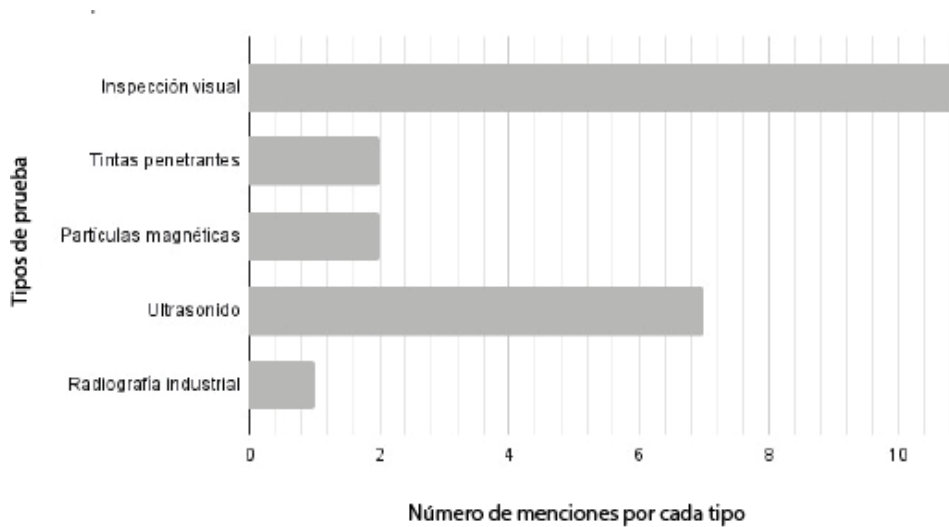
Fuente: Elaboración propia

Los resultados demuestran que la Inspección por Ultrasonido y las Tintas penetrantes son conocidas por todos los expertos, por otro lado, las Partículas magnéticas y la inspección visual también muestran un alto grado de reconocimiento, lo que indica que son consideradas técnicas estándar en el sector.

d) Conocimiento de las PND aplicadas en dique seco: la figura 23 muestra esta relación.

### Figura 23

*Conocimiento de las PND aplicadas en dique seco*



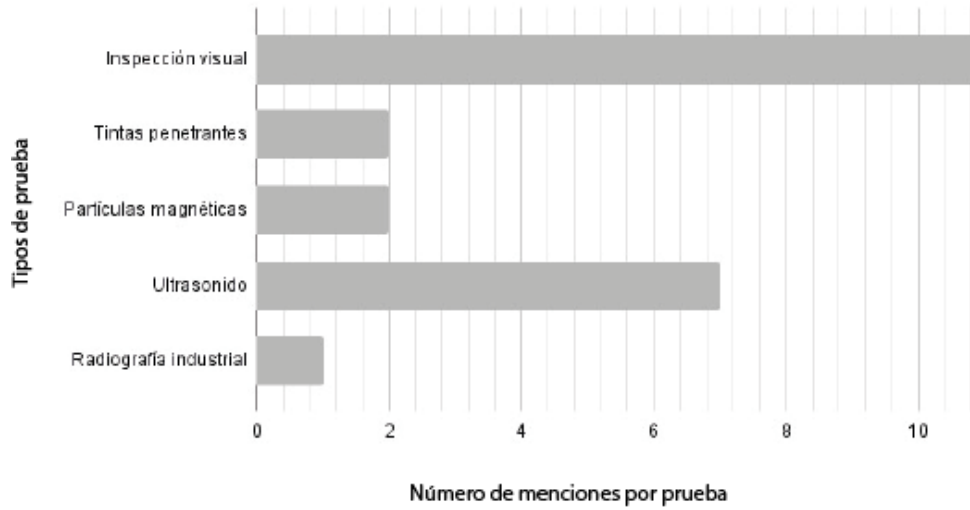
Fuente: Elaboración propia

Las pruebas más comunes en unidades a flote durante dique seco incluyen la inspección visual y las partículas magnéticas, lo que muestra su aplicabilidad y aceptación como métodos confiables en condiciones controladas.

e) Conocimiento de las PND aplicadas en ambientes subacuáticos: la figura 24 muestra los resultados.

### Figura 24

*Conocimiento de las PND aplicadas en ambientes subacuáticos*



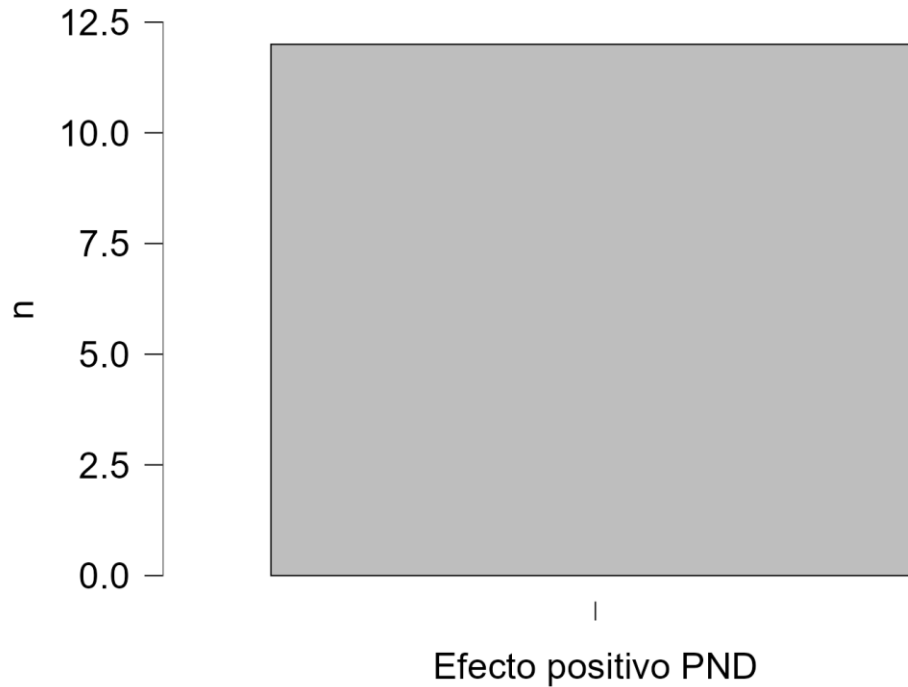
Fuente: Elaboración propia

La inspección visual es la técnica más reconocida en ambientes subacuáticos, mientras que métodos más avanzados como partículas magnéticas y ultrasonido son menos comunes, lo que sugiere oportunidades para ampliar su implementación.

- f) Efecto positivo con la aplicación de PND en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la ARC. Figura 25.

**Figura 25**

*Efecto positivo con la aplicación de PND en el aseguramiento de la calidad*



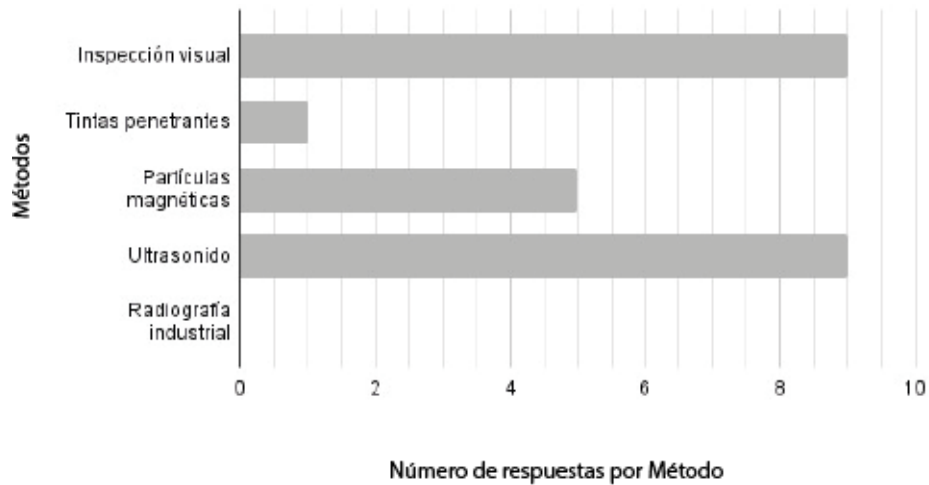
Fuente: Elaboración propia

Existe un consenso unánime y positivo respecto al impacto favorable de estas pruebas en el aseguramiento de calidad, lo cual refuerza su importancia dentro de la gestión del mantenimiento naval.

- g) El mejor método de prueba no destructiva que se puede aplicar en el ambiente subacuático. Figura 26.

**Figura 26**

*Mejor método de prueba no destructiva para aplicar en el ambiente subacuático*



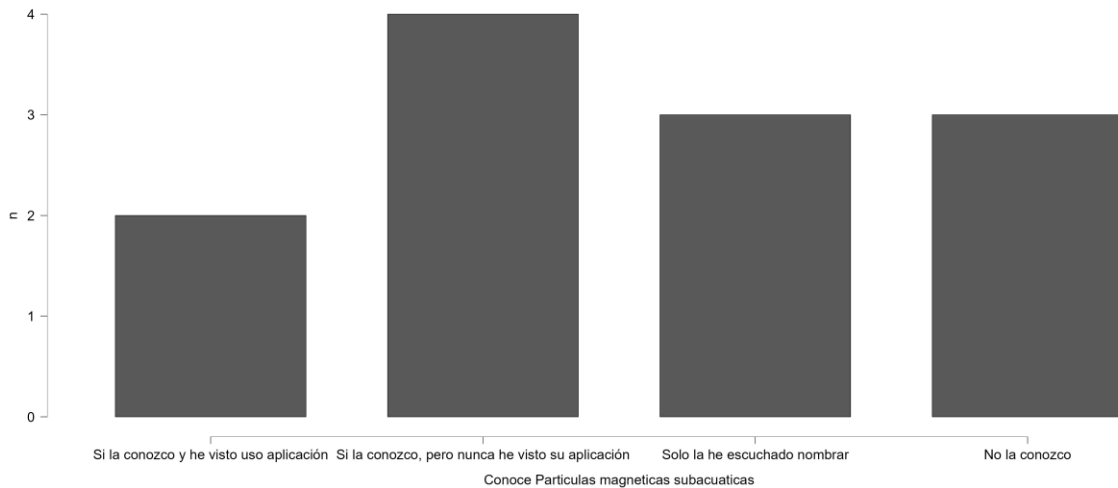
Fuente: Elaboración propia

La mayoría indicó que la inspección visual es la prueba más adecuada en contextos subacuáticos, aunque también se mencionaron con frecuencia el ultrasonido y, en menor medida, las partículas magnéticas subacuáticas. Esta preferencia por lo visual puede deberse a la familiaridad, simplicidad y rapidez, además de ser el método del que todos tienen conocimiento que se aplica en el ambiente subacuático.

- h) Conocimiento de la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático. Figura 27.

**Figura 27**

*Conocimiento de la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático*



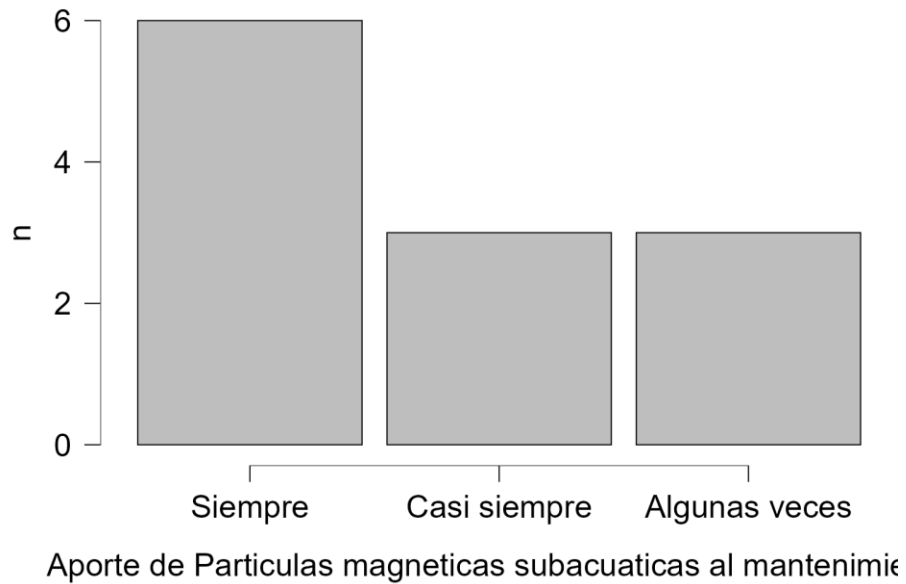
Fuente: Elaboración propia

El nivel de conocimiento sobre esta técnica es moderado, lo que indica que aún no tiene una difusión adecuada o no hay forma de conocer sobre el tema y sus ventajas, ni mucho menos una referencia de su uso y aplicabilidad en el ambiente subacuático.

- i) Aporte de la técnica de PND de partículas magnéticas aplicadas en ambientes subacuáticos en el aseguramiento de la calidad para la gestión del mantenimiento. Figura 28.

**Figura 28**

*Conocimiento de la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático*



Fuente: Elaboración propia

La mayoría considera viable el uso de esta prueba para contribuir al aseguramiento de calidad en la gestión del mantenimiento, lo que valida su potencial como método complementario en ambientes subacuáticos.

#### **4.1.2 Análisis Para la Segunda Fase de Preguntas**

Teniendo en cuenta el análisis descriptivo de JASP se realiza la tabla donde se obtiene información de un personal experto en mantenimiento y su predisposición con la técnica de partículas magnéticas subacuáticas, tabla 3.

**Tabla 3**

*Distribución de frecuencias de las variables de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de las unidades a flote hacia la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Proyección de adquisición	Inversión tecnológica positiva	12	100
Percepción de la prueba de partículas magnéticas	Es desconocida su aplicación	10	83,3
	Es inviable usar ese método	1	8,3
	No hay personal capacitado	3	25
Complementariedad con la inspección visual	Siempre	6	50
	Casi siempre	3	25
	Algunas veces	3	25
Consideración sobre las partículas magnéticas subacuáticas	Buen complemento para la inspección subacuática	8	66,66
	Con adecuada gestión es viable	4	33,33

Fuente: elaboración propia

La tabla 3 destaca que el personal encuestado tiene percepciones variadas con respecto a la técnica de partículas magnéticas y su relación con la aplicabilidad subacuática, mayormente por el poco conocimiento que tienen sobre su uso en este medio, además de tener como única referencia la técnica de inspección visual, sin embargo, es de destacar que todos los encuestados

se inclinan por una actitud positiva en cuanto a la adquisición de equipos tecnológicos en pro del beneficio del mantenimiento subacuático.

#### 4.1.3 *Análisis Para la Relación Entre Fase 1 y Fase 2*

Teniendo en cuenta el análisis descriptivo de JASP se verifica la tabla 4

**Tabla 4**

*Relación entre respuestas a preguntas fase y fase 2 de la encuesta*

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
7. PND y su efecto positivo	siempre	12	100
10. partículas magnéticas subacuáticas como aporte al mantenimiento	Siempre	6	50
	Casi siempre	3	25
	Algunas veces	3	25
1.La adquisición de equipos tecnológicos	Inversión positiva	12	100
3. Partículas magnéticas subacuáticas como complemento	Siempre	6	50
	Casi siempre	3	25
	Algunas veces	3	25

Fuente: elaboración propia.

La relación presente muestra una similitud en la respuesta en las preguntas 7 de la primera fase y la respuesta 1 de la segunda fase, mostrando que la respuesta se relaciona e interconecta con la opinión de los expertos, de la misma manera, las respuestas a las preguntas

10 de la primera fase y 3 de la segunda fase tienen la misma similitud y se relacionan directamente.

**Tabla 5**

*Tabla de contingencia*

Rep. Mayor cost. Matto		Percep. PM. desconocida su aplicación		
		No	Si	Total
No	Recuentos	2.000	1.000	3.000
	% dentro de la fila	66.667 %	33.333 %	100.000 %
Si	Recuentos	0.000	9.000	9.000
	% dentro de la fila	0.000 %	100.000 %	100.000 %
Total	Recuentos	2.000	10.000	12.000
	% dentro de la fila	16.667 %	83.333 %	100.000 %

**Tabla 6**

*Contraste chi-cuadrado*

	Valor	gl	p
X <sup>2</sup>	7.200	1	0.007
N	12		

Fuente: elaboración propia

Además de lo anterior, también, aplicando JASP, se puede establecer una medida de tipo categórico relacionando las respuestas de las preguntas de la primera fase y la segunda, para ello se utilizara la combinación de 2 variables con el fin de determinar su relación aplicando la tabla de contingencia (tabla 5), en este caso, con el uso del test de Chi cuadrado se compara la frecuencia observada con la frecuencia que se obtendría por casualidad, como se observa en la tabla 6 el valor de significancia (p) en menor que 0,05 entonces se confirmara la relación entre las respuestas de la pregunta 3 de la primera fase y la 2 de la segunda fase.

#### **4.1.4 Análisis de la Taxonomía**

Después de que la información está en JASP, se procede a establecer la tabla de frecuencia para el tipo de casco, tabla 7 y figura 29.

**Tabla 7**

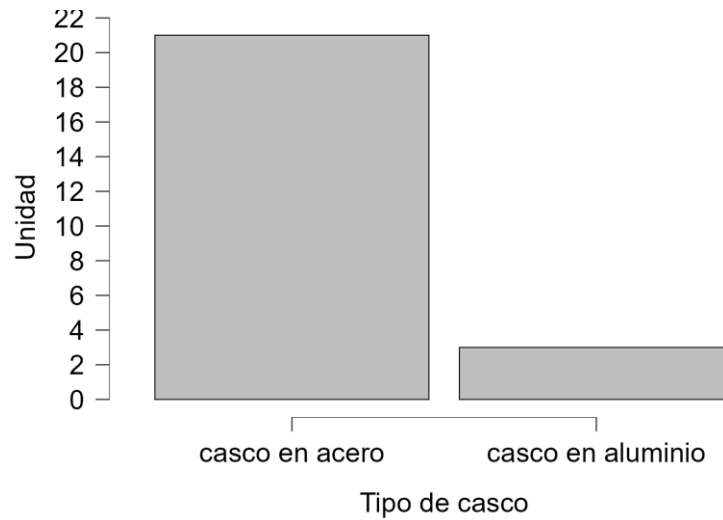
*Frecuencia para Tipo de casco*

Tipo de casco	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
casco en acero	21	87.500	87.500	87.500
casco en aluminio	3	12.500	12.500	100.000
Ausente	0	0.000		
Total	24	100.000		

Fuente: elaboración propia.

**Figura 29**

*Distribución del tipo de casco de las unidades a flote de la guarnición Cartagena*



Fuente: Elaboración propia

Tanto la tabla 7 como la figura 29 son explícitas al mostrar que hay un alto porcentaje de las unidades a flote con casco en acero, lo que permite, acuerdo las características de aplicación de la técnica de partículas magnéticas subacuáticas, que sea una técnica viable en uso para la guarnición de Cartagena.

## **5 Consideraciones Éticas**

### **5.1 Análisis de Las Consideraciones Éticas**

Este proyecto de investigación se guiará por los principios éticos establecidos por UNIMINUTO, así como por las normativas reconocidas a nivel nacional e internacional para la investigación científica. A continuación, se detalla cómo se aplicarán dichas consideraciones tanto en relación con la institución (Armada Nacional) como con el personal participante en la investigación:

### **5.2 Consentimiento Informado y Participación Voluntaria**

Todo el personal de la Armada que participa en encuestas o cualquier otra técnica de recolección de datos será informado claramente sobre los objetivos, alcances, riesgos y beneficios del estudio.

De ser necesario, y si algún participante se siente más cómodo, se solicitará su consentimiento informado por escrito, garantizando que su participación es completamente voluntaria y que puede retirarse en cualquier momento sin repercusiones, aunque previamente se informó al personal de encuestados que las respuestas no tendrían ningún tipo de información personal, las respuestas se darían en calidad de anónimos.

### **5.3 Confidencialidad y Protección de la Información**

La información recolectada se tratará con estricta confidencialidad. Los datos serán almacenados de forma segura y sólo accesibles al equipo investigador. Se emplearán

mecanismos de anonimizarían para proteger la identidad de los participantes y de las unidades a flote involucradas, en concordancia con la normativa sobre protección de datos personales.

#### **5.4 Respeto Institucional y Normativo**

Se respetará la jerarquía, disciplina y normatividad interna de la Armada Nacional de Colombia. El proyecto se desarrollará en articulación con los canales de transparencia, manteniendo el respeto por la misión, los valores institucionales y el buen nombre de la institución.

#### **5.5 Uso Ético de Los Resultados**

Los resultados obtenidos se emplearán únicamente con fines académicos, en proyección de la mejora organizacional y de fortalecimiento de los planes de mantenimiento de la flota naval. En ningún caso se utilizará la información para señalar responsables individuales, ni para fines ajenos al propósito del estudio.

#### **5.6 Pertinencia Social y Compromiso Con la Mejora Institucional**

El proyecto busca contribuir de manera directa al fortalecimiento de la gestión de mantenimiento en la Armada Nacional, generando recomendaciones útiles y aplicables. Se privilegiará una perspectiva constructiva, orientada al mejoramiento continuo, no al juicio o sanción.

## **5.7 Integridad Académica y Científica**

Se evitará cualquier forma de plagio o manipulación de resultados, en cumplimiento de los principios de honestidad investigativa y rigor académico promovidos por UNIMINUTO.

De este modo, el proyecto se desarrollará en estricto cumplimiento de los principios éticos fundamentales: respeto, responsabilidad, justicia, transparencia y compromiso social, garantizando una investigación válida, respetuosa y con impacto positivo tanto en la organización como en la comunidad científica.

## 6 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a través de la encuesta DELPHI aplicada a 12 expertos, así como el de la taxonomía de las unidades a flote usadas en el estudio.

### 6.1 Resultado Objetivo 1

El nivel de conocimiento técnico a un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote se muestra en la primera fase de la encuesta al seleccionar una muestra de 12 expertos del mantenimiento naval de los cuales el 33,33% (n=4) tenían un nivel académico de tecnólogos, otro 33,33% (n=4) eran profesionales de pregrado, un 8,33% (n=1) de ellos tenía una especialización y el 25% (n=3) contaban con una maestría. Partiendo de esta referencia en el alto nivel académico, se realiza el análisis relacionado al nivel de conocimiento directo al tema de las PND.

A la pregunta sobre la repercusión por una falla en la gestión del mantenimiento, los datos arrojados fueron que la pérdida de la capacidad operativa tuvo un 58,33% (n=7) y el mayor costo de mantenimiento con el 75% (n=9) son la mayor repercusión observable; así mismo, el conocimiento de las PND se enfoca en las tintas penetrantes y el ultrasonido con un 100% (n=12) y enfocados en el tema de estudio, las partículas magnéticas arrojaron un valor de 83,33% (n=10) lo que determina que el personal en su mayoría conoce el tema de PND y está familiarizado con la técnica de partículas magnéticas; la respuesta de conocimiento con las PND realizadas en dique seco comparten una relación similar a la anterior respuesta con un la prueba de ultrasonido y tintas penetrantes con un 91,66% (n=11) y de 75% (n=9) para las partículas magnéticas.

Una variación significativa con respecto a los anteriores resultados se acentúa cuando se hace la intervención a nivel subacuático, a la pregunta sobre el conocimiento de las PND aplicada en ambiente subacuático, las respuestas se relacionan a la inspección visual en alto valor con un 91,66% (n=11) seguido del ultrasonido con 58,33% (n=7) y las partículas magnéticas solo con un 16,66% (n=2). De la misma forma, a la pregunta sobre cuál se cree que es el mejor método PND que se puede aplicar en el ambiente subacuático, el ultrasonido y la inspección visual obtuvieron un 75% (n=9) de favorabilidad en cambio las partículas magnéticas solo un 41,66% (n=5). Lo que evidencia el bajo nivel de conocimiento sobre la técnica de partículas magnéticas aplicadas en el medio subacuático.

## **6.2 Resultado Objetivo 2**

El análisis para caracterizar la actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de las unidades a flote hacia la adopción de la PND de partículas magnéticas subacuáticas se inicia con la respuesta a la pregunta basada en conocer la opinión sobre en la adquisición de equipos tecnológicos como el de partículas magnéticas para uso en ambientes subacuáticos, lo que en un 100% (n=12) es considerada como una inversión tecnológica positiva; para el siguiente análisis, la pregunta está encaminada a los resultados preliminares sobre las PND más conocidas y aplicadas en el ambiente subacuático (inspección visual y el ultrasonido), ¿por qué cree que la prueba de partículas magnéticas no tiene un mayor porcentaje?, esa respuesta tiene en el desconocimiento de su aplicación el porcentaje más alto con un 83,33% (n=10), seguida de la respuesta de que no hay personal capacitado en este método subacuático con un 25% (n=3) y con un 1% (n=1) la inviabilidad de su aplicación. Aquí se presenta la percepción mas evidente del estudio y es la falta de conocimiento sobre el tema subacuático.

Para conocer ese grado de actitud del personal se continua con el análisis a la respuesta sobre la implementación de la prueba con partículas magnéticas subacuáticas como un buen complemento para la inspección visual, teniendo un 50% (n=6) apenas de aceptación, lo que evidencia cierto escepticismo para su uso. Teniendo en cuenta las respuestas fundamentadas en el poco conocimiento sobre el uso de la técnica en ambientes subacuáticos, se pide la percepción sobre su implementación como una nueva técnica teniendo como resultado que sería un buen complemento para las inspecciones técnicas subacuáticas con un 66,66% (n=8) y que con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable con un 33,33% (n=4). Esto demuestra, que, a pesar del poco conocimiento, hay una buena percepción para su implementación con la adecuada gestión.

### **6.3 Resultado Objetivo 3**

Para poder evaluar la relación de los factores de conocimiento técnico con respecto a los factores de actitud y predisposición de un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote, se tomaron las respuestas con picos más altos y que están directamente relacionadas a las PND de partículas magnéticas; en la tabla 4 se muestra la relación entre las repuestas a la pregunta 7 de la primera fase (la aplicación de pruebas no destructivas tiene algún efecto o implicación positiva en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote de la Armada Nacional) y las respuestas a la pregunta 1 de la segunda fase (la adquisición de equipos tecnológicos como el de partículas magnéticas para uso en ambientes subacuáticos como proyección en la gestión del mantenimiento), aquí, además de haber una relación directa a la calidad y gestión del mantenimiento, implica que las respuestas tienen un 100% de aprobación

direccionadas a que siempre será un efecto positivo la aplicación de PND para el aseguramiento de la calidad y la implementación de nuevas técnicas de PND como la de partículas magnéticas subacuáticas son una inversión positiva.

Por otro lado, las respuesta de las pregunta 10 de la primera fase (el método de prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en ambientes subacuáticos puede aportar en el aseguramiento de la calidad para la gestión del mantenimiento en las unidades a flote de la Armada Nacional) y la respuesta a la pregunta 3 de la segunda fase (la implementación de la prueba con partículas magnéticas subacuáticas puede ser un buen complemento para la inspección visual) tienen una correspondencia directa de un 50% de relación en cuanto a la percepción positiva de su uso e implementación, sin embargo las dos también se relacionan al mantener un margen de duda entre el casi siempre y el algunas veces repartidos en un 25%, lo que es una clara respuesta a la baja percepción con respecto a la implementación de esta técnica subacuática de PND esto debido principalmente al poco conocimiento sobre el tema.

También se realizó un análisis de chi-cuadrado para conocer la asociación entre la respuesta más votada de la primera fase en la pregunta 3 enfocada a la tener en cuenta que una de las mayores repercusiones para la gestión del mantenimiento es la generación de mayores costos de mantenimiento y la respuesta a la pregunta 2 de la segunda fase que hace referencia a que el desconocimiento de la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas es la percepción más alta para no obtener mayor porcentaje como una técnica adecuada para el uso subacuático. Los resultados mostraron que 2 expertos (66,66%) en su conocimiento no piensan que una falla en el mantenimiento tenga como repercusión el mayor costo en el mantenimiento ni tampoco tienen la percepción de que la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas no se usa

por el desconocimiento en su aplicación; mientras que solo un experto (33,33%) cree que a pesar de que no piensa que una falla en el mantenimiento tenga como repercusión el mayor costo en el mantenimiento, si tiene la percepción que de que la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas no se usa por el desconocimiento en su aplicación; por su parte, no hay ningún experto (0%) que crea que una falla en el mantenimiento tenga como repercusión el mayor costo en el mantenimiento y que no tenga la percepción de que la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas no se usa por el desconocimiento en su aplicación; más aún, hay 9 expertos (100%) que en su conocimiento si piensan que una falla en el mantenimiento tiene como repercusión el mayor costo en el mantenimiento y que además tienen la percepción de que la técnica de PND de partículas magnéticas subacuáticas no se usa por el desconocimiento en su aplicación. Los resultados de la prueba de asociación fueron significativos ( $X^2(1, n=12) = 7,200$ ;  $p=0,007$  lo que implica una relación estadística significativa entre la repercusión más votada en la encuesta de la primera fase y la repercusión más votada en la segunda fase.

#### **6.4 Resultado Objetivo 4**

Para clasificar las unidades a flote de la Armada Nacional en la guarnición de Cartagena, según su taxonomía y características técnicas, se analizó la tabla de frecuencia, siendo clara en identificar que el 87.5% (n=21) de la flota de la guarnición de Cartagena está compuesta por unidades con casco de acero. Dado que el procedimiento de pruebas no destructivas con partículas magnéticas subacuáticas es aplicable exclusivamente a materiales ferrosos, este análisis cuantifica el alcance del proyecto y demuestra que la metodología propuesta es técnicamente viable para la mayoría (casi el 90%) de los activos navales en la guarnición. En

contraste, solo un 12.5% (n=3) de la flota (las unidades con casco de aluminio) queda excluida de esta técnica, lo cual permite una segmentación clara del plan de mantenimiento.

## 7 Conclusiones

A continuación, se exponen las conclusiones del trabajo realizado:

El presente estudio permitió evidenciar que la incidencia del recurso humano vinculado a la Armada Nacional en la guarnición de Cartagena, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en función del mantenimiento preventivo tienen una relación significativa ya que su conocimiento y percepción sobre mencionada técnica influye directamente en la toma de decisiones sobre la incorporación de nuevas tecnologías de PND en ambientes subacuáticos.

En primera instancia se identificó el nivel de conocimiento técnico a través de la aplicación de una encuesta con la metodología DELPHI, a un personal experto en el mantenimiento de unidades a flote, para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo. Se identificó que el nivel de conocimiento técnico de un personal experto sobre la técnica general de partículas magnéticas es muy bueno con un 83,33%, lo que desde su inicio demuestra que no son ajenos a conocer la técnica, también coinciden en afirmar que la mayor repercusión en una falla en la gestión de mantenimiento son los sobrecostos asociados al mantenimiento (75%), lo que demuestra que para un alto porcentaje de los expertos, la gestión del mantenimiento es prioritario para los intereses económicos de la flota y por ende de la institución, lo que está alineado a lo que expresa (Armada Nacional , 2022, pág. 9):

se hace necesario y obligatorio, que todo el personal que conforme la tripulación de las unidades a flote, aéreas e instalaciones terrestres, tengan un amplio, preciso y claro

conocimiento en aspectos relacionados con la gestión de activos y la gestión del mantenimiento, permitiendo la alineación de conocimientos hacia el mantenimiento efectivo de la disponibilidad requerida, que al ser complementada con un entrenamiento eficaz y permanente junto a una logística oportuna y efectiva componen el alistamiento necesario para el desarrollo exitoso de las operaciones requeridas.

Sin embargo y en contraste a lo anterior, hay un muy bajo conocimiento sobre la técnica de partículas magnéticas aplicadas a nivel subacuático (16,66%) al igual que la preferencia de uso como método de inspección subacuático (41,66%); esto demuestra que, el conocimiento general recae solo en el personal de buceo ya que es su medio de trabajo pero, la falta de conocimiento sobre las PND subacuáticas marcan la realidad sobre lo que podría identificarse como una barrera para la proyección en la mejora de los procesos mantenimiento preventivo para la flota naval.

Se puede concluir también que la predisposición del personal experto para la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas, para su aplicación a la flota naval en la guarnición Cartagena en función del mantenimiento preventivo, es buena, a pesar del poco conocimiento sobre este método, todos los expertos coinciden que la adquisición y uso de una nueva técnica de PND es positiva para la gestión del mantenimiento aunque también se evidencia una resistencia (50%) en la efectividad de su aplicación, lo que se relaciona directamente al poco conocimiento del tema. Es relevante estas percepciones ya que, como personal experto, en algún momento pueden ser tenidos en cuenta como asesores en alguna decisión relacionada al mantenimiento de la flota, y que no se aleja de la realidad si se tiene en cuenta que una de las funciones de la dirección de construcciones e infraestructura de la ARC

expresa: “Emitir conceptos técnicos y/o de viabilidad de todos los proyectos de construcción nueva e infraestructura relacionados con mantenimiento nivel 4 y 5.” (Armada Nacional , 2022, pág. 28),

Es evidente la relación entre los factores de conocimiento y la predisposición del personal experto sobre la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas aplicadas a la flota naval en la guarnición de Cartagena en función del mantenimiento preventivo, hay relaciones positivas en cuanto al efecto que tiene la adquisición de nuevas tecnologías en pro de la gestión del mantenimiento; la aplicación del chi cuadrado también demuestra que una falla en el mantenimiento genera costos mayores en el mantenimiento y que se relaciona directamente a que esa falla podría relacionarse a las implicaciones que trae el desconocimiento de las PND aplicadas en el ambiente subacuático lo que repercute directamente en la limitación de su implementación.

La clasificación de las unidades a flote de la Armada Nacional en la guarnición de Cartagena según su taxonomía y características técnicas permitieron concluir que la adopción de la prueba no destructiva de partículas magnéticas subacuáticas en función del mantenimiento preventivo es altamente viable ya que, al tener el casco de acero (87,5%) cumplen con los requisitos mínimos que requiere la técnica de partículas magnéticas para su uso. “Es un método para localizar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos” (Echavarria, 2011, pág. 7)

## **7.1 Implicaciones Prácticas**

Las implicaciones prácticas de los resultados en la industria naval y específicamente en lo relacionado a la gestión del mantenimiento de la unidades a flote de la ARC es realmente positiva ya que a nivel nacional, esta PND de Partículas magnéticas subacuáticas es desconocida, lo que permite adoptarla como una nueva tecnología que traerá enormes beneficios a los diferentes actores que intervienen en la gestión de mantenimiento de la flota, inicialmente al personal de buzos que realiza las inspecciones técnicas ya que tendrán una técnica que complemente enormemente la inspección visual cuando hay situaciones particulares que pueden afectar al buque y que con solo la inspección visual sea imposible identificar, también para los capitanes de los buques ya que tendrán un respaldo tangible para la toma de decisiones con respecto a las acciones a tomar para el mantenimiento de su unidad; también puede, en alguna circunstancia particular, reducir los costos que conlleva la subida a dique de una unidad al realizar la inspección con este método en el agua.

## **7.2 Futuras Líneas de Investigación**

A partir de la información recolectada y resultados obtenidos, surgen varias líneas de investigación sobre las PND subacuáticas. Es importante continuar con el tema de las diferentes pruebas no destructivas aplicadas en el ambiente subacuático, ya que es, en este país un estudio muy limitado y que, como se pudo evidenciar en el desarrollo de esta monografía, tiene numerosos campos de aplicación, no solo en barcos sino en estructuras portuarias y marítimas.

También es una fuente para una línea de investigación que está tomando un gran auge en la actualidad con el tema de la robótica submarina y es la de ver el uso de esas PND subacuáticas por medio del uso de vehículos operados remotamente (ROV).

### **7.3 Limitaciones**

A pesar de los resultados significativos, este estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, la muestra utilizada fue relativamente pequeña con 12 encuestados para la aplicación de las dos fases de la encuesta. Si bien estos resultados permiten aportar a la visión general de la incidencia de ese personal experto sobre la aplicación de una nueva técnica de PND en beneficio del mantenimiento de la flota, los resultados no pueden generalizarse a todo el personal relacionado al mantenimiento y sostenimiento de la flota naval.

En segundo lugar, algunas de las preguntas abordadas tuvieron enfoques muy abiertos con respecto al contexto que se quería obtener en la muestra y que a la hora del análisis implicó evaluar las respuestas y enfocar aquellas que apuntaban directamente y con relevancia a los objetivos establecidos, sin embargo, las respuestas permitieron orientar directamente la respuesta a la pregunta de investigación planteada.

### **7.4 Recomendaciones**

Se recomienda al Departamento de buceo y salvamento de la Armada Nacional continuar con pruebas piloto con la técnica de partículas magnéticas subacuáticas con el fin de determinar su alcance en el mantenimiento preventivo y sus limitaciones y así determinar procedimientos de implementación en las inspecciones técnicas subacuáticas a las diferentes unidades de la flota

naval, esto permitirá reducir ese escepticismo que se logró evidenciar con los expertos sobre el uso e implementación de esta nueva técnica de partículas magnéticas subacuáticas.

Se recomienda a los diferentes comandos navales, en especial al Comando de Alistamiento de Buceo de la Armada Nacional, apoyar este proceso investigativo ya que, según lo investigado se evidenció un muy limitado conocimiento del tema en el país, lo que se convierte en una valiosa oportunidad en la apertura del campo técnico y tecnológico subacuático en diferentes sectores de la industria marítima, además de influir en los objetivos misionales de la institución.

## 8 Referencias

Armada Nacional . (2022). *Doctrina de Material naval. Tomo 1. Generalidades*. Bogotá: Dirección de Doctrina Naval.

Armada Nacional. (2021). *Manual de Procedimientos de Inspecciones subacuáticas de la Armada Nacional [Manual Institucional]*. Bogotá: Dirección de Doctrina Naval.

Armada Nacional. (2024). *Plan estratégico Naval 2024-2027 [Documento institucional]*. Bogotá: Dirección de doctrina naval.

Asociación Internacional de Contratistas de Buceo, INC. (2011). *Consenso de normas internacionales para el buceo comercial y operaciones submarinas*. Houston.

CoreIRM, 2019. [https://www.researchgate.net/figure/Magnetic-Particle-Methods-testing-underwater-CoreIRM-2019\\_fig2\\_337574309](https://www.researchgate.net/figure/Magnetic-Particle-Methods-testing-underwater-CoreIRM-2019_fig2_337574309)

Contreras Gutierrez, D. (2021). Aplicación de prácticas en gerencia de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. *Revista Escuela de Administracion de Negocios*(90), 47-64. doi:<https://doi.org/10.21158/01208160.n90.2021.2974>

Davey, V. F. (1999). *Non-Destructive Examination of Underwater Welded Structures* (Vol. 1372). Woodhead Publishing.

Echavarría, R. (2011). *Partículas magnetizables*. Argentina: Editorial de la universidad Nacional de Comahue. Obtenido de <https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/18615>

Gonzales Guzman, J. L. (2016). *Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado par ala línea de producción en la empresa Latercer SAC [Tesis de grado]*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Hernandez, S. R. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). McGraw-Hill Education.

Hinojosa, A. B. (2010). *Estudio del estado del arte en ensayos no destructivos aplicados en ambientes marinos*. Saltillo, Mexico: Corporación mexicana de investigación en materiales.

Muñoz Bonilla, H. A. & Chaves Campo, C. F. (2023). *Escritura académica sin estrés: Guía práctica para docentes y estudiantes de pregrado*. Colombia.

Project Management Institute. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* /. Project Management Institute, Inc.

Ramirez, E. (6 de julio de 2021). Conoces el alcance del ASME seccionV? [Video]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=eWA735Q4ahk&t=4s>

Rodriguez Gonzalez , H., y Villalba Ospina, N. (2011). *Optimización del plan de mantenimiento del Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional [Trabajo de especialización]*. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar UTB. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12585/2592>

Villacís, J. D. (2011). *Ensayos no destrutivos por el método de partículas magnéticas y su incidencia en materiales ferromagnéticos*. (U. T. Ambato, Ed.) Ambito, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1366>

Villena, A. S. (2019). Uso de programas estadísticos libres para el análisis de datos: Jamovi, Jasp y R. *PERSPECTIVA* 20 (1), 112-114. doi: <https://doi.org/10.33198/rp.v20i1.00026>

Zawawi, N. A. (2019). *écnicas de ensayos no destructivos para proyectos de desmantelamiento submarino en alta mar mediante detección de cortes: estado de la revisión*. Kuala

Lumpur, Malasia: Simposio de la SPE: Desmantelamiento y Abandono . SPE.

doi:<https://doi.org/10.2118/199191-MS>

## **Anexos**

### **Anexo 1**

#### **Cuestionario: Efectos e implicaciones en el aseguramiento de calidad en unidades a flote de la Armada Nacional de Colombia**

Preguntas:

Pregunta No 1: A qué componente pertenece

- a) Fuerza Naval Del Caribe
- b) Fuerza Naval Del Pacifico
- c) Fuerza Naval De La Amazonia
- d) Infantería De Marina
- e) Aviación Naval
- f) Otra

Pregunta N° 2: Nivel de formación académica

- a) Técnica
- b) Tecnológica
- c) Profesional
- d) Especialización
- e) Maestría

Pregunta N° 3: Si se presenta una falla en la gestión del mantenimiento, ¿Cuál es la repercusión en el aseguramiento de la calidad de las unidades a flote de la Armada Nacional?

- a) Pérdida de la capacidad operativa
- b) Deterioro en la vida útil de la unidad
- c) Riesgo de una falla catastrófica
- d) Mayores costos de mantenimiento
- e) Mejora en el bienestar por el tiempo de permanencia en muelle

Pregunta No 4: Dentro del aseguramiento de la calidad enfocadas a la gestión del mantenimiento se encuentran las pruebas no destructivas, ¿conoce alguna de estas pruebas no destructivas?

- a) Inspección visual
- b) Tintas penetrantes
- c) Partículas magnéticas
- d) Ultrasonido
- e) Radiografía industrial

Pregunta No 5: ¿Cuál de esas pruebas no destructivas que conoce sabe que se hayan realizado a las unidades a flote en superficie?

- a) Inspección visual
- b) Tintas penetrantes
- c) Partículas magnéticas

- d) Ultrasonido
- e) Radiografía industrial

Pregunta No 6: ¿Cuál de esas pruebas no destructivas que conoce sabe que se hayan aplicado a las unidades a flote en ambiente subacuático?

- a) Inspección visual
- b) Tintas penetrantes
- c) Partículas magnéticas
- d) Ultrasonido
- e) Radiografía industrial

Pregunta No 7: En su opinión, la aplicación de pruebas no destructivas tiene algún efecto o implicación positiva en el aseguramiento de la calidad en las unidades a flote

- a) Siempre
- b) Casi siempre
- c) Algunas veces
- d) Casi nunca
- e) Nunca

Pregunta No 8: ¿Cuál cree que sea el mejor método de pruebas no destructivas que se puede usar en el ambiente subacuático?

- a) Inspección visual
- b) Tintas penetrantes

- c) Partículas magnéticas
- d) Ultrasonido
- e) Radiografía industrial

Pregunta No 9: ¿Conoce la prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en el ambiente subacuático?

- a) Si la conozco y he visto uso aplicación
- b) Si la conozco, pero nunca la he visto aplicarse
- c) Solo la he escuchado nombrar
- d) No la conozco
- e) No sabía que existía

Pregunta No 10: ¿Cree que este método de prueba no destructiva de partículas magnéticas aplicadas en ambientes subacuáticos puede aportar en el aseguramiento de la calidad para la gestión del mantenimiento en las unidades a flote de la Armada Nacional?

- a) Siempre
- b) Casi siempre
- c) Algunas veces
- d) Casi nunca
- e) Nunca

Enlace usado: <https://forms.office.com/r/B11rcD3fG8>

[https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=64W6sVOiZ0Se6NT47U3zAKtM7RqBFGVGqUD1\\_zw5xipUQk5JVTQyNFJVvkFNNEJOTVZJOVE2NTBUNy4u](https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=64W6sVOiZ0Se6NT47U3zAKtM7RqBFGVGqUD1_zw5xipUQk5JVTQyNFJVvkFNNEJOTVZJOVE2NTBUNy4u)

## **Anexo 2**

### **Cuestionario efectos e implicaciones del nuevo procedimiento en el aseguramiento de la calidad.**

Pregunta No 1: Acuerdo los resultados preliminares, se ha establecido en gran medida que una falla en la gestión del mantenimiento repercutirá mayormente en los costos de mantenimiento; teniendo en cuenta lo anterior, ¿la adquisición de equipos tecnológicos como el de partículas magnéticas para uso en ambientes subacuáticos se proyectaría como:

- a) Una inversión tecnológica positiva
- b) Solo una inversión de un equipo más para el stock
- c) Un gasto adicional
- d) Una adquisición innecesaria
- e) Un riesgo monetario

Pregunta No 2: Acuerdo los resultados preliminares, las pruebas no destructivas más conocidas y aplicadas en el ambiente subacuático son la inspección visual y el ultrasonido, ¿por qué cree que la prueba de partículas magnéticas no tiene un mayor porcentaje?

- a) Es desconocida su aplicación

- b) Es inviable usar este método a nivel subacuático
- c) Es más costoso que los otros métodos
- d) Requiere de un equipo demasiado robusto
- e) No hay personal capacitado en el tema

Pregunta No 3: ¿La inspección visual fue votada como el método más usado a nivel subacuático, cree que la implementación de la prueba con partículas magnéticas subacuáticas puede ser un buen complemento para la inspección visual?

- a) Siempre
- b) Casi siempre
- c) Algunas veces
- d) Casi nunca
- e) Nunca

Pregunta No 4: Teniendo en cuenta el poco conocimiento que se tiene en la técnica de partículas magnéticas subacuáticas, usted considera que:

- a) No es adecuado implementarla
- b) Sería un buen complemento a las inspecciones técnicas subacuáticas
- c) Necesita de mayor grado de investigación
- d) Con una adecuada gestión de proyectos sería muy viable
- e) Es perder tiempo en nuevas tecnologías

**Enlace usado:** <https://forms.office.com/r/1YurJAjVkB>

[https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=64W6sVOiZ0Se6NT47U3zAKtM7RqBFGVGqUD1\\_zw5xipURVdWOVEzNU1PUVBMOVNVTzU2MUtSMElzQS4u](https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?subpage=design&FormId=64W6sVOiZ0Se6NT47U3zAKtM7RqBFGVGqUD1_zw5xipURVdWOVEzNU1PUVBMOVNVTzU2MUtSMElzQS4u)