



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

Carrera de Ingeniería Marítima

Proyecto de trabajo de titulación

Modalidad Proyecto Técnico

TITULO:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO
PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN COMPONENTES
METÁLICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA.**

Autores:

**Alcívar Cedeño Adrian Erlando
Reyes Lucas Galo Jesús**

Asesor académico: Ing. Folke Zambrano Vera

Manta – Ecuador

2026-1

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Alcívar Cedeño Adrian Erlando, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2026-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN COMPONENTES METÁLICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA.”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 24 de julio 2026.

Lo certifico,



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FOLKE ZAMBRANO VERA

Ing. Folke Zambrano Vera
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Reyes Lucas Galo Jesús, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2026-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN COMPONENTES METÁLICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA.”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 24 de julio 2026.

Lo certifico,



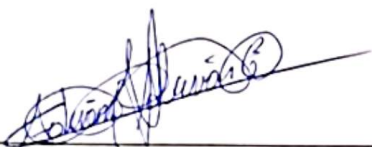
Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FOLKE ZAMBRANO VERA

Ing. Folke Zambrano Vera
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura

DECLARATORIA DE AUTORIA

El trabajo de grado que presentamos es inédito y justifica el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Manta, 21 de agosto del 2026



Alcívar Cedeño Adrián Erlando

C.I: 1313742916

Estudiante



Reyes Lucas Galo Jesús

C.I: 2350659344

Estudiante



Ing. Zambrano Vera Folke

C.I: 1311686537

Docente Tutor

DEDICATORIA

Dedico este logro en primer lugar, a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y apoyo incondicional hicieron que llegara hasta este momento. Gracias por creer en mí, por enseñarme el valor de la perseverancia y por acompañarme en cada paso de este camino. Este triunfo también les pertenece.

Con un profundo amor, dedico este trabajo a la memoria de mi abuelo. Aunque que hoy ya que no esté físicamente conmigo, su recuerdo, sus enseñanzas y el ejemplo de vida que me dejó han sido una fuente constante de inspiración. Llevaré siempre su legado en mi corazón, y estoy seguro de que, donde se encuentre, comparte conmigo la alegría de alcanzar esta meta.

Alcívar Cedeño Adrian Erlando

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar dándole las gracias a Dios por la sabiduría que me ha dado para superar cada desafío y permitirme alcanzar esta meta tan importante.

A mis padres, gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer siempre en mí. Su confianza, sacrificio y palabras de aliento fueron el impulso que necesité para seguir adelante en cada etapa de este camino. Asimismo, expreso mi agradecimiento hacia mi asesor académico Ing. Folke Zambrano, gracias por su paciencia y sabios consejos.

Finalmente, quiero agradecerme a mi mismo por no haberme rendido, incluso en los momentos más difíciles. Cada obstáculo representó una oportunidad para aprender y demostrarme que con esfuerzo, disciplina y perseverancia todo se puede cumplir. Este logro es el reflejo de todo el camino recorrido y de la fuerza para nunca dejar de creer en mí.

Alcívar Cedeño Adrian Erlando

DEDICATORIA

A mis padres, el pilar inquebrantable sobre el cual se construyen todos mis logros. Gracias por cada sacrificio en silencio, por las madrugadas compartidas, por la confianza ciega que depositaron en mí incluso en los momentos en que yo dudaba, y por ser la brújula moral y emocional que siempre guía mi camino. Este título no lleva solo mi nombre, lleva grabado el esfuerzo, la dedicación y el amor incondicional que ustedes sembraron en mí día tras día.

A mi familia, por ser el refugio constante y la fuente inagotable de motivación. Gracias por comprender las ausencias, las largas horas de estudio y el cansancio acumulado, respondiendo siempre con una palabra de aliento, una sonrisa y un abrazo oportuno.

A todas las personas que, de una u otra forma, cruzaron su camino con el mío durante este proceso universitario y creyeron en mi potencial, impulsándome a no rendirme jamás frente a la adversidad.

Reyes Lucas Galo Jesús

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta importante etapa universitaria, quiero manifestar mi sincero reconocimiento a todas las instituciones y personas que hicieron posible la materialización de este trabajo de titulación.

En primer lugar, a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por constituir el faro de mi formación profesional y por facilitarme el acceso a los recursos y conocimientos necesarios para mi desarrollo académico.

A mi tutor de tesis, Folke Zambrano, por su paciencia, su criterio analítico y su constante disposición para guiarme en cada fase del desarrollo de este proyecto, impulsándome siempre a ir un paso más allá en el rigor técnico de la investigación.

A mi familia, por ser el sostén emocional indiscutible, la paciencia ante mis desvelos y la motivación diaria que me mantuvo enfocado en lograr esta meta.

A todos ellos, mi más profundo y sincero agradecimiento.

Reyes Lucas Galo Jesús

INDICE GENERAL DE CONTENIDO

Antecedentes	3
Justificación	3
Propuesta	4
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	5
MARCO TEÓRICO	6
1. CAPITULO I: HISTORIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO	6
1.1. Historia y evolución de la máquina de limpieza ultrasónica	8
1.1.1. Origen del uso del ultrasonido en procesos industriales.	10
1.1.2. Evolución de la tecnología ultrasónica aplicada a la limpieza de materiales metálicos.	11
1.2. Aplicaciones del ultrasonido en la ingeniería marítima	15
• Inspección no destructiva de estructuras y soldaduras	15
• Medición de espesores y monitoreo de corrosión	16
• Control de bioincrustación en estructuras marinas	16
• Monitoreo estructural permanente	16
1.2.1. Empleo del ultrasonido en la limpieza y mantenimiento de componentes metálicos navales	17
1.2.2. Ventajas frente a métodos tradicionales de limpieza mecánica o química. .	18
2. CAPÍTULO II: PARTES Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ULTRASÓNICO. .	20
2.1. Partes y Funcionamiento del Sistema Ultrasónico	20
Factores Críticos de Funcionamiento	21
2.1.1. Parámetros operativos: frecuencia, potencia, tiempo y temperatura.	21
Frecuencia	21
Potencia	22
Temperatura	23
Tiempo	24
2.2. Materiales y procesos involucrados	24
2.2.1. Tipos de materiales metálicos utilizados en componentes marítimos. .	25
Aceros Inoxidables Austeníticos (Serie 300 - AISI 316L / 304)	25

<i>Aleaciones de Aluminio y Zinc (Zamak / Aluminio Grado Marino)</i>	25
<i>Aleaciones de Cobre (Bronce, Latón y Cuproníquel)</i>	26
<i>Aceros Aleados y Carbonados</i>	26
<i>Aleaciones de Titanio (Ti-6Al-4V)</i>	27
<i>Metales Blancos y Aleaciones de Babbitt</i>	27
<i>Aleaciones de Níquel-Cobre (Monel 400 / K-500)</i>	28
<i>Fundición de Hierro Gris / Nodular</i>	28
<i>Protocolos de Limpieza Ultrasónica por Componente</i>	28
<i>Inyectores de Combustible y Boquillas (Acero Inoxidable)</i>	29
<i>Válvulas y Conectores de Bronce/Latón</i>	29
<i>Tornillería y Elementos de Sujeción (Acero Inoxidable / Galvanizado)</i>	30
<i>Sensores e Instrumentación (Titanio y Aleaciones Especiales)</i>	30
<i>Carburadores de Motores Fuera de Borda (Aluminio/Zamak)</i>	31
<i>2.2.2. Tipos de contaminantes comunes en piezas metálicas</i>	32
<i>Contaminantes de Origen Biótico (Biofouling Microscópico)</i>	32
<i>Contaminantes de Origen Químico</i>	32
<i>Contaminantes de Operación</i>	33
3. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO	34
3.1. Generalidades el equipo	34
3.2. Modelo y especificaciones	35
3.3. Componentes principales del sistema	37
3.3.1. Tanque de limpieza.....	37
3.3.2. Transductores ultrasónicos	38
3.3.3. Generador ultrasónico	39
3.3.4. Sistema de calentamiento	39
3.3.5. Panel de control	40
3.3.6. Cesta porta piezas	41
3.3.7. Válvula de drenaje	41
3.4. Instalación y puesta en funcionamiento del sistema	42
3.4.1. Ubicación del equipo	42
3.4.2. Conexión eléctrica.....	43
3.5. Pruebas de funcionamiento del sistema de limpieza por ultrasonido	44

Objetivo de las pruebas.....	44
Prueba 1: Limpieza con desengrasante industrial.....	44
Prueba 2: Limpieza con desengrasante alcalino	45
Prueba 3: Limpieza con Lavador 100.....	46
Prueba 4: Limpieza con Deter 100	48
Prueba 5: Limpieza con jabón líquido.....	49
3.6. Análisis general de las pruebas	49
Productos químicos y proporciones de dilución recomendadas para la limpieza por ultrasonido.....	50
4.1. Normas de seguridad aplicadas.....	52
<i>Principales medidas de seguridad operativa</i>	<i>52</i>
4.1.1. Normativas internacionales y recomendaciones técnicas.....	54
4.2. Mantenimiento y buenas prácticas.....	55
4.2.1. Mantenimiento preventivo y correctivo.....	56
4.2.2. Identificación y solución de fallas comunes	57
<i>Fallas comunes y acciones correctivas del sistema de limpieza por ultrasonido</i>	<i>57</i>
4.3. Optimización del rendimiento del sistema.....	58
4.4. Guía práctica para los estudiantes	58
4.4.1. Instrucciones paso a paso para el uso del equipo.....	59
4.2.1. Protocolos de seguridad para el uso del sistema de limpieza por ultrasonido	60
<i>Formato de registro de prácticas de limpieza por ultrasonido</i>	<i>61</i>
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias.....	64
Anexos	66

Índice de Figuras

Ilustración 1: <i>Máquina de limpieza por ultrasonido</i>	8
Ilustración 2: CREWORKS - Máquina de Limpieza Ultrasónica Digital de 30L	35
Ilustración 3: Tanque de limpieza.....	38
Ilustración 4: Panel de control	40
Ilustración 5: Cesta porta piezas	41
Ilustración 6: Válvula de drenaje	42
Ilustración 7: Detergente Industrial	45
Ilustración 8: Desengrasante alcalino	46
Ilustración 9: Lavador 100	47
Ilustración 10: Limpiador Deterclean/Deter100	48

Índice de Tablas

Tabla 1: Especificaciones técnicas del sistema de limpieza por ultrasonido CREWORKS 30 L	36
Tabla 2: Resultado de las pruebas realizadas.....	50
Tabla 3: Químicos y proporciones recomendados.....	50
Tabla 4: Fallas comunes y acciones correctivas	57
Tabla 5: Formato de referencia para futuras prácticas.....	61

RESUMEN

El presente proyecto técnico tiene como objetivo implementar un sistema de limpieza por ultrasonido para la eliminación de contaminantes en componentes metálicos utilizados en la carrera de Ingeniería Marítima, con el fin de optimizar los procesos de mantenimiento y fortalecer la formación práctica de los estudiantes. La limpieza ultrasónica, basada en el fenómeno de cavitación, permite la remoción eficiente de contaminantes sin contacto directo, reduciendo el riesgo de daño superficial y mejorando la conservación de las piezas.

El estudio contempla la evaluación experimental de la eficacia del sistema en la limpieza de componentes representativos del ámbito marítimo, considerando variables operativas como frecuencia, potencia y tiempo de exposición. Asimismo, se desarrollan protocolos operativos y de seguridad que garanticen el uso adecuado del equipo y su integración en las actividades académicas y de investigación.

Como resultado esperado, se prevé mejorar la eficiencia en la limpieza de componentes metálicos, contribuir a la preservación de la integridad superficial de las piezas y disponer de un recurso didáctico permanente para la carrera, que permita ampliar las competencias técnicas de los estudiantes y fomentar el uso de tecnologías innovadoras en el entorno académico.

Palabras claves: Limpieza por ultrasonido, cavitación, componentes metálicos.

ABSTRACT

The present research aims to implement an ultrasonic cleaning system for the removal of contaminants from metallic components used in the Maritime Engineering program, in order to optimize maintenance processes and strengthen students' practical training. Ultrasonic cleaning, based on the cavitation phenomenon, enables the efficient removal of contaminants without direct contact, reducing the risk of surface damage and improving the preservation of the components.

The study includes the experimental evaluation of the system's effectiveness in cleaning representative maritime components, considering operational variables such as frequency, power, and exposure time. In addition, operational and safety protocols are developed to ensure proper use of the equipment and its integration into academic and research activities.

As an expected outcome, the implementation of the system is anticipated to improve the efficiency of metallic component cleaning, contribute to the preservation of surface integrity, and provide a permanent educational resource for the program, that enables the expansion of students' technical skills and fosters the use of innovative technologies in the academic environment.

Keywords: Ultrasonic cleaning, cavitation, metallic components.

Antecedentes

La limpieza por ultrasonido es una técnica consolidada en la ingeniería para la remoción eficiente de contaminantes en superficies metálicas. Esta tecnología se basa en la generación de cavitación mediante ondas acústicas de alta frecuencia, produciendo microburbujas que implosionan cerca de la superficie del metal, eliminando partículas adheridas sin contacto directo (Xiao Huang, 2024). Esta metodología ha demostrado ser eficaz en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la limpieza de componentes metálicos en la ingeniería marítima.

En el contexto marítimo, la acumulación de contaminantes en componentes metálicos es un desafío constante. La limpieza ultrasónica se ha identificado como una solución potencial debido a su capacidad para eliminar depósitos sin dañar las superficies (Zenith Ultrasonics, 2020). Sin embargo, la aplicación de esta tecnología en el ámbito naval requiere una adaptación específica, considerando las aleaciones metálicas utilizadas y los tipos de contaminante presentes.

Estudios previos han evidenciado que la limpieza ultrasónica puede mejorar la resistencia a la corrosión de componentes metálicos al eliminar contaminantes que podrían comprometer la integridad del material. No obstante, es crucial establecer protocolos específicos para garantizar que el proceso no afecte negativamente las propiedades mecánicas de las piezas tratadas.

Justificación

El presente proyecto técnico tiene como finalidad implementar un sistema de limpieza por ultrasonido en componentes metálicos para la carrera de Ingeniería Marítima, con el fin de

optimizar los procesos de mantenimiento y preservar la integridad superficial de las piezas frente a la corrosión y acumulación de contaminantes.

En comparación con métodos tradicionales, la limpieza ultrasónica permite una remoción eficiente en geometrías complejas, con menor riesgo de daño superficial y menor impacto ambiental. Asimismo, el proyecto aporta un beneficio técnico y educativo, al mejorar la conservación de piezas y fortalecer la formación práctica de los estudiantes. Se espera que su implementación incremente la formación práctica de los estudiantes y promueva procesos sostenibles dentro de la carrera.

Propuesta

Con el fin de optimizar la remoción de contaminantes en componentes metálicos y disponer de un recurso educativo permanente para actividades prácticas y de investigación, se propone implementar un sistema de limpieza por ultrasonido en el taller de máquinas de la carrera. El cuál contará con un tanque de limpieza, transductores ultrasónicos, generador de señal y control de temperatura, empleando soluciones biodegradables para asegurar la protección ambiental y la integridad de los materiales. Asimismo, se evaluará experimentalmente su eficacia en piezas metálicas y se establecerán protocolos operativos y de seguridad que permitan su correcta integración en la formación académica de los estudiantes.

Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema de limpieza por ultrasonido en la carrera de Ingeniería Marítima para la remoción eficiente de contaminantes en componentes metálicos, contribuyendo a la formación práctica de los estudiantes

Objetivos específicos

- ✓ Implementar un sistema de limpieza por ultrasonido en la carrera de Ingeniería Marítima, adaptado a los requerimientos de los componentes metálicos utilizados en entornos navales.
- ✓ Evaluar la eficacia del sistema de limpieza por ultrasonido en la remoción de contaminantes presentes en componentes metálicos utilizados en el ámbito marítimo, mediante pruebas de funcionamiento y análisis de los resultados obtenidos.
- ✓ Desarrollar protocolos operativos y de seguridad para el uso del sistema, incluyendo recomendaciones sobre parámetros de operación y manejo seguro de soluciones de limpieza.
- ✓ Incorporar el sistema de limpieza por ultrasonido en una práctica académica de la asignatura de Corrosión con estudiantes de séptimo semestre, para evaluar su aplicación en el proceso de limpieza de componentes metálicos utilizados en el ámbito marítimo.

MARCO TEÓRICO

1. CAPITULO I: HISTORIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO

La limpieza por ultrasonido constituye una tecnología avanzada ampliamente utilizada para la remoción eficiente de contaminantes en superficies sólidas, especialmente en componentes metálicos con geometrías complejas. Este método se fundamenta en la aplicación de ondas acústicas de alta frecuencia en un medio líquido, lo que da lugar al fenómeno de cavitación. De acuerdo con (Lorimer, 2002), la formación, crecimiento e implosión de microburbujas genera microchorros y ondas de choque localizadas capaces de desprender grasas, aceites, partículas sólidas y óxidos adheridos a las superficies. En el contexto del presente estudio, este mecanismo resulta especialmente relevante, ya que permite realizar procesos de limpieza profunda sin contacto mecánico directo, reduciendo el riesgo de daño superficial en componentes metálicos utilizados en prácticas académicas.

Uno de los principales aportes de la limpieza ultrasónica es su capacidad para actuar de manera homogénea en cavidades, ranuras, orificios y zonas de difícil acceso, donde los métodos tradicionales presentan limitaciones importantes. Según (Firbimatic, s.f), esta tecnología permite mejorar la calidad del proceso de limpieza en componentes metálicos, manteniendo la integridad superficial y evitando deformaciones o desgaste innecesario. Esta característica resulta particularmente pertinente para piezas de precisión y elementos con tolerancias dimensionales ajustadas, como las que se emplean en sistemas mecánicos y marítimos, donde una alteración superficial puede afectar el desempeño funcional del componente.

Desde el punto de vista físico, la efectividad del proceso de limpieza ultrasónica depende de variables como la frecuencia, la potencia aplicada, el tiempo de exposición y las propiedades

del fluido de limpieza. (Melissa G Galloni, 2025) señalan que la dinámica de la cavitación está estrechamente relacionada con estos parámetros, los cuales determinan la intensidad de la energía liberada durante la implosión de las microburbujas. En el marco de esta investigación, el control de dichas variables es fundamental, ya que permite optimizar el proceso de limpieza y, al mismo tiempo, minimizar posibles efectos adversos sobre la superficie de los materiales, garantizando un equilibrio entre eficiencia y conservación del componente.

En el ámbito de la ingeniería marítima, la limpieza por ultrasonido adquiere una relevancia particular debido a las condiciones ambientales agresivas a las que están expuestos los componentes metálicos. La presencia constante de humedad, sales y contaminantes orgánicos favorece la acumulación de depósitos y acelera los procesos de corrosión, lo que impacta negativamente en la vida útil y el desempeño de las piezas. (Xiao Huang, 2024) destaca que la cavitación ultrasónica presenta aplicaciones prometedoras en el sector naval, tanto para la limpieza de componentes como para el apoyo a estrategias de mantenimiento, contribuyendo a la reducción de agentes que promueven el deterioro superficial. En este sentido, la implementación de esta tecnología en el contexto académico permite simular y analizar condiciones reales propias del entorno marítimo.

Asimismo, diversos estudios técnicos indican que una limpieza adecuada puede contribuir indirectamente a la prevención de procesos de oxidación y corrosión. Zenith Ultrasonics (2020) señala que la remoción efectiva de residuos y contaminantes reduce la presencia de agentes que actúan como iniciadores o aceleradores de la corrosión. Aplicado al presente trabajo, este enfoque refuerza la importancia de la limpieza ultrasónica no solo como un proceso de remoción de suciedad, sino como una etapa clave dentro del mantenimiento preventivo y la conservación de componentes metálicos utilizados en prácticas y ensayos académicos.

Desde una perspectiva académica, la incorporación de sistemas de limpieza por ultrasonido en entornos universitarios representa una oportunidad para fortalecer la formación práctica de los estudiantes. Más allá de mejorar el mantenimiento de equipos y piezas utilizadas en laboratorio, esta tecnología permite abordar de manera aplicada conceptos relacionados con la propagación de ondas acústicas, la cavitación, la interacción fluido–superficie y el control de parámetros operativos. De esta manera, el sistema no solo cumple una función técnica, sino también formativa, alineándose con los objetivos de la carrera de Ingeniería Marítima y promoviendo el desarrollo de competencias vinculadas al uso de tecnologías industriales modernas.

Ilustración 1: Máquina de limpieza por ultrasonido



Fuente 1: Tomada de la web <https://www.rs-fmaquinaria.com/es/maquinaria-auxiliar/limpieza-por-ultrasonidos/maquina-us003>

1.1. Historia y evolución de la máquina de limpieza ultrasónica

La máquina de limpieza ultrasónica es el resultado de una evolución tecnológica asociada al desarrollo del ultrasonido y su incorporación progresiva en aplicaciones industriales durante el siglo XX. Aunque el ultrasonido fue estudiado desde finales del siglo XIX, su uso práctico se consolidó a partir de los avances logrados durante y después de la Segunda Guerra Mundial,

cuando el desarrollo del sonar impulsó significativamente la investigación en ondas acústicas de alta frecuencia.

Según ScienceDirect (2015), el estudio de la interacción entre ultrasonido y medios líquidos permitió identificar el fenómeno de cavitación como un mecanismo capaz de generar efectos físicos localizados. Este hallazgo fue determinante para que el ultrasonido dejara de utilizarse únicamente con fines de detección y medición, y comenzara a considerarse como una herramienta activa para el procesamiento de materiales.

De acuerdo con información técnica recopilada por Clangsonic Ultrasonics (s.f.), las primeras máquinas comerciales de limpieza ultrasónica comenzaron a desarrollarse en la década de 1950, principalmente en Estados Unidos y Europa, impulsadas por la necesidad de limpiar componentes de precisión en industrias como la relojera, electrónica y de instrumentos. Empresas pioneras del sector incorporaron transductores magnetostrictivos y, posteriormente, transductores piezoeléctricos, lo que permitió mejorar la estabilidad, eficiencia y control del proceso.

Con el avance de la electrónica de potencia, los equipos evolucionaron hacia sistemas más compactos y controlables, integrando regulación de frecuencia, potencia y tiempo de operación. Esta evolución facilitó la expansión de la limpieza ultrasónica hacia múltiples sectores industriales, consolidándola como una tecnología estándar para procesos que requieren limpieza profunda sin contacto mecánico.

En la actualidad, las máquinas de limpieza ultrasónica representan sistemas altamente especializados, resultado de décadas de desarrollo tecnológico. Esta evolución histórica establece el marco general para comprender el origen industrial del ultrasonido y su aplicación como

herramienta de limpieza, aspectos que se desarrollan con mayor profundidad en el siguiente apartado.

1.1.1. Origen del uso del ultrasonido en procesos industriales.

El origen del uso del ultrasonido en procesos industriales está estrechamente vinculado al desarrollo de investigaciones sobre la propagación de ondas acústicas de alta frecuencia y su interacción con materiales sólidos y fluidos. Inicialmente, el ultrasonido fue empleado principalmente en aplicaciones de inspección, como los ensayos no destructivos, donde permitía detectar discontinuidades internas sin comprometer la integridad estructural de los componentes.

Según Lorimer (2002), el avance decisivo para la aplicación industrial del ultrasonido ocurrió cuando se comprendió que, al aplicarse en medios líquidos, las ondas ultrasónicas podían inducir el fenómeno de cavitación. Este proceso, caracterizado por la formación y colapso de microburbujas, genera microchorros y ondas de choque capaces de producir efectos mecánicos localizados. En el contexto industrial, este descubrimiento transformó el ultrasonido en una herramienta activa, capaz de interactuar directamente con superficies y contaminantes, más allá de su uso como método de diagnóstico.

De acuerdo con Mason (2015), la cavitación acústica permitió ampliar significativamente el campo de aplicación del ultrasonido, incorporándolo en procesos como la limpieza, la dispersión de partículas, la emulsificación y el tratamiento superficial. Este avance fue especialmente relevante para la limpieza industrial, ya que posibilitó la remoción de contaminantes adheridos en superficies complejas, cavidades y microgeometrías inaccesibles para métodos convencionales.

Desde una perspectiva tecnológica, (Zenith Ultrasonics, 2020) señala que el desarrollo de transductores piezoeléctricos fue un factor clave para la consolidación del ultrasonido en procesos

industriales. Estos dispositivos permitieron convertir señales eléctricas en vibraciones mecánicas de alta frecuencia de forma más eficiente y estable, lo que facilitó el diseño de equipos capaces de operar de manera continua y controlada en entornos industriales.

En términos de análisis propio, puede afirmarse que la incorporación del ultrasonido en procesos industriales respondió no solo a un avance científico, sino también a una necesidad operativa: disponer de tecnologías capaces de realizar procesos de limpieza y tratamiento sin contacto directo, reduciendo el desgaste superficial y mejorando la calidad del proceso. Esta característica explica por qué el ultrasonido fue progresivamente adoptado en industrias donde la precisión, la limpieza profunda y la conservación superficial son factores críticos.

En el contexto de este proyecto, el origen industrial del ultrasonido respalda su adopción como una tecnología idónea para la limpieza de componentes metálicos empleados en la carrera de Ingeniería Marítima. La capacidad del ultrasonido para inducir fenómenos mecánicos a microescala, como la cavitación controlada, permite reproducir de manera eficiente procesos reales de mantenimiento industrial. Esta característica no solo favorece la remoción de contaminantes sin dañar las superficies, sino que también fortalece el aprendizaje práctico de los estudiantes, al exponerlos a tecnologías utilizadas actualmente en entornos navales e industriales, contribuyendo así a la conservación y vida útil de las piezas metálicas.

1.1.2. Evolución de la tecnología ultrasónica aplicada a la limpieza de materiales metálicos.

La evolución de la tecnología ultrasónica aplicada a la limpieza de materiales metálicos ha estado estrechamente vinculada al desarrollo de la electrónica, los materiales piezoeléctricos y la creciente demanda industrial de procesos de limpieza más precisos, eficientes y menos

agresivos. Una vez identificado el potencial de la cavitación como mecanismo útil para la remoción de contaminantes, la investigación tecnológica se orientó hacia el perfeccionamiento de los sistemas capaces de generar, controlar y optimizar este fenómeno.

De acuerdo con análisis técnicos sobre la evolución del ultrasonido industrial, el progreso más significativo se produjo con la mejora de los transductores piezoeléctricos, los cuales permitieron una conversión más eficiente de energía eléctrica en vibraciones mecánicas de alta frecuencia (Quiñonez, 2025). Este avance posibilitó el diseño de equipos más compactos, estables y con mayor capacidad de control, lo que representó un salto cualitativo frente a los primeros sistemas basados en tecnologías menos eficientes.

En este contexto, (Lorimer, 2002) señalan que la incorporación de generadores electrónicos de estado sólido permitió un control más preciso de parámetros como frecuencia y potencia, lo que incrementó la reproducibilidad de los procesos ultrasónicos. En la práctica, esta evolución tecnológica hizo posible adaptar los sistemas de limpieza a distintos tipos de materiales metálicos, niveles de suciedad y requisitos de calidad superficial, reduciendo el riesgo de daños y mejorando la eficiencia global del proceso.

Un aspecto clave en esta evolución ha sido la optimización del rango de frecuencias utilizadas. Mientras que las primeras aplicaciones se centraban en frecuencias relativamente bajas para maximizar la intensidad de la cavitación, los desarrollos posteriores incorporaron frecuencias más altas para aplicaciones que requieren una limpieza más suave y controlada. Esta diversificación permitió ampliar el campo de aplicación de la limpieza ultrasónica, incluyendo componentes de precisión, superficies delicadas y piezas con geometrías complejas.

Asimismo, la integración de sistemas de control digital, sensores y temporizadores ha transformado las máquinas de limpieza ultrasónica en equipos altamente configurables. Según literatura técnica industrial, estos sistemas modernos permiten ajustar de manera precisa el tiempo de exposición, la temperatura del baño y la potencia ultrasónica, lo que facilita la estandarización de procesos y la obtención de resultados consistentes (Quiñonez, 2025). Desde una perspectiva técnica, esta capacidad de control resulta fundamental para garantizar que la limpieza sea efectiva sin comprometer la integridad superficial de los materiales metálicos.

La evolución tecnológica también ha estado acompañada por el desarrollo de soluciones de limpieza más compatibles con procesos ultrasónicos, incluyendo detergentes biodegradables y formulaciones específicas para distintos tipos de contaminantes. Esta combinación de avances en hardware y química aplicada ha fortalecido el carácter sostenible de la limpieza ultrasónica, alineándola con tendencias actuales de reducción del impacto ambiental en procesos industriales.

1.1.3. Implementación de equipos de ultrasonido en el ámbito marítimo y educativo.

La tecnología de ultrasonido ha adquirido un papel cada vez más relevante en el sector marítimo, especialmente en actividades relacionadas con la inspección, el mantenimiento y la evaluación de la integridad estructural de componentes metálicos. En este ámbito, el ultrasonido se utiliza de forma extensiva en los ensayos no destructivos (END), permitiendo detectar discontinuidades internas, pérdidas de espesor por corrosión, grietas y otros defectos sin necesidad de desmontar o dañar los elementos inspeccionados. Este enfoque ha contribuido significativamente a mejorar la seguridad operacional y la confiabilidad de estructuras y sistemas navales.

Según información técnica difundida por empresas especializadas en END, la inspección ultrasónica permite garantizar condiciones más seguras y eficientes en embarcaciones y estructuras marinas, al facilitar la detección temprana de fallas que podrían comprometer el desempeño o la seguridad de los sistemas. Desde una perspectiva técnica, esta capacidad de evaluación preventiva resulta fundamental en ambientes marinos, donde los procesos de corrosión, fatiga y degradación de materiales se ven acelerados por la exposición a humedad, sales y cargas cíclicas. (SYM Naval, 2026)

En este contexto, la implementación de equipos de ultrasonido no se limita únicamente a la inspección, sino que forma parte integral de los programas de mantenimiento predictivo y preventivo. La posibilidad de identificar de manera temprana el deterioro de componentes permite optimizar los planes de mantenimiento, reducir tiempos de inactividad y minimizar costos asociados a fallas inesperadas. Esta lógica de mantenimiento basado en condición se alinea con las tendencias actuales de gestión de activos en el sector marítimo, donde la confiabilidad y la seguridad estructural son prioridades críticas. (Xiao Huang, 2024)

Desde el punto de vista educativo, la incorporación de tecnologías ultrasónicas en instituciones de formación en ingeniería representa una herramienta de alto valor pedagógico. El uso de equipos de ultrasonido en laboratorios y prácticas académicas permite a los estudiantes familiarizarse con tecnologías ampliamente utilizadas en la industria, fortaleciendo competencias técnicas relacionadas con la interpretación de señales, el análisis de defectos, el control de parámetros operativos y la comprensión del comportamiento de los materiales bajo condiciones reales de servicio.

En el caso de la carrera de Ingeniería Marítima, la implementación de equipos de ultrasonido —tanto para inspección como para procesos asociados, como la limpieza

ultrasónica— permite integrar de manera práctica conceptos de mantenimiento, integridad estructural y conservación de componentes metálicos. Esta integración favorece un aprendizaje más aplicado, al vincular la teoría con procedimientos reales utilizados en el entorno marítimo, y contribuye a preparar a los estudiantes para enfrentar situaciones técnicas propias de su ejercicio profesional.

1.2. Aplicaciones del ultrasonido en la ingeniería marítima

El ultrasonido es una tecnología ampliamente utilizada en la ingeniería marítima debido a su capacidad para evaluar, mantener y controlar estructuras metálicas sin generar daños en los componentes. Sus aplicaciones permiten mejorar la seguridad, optimizar el mantenimiento y prolongar la vida útil de los sistemas navales. A continuación, se describen las principales aplicaciones relevantes para el ámbito marítimo.

- **Inspección no destructiva de estructuras y soldaduras**

El ultrasonido es una de las técnicas más utilizadas en los ensayos no destructivos para la detección de discontinuidades internas, defectos de soldadura y grietas en componentes metálicos. En ingeniería marítima, esta aplicación es fundamental para la evaluación de cascos, tuberías, tanques y uniones soldadas, donde la integridad estructural es crítica para la seguridad operativa.

Los métodos ultrasónicos avanzados permiten identificar defectos internos con alta precisión, facilitando la detección temprana de fallas y fortaleciendo los programas de mantenimiento preventivo (Gardahaut et al., 2024). Esta capacidad técnica contribuye directamente al control de calidad estructural en sistemas navales.

- **Medición de espesores y monitoreo de corrosión**

La medición ultrasónica de espesores se emplea ampliamente para evaluar la pérdida de material causada por procesos de corrosión en estructuras marítimas. Esta técnica permite determinar el espesor remanente de componentes sin desmontaje, facilitando inspecciones rápidas y confiables.

Las técnicas ultrasónicas, incluyendo ondas guiadas, han demostrado ser eficaces para la detección de reducción de espesor y defectos asociados a la corrosión en tuberías (Lyu et al., 2024). En ambientes marinos, esta aplicación es clave para la planificación del mantenimiento y la prevención de fallas estructurales.

- **Control de bioincrustación en estructuras marinas**

El ultrasonido ha sido investigado como una alternativa para el control de la bioincrustación en estructuras marinas, fenómeno que incrementa la resistencia hidrodinámica y favorece la corrosión localizada.

Se ha reportado que los métodos acústicos pueden interferir en la adhesión de organismos marinos, reduciendo la formación de biopelículas en superficies sumergidas (Legg et al., 2015). Aunque esta aplicación aún se encuentra en desarrollo, presenta potencial para mejorar la eficiencia operativa de las embarcaciones.

- **Monitoreo estructural permanente**

El ultrasonido también se utiliza en sistemas de monitoreo estructural permanente mediante transductores fijos, permitiendo el seguimiento continuo de procesos de corrosión y pérdida de espesor. Estos sistemas facilitan el mantenimiento predictivo y contribuyen a la reducción del

riesgo de fallas estructurales en componentes críticos (Suchato, 2019), siendo de alto interés para el sector marítimo.

1.2.1. Empleo del ultrasonido en la limpieza y mantenimiento de componentes metálicos navales

El ultrasonido se ha consolidado como una tecnología altamente eficaz para la limpieza y el mantenimiento de componentes metálicos en el sector naval, debido a su capacidad para eliminar contaminantes de forma profunda sin dañar la integridad del material base. Este método se fundamenta en el fenómeno de cavitación, mediante el cual la implosión de microburbujas generadas por ondas ultrasónicas permite desprender óxidos, grasas, carbonilla, sales y otros residuos adheridos incluso en geometrías complejas.

De acuerdo con DCM Ultrasonic, esta tecnología permite una limpieza homogénea en zonas de difícil acceso, como conductos internos, roscas, cavidades y superficies rugosas, lo que representa una ventaja significativa frente a métodos tradicionales como el cepillado manual o los baños químicos prolongados. La empresa señala que la limpieza por ultrasonidos mejora la calidad del mantenimiento y reduce los tiempos de intervención, optimizando los procesos en talleres navales y astilleros. (Ultrasonic, 2026)

Asimismo, la empresa dedicada a la limpieza con ultrasonidos en Madrid Kleenforte destaca que la aplicación del ultrasonido en el mantenimiento naval contribuye a la preservación de componentes críticos, tales como inyectores, intercambiadores de calor, válvulas, bombas y piezas del sistema de propulsión, al evitar el desgaste mecánico asociado a métodos abrasivos. Este enfoque favorece la prolongación de la vida útil de los equipos y la reducción de costos por reemplazo prematuro. (KleenForte, 2023)

En esta misma línea, publicaciones técnicas difundidas por DCM Ultrasonic en LinkedIn resaltan que la tecnología ultrasónica facilita la integración en rutinas de mantenimiento preventivo, permitiendo estandarizar procesos de limpieza con resultados repetibles y controlados. Esto resulta especialmente relevante en el ámbito naval, donde la confiabilidad de los sistemas mecánicos es un factor crítico para la seguridad y la eficiencia operativa. (Ultrasonic, 2026)

En conjunto, estas características posicionan al ultrasonido como una herramienta estratégica para el mantenimiento de componentes metálicos navales, al ofrecer una combinación de alta eficacia, reducción del uso de productos químicos, menor intervención manual y preservación de la integridad estructural de las piezas, aspectos clave para la ingeniería marítima moderna.

1.2.2. Ventajas frente a métodos tradicionales de limpieza mecánica o química.

La limpieza por ultrasonido presenta ventajas importantes frente a los métodos tradicionales de limpieza mecánica y química, especialmente en la preservación de la integridad superficial de los componentes metálicos. A diferencia de los procesos mecánicos, que pueden generar desgaste, alteración dimensional y microdaños, el ultrasonido actúa sin contacto directo, reduciendo el riesgo de deterioro físico de las piezas.

En comparación con la limpieza química convencional, la tecnología ultrasónica permite disminuir el uso de solventes agresivos, reduciendo riesgos para el personal y el impacto ambiental. Asimismo, su capacidad para limpiar cavidades internas y zonas de difícil acceso representa una ventaja significativa en componentes navales de geometría compleja.

Adicionalmente, el control de parámetros como frecuencia, potencia y tiempo de exposición permite estandarizar el proceso, logrando resultados repetibles y mejorando la

eficiencia del mantenimiento. En conjunto, estas características posicionan a la limpieza ultrasónica como una alternativa superior para aplicaciones de mantenimiento en ingeniería marítima.

2. CAPÍTULO II: PARTES Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ULTRASÓNICO

2.1. Partes y Funcionamiento del Sistema Ultrasónico

El principio de operación de un sistema ultrasónico se basa en la generación de ondas mecánicas de alta frecuencia (superiores al umbral auditivo humano, típicamente >20 kHz) que se propagan a través de un medio líquido. Este proceso se divide en etapas críticas que van desde la síntesis de la señal eléctrica hasta la generación del fenómeno de cavitación.

El funcionamiento general se resume en un fenómeno llamado Cavitación Ultrasónica, que ocurre en tres etapas críticas:

- ✓ Rarefacción (Presión Negativa) Cuando la cara del transductor se retrae, "tira" del líquido. Como los líquidos no tienen mucha resistencia a la tracción, si la fuerza es suficiente, el líquido se "rompe" y se crean millones de cavidades o burbujas microscópicas de vacío.
- ✓ Crecimiento. Durante los siguientes ciclos de vibración, estas burbujas crecen. No están llenas de aire, sino de un poco de vapor del propio líquido y vacío. La burbuja absorbe energía de las ondas sonoras hasta que alcanza un tamaño inestable.
- ✓ Implosión (El "Micro-Jet"). Cuando la burbuja ya no puede absorber más energía, colapsa violentamente. No es una explosión hacia afuera, sino una implosión.

En el centro de esa burbuja que colapsa, se generan presiones de hasta 1,000 atmósferas y temperaturas de 5,000 K (similares a la superficie del sol) por microsegundos.

El colapso genera un micro-chorro de líquido a velocidades de hasta 400 km/h que impacta contra cualquier superficie sumergida. Este es el "cepillo invisible" que limpia o acelera reacciones químicas.

Factores Críticos de Funcionamiento

La carga acústica, si introduces un objeto muy grande o denso en el tanque, la forma en que las ondas rebotan cambia. Esto se llama "atenuación".

La tensión superficial afecta ya que si el agua está muy "dura" (muchos minerales), cuesta más romperla para crear burbujas. Por eso se usan detergentes o agentes químicos.

El Fenómeno de "Puntos Muertos. Debido a la reflexión de las ondas en las paredes del tanque, se crean ondas estacionarias. Hay lugares donde la cavitación es nula (nodos) y lugares donde es máxima (antinodos). Los sistemas avanzados usan la función Sweep (barrido) para mover estos puntos y que el funcionamiento sea uniforme.

2.1.1. Parámetros operativos: frecuencia, potencia, tiempo y temperatura.

En la práctica, la optimización del sistema depende de entender cómo se afectan estos cuatro pilares entre sí para alcanzar el punto de máxima eficiencia acústica.

Frecuencia

La frecuencia de operación es uno de los parámetros más importantes en un sistema de limpieza por ultrasonido, ya que determina el comportamiento del fenómeno de cavitación y, en consecuencia, la intensidad del proceso de limpieza. La selección de una frecuencia adecuada depende del tipo de material, del nivel de contaminación y de la delicadeza de las piezas que serán sometidas al proceso.

Las frecuencias bajas generan burbujas de cavitación de mayor tamaño, las cuales liberan una mayor cantidad de energía al colapsar. Por esta razón, se utilizan principalmente para eliminar contaminantes fuertemente adheridos en piezas robustas. En cambio, las frecuencias más elevadas

producen burbujas más pequeñas y numerosas, proporcionando una limpieza más uniforme y menos agresiva, adecuada para componentes de precisión o superficies delicadas.

Asimismo, (Melissa G Galloni, 2025) señalan que la eficiencia de la cavitación no depende únicamente de la frecuencia, sino también de otros parámetros como la potencia ultrasónica y las propiedades del líquido de limpieza. En la práctica, estos factores deben mantenerse en equilibrio para garantizar una adecuada formación de cavitación y obtener un proceso de limpieza eficiente.

En el equipo implementado en este proyecto técnico, la frecuencia de operación ha sido diseñada por el fabricante para ofrecer un equilibrio entre capacidad de limpieza y protección de la superficie de los componentes metálicos, permitiendo obtener resultados satisfactorios en las prácticas realizadas con piezas utilizadas en el ámbito marítimo.

Potencia

La potencia ultrasónica corresponde a la energía que el generador suministra a los transductores para producir las vibraciones responsables del fenómeno de cavitación. Este parámetro influye directamente en la intensidad del proceso de limpieza, ya que una potencia insuficiente limita la formación de cavitación y reduce la capacidad de remover contaminantes. Según Lorimer (2002), la potencia es uno de los principales factores que determinan la eficiencia de los procesos ultrasónicos, debido a su influencia sobre la energía liberada durante la implosión de las microburbujas.

En este sentido, seleccionar una potencia adecuada resulta fundamental para obtener una limpieza eficiente sin afectar la estabilidad del proceso. Aunque podría suponerse que una mayor potencia siempre mejora el rendimiento, en la práctica es necesario mantener un equilibrio con

otros parámetros, como la frecuencia y la temperatura de trabajo, para asegurar una distribución uniforme de la cavitación dentro del tanque.

Diversos estudios sobre cavitación indican que, bajo determinadas condiciones de alta intensidad ultrasónica, puede producirse una acumulación de burbujas cerca de la superficie emisora, fenómeno conocido como acoustic shielding o bubble shielding. Esta condición disminuye la transmisión de la energía ultrasónica hacia el resto del líquido y puede reducir la eficiencia del proceso (Melissa G Galloni, 2025).

Temperatura

La temperatura es el parámetro que prepara el escenario para que el ultrasonido actúe. Se controla mediante el sistema de control y las resistencias del tanque, al aumentar la temperatura, la viscosidad del líquido disminuye y la presión de vapor aumenta. Esto facilita la formación de burbujas.

El rendimiento máximo suele estar entre los 50 °C y 65 °C. Si la temperatura se acerca demasiado al punto de ebullición del líquido, las burbujas se llenan de vapor de agua. Este vapor actúa como un "amortiguador" que suaviza la implosión, restando efectividad al choque mecánico. Por eso, una máquina de ultrasonido a 90 °C es menos eficiente que una a 60 °C. La temperatura cambia las propiedades físicas del fluido (viscosidad y tensión superficial), lo cual altera cómo responde la burbuja a la frecuencia.

A bajas frecuencias (20-40 kHz), una temperatura de 60°C reduce la viscosidad lo suficiente para que la implosión sea masiva. Si la temperatura sube demasiado (80°C), la presión de vapor dentro de la burbuja aumenta. Al implosionar, ese vapor actúa como un gas de

amortiguación. En términos técnicos, la "violencia" del colapso disminuye, anulando el beneficio de usar bajas frecuencias para trabajos pesados.

Tiempo

El tiempo es la duración del tratamiento, gestionado por el temporizador de la máquina. El funcionamiento prolongado del ultrasonido incrementa la temperatura del líquido de forma natural debido a la absorción de energía acústica (atenuación), el sistema de control debe compensar este aumento para no exceder el punto crítico.

El tiempo inicial de operación es crítico para eliminar el aire disuelto. Si no se da el tiempo suficiente para desgasificar, las burbujas de aire absorberán la energía y la máquina no trabajará a su capacidad real durante los primeros minutos, el tiempo es el integrador de todas las variables. En una máquina de ultrasonido, el tiempo no es solo duración, es acumulación de energía.

El funcionamiento prolongado bajo alta potencia y alta frecuencia provoca una fatiga en los materiales del tanque (erosión) y de las cerámicas del transductor.

El sistema de control debe monitorear el tiempo de exposición, ya que a medida que t aumenta, T tiende a salirse del rango óptimo (50-65°C). Un proceso de 30 minutos sin control de temperatura puede terminar siendo ineficiente debido al sobrecalentamiento del medio.

2.2. Materiales y procesos involucrados

Materiales de componentes de pequeña escala que, debido a su complejidad geométrica o requisitos de tolerancia, exigen procesos de limpieza avanzados. La limpieza por ultrasonido se presenta como la solución técnica superior, utilizando el fenómeno de la cavitación acústica para eliminar contaminantes en zonas donde el cepillado manual es físicamente imposible.

2.2.1. Tipos de materiales metálicos utilizados en componentes marítimos.

Aceros Inoxidables Austeníticos (Serie 300 - AISI 316L / 304)

Se compone de: inyectores de combustible, válvulas de retención, acoples de alta presión, sensores de nivel.

Estos aceros extraen su resistencia de la "capacidad de pasivación" que es el posible desarrollo espontáneo de una película de óxido de cromo de espesor nanométrico. En el caso del sector marítimo, el ion cloruro del agua de mar ataca los puntos débiles de esta capa, siendo la causa de picaduras (pitting). (Planes, 2018)

Ante la respuesta al ultrasonido, estos soportan altas intensidades de cavitación sin sufrir erosión superficial inmediata, por lo que están indicados para utilizar frecuencias de 28 kHz para limpiezas pesadas o 40 kHz para acabados espejo.

Aleaciones de Aluminio y Zinc (Zamak / Aluminio Grado Marino)

- ✓ **Componentes:** Cuerpos de carburadores de motores fuera de borda, carcasas de bombas de agua pequeñas y tapas de termostato.

El aluminio es un metal anfótero, lo que significa que reacciona tanto con ácidos como con bases. En componentes como los carburadores, el mayor reto es la "corrosión blanca" (óxido de aluminio), que es voluminosa y puede bloquear conductos internos. El Zamak (aleación de Zinc, Aluminio, Magnesio y Cobre), común en cuerpos de bombas, es aún más sensible a la degradación galvánica. (Ritsuka, 2026).

La respuesta al ultrasonido ante estas aleaciones requiere frecuencias altas (40 kHz) y tiempos controlados. Una exposición excesiva a bajas frecuencias puede causar "picado" (pitting) mecánico en la superficie del aluminio debido a la violencia de las implosiones.

Aleaciones de Cobre (Bronce, Latón y Cuproníquel)

- ✓ **Componentes:** Hélices de pequeña escala, impulsores de bombas de achique, espigas, válvulas de fondo (seaking) y tornillería de bronce.

Estas aleaciones son fundamentales en el sistema de propulsión y refrigeración por su alta conductividad térmica y propiedades antifouling. El problema técnico principal es la deszincificación en los latones (donde el zinc se lixivia, dejando una estructura de cobre porosa y débil) y la formación de carbonatos de cobre (pátina verde). (Velling, 2019).

Frente a este tipo de aleaciones, siendo estas de materiales "blandos" en términos acústicos, el ultrasonido responde muy bien a temperaturas medias (40°C - 50°C), las cuales facilitan la eliminación de óxidos de cobre sin necesidad de ácidos fuertes que puedan comprometer las tolerancias de la rosca.

Aceros Aleados y Carbonados

- ✓ **Componentes:** Tornillería de alta resistencia (grados 8.8 o 10.9), resortes de válvulas y engranajes de transmisión secundaria.

Son la columna vertebral de la mecánica naval (tornillería de grado, ejes, engranajes). Su principal vulnerabilidad es la oxidación termodinámica inmediata. Al no poseer elementos de aleación que generen capas pasivas, el hierro reacciona instantáneamente con el oxígeno y la humedad. (Lilly, 2024).

En respuesta al ultrasonido estas aleaciones requieren una acción mecánica vigorosa (28 kHz) para remover grasas carbonizadas y aceites quemados. Es crítico integrar un inhibidor de corrosión en la solución de limpieza.

Aleaciones de Titanio (Ti-6Al-4V)

- ✓ **Componentes:** Sensores de profundidad, carcasas de cámaras submarinas, transductores de sonar y tornillería de alta fatiga.

El titanio es valorado por su inmunidad casi total a la corrosión por cloruros. Sin embargo, en el mantenimiento de precisión, el reto es eliminar las biopelículas (biofouling) que se adhieren a su superficie sin alterar la rugosidad del material. (ScienceDirect, 2017)

Es un transmisor acústico excepcional, por lo que sometido al ultrasonido este requiere frecuencias de 40 kHz para una limpieza "molecular". Es imperativo utilizar agua desionizada en el baño para evitar que los minerales del agua común se depositen en los microporos del metal durante la implosión de las burbujas.

Metales Blancos y Aleaciones de Babbitt

- ✓ **Componentes:** Cojinetes de fricción de motores auxiliares y bocinas de ejes de pequeña escala.

Estas aleaciones (basadas en estaño, antimonio y cobre) son extremadamente blandas. Su función es permitir que partículas extrañas se "incrusten" en ellas para no dañar el eje principal. (Jaytee, s.f)

Este tipo de aleaciones en respuesta al ultrasonido son altamente sensibles a la erosión por cavitación, debido a su baja dureza. Se deben tratar con ciclos cortos (menores a 10 minutos) y frecuencias altas (40 kHz) para minimizar el impacto mecánico directo, priorizando la acción química del detergente sobre la fuerza de choque.

Aleaciones de Níquel-Cobre (Monel 400 / K-500)

- ✓ **Componentes:** Válvulas de purga, ejes de bombas de alta velocidad y sujetadores expuestos a salpicadura constante (splash zone).

Estas aleaciones combinan la resistencia mecánica del acero con la resistencia química del cobre. Son propensas a acumular incrustaciones calcáreas extremadamente duras. (Corrosion Materials, s.f)

Sometidos al ultrasonido estos soportan los regímenes más agresivos de la tina de 30L (28 kHz). La densidad del Monel permite que la energía ultrasónica se propague uniformemente, desprendiendo depósitos minerales incluso en las roscas más finas sin riesgo de deformación plástica.

Fundición de Hierro Gris / Nodular

- ✓ **Componentes:** Bloques de cilindros de compresores pequeños, cuerpos de bombas de aceite y colectores de escape enfriados por agua.

A diferencia del acero, la fundición es porosa. Tiende a absorber aceites y combustibles dentro de su estructura superficial, lo que puede provocar fallas en la adherencia de pinturas posteriores. (Huxiawang Group, 2023)

La limpieza ultrasónica aplicado a estas aleaciones es el único método capaz de extraer el aceite "atrapado" en los poros del hierro. Se recomienda una temperatura de 60°C para dilatar los poros y permitir que el detergente alcalino emulsione las grasas profundas.

Protocolos de Limpieza Ultrasónica por Componente

Para garantizar la integridad del material y la eliminación total de contaminantes (sales, grasas y bio-incrustaciones), se definen los siguientes protocolos de operación técnica.

Inyectores de Combustible y Boquillas (Acero Inoxidable)

- ✓ Este componente es crítico debido a sus orificios de salida de escala micrométrica, donde la acumulación de carbonilla altera la atomización del combustible.
- ✓ Se selecciona una frecuencia alta (40kHz) porque genera burbujas de cavitación más pequeñas y numerosas. Esto permite una penetración capilar en los orificios del inyector, donde burbujas de frecuencias menores (como 28 kHz) no podrían ingresar debido a su tamaño relativo.
- ✓ Las temperaturas para estos componentes oscilan entre (50°C - 60°C). El calor es fundamental para reducir la viscosidad de los hidrocarburos pesados y polímeros de carbono. Al alcanzar este rango, el contaminante se ablanda, facilitando que el micro-chorro (micro-jet) resultante de la implosión de la burbuja lo desprenda del acero.
- ✓ El intervalo necesario para garantizar que la solución sature las galerías internas y que la acción mecánica remueva depósitos carbonosos endurecidos por la temperatura de operación del motor es de (15 a 20 minutos).

Válvulas y Conectores de Bronce/Latón

- ✓ Estos componentes enfrentan el reto de la oxidación superficial y la obstrucción por barnices de combustible en conductos laberínticos.
- ✓ Se opta por una frecuencia media-alta (37 kHz - 40 kHz) para equilibrar la fuerza de choque con la delicadeza requerida por las aleaciones no ferrosas. En el caso del carburador, los 40 kHz aseguran la limpieza de los pasos de aire sin causar erosión en las paredes de aluminio.

- ✓ Se limita a un máximo de 55°C para evitar la oxidación térmica o el deslustre (pérdida de brillo) del cobre y el zinc presentes en estas aleaciones. Una temperatura controlada protege la integridad de los asientos de válvulas.
- ✓ Los componentes con geometrías internas complejas, como el cuerpo de un carburador, requieren tiempos cercanos a los 25 minutos para asegurar que las burbujas de cavitación lleguen a las "zonas de sombra" o áreas ciegas.

Tornillería y Elementos de Sujeción (Acero Inoxidable / Galvanizado)

- ✓ La remoción de incrustaciones calcáreas y cristales de sal que bloquean los hilos de la rosca.
- ✓ Al ser piezas robustas, se utiliza la frecuencia más baja para generar burbujas de mayor tamaño y energía. La implosión mecánica a 28 kHz es mucho más agresiva, lo cual es ideal para fracturar y desprender depósitos de sal dura (electrolitos cristalizados).
- ✓ La temperatura ideal para estos componentes es (50°C), facilita la dilatación térmica diferencial entre el perno metálico y la costra de sal. Al dilatarse el metal, la costra de sal se agrieta, permitiendo que la solución de limpieza y la energía acústica penetren en la interfaz entre el contaminante y la rosca.
- ✓ Dado que la contaminación es externa, un ciclo de 15 minutos bajo una cavitación vigorosa es suficiente para restaurar la movilidad de las roscas y permitir un torque de ensamblaje preciso.

Sensores e Instrumentación (Titanio y Aleaciones Especiales)

- ✓ Componentes de alta sensibilidad donde el biofouling altera la conductividad o las lecturas ópticas.

- ✓ Se requiere un régimen de cavitación suave (40 kHz) para evitar el daño a transductores internos o capas pasivas delgadas. La alta frecuencia garantiza una limpieza "a nivel molecular" que remueve biopelículas sin rayar las superficies.
- ✓ Temperatura que no pasen los 35°C, para proteger los componentes electrónicos internos y los sellos elastoméricos (O-rings) que suelen ser sensibles al calor extremo.
- ✓ Se aplican ciclos cortos de no más de 8 minutos para evitar el fenómeno de fatiga por cavitación, el cual podría generar micro-fisuras en materiales tan rígidos como el titanio si se exponen a vibración ultrasónica prolongada.

Carburadores de Motores Fuera de Borda (Aluminio/Zamak)

- ✓ A frecuencias elevadas, las burbujas de cavitación son de menor diámetro y poseen una mayor capacidad de penetración. En un carburador, esto es vital para que la energía acústica logre "viajar" a través de los conductos de aire y combustible (espreas y venturis) cuyos diámetros son inferiores a 1 mm, donde una frecuencia menor (28 kHz) generaría burbujas demasiado grandes para entrar eficazmente.
- ✓ El incremento de temperatura reduce la tensión superficial y la viscosidad de los barnices derivados de la gasolina degradada. Al alcanzar los 55°C, el contaminante se ablanda, facilitando que el micro-chorro (micro-jet) de la implosión de la burbuja desprenda la resina del sustrato metálico sin necesidad de solventes agresivos que corroan el aluminio.
- ✓ Debido a la complejidad geométrica (laberintos internos), el tiempo se extiende hasta 25 minutos para asegurar que la solución de limpieza sature todas las cavidades y que el efecto de cavitación sea estadísticamente uniforme en toda la pieza.
- ✓ Desafío técnico: Poseen conductos internos (espreas y venturis) de diámetros menores a 1 mm. La acumulación de "barniz" (combustible degradado) o sales impide el flujo laminar,

provocando fallos en la combustión. La limpieza manual es insuficiente ya que no puede acceder a las cavidades internas.

2.2.2. Tipos de contaminantes comunes en piezas metálicas.

La identificación precisa de los contaminantes es el paso previo fundamental para la programación de la tina de ultrasonido. En el entorno marítimo, estos residuos no solo ensucian la superficie, sino que alteran la rugosidad, obstruyen conductos de precisión y promueven la degradación acelerada del material.

Contaminantes de Origen Biótico (Biofouling Microscópico)

- ✓ Biopelículas bacterianas, microalgas y residuos proteicos de microorganismos marinos.
- ✓ Estos contaminantes se adhieren mediante polímeros extracelulares que actúan como un pegamento biológico. Su metabolismo genera ácidos orgánicos que despasivan el acero inoxidable y el titanio, facilitando la corrosión bajo depósito.
- ✓ El ultrasonido de alta frecuencia (40 kHz) es extremadamente eficaz contra la biomasa. Las microondas de choque generadas por la cavitación producen un efecto de "frotado molecular" que rompe las membranas celulares y desprende la biopelícula sin necesidad de biocidas tóxicos. La energía acústica penetra en las irregularidades del metal donde estos organismos se alojan.

Contaminantes de Origen Químico

- ✓ Cloruro de sodio, carbonatos de calcio y magnesio (sarro) y productos de corrosión como la herrumbre.
- ✓ Estos contaminantes suelen presentarse como costras cristalinas duras y quebradizas. En la tornillería y conectores, el salitre cristaliza dentro de los valles de la rosca, generando un bloqueo mecánico conocido como "soldadura por sal".

- ✓ La remoción se basa en la fractura mecánica. Al utilizar una frecuencia de 28 kHz, las burbujas de cavitación son más grandes y potentes. Al implosionar sobre la superficie cristalina, la onda de choque genera microgrietas en el sarro. El líquido de limpieza penetra en estas grietas y, mediante la vibración constante, expande el contaminante desde el interior hasta que se pulveriza y se desprende del metal base.

Contaminantes de Operación

- ✓ Carbonilla (hollín), barnices de combustible, grasas sulfonadas y limalla metálica (partículas de desgaste).
- ✓ Típicos de carburadores y sistemas de inyección. Los barnices son el resultado de la oxidación de la gasolina estancada, formando una capa polimérica pegajosa que obstruye espreas. La limalla metálica, por su parte, se adhiere por magnetismo residual o por estar atrapada en grasas espesas.
- ✓ Aquí el proceso clave es la emulsificación y dispersión. Las ondas ultrasónicas aceleran la reacción química del detergente alcalino. La cavitación fragmenta las gotas de aceite y las capas de barniz en partículas de tamaño submicroscópico. Estas partículas son rodeadas por las moléculas del agente limpiador, impidiendo que vuelvan a depositarse en la pieza (re-deposición), manteniéndolas en suspensión en el baño de ultrasonido.

3. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO

3.1. Generalidades el equipo

Para materializar el presente trabajo de titulación se seleccionó un equipo de limpieza de la marca CREWORKS, un fabricante especializado en maquinaria industrial y de taller que produce esta línea de limpiadores ultrasónicos en distintas capacidades, orientadas tanto a uso en entornos académicos, laboratorios a aplicaciones técnicas más exigentes.

El modelo elegido corresponde a la versión de 30 litros, pensada específicamente para el tratamiento de limpieza en piezas de mayor tamaño y para trabajos de limpieza más intensivos, como es el caso de componentes metálicos que prestan óxido, grasa, carbón acumulado u otro tipo de contaminantes adheridos a su superficie (CREWORKS, 2025).

Esta línea de equipos forma parte de la categoría de limpiadores ultrasónicos de sobremesa (benchtop), es decir, unidades autocontenidas que integran un mismo cuerpo en el tanque de trabajo, el generador ultrasónico, el sistema de calentamiento y el panel de control. En comparación con los sistemas industriales de mayor escala, que suelen requerir instalaciones fijas líneas de alimentación independientes, este modelo fue concebido para operar de manera autónoma y portátil, con asas integradas y bases con apoyos antideslizantes las cuales facilitan su instalación y traslado dentro del entorno requerido, en este caso en el taller de máquinas, sin necesidad de adecuaciones estructurales mayores. (CREWORKS, 2025).

La elección de este equipo para el desarrollo del proyecto responde a las necesidades de la carrera, donde es frecuente trabajar con piezas metálicas de diferentes dimensiones utilizadas en practicas apegadas a la ingeniería marítima. Su capacidad permite limpiar simultáneamente varios componentes favoreciendo a las actividades académicas.

3.2. Modelo y especificaciones

La CREWORKS Professional Ultrasonic Cleaner de 30 L, un equipo diseñado para aplicaciones técnicas que requieren la remoción eficiente de contaminantes en componentes metálicos mediante el fenómeno de cavitación ultrasónica. (CREWORKS, s.f). La elección de este modelo responde a su capacidad, facilidad de operación y características técnicas, las cuales permiten adaptarlo a las necesidades dentro de la carrera.

Ilustración 2: CREWORKS - Máquina de Limpieza Ultrasónica Digital de 30L



Fuente 2: Tomada de la tienda de CREWORKS

El equipo incorpora un tanque de 30 litros de capacidad, fabricado en acero inoxidable AISI 304, material ampliamente utilizado por su resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza. Su frecuencia de operación es de 40 kHz, valor que proporciona un equilibrio adecuado entre la intensidad de la cavitación y la protección de la superficie de las piezas, permitiendo eliminar contaminantes sin afectar la integridad del material. Además, dispone de una potencia ultrasónica de 600 W, complementada con un sistema de calentamiento de 600 W, cuya temperatura puede

regularse entre 20 °C y 80 °C, favoreciendo la remoción de aceites, grasas y otros residuos adheridos a los componentes metálicos. (CREWORKS, s.f).

Otra característica importante es su panel de control digital, el cual permite programar el tiempo de limpieza entre 1 y 30 minutos, facilitando la adaptación del proceso según el tipo de material y el nivel de contaminación de las piezas. Asimismo, el equipo incorpora una válvula de drenaje para el vaciado del tanque, asas laterales para facilitar su transporte y una cesta de acero inoxidable que evita el contacto directo de las piezas con el fondo del tanque, contribuyendo a proteger los transductores ultrasónicos durante la operación. (CREWORKS, s.f)

Desde el punto de vista de la seguridad y confiabilidad, el fabricante indica que el equipo cuenta con certificaciones, las cuales respaldan el cumplimiento de requisitos relacionados con seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y restricción del uso de sustancias peligrosas en equipos electrónicos. Estas certificaciones constituyen un respaldo adicional para su implementación en un entorno académico, donde se requiere operar equipos confiables y seguros durante las prácticas de laboratorio. (CREWORKS, s.f).

Las principales especificaciones técnicas del equipo seleccionado se presentan en la tabla...

Tabla 1: Especificaciones técnicas del sistema de limpieza por ultrasonido CREWORKS 30 L

Parámetro	Especificación
Modelo	CREWORKS Professional Ultrasonic Cleaner 30 L
Capacidad del tanque	30 L
Material del tanque	Acero inoxidable AISI 304
Frecuencia ultrasónica	40 kHz
Potencia ultrasónica	600 W
Potencia del calentador	600 W
Rango de temperatura	20–80 °C
Temporizador	1–30 min

Material de la cesta	Acero inoxidable AISI 304
Sistema de drenaje	Válvula inferior de descarga
Alimentación	110–120 V AC / 60 Hz
Certificaciones	CE, RoHS y FCC
Garantía	1 año

Fuente 3: Adoptado de CREWORKS Equipments <https://www.creworksequipment.com/products/30l-professional-ultrasonic-machine-duc-bk30-us>

3.3. Componentes principales del sistema

El sistema de limpieza por ultrasonido está conformado por un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que trabajan de manera integrada para generar el fenómeno de cavitación responsable de la eliminación de contaminantes en las superficies metálicas. Cada uno de estos elementos cumple una función específica dentro del proceso de limpieza, permitiendo que el equipo opere de forma segura, eficiente y con parámetros controlados.

3.3.1. Tanque de limpieza

El tanque constituye la parte principal del sistema, ya que en su interior se deposita la solución de limpieza y las piezas que serán sometidas al proceso ultrasónico. Generalmente está fabricado en acero inoxidable AISI 304 debido a su elevada resistencia a la corrosión, estabilidad frente a variaciones de temperatura y facilidad de limpieza.

Según (CREWORKS, 2025), el modelo seleccionado para este proyecto incorpora un tanque de 30 litros, capacidad suficiente para limpiar componentes metálicos utilizados durante las prácticas de Ingeniería Marítima. Esta dimensión permite trabajar con piezas de diferentes tamaños sin afectar la distribución de las ondas ultrasónicas dentro del líquido.

Desde el punto de vista funcional, el tanque no actúa únicamente como recipiente; también constituye el medio donde se transmite la energía generada por los transductores hacia la solución

limpiadora. Por esta razón, su diseño influye directamente en la distribución uniforme de la cavitación y, en consecuencia, en la eficiencia del proceso de limpieza.

Ilustración 3: Tanque de limpieza



Fuente 4: Tomada de la tienda de CREWORKS en Amazon

3.3.2. Transductores ultrasónicos

Los transductores representan el componente más importante del sistema, ya que son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el generador en vibraciones mecánicas de alta frecuencia. Estas vibraciones se transmiten al tanque y posteriormente al líquido de limpieza, originando el fenómeno de cavitación.

Lorimer (2002) explican que el funcionamiento de un sistema ultrasónico depende de la capacidad de los transductores para producir ondas acústicas estables, capaces de generar millones de microburbujas que implosionan sobre la superficie de las piezas. En el contexto del presente

proyecto, este componente resulta esencial porque determina la intensidad y uniformidad del proceso de limpieza.

Los equipos modernos utilizan principalmente transductores piezoeléctricos debido a su elevada eficiencia energética, mayor estabilidad de funcionamiento y larga vida útil.

3.3.3. Generador ultrasónico

El generador ultrasónico es el dispositivo electrónico encargado de producir la señal eléctrica de alta frecuencia que alimenta los transductores. Su función consiste en convertir la corriente eléctrica convencional en impulsos eléctricos adecuados para generar vibraciones ultrasónicas constantes.

Según (Melissa G Galloni, 2025), la estabilidad de la frecuencia constituye uno de los factores que más influye en la formación uniforme de la cavitación. Por ello, los generadores modernos incorporan sistemas electrónicos capaces de mantener la frecuencia de operación prácticamente constante durante todo el ciclo de limpieza.

En el equipo seleccionado, el generador trabaja a una frecuencia de 40 kHz, valor ampliamente utilizado para la limpieza de componentes metálicos debido a que proporciona un equilibrio entre capacidad de limpieza y protección de las superficies.

3.3.4. Sistema de calentamiento

El equipo incorpora una resistencia eléctrica cuya función es elevar la temperatura de la solución de limpieza antes y durante el proceso ultrasónico. El incremento de temperatura favorece la disminución de la viscosidad de aceites y grasas, facilitando su desprendimiento de la superficie metálica.

Sin embargo, la temperatura debe mantenerse dentro de los rangos recomendados por el fabricante, ya que un calentamiento excesivo puede disminuir la intensidad del fenómeno de cavitación y afectar la eficiencia del proceso. Por esta razón, el sistema dispone de un controlador que permite ajustar la temperatura entre 20 °C y 80 °C (CREWORKS, s.f).

3.3.5. Panel de control

El panel de control constituye la interfaz entre el operador y el sistema. A través de este elemento es posible configurar parámetros como el tiempo de limpieza y la temperatura del líquido, además de supervisar el estado de funcionamiento del equipo.

Su diseño digital facilita la programación del proceso y reduce la posibilidad de errores durante la operación, permitiendo adaptar las condiciones de limpieza a las características de cada componente metálico.

Ilustración 4: Panel de control



Fuente 5: Tomada de la tienda de CREWORKS en Amazon

3.3.6. Cesta porta piezas

La cesta metálica permite colocar las piezas dentro del tanque sin que entren en contacto directo con el fondo del recipiente. Esta característica protege los transductores ultrasónicos de posibles impactos y favorece una distribución uniforme de la energía de cavitación alrededor de las superficies.

El fabricante recomienda utilizar siempre la cesta durante la operación del equipo para evitar daños tanto en los componentes del sistema como en las piezas sometidas a limpieza (CREWORKS, s.f).

Ilustración 5: Cesta porta piezas



Fuente 6: Tomada de la tienda de CREWORKS en Amazon

3.3.7. Válvula de drenaje

La válvula de drenaje facilita el vaciado de la solución limpiadora una vez finalizado el proceso. Su incorporación simplifica las labores de mantenimiento y permite renovar el líquido de trabajo de forma rápida y segura, evitando la manipulación directa del tanque cuando este contiene soluciones calientes. (CREWORKS, s.f).

Ilustración 6: Válvula de drenaje



Fuente 7: Tomada de la tienda de CREWORKS en Amazon

3.4. Instalación y puesta en funcionamiento del sistema

La correcta instalación del sistema de limpieza por ultrasonido constituye un aspecto fundamental para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y acorde con las condiciones de trabajo establecidas por el fabricante. Antes de iniciar las pruebas experimentales, se verificó que el lugar de instalación, la alimentación eléctrica y las condiciones generales del equipo fueran adecuadas para su operación, minimizando riesgos y asegurando la estabilidad del proceso de limpieza.

3.4.1. Ubicación del equipo

El sistema de limpieza por ultrasonido fue instalado en el Taller de Máquinas de la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), espacio destinado al desarrollo de prácticas académicas relacionadas con mantenimiento, desmontaje y evaluación de componentes mecánicos.

La ubicación fue seleccionada considerando aspectos de seguridad, accesibilidad y disponibilidad de servicios básicos. El equipo se colocó sobre una superficie firme, nivelada y resistente, con espacio suficiente para la manipulación de las piezas y el acceso al panel de control. Además, se procuró mantener una adecuada ventilación del área y una distancia prudente respecto a otras máquinas o fuentes de calor, favoreciendo condiciones seguras durante la operación.

La instalación dentro del taller permite que el sistema pueda ser utilizado tanto en actividades prácticas como en proyectos de investigación, fortaleciendo la formación técnica de los estudiantes mediante el uso de una tecnología aplicada al mantenimiento de componentes metálicos.

3.4.2. Conexión eléctrica

Para su funcionamiento, el equipo fue conectado a una alimentación eléctrica de 220 V en corriente alterna, conforme a los requerimientos establecidos por el fabricante. Previamente se verificó que la instalación eléctrica del taller proporcionara el voltaje requerido y contara con una adecuada conexión a tierra, con el propósito de proteger tanto al equipo como a los usuarios frente a posibles fallas eléctricas.

Durante las primeras pruebas de funcionamiento se observó que la alimentación mediante una toma de 110 V no permitía alcanzar de manera eficiente la temperatura programada del sistema de calentamiento. Una vez realizada la conexión a 220 V, el equipo operó de forma normal, alcanzando los parámetros de trabajo establecidos y garantizando un funcionamiento estable durante los ciclos de limpieza. Esta verificación permitió confirmar la importancia de respetar las especificaciones eléctricas del fabricante para obtener un rendimiento adecuado del sistema.

Una vez instalado el equipo, se realizó una inspección inicial con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de todos sus componentes antes de iniciar las pruebas de limpieza.

3.5. Pruebas de funcionamiento del sistema de limpieza por ultrasonido

Objetivo de las pruebas

Con el propósito de verificar el funcionamiento del sistema de limpieza por ultrasonido y evaluar su desempeño en la remoción de contaminantes presentes en componentes metálicos, se realizaron diferentes pruebas experimentales utilizando diversos productos de limpieza y materiales representativos del ámbito mecánico. Estas pruebas permitieron identificar las condiciones de operación más adecuadas para cada tipo de pieza, así como evaluar la influencia del tiempo, la temperatura y la composición de la solución limpiadora sobre la eficiencia del proceso.

Prueba 1: Limpieza con desengrasante industrial

La primera prueba se realizó utilizando un desengrasante industrial diluido en una proporción de tres partes de agua por una parte de producto, empleando como muestras pistones de aluminio. Las piezas fueron colocadas dentro de la cesta del equipo y el sistema se programó para trabajar a una temperatura de 50 °C durante 25 minutos. Antes de iniciar el ciclo de limpieza, se activó la función Degas durante cinco minutos con el fin de eliminar las burbujas presentes en la solución y favorecer una mejor transmisión de las ondas ultrasónicas.

Ilustración 7: Detergente Industrial



Fuente 8: Tomada de <https://distribucionesmvm.com/producto/detergente-liquido-industrial-yilop/?srsltid=AfmBOoq-zFSSRaRcDN0WiJqJ9s47kzP5RcuGgE8wlgc7Wa9UM5cIzVom>

Al finalizar el proceso se evidenció una reducción de la suciedad presente en las piezas; sin embargo, permanecieron residuos visibles, alcanzándose aproximadamente un 50 % del resultado esperado, por lo que se consideró que el desengrasante industrial no ofrecía el nivel de limpieza requerido para este tipo de componentes.

Prueba 2: Limpieza con desengrasante alcalino

La segunda prueba se desarrolló utilizando un desengrasante alcalino específico para limpieza ultrasónica, aplicando sobre piezas de aluminio y acero bajo las mismas condiciones iniciales de operación (50 °C y 25 minutos). Los resultados obtenidos evidenciaron una mayor capacidad para remover aceites, grasas y contaminantes adheridos, logrando un nivel de limpieza cercano al 80 %.

**Ilustración 8: Desengrasante
alcalino**



Fuente 9: Tomado de <https://pqpprofesional.com/product/detergente-alcalino-industrial/>

Durante esta evaluación también se identificó que, al incrementar el tiempo de exposición hasta 30 minutos y la temperatura hasta 60 °C, las piezas de aluminio comenzaron a presentar un oscurecimiento superficial ocasionado por el ataque del detergente alcalino. A partir de esta observación se concluyó que, para este material, resulta más conveniente realizar ciclos de limpieza más cortos o divididos en intervalos, con el fin de evitar alteraciones superficiales sin disminuir la eficiencia del proceso.

Prueba 3: Limpieza con Lavador 100

Con el propósito de evaluar el desempeño de otro agente de limpieza, se realizó una tercera prueba utilizando Lavador 100 como solución limpiadora. Para esta evaluación se emplearon un plato de cabezote de compresor y un buje de pistón, componentes que presentaban residuos de aceite, grasa y suciedad acumulada producto de su uso

.

Ilustración 9: Lavador 100



Fuente 10: Tomado de
<https://proindusquim.com/producto/lavador-100/>

Las piezas fueron colocadas dentro de la cesta porta piezas, evitando el contacto directo con el fondo del tanque para garantizar una adecuada propagación de las ondas ultrasónicas. Posteriormente, se preparó la solución de limpieza siguiendo la dosificación recomendada por el fabricante del producto y se programó el equipo con parámetros similares a los utilizados en las pruebas anteriores.

Al finalizar el ciclo de limpieza se observó una remoción satisfactoria de los contaminantes presentes en ambas piezas. Los residuos de grasa y aceite fueron eliminados en gran parte, permitiendo recuperar el aspecto superficial de los componentes sin evidenciar daños o alteraciones visibles en el material. Estos resultados demostraron que Lavador 100 constituye una alternativa adecuada para la limpieza ultrasónica de componentes metálicos utilizados en labores de mantenimiento mecánico, ofreciendo un desempeño similar al obtenido con detergentes formulados específicamente para este tipo de procesos.

Prueba 4: Limpieza con Deter 100

En la cuarta prueba se utilizó el producto Deter 100, con el objetivo de comparar su capacidad de limpieza frente a las soluciones evaluadas anteriormente. Como muestra se empleó un pistón de aluminio, el cual presentaba depósitos de aceite y residuos carbonizados adheridos a su superficie.

Ilustración 10: Limpiador Deterclean/Deter100



Fuente 11: Tomada de <https://modecosa.com/productos-quimicos-de-limpieza/95-deter-clean-detergente-liquido-para-ropa-galon.html>

Durante el ensayo se mantuvieron condiciones de operación similares a las pruebas previas, permitiendo que la comparación de resultados dependiera principalmente del comportamiento del agente limpiador. Una vez concluido el proceso, se comprobó una limpieza eficiente de la pieza, observándose una disminución considerable de los contaminantes superficiales y una mejora evidente en el acabado del componente.

Los resultados obtenidos permitieron establecer que Deter 100 presenta un buen desempeño cuando se utiliza en combinación con la limpieza por ultrasonido, favoreciendo la eliminación de residuos sin afectar la integridad superficial del aluminio.

Prueba 5: Limpieza con jabón líquido

Como parte de la evaluación comparativa, se realizó una quinta prueba utilizando jabón líquido comercial como solución de limpieza, con el fin de determinar su comportamiento dentro del proceso ultrasónico. Para esta prueba se emplearon un plato de cabezote de compresor y un buje de pistón, los cuales presentaban un nivel de contaminación similar al de las pruebas anteriores.



Una vez finalizado el ciclo de limpieza, se observó que el jabón líquido logró remover parte de la suciedad superficial; sin embargo, permanecieron residuos de grasa y aceite adheridos a las piezas, obteniéndose un nivel de limpieza inferior al alcanzado con los demás productos evaluados. Esta diferencia puede atribuirse a que el jabón líquido no está formulado específicamente para procesos de limpieza industrial mediante ultrasonido, por lo que su capacidad para desprender contaminantes fuertemente adheridos resulta más limitada.

3.6. Análisis general de las pruebas

De manera general, las pruebas permitieron comprobar que la eficiencia del sistema de limpieza por ultrasonido depende no solo de la acción de la cavitación, sino también de la correcta selección del agente limpiador y de parámetros como la temperatura y el tiempo de exposición. Se observó que los detergentes formulados específicamente para limpieza ultrasónica ofrecieron

mejores resultados que los desengrasantes convencionales, mientras que el control adecuado del tiempo evitó alteraciones superficiales en materiales sensibles como el aluminio.

Estos resultados permitieron establecer criterios de operación que podrán incorporarse en la guía práctica del equipo, favoreciendo un uso más seguro y eficiente del sistema dentro de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Marítima.

Tabla 2: Resultado de las pruebas realizadas

Prueba	Pieza	Solución utilizada	Temperatura	Tiempo	Resultado
1	Pistones de aluminio	Desengrasante industrial	50 °C	25 min	Limpieza parcial (≈50 %)
2	Pistones de aluminio y acero	Desengrasante alcalino	50 °C	25 min	Limpieza satisfactoria (≈80 %)
3	Plato de cabezote y buje de pistón	Lavador 100	Según ensayo	Según ensayo	Evaluación comparativa
4	Pistón	Deter 100	Según ensayo	Según ensayo	Evaluación comparativa
5	Plato de cabezote y buje de pistón	Jabón líquido	Según ensayo	Según ensayo	Evaluación comparativa
6	Filtro de aceite de aluminio	Deterbio	Según ensayo	Según ensayo	Evaluación comparativa

Fuente 12: Elaboración propia

Productos químicos y proporciones de dilución recomendadas para la limpieza por ultrasonido.

Tabla 3: Químicos y proporciones recomendados

Producto químico	Tipo de producto	Proporción o dilución utilizada	Aplicación principal
Desengrasante industrial	Desengrasante alcalino	1:3 (1 parte de producto: 3 partes de agua)	Remoción de grasas, aceites y suciedad pesada en componentes metálicos.

Desengrasante alcalino	Detergente para limpieza ultrasónica	Según especificación del fabricante (aprox. 3–10 % en agua)	Limpieza de piezas metálicas con residuos de aceite y carbonilla.
Lavador 100	Detergente industrial	Según especificación del fabricante	Limpieza de platos de cabezote, bujes y componentes metálicos.
Deter 100	Detergente desengrasante	Según especificación del fabricante	Eliminación de grasas y residuos adheridos en pistones y piezas de aluminio.
Jabón líquido	Detergente de uso general	5 % (aprox. 50 mL/L de agua)	Prueba comparativa como alternativa de limpieza no especializada.
Deterbio	Detergente biodegradable	Según especificación del fabricante	Limpieza de filtros de aceite y componentes metálicos.

Fuente 13: Elaboración propia

4. CAPÍTULO IV: SEGURIDAD, OPERACIÓN Y GUÍA PRÁCTICA DEL SISTEMA

4.1. Normas de seguridad aplicadas

La implementación de un sistema de limpieza por ultrasonido requiere el establecimiento de normas con las que se garanticen una operación segura y adecuada del equipo, que logre reducir los posibles riesgos asociados durante su utilización. Debido a que el sistema trabaja mediante energía eléctrica, generación de vibraciones ultrasónicas y calentamiento de líquidos, por ello es indispensable aplicar y establecer medidas preventivas orientadas tanto a la protección del operador como a la conservación del equipo.

Dentro del contexto del presente trabajo de titulación, las normas de seguridad aplicadas corresponden al conjunto de medidas técnicas, operativas y preventivas necesarias para garantizar el uso seguro del sistema de limpieza ultrasónica dentro del taller de máquinas, dentro de la materia de corrosión de la carrera de Ingeniería Marítima. Estas normas se basan principalmente en las recomendaciones del fabricante del equipo, complementadas con criterios básicos de seguridad eléctrica, manipulación de sustancias y prevención de riesgos durante la operación.

Principales medidas de seguridad operativa

✓ Verificación de la conexión eléctrica:

Uno de los aspectos más importante corresponde a la seguridad eléctrica del sistema. El manual del fabricante señala que el equipo debe conectarse únicamente a una fuente de alimentación estable y correctamente aterrizada, evitando el uso de cables dañados, extensiones. Además, no se recomienda manipular el sistema con las manos húmedas, ya que esto incrementa el riesgo de descargas eléctricas y fallas operativas.

✓ Control del nivel de líquido en el tanque:

El sistema no debe operar sin líquido ni con niveles inferiores a los establecidos por el fabricante, debido a que esta condición puede afectar el funcionamiento de los transductores ultrasónicos y ocasionar daños internos en el equipo. Asimismo, se debe evitar el sobrellenado del tanque para prevenir derrames durante el proceso de cavitación.

✓ **Manipulación segura de líquidos de limpieza:**

Se recomienda evitar el uso de solventes inflamables, sustancias volátiles o productos altamente corrosivos, ya que el incremento de temperatura y las vibraciones ultrasónicas pueden favorecer la liberación de vapores peligrosos o deteriorar el tanque de acero inoxidable. Por esta razón, es preferible utilizar soluciones compatibles y de menor impacto ambiental.

✓ **Prevención de riesgos térmicos:**

Durante el funcionamiento, el sistema puede alcanzar temperaturas elevadas, generando vapor y superficies calientes. Por ello, es importante evitar abrir la tapa inmediatamente después del proceso de limpieza y permitir el enfriamiento parcial del equipo antes de manipular las piezas.

✓ **Uso adecuado de la cesta de limpieza:**

Las piezas deben colocarse siempre dentro de la cesta metálica suministrada por el fabricante y no directamente sobre el fondo del tanque. Esta medida ayuda a proteger los transductores ultrasónicos y favorece una distribución más uniforme de la cavitación durante la limpieza.

✓ **Desconexión del equipo antes del mantenimiento:**

Antes de realizar tareas de limpieza, drenaje o mantenimiento, el sistema debe desconectarse de la fuente de alimentación para reducir riesgos eléctricos y permitir una manipulación segura del equipo.

En conjunto, estas medidas constituyen una base fundamental para garantizar una operación segura del sistema de limpieza ultrasónica dentro del entorno académico, permitiendo conservar la integridad del equipo, así como también la seguridad de los estudiantes y mediante esto lograr fortalecer las prácticas de seguridad en los procesos de mantenimiento aplicados a la ingeniería marítima.

4.1.1. Normativas internacionales y recomendaciones técnicas

La seguridad constituye un aspecto primordial en la implementación de cualquier equipo tecnológico dentro de un entorno académico. En el caso de los sistemas de limpieza por ultrasonido, resulta necesario considerar tanto las recomendaciones operativas del fabricante como las normativas internacionales que respaldan su diseño y funcionamiento. Esto permite garantizar condiciones adecuadas de uso, reducir riesgos para los usuarios y asegurar un desempeño confiable del equipo durante las actividades de laboratorio.

De manera general, normas como la ISO 45001 promueven la identificación y control de riesgos asociados a las actividades de trabajo, mientras que estándares de seguridad eléctrica como la IEC 61010-1 establecen criterios para la protección de los usuarios frente a posibles peligros derivados del uso de equipos eléctricos en laboratorios y entornos técnicos. Aunque estas normas no están dirigidas específicamente a la limpieza ultrasónica, proporcionan lineamientos que contribuyen a una operación más segura y organizada.

Por otra parte, el equipo seleccionado para este proyecto cuenta con certificaciones internacionales que evidencian el cumplimiento de requisitos técnicos y de seguridad reconocidos a nivel mundial. Según la información proporcionada por el fabricante Creworks Equipment, la máquina posee certificación CE, lo que indica que cumple con las exigencias de seguridad, salud y protección ambiental requeridas para su comercialización en el mercado europeo. Asimismo, dispone de certificación RoHS, la cual restringe el uso de determinadas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, favoreciendo prácticas de fabricación más seguras y sostenibles (CREWORKS, s.f).

De igual manera, el sistema cuenta con certificación FCC, relacionada con el control de interferencias electromagnéticas generadas por dispositivos electrónicos. Esta certificación aporta un nivel adicional de confiabilidad al garantizar que el funcionamiento del equipo se mantiene dentro de parámetros aceptables de compatibilidad electromagnética (CREWORKS, s.f).

La presencia de estas certificaciones representa una ventaja para la implementación del sistema dentro de la carrera de Ingeniería Marítima, ya que proporciona respaldo técnico sobre la calidad y seguridad del equipo. En conjunto con las recomendaciones establecidas por el fabricante, constituyen una base importante para desarrollar prácticas seguras y fomentar el uso responsable de esta tecnología en actividades académicas y de investigación.

4.2. Mantenimiento y buenas prácticas

El mantenimiento adecuado del sistema de limpieza por ultrasonido es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento, prolongar la vida útil de sus componentes y conservar la eficiencia del proceso de limpieza. Aunque este tipo de equipos requiere un mantenimiento relativamente sencillo, la aplicación de buenas prácticas de operación permite prevenir fallas,

reducir costos de reparación y mantener condiciones seguras durante su utilización en el laboratorio. En el contexto de la carrera de Ingeniería Marítima, estas actividades también contribuyen a fomentar en los estudiantes hábitos de cuidado y uso responsable de los equipos tecnológicos.

4.2.1. Mantenimiento preventivo y correctivo

El mantenimiento preventivo comprende todas aquellas actividades realizadas de forma periódica con el propósito de evitar averías y conservar el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento. Entre las principales acciones se encuentran la limpieza del tanque después de cada uso, el cambio de la solución limpiadora cuando presente un alto nivel de contaminación, la inspección visual de las conexiones eléctricas y la verificación del correcto funcionamiento del panel de control, del sistema de calentamiento y de la válvula de drenaje.

Asimismo, es recomendable revisar periódicamente el estado de la cesta porta piezas y evitar la acumulación de residuos en el interior del tanque, ya que estos pueden disminuir la eficiencia del fenómeno de cavitación. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante (CREWORKS, s.f), el equipo debe mantenerse limpio, seco y desconectado de la alimentación eléctrica cuando no se encuentre en operación.

Por otra parte, el mantenimiento correctivo se realiza únicamente cuando el equipo presenta alguna falla que impide su funcionamiento normal. Este tipo de intervención puede incluir la sustitución de componentes eléctricos, la reparación del sistema de calentamiento o el reemplazo de transductores ultrasónicos, actividades que deben ser ejecutadas por personal técnico calificado para evitar daños mayores en el equipo.

4.2.2. Identificación y solución de fallas comunes

Durante la operación del sistema pueden presentarse algunas anomalías que afectan el rendimiento del proceso de limpieza. La identificación temprana de estas fallas permite aplicar acciones correctivas oportunas y evitar daños permanentes en el equipo.

Fallas comunes y acciones correctivas del sistema de limpieza por ultrasonido

Tabla 4: Fallas comunes y acciones correctivas

Falla observada	Posible causa	Acción correctiva
El equipo no enciende	Ausencia de alimentación eléctrica o fusible dañado.	Verificar la conexión eléctrica y revisar el fusible.
No se genera cavitación	Nivel insuficiente de líquido o falla de los transductores.	Comprobar el nivel de la solución y revisar el funcionamiento de los transductores.
La solución no alcanza la temperatura programada	Configuración incorrecta o falla del sistema de calentamiento.	Verificar la programación y el funcionamiento de la resistencia eléctrica.
Baja eficiencia de limpieza	Solución contaminada, tiempo insuficiente o detergente inadecuado.	Renovar la solución, ajustar los parámetros de operación y utilizar un producto compatible.
Ruido o vibraciones anormales	Objetos en contacto con el fondo del tanque o instalación inadecuada.	Utilizar la cesta porta piezas y comprobar que el equipo se encuentre nivelado.

Fuente 14: Elaboración propia

4.3. Optimización del rendimiento del sistema

Además del mantenimiento periódico, el rendimiento del sistema depende en gran medida de las condiciones bajo las cuales se realiza el proceso de limpieza. Una adecuada selección del detergente, el control de la temperatura y el tiempo de operación, así como la correcta ubicación de las piezas dentro de la cesta, favorecen la generación uniforme de cavitación y mejoran la eliminación de contaminantes.

También es recomendable utilizar la función Degas antes del primer ciclo de limpieza cuando se prepare una nueva solución, ya que esta permite eliminar el aire disuelto en el líquido y optimizar la propagación de las ondas ultrasónicas. Del mismo modo, la renovación periódica de la solución limpiadora evita la acumulación de residuos que pueden disminuir la eficiencia del proceso.

La aplicación de estas buenas prácticas no solo mejora la calidad de limpieza, sino que también contribuye a reducir el desgaste de los componentes del equipo y a mantener condiciones de operación seguras durante las actividades académicas desarrolladas en el laboratorio.

4.4. Guía práctica para los estudiantes

La presente guía práctica tiene como finalidad orientar a los estudiantes en el uso correcto del sistema de limpieza por ultrasonido durante las actividades de laboratorio. Su aplicación permite estandarizar el procedimiento de limpieza, minimizar errores operativos y garantizar la seguridad de los usuarios, contribuyendo al aprovechamiento adecuado del equipo como herramienta de formación práctica en la carrera de Ingeniería Marítima.

4.4.1. Instrucciones paso a paso para el uso del equipo

Antes de iniciar el proceso de limpieza, el estudiante deberá verificar que el equipo se encuentre limpio, correctamente conectado a la red eléctrica de **220 V** y ubicado sobre una superficie estable.

Posteriormente deberá seguir el siguiente procedimiento:

1. Verificar que el tanque se encuentre limpio y libre de residuos.
2. Preparar la solución de limpieza utilizando el producto y la proporción recomendada.
3. Llenar el tanque hasta el nivel indicado por el fabricante.
4. Colocar las piezas dentro de la cesta porta piezas, evitando el contacto directo con el fondo del tanque.
5. Configurar la temperatura y el tiempo de limpieza de acuerdo con el material y el tipo de contaminante.
6. Activar la función Degas cuando se utilice una solución nueva.
7. Iniciar el ciclo de limpieza ultrasónica.
8. Al finalizar el proceso, retirar cuidadosamente las piezas utilizando guantes de protección.
9. Enjuagar y secar los componentes cuando sea necesario.
10. Vaciar el tanque si la solución no volverá a utilizarse y limpiar el equipo antes de almacenarlo.

Con el fin de mantener un control adecuado de las prácticas realizadas, se recomienda que cada proceso de limpieza sea registrado mediante un formato de laboratorio. En este documento deberán consignarse los principales parámetros de operación y las observaciones obtenidas durante

el ensayo, facilitando el seguimiento del desempeño del equipo y la comparación de resultados entre diferentes prácticas.

4.2.1. Protocolos de seguridad para el uso del sistema de limpieza por ultrasonido

Con el propósito de garantizar la seguridad de los usuarios y preservar el correcto funcionamiento del sistema de limpieza por ultrasonido, se establecen los siguientes protocolos de seguridad, los cuales deberán cumplirse antes, durante y después de cada práctica.

- ✓ Verificar que el equipo se encuentre en buen estado antes de iniciar su operación.
- ✓ Utilizar los equipos de protección personal (guantes de nitrilo, gafas de seguridad, bata de laboratorio y calzado de seguridad) durante la manipulación del equipo y de las soluciones de limpieza.
- ✓ Comprobar que el tanque contenga suficiente solución de limpieza antes de encender el sistema; nunca operar el equipo sin líquido.
- ✓ Emplear únicamente soluciones de limpieza compatibles con el equipo y respetar las concentraciones recomendadas por el fabricante.
- ✓ Colocar las piezas en la cesta portaobjetos, evitando el contacto directo con el fondo del tanque.
- ✓ No introducir las manos en la solución mientras el equipo se encuentre en funcionamiento.
- ✓ Configurar correctamente el tiempo y la temperatura de trabajo de acuerdo con el tipo de componente a limpiar.
- ✓ Desconectar el equipo de la alimentación eléctrica antes de realizar tareas de limpieza o mantenimiento.
- ✓ Mantener el área de trabajo limpia, seca y libre de materiales que puedan interferir con la operación del equipo.

- ✓ Reportar inmediatamente cualquier anomalía o falla al responsable del laboratorio y abstenerse de utilizar el equipo hasta que sea revisado.

Formato de registro de prácticas de limpieza por ultrasonido

Tabla 5: Formato de referencia para futuras prácticas

Fecha	Pieza limpiada	Solución utilizada	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Observaciones	R

Fuente 15: Elaboración propia

El registro sistemático de esta información permitirá construir una base de datos de las prácticas realizadas en el laboratorio, facilitando la evaluación del comportamiento del sistema y promoviendo el desarrollo de actividades experimentales con criterios de organización, trazabilidad y mejora continua.

Conclusiones

- Se logró implementar un sistema de limpieza por ultrasonido en el taller de motores de la carrera de Ingeniería Marítima, incorporando un equipo adecuado para la limpieza de componentes metálicos utilizados en prácticas académicas. Su instalación mejora la infraestructura del laboratorio y pone a disposición de estudiantes y docentes una tecnología de uso industrial que fortalece las actividades de mantenimiento y formación técnica.
- Las pruebas de funcionamiento permitieron evaluar la eficacia del sistema en la remoción de grasas, aceites y otros contaminantes. Los resultados evidenciaron un adecuado desempeño, determinándose que su eficiencia está relacionada con factores como el tipo de solución limpiadora, la temperatura y el tiempo de exposición. Bajo los parámetros empleados, no se observaron daños significativos en la integridad superficial de las piezas.
- Se elaboraron protocolos de operación y normas de seguridad que establecen procedimientos para el uso del equipo, desde la preparación de la solución de limpieza hasta el mantenimiento preventivo y la identificación de posibles fallas. Estos lineamientos contribuyen a garantizar una utilización segura, eficiente y responsable del sistema.
- La incorporación del sistema en una práctica académica con estudiantes de séptimo semestre de la asignatura de Corrosión permitió comprobar su aplicación como recurso de apoyo en la limpieza de componentes metálicos. La actividad facilitó el acercamiento de los estudiantes al funcionamiento y manejo del equipo y a la aplicación del proceso de limpieza en el mantenimiento y conservación de materiales metálicos. De esta manera, el sistema constituye una herramienta de apoyo para futuras prácticas académicas relacionadas con la Ingeniería Marítima.

Recomendaciones

- Incorporar el sistema de limpieza por ultrasonido como parte de las prácticas regulares de las asignaturas relacionadas con mantenimiento, maquinaria marina y laboratorio, de manera que los estudiantes puedan familiarizarse con su funcionamiento y aplicaciones.
- Utilizar soluciones de limpieza compatibles con el material de las piezas y respetar las concentraciones recomendadas por los fabricantes, ya que la selección del producto influye directamente en la eficiencia del proceso y en la conservación de la superficie de los componentes.
- Cumplir con los protocolos de seguridad y operación establecidos en esta investigación, verificando antes de cada uso el estado general del equipo, el nivel de la solución limpiadora y la correcta configuración de los parámetros de trabajo.
- Realizar periódicamente el mantenimiento preventivo del sistema, incluyendo la limpieza del tanque, la inspección de las conexiones eléctricas y la revisión de los principales componentes, con el fin de prolongar la vida útil del equipo y mantener un desempeño óptimo.
- Promover el desarrollo de futuras investigaciones orientadas a evaluar nuevos agentes de limpieza, diferentes frecuencias de operación y otros tipos de componentes metálicos empleados en el sector marítimo, con el propósito de ampliar las aplicaciones del sistema y generar nuevos conocimientos para la carrera.

Referencias

- Corrosion Materials*. (s.f). <https://corrosionmaterials.com/alloys/alloy-k-500/>
- CREWORKS. (4 de November de 2025). How to Use a 30L Ultrasonic Cleaner: Ideal Temperature, Time, and Tips. Creworks Equipment.:
<https://www.creworksequipment.com/blogs/news/how-to-use-a-30l-ultrasonic-cleaner>
- CREWORKS. (s.f). <https://www.creworksequipment.com/products/30l-professional-ultrasonic-machine-duc-bk30-us>
- Firbimatic*. (s.f). <https://www.firbimatic.com/es/blog/limpieza-de-componentes-met%C3%A1licos-mediante-ultrasonidos-1703062910>
- Huxiwan Group*. (11 de Febrero de 2023). <https://en.sdhxw.com/lang/es/newsdetail/11.html>
- ISO. (2018). International Organization for Standardization. *Occupational health and safety managment systems*.
- Jaytee. (s.f). <https://www.jayteealloys.com/alloys/white-metal.php>
- KleenForte*. (18 de February de 2023). <https://www.kleenforte.com/mantenimiento-naval-ultrasonidos/>
- Lilly, L. (26 de November de 2024). *Zintilon*. <https://www.zintilon.com/es/blog/alloy-steel-vs-carbon-steel/>
- Lorimer, T. J. (2002). *Applied Sonochemistry: Uses of Power ultrasound in Chemistry and Processing*.
https://doi.org/https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/352760054X.fmatter_indsub
- Mason, T. J. (2015). Ultrasonic cleaning: An historical perspective. *ScienceDirect*.
<https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417715001339>
- Melissa G Galloni, V. F. (2025). Applications and applicability of the cavitation technology. *ScienceDirect*, 48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coche.2025.101129>
- Planes, F. (24 de November de 2018). *Planes Ferros*. <https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>
- Quiñonez, E. (13 de Junio de 2025). *Inspenet*. Inspenet: <https://inspenet.com/articulo/evolucion-tecnologica-ultrasonido-industrial/>
- Ritsuka. (25 de Julio de 2026). <https://www.ritsukaparts.com/es/product/carburadores/>
- ScienceDirect. (2017). <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ti-6al-4v-alloy>
- SYM Naval*. (09 de Marzo de 2026). <https://sym-naval.com/es/blog/ensayos-no-destructivos-en-reparacion-naval/>

Ultrasonic, D. (14 de Mayo de 2026). *Mantenimiento Naval con Tecnología Ultrasónica*.
<https://doi.org/https://www.linkedin.com/pulse/mantenimiento-naval-con-tecnolog%C3%ADa-ultras%C3%B3nica-dcm-ultrasonic-mvppf/>

Velling, A. (11 de Julio de 2019). *Fractory*. <https://fractory.com/copper-alloys/>

Xiao Huang, G. ., (2024). Application of Ultrasonic Cavitation in Ship and Marine Engineering. .
Journal of Marine Science and Application, 23, 23-38.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11804-024-00393-7>

Zenith Ultrasonics. (7 de Enero de 2020). <https://zenith-ultrasonics.com/preventing-rust-oxidation/>

Anexos

Inicio de pruebas de funcionamiento



Prueba #1: Detergente Industrial



Antes



Después

Iniciando la preparación para la siguiente prueba



Prueba #2: Detergente Alcalino



Antes



Después

Prueba #3: Realizada con Lavador100



Antes



Después

Prueba #4: Realizada con Deter 100



Antes



Después

Prueba #5: Realizada con jabón líquido



Antes



Después