



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*ESTUDIO DE LA LIMPIEZA ULTRASÓNICA DE PIEZAS DE
MOTOR*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Antonio Piñeiro Filgueira

DIRECTORES: Rocío Maceiras Castro

Víctor Alfonsín Pérez

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*ESTUDIO DE LA LIMPIEZA ULTRASÓNICA DE PIEZAS DE
MOTOR*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado se presenta una investigación acerca de la limpieza de piezas de motor por medio de ultrasonidos.

El proyecto comprende diferentes sistemas de limpieza entre los que se han estudiado la limpieza convencional, limpieza química, limpieza térmica, limpieza mecánica y por último el sistema en el que se centrará este trabajo, la limpieza ultrasónica. El estudio de este tipo de limpieza por ultrasonidos, también comprende la valoración de diferentes variables que afectan en la limpieza de dichas piezas.

Dentro de la limpieza ultrasónica se estudian las variables posibles dentro del baño ultrasónico, variables de tiempo y temperatura de operación, además de analizar el procedimiento a seguir para obtener unos buenos resultados.

El cuerpo del proyecto está centralizado en la parte experimental en la cual se han limpiado un total de 16 piezas algunas de las cuales duplicadas para poder realizar una comparación cambiando una de las variables de forma que se pueda observar cual es la mejor opción para la futura elección de la combinación tiempo-temperatura más óptima.

En función de los resultados obtenidos procedentes de la parte experimental se determinará cual es la combinación más adecuada para obtener una limpieza óptima en el menor tiempo posible.

PALABRAS CLAVE

Ultrasonidos, Disolución, Piezas motor, Limpieza.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que nunca dudaron en que este proyecto fuese a salir adelante,
A mis tutores por las continuas correcciones en el trabajo y por exigirme constantemente lo máximo,
Al AF. Martínez Vara de Rey por toda la ayuda ofrecida durante el tiempo compartido en el laboratorio,
A la Comisión Naval de Regatas por su apoyo e interés.
Al CC. Carrascosa por apoyar el trabajo aportando más piezas para su limpieza,
A los integrantes de la camareta K-2 por sus ánimos e incansable ayuda,
A Todos los que se interesaron por este proyecto en algún momento,
A “Os de Sempre” por saber diferenciar momentos de trabajo y momentos de desconexión,
Y a mi familia por estar siempre cuando se les necesita.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y Objetivos	7
1.1 Historia.....	7
1.2 Ultrasonidos	8
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivos específicos	10
2 Estado del Arte	11
2.1 Sistema de limpieza para motores.....	11
2.1.1 . Variables de la limpieza.....	11
2.2 Limpieza Ultrasónica	13
2.2.1 Métodos de limpieza no ultrasónicos.	13
2.2.2 Origen de la limpieza por ultrasonidos	14
2.2.3 Parámetros que afectan la eficiencia.....	15
2.2.4 Evaluación de la eficiencia del proceso de limpieza	16
3 Desarrollo del TFG.....	19
3.1 Metodología	19
3.2 Parte experimental.....	22
3.3 Caso práctico real.....	39
4 Conclusiones y Líneas Futuras	43
4.1 Conclusiones	43
4.2 Líneas futuras	43
5 Bibliografía.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Hermanos Curie	7
Figura 1-2 Gráfica explicativa cavitación	8
Figura 3-1 Baño ultrasónico Elmasonic 300H	19
Figura 3-2 Gráfico del procedimiento seguido en limpieza ultrasónica.....	20
Figura 3-3 Culata antes de ser limpiada	22
Figura 3-4 Culata en proceso de limpieza	22
Figura 3-5 Culata tras la limpieza por ultrasonidos	23
Figura 3-6 Pistón sucio.....	23
Figura 3-7 Pistón sumergido en equipo ultrasonidos	24
Figura 3-8 Pistón limpio a 30 °C	24
Figura 3-9 Comparación Pistón limpio (30 °C) – Pistón sucio	25
Figura 3-10 Pistón 2 sucio.....	25
Figura 3-11 Pistón limpio a 50 °C	26
Figura 3-12 Comparación Pistón limpio (50°C) – Pistón limpio (30°C).....	26
Figura 3-13 Comparación inyectores antes y después de limpieza ultrasónica	27
Figura 3-14 Comparación tobera inyección a 30 °C y a 50 °C.....	27
Figura 3-15 Comparación válvulas	28
Figura 3-16 Comparación válvulas	28
Figura 3-17 Carburador sucio.....	29
Figura 3-18 Carburador limpio.....	29
Figura 3-19 Conducto expulsión de gases sucio	30
Figura 3-20 Conducto ventilación de gases	30
Figura 3-21 Protector alternador sucio	31
Figura 3-22 Protector alternador limpio	31
Figura 3-23 Bomba de cebado sucia	32
Figura 3-24 Bomba de cebado limpia	32
Figura 3-25 Soporte de motor sucio	33
Figura 3-26 Soporte de motor sucio parte circular.....	33
Figura 3-27 Soporte de motor limpio	34
Figura 3-28 Soporte de motor limpio parte circular.....	34
Figura 3-29 Protector motor sucio.....	35
Figura 3-30 Protector motor limpio.....	35
Figura 3-31 Motor de arranque sucio	36

Figura 3-32 Motor de arranque limpio	36
Figura 3-33 Bobina de encendido sucia	37
Figura 3-34 Bobina de encendido sumergida en baño ultrasónico.....	37
Figura 3-35 Método empleado para no sumergir pieza íntegra.....	38
Figura 3-36 Bobina de encendido limpia	38
Figura 3-37 Parte ínterna de bobina de encendido	39
Figura 3-38 Carburadores limpiados manualmente	39
Figura 3-39 Carburadores limpios por ultrasonidos.....	40
Figura 3-40 Carburadores montados en motor Fueraborda Yamaha F40B	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Variables dependientes de la cavitación.	9
Tabla 3-1 Relación de piezas con tiempo/ temperatura/ volumen de operación.....	21

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Historia

El origen de los ultrasonidos se remonta al año 1880, fecha en la cual los hermanos Curie (Figura 1-1) descubrieron la piezoelectricidad. En el año 1883, Galton al investigar los límites de la audición humana, estableció la frecuencia máxima a la que podía oír el ser humano concluyendo que aquellos sonidos, con frecuencias inaudibles por nuestra especie, tienen mayor absorción por parte del aire pero en líneas generales las características son similares al resto de las ondas sonoras.

El siglo XX fue un periodo de tiempo en el que se avanzó de forma notoria en el estudio de los ultrasonidos, algunos de los nombres más destacados de este siglo son Langevin, Mulhauser o Firestone. Langevin se dio a conocer durante la Primera Guerra Mundial en la cual realizó un estudio de los sondeos subacuáticos, realizando un procesamiento de las ondas y sus ecos. Mulhauser y Firestone trabajaron conjuntamente con el objetivo de llevar los ultrasonidos a la industria y a la inspección de materiales, entre 1933 y 1942.



Figura 1-1 Hermanos Curie

1.2 Ultrasonidos

Los sonidos se pueden definir de dos formas en función del tipo de acústica: **fisiológica** que se define como sensación auditiva que recibimos por una vibración de carácter mecánico; o **física**, que define el sonido como una vibración mecánica longitudinal, y estudia las características de la vibración audible. Avanzando más lejos en la acústica física descubrimos dos tipos fundamentales de vibración. Esta última se puede dividir a su vez en dos tipos de vibraciones en función de su frecuencia:

- Vibraciones ultrasónicas: Son frecuencias superiores a los 20 KHz, y no son audibles por el oído humano. Tiene múltiples aplicaciones, medicina, oceanografía, la industria y en teledirección, entre otras.
- Vibraciones infrasonicas: Se encuentran por debajo de la frecuencia perceptible por el ser humano. El principal fin del estudio de este tipo de vibraciones es la eliminación o por lo menos la atenuación de aquellas frecuencias que son nocivas para la salud.

Este tipo de ondas sonoras son inaudibles para los seres humanos pero no para otras especies, como por ejemplo los murciélagos o los elefantes que pueden emitir infrasonidos.

Una de las formas en la que se propagan los ultrasonidos es la cavitación. En la Figura 1-2 se muestra un esquema de cómo se produce este fenómeno. Por definición, la cavitación consiste en la formación de cavidades llenas de vapor o de gas en el seno de un líquido en movimiento. Las burbujas viajan hacia una región de mayor presión y chocan entre sí. Este fenómeno produce un aumento de temperatura y de presión pudiendo destruir superficies de contención, tuberías, etc.

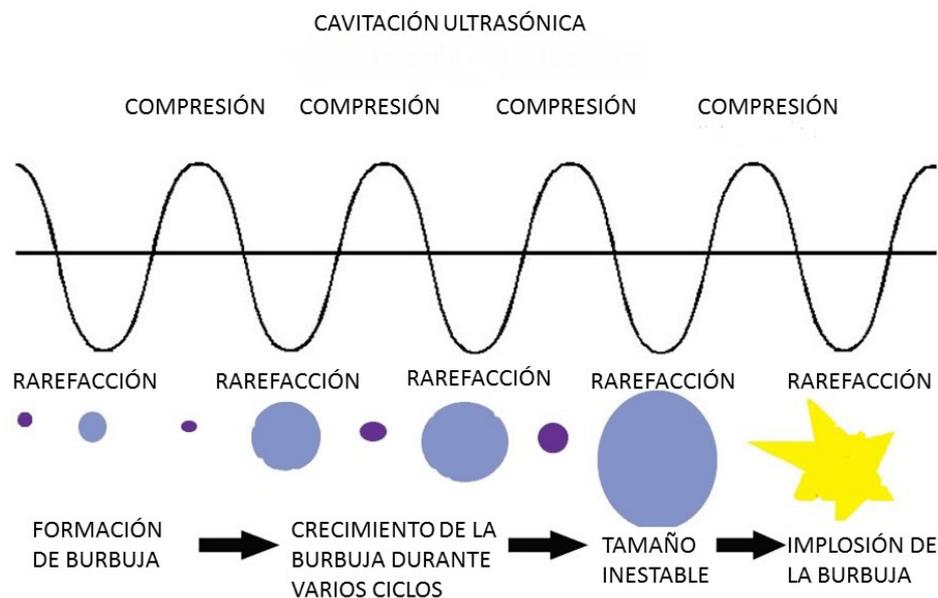


Figura 1-2 Gráfica explicativa cavitación

La cavitación depende de varios aspectos, entre los más importantes están la frecuencia, la viscosidad, la temperatura, la presión y la intensidad. Cada uno de ellos va a generar unos efectos u otros en este fenómeno.

La Tabla 1-1 muestra un resumen de cómo estas variables generan distintos efectos en la cavitación.

VARIABLES	EFFECTOS
Frecuencia	A Mayor frecuencia → Menor efecto de cavitación.
Viscosidad	A Mayor viscosidad → Menor efecto de cavitación.
Temperatura	A Mayor temperatura → Mayor facilidad en la producción de la cavitación, con intensidades acústicas menores.
Presión externa	A Mayor presión externa → Mayor violencia en los choques entre burbujas.
Intensidad	A Mayor intensidad ultrasónica → Mayor efecto ultrasónico en la pieza.

Tabla 1-1 Variables dependientes de la cavitación.

Este efecto de cavitación es en el que se basan los baños de ultrasonidos, y los cuales pueden ser empleados, entre otras funciones, para eliminar la suciedad de piezas. Además del empleo de ultrasonidos es necesario la utilización y selección de una adecuada disolución de limpieza, así como emplear la temperatura de operación como variable para obtener los resultados deseados.

La limpieza utilizando esta técnica presenta una serie de ventajas [1], como puede ser:

- Calidad de limpieza. Con esta técnica se adquiere un nivel de limpieza de la pieza óptimo, tanto de forma superficial como interna ya que con la limpieza ultrasónica es posible limpiar piezas de formas complejas aunque dispongan de agujeros ciegos.
- Ahorro de tiempo. Con los ultrasonidos se consigue realizar varias actividades de limpieza de forma simultánea, además de la propia limpieza de la pieza, se consigue desengrasar o incluso decapar superficies. Con este sistema de limpieza se obtiene un proceso rápido, seguro y respetando el metal base.
- Ahorro de detergentes y agua. Gracias al tipo de equipos empleados para la limpieza ultrasónica y debido a que los disolventes empleados son utilizados en concentraciones muy bajas, obtenemos un ahorro considerable en detergentes así como de agua ya que además de limpiar por inmersión este sistema nos da la oportunidad de reutilizar la disolución si no ha sido ensuciada lo suficiente.
- Ahorro de mano de obra. No precisa de la presencia constante de un operario revisando el proceso de limpieza, pudiendo éste realizar otras actividades que dispongan de su entera disposición.
- Limpieza sin riesgos. En la limpieza ultrasónica se evita el contacto con productos peligrosos como ácidos y detergentes muy alcalinos por lo que es considerada como una de las limpiezas más seguras para los trabajadores.

Los ultrasonidos tienen multitud de aplicaciones prácticas como su uso en automoción, aeronáutica, informática, etc. El desarrollo de este proyecto se va a centrar en el uso de los ultrasonidos como método de limpieza en piezas de motor.

1.3 Objetivos

Este trabajo ha sido planteado con el objetivo de buscar un método de limpieza de piezas de motor más rápido, eficaz y eficiente que el método manual. Este tipo de limpieza por ultrasonidos hace posible la eliminación de óxido y suciedad de partes de las piezas en las que no es posible llegar de forma manual. Por esta razón y por la comodidad de su utilización se plantea su estudio y optimización.

El método empleado para la limpieza de las piezas de motor en este trabajo fin de grado es mediante el uso de ultrasonidos.

Un objetivo derivado de este trabajo fin de grado sería la estandarización del empleo de baños de ultrasonidos en las principales bases con el propósito de reducir el tiempo de limpieza alcanzando objetivos similares a los obtenidos manualmente, pero empleando menos recursos.

1.3.1 *Objetivos específicos*

Se plantean los siguientes objetivos particulares durante el desarrollo del presente trabajo y que a posteriori van a proporcionar el organigrama de trabajos a realizar de forma experimental:

- Estudio de la influencia de la temperatura de operación en el proceso de limpieza.
- Optimizar el tiempo de limpieza.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Sistema de limpieza para motores.

Para la limpieza de motores de combustión, uno de los pasos más importantes que deben llevarse a cabo es el mantenimiento del motor y su reparación (proceso de limpiar cada componente individual para probar y reacondicionar cada componente). Existen dos métodos de limpieza de piezas; el primero contiene tricloroetileno y se utiliza como un desengrasante general, y el segundo es un tanque decarburizante para decapar pintura.

La característica principal de estos métodos es que son capaces de eliminar la grasa presente en las piezas de forma eficaz y además son relativamente económicos. Sin embargo, tienen otros inconvenientes que nos llevan a cuestionar su idoneidad:

Desventajas ambientales: Se debe tener en cuenta que estos productos generan una cantidad de residuos que se deben gestionar y esto provoca un altísimo gasto en el coste de administrar los líquidos degradados y restos de productos de cloro.

- *Desventajas en el sector de la salud:* Debido a que el vapor cloro etileno es clasificado como carcinógeno es necesario disponer de una alta prevención ante posibles accidentes con los operarios. Para disminuir estos efectos nocivos se están estableciendo productos alternativos o sistemas de manejo, pero estos problemas sólo se reducen en lugar de erradicarlos.

2.1.1 . Variables de la limpieza

Se hace necesario definir un método para evaluar el rendimiento de este método de limpieza. Las características que afectan el sistema de limpieza son: tipo de suciedad, tamaño de pieza, número de piezas a limpiar, y de que material están fabricadas las piezas.

1. Tipo de suciedad:

Para poder evaluar el nivel de suciedad deben abordarse los siguientes tipos de suciedad:

- Polvo de carbón sólido: es un aglomerado de polvo de combustible quemado o aceite de compuestos de carbón fino. Este tipo de suciedad se produce donde hay gases de escape como en los pistones, culata, turbos, etc. y siempre forma depósitos sólidos que se adhieren firmemente a las paredes de las piezas.

- Aceite y grasa: Éstos provienen de aceite del motor y los aditivos de los distintos fluidos que fluyen por el circuito del motor. Este tipo de suciedad no se adhiere normalmente de forma tan firme a la pieza y no incluye partículas sólidas.
- Otros: incluye otros tipos de acumulación que no son considerados técnicamente suciedad, tales como capas de pintura o calcificación en el agua de enfriamiento.

2. Sistema de limpieza

El tipo de procedimiento aplicado de limpieza depende del tipo de suciedad. Hay una amplia gama de procesos de limpieza de piezas (cada uno con sus propias ventajas y desventajas) y que incluyen:

- Limpieza convencional: este grupo incluye los equipos en los que se aplica una disolución de limpieza a presión, y el producto aplicado es básicamente agua y detergente con un aditivo de limpieza específico.
- Limpieza química: consiste en la aplicación de un producto químico agresivo en la pieza para disolver la suciedad por inmersión en un tanque. El desengrase químico puede mejorarse mediante el uso de chorros a presión y moviendo el tanque, este efecto mecánico aumenta la eficacia de las máquinas y la capacidad de limpieza. Los resultados observados con este tipo de máquina son satisfactorios para niveles bajos y moderados de suciedad.
- Limpieza térmica: La limpieza térmica es una alternativa a la limpieza química de piezas con depósitos de polvo de carbón sólido. Este tipo de limpieza está basado en el hecho de que los sólidos contenidos en los depósitos de polvo de carbón sólido se desintegran si todos los componentes se queman completamente. Este proceso consta de tres partes: en primer lugar, la pieza se calienta y las partículas quemadas se desprenden; en segundo lugar, los gránulos sólidos son arrastrados sobre la superficie de la pieza para recoger el polvo de carbón; y en tercer lugar, se eliminan los gránulos sólidos agitando y soplando la superficie. Este procedimiento es ampliamente utilizado por los mecánicos del motor diésel y es muy efectivo. Una de las desventajas de este tipo de limpieza es que las altas temperaturas que son necesarias en el proceso pueden provocar inaceptables defectos estructurales en las piezas durante los procesos de mantenimiento estándar del motor. Esto nos lleva a descartar a priori esta alternativa.
- Limpieza mecánica: Este grupo incluye arena y técnicas de chorro abrasivo. Este método es adecuado para eliminar fácilmente la parte accesible en depósitos pero éstos a menudo tienen tubos con curvas que son inaccesibles o que pueden recoger partículas abrasivas que pueden ser lanzadas más adelante durante la operación, causando fallos. Mientras que este proceso es a veces esencial, no puede considerarse como un proceso de limpieza sino más bien un proceso complementario para casos muy específicos. Esta alternativa por lo tanto también se descartará a priori.
- Limpieza ultrasónica: El ultrasonido es una onda acústica con una frecuencia que está por encima del límite del oído humano (aproximadamente 20KHz). La limpieza por ultrasonidos es el resultado de la introducción de las ondas del ultrasonido en el agua. A través de una serie de transductores, estas ondas se transmiten en todo el depósito de limpieza, produciendo una serie de implosiones en el agua, un fenómeno conocido como cavitación. Estas implosiones son lo que rompen la estructura molecular de las partículas y así logran una limpieza uniforme en las piezas, incluso en los orificios y las partes internas que están en contacto con el agua y que son difíciles de limpiar con los métodos tradicionales.

2.2 Limpieza Ultrasónica

La limpieza por ultrasonidos es considerada hoy en día como una técnica convencional para la industria y también en el campo científico o médico. Sus orígenes datan de 1950 y se empezó a implantar en las industrias hace alrededor de 40 años.

2.2.1 Métodos de limpieza no ultrasónicos.

La necesidad de limpiezas a gran escala y con alta resistencia ha existido desde antes de la Revolución Industrial. Existen diferentes enfoques a esta limpieza industrial y pueden ser agrupados en función de la industria de fabricación en la que son empleados.

- Industria pesada.

Después de la mecanización y montaje de las piezas individuales muchos productos de ingeniería deben de ser limpiados de residuos de aceite y viruta. Esto será necesario también en el caso de que las partes sean recicladas ya que deben de ser eliminados restos de suciedad más arraigados. Para desengrasar el método más común en el pasado era la inmersión en un disolvente clorado caliente. Antiguamente estos métodos eran sin duda los más eficaces, actualmente se ha incrementado la preocupación social sobre la salud y seguridad y esto ha llevado a que se impida la utilización de dichos disolventes que eran sin duda más eficaces que el uso de los procesos de inmersión acuosos o semi-acuosos [2].

Una alternativa a la inmersión total es el desengrasado de vapor donde el objeto a limpiar se coloca en un tanque de vapor calentado que contiene un disolvente clorado. El vapor se combina con la grasa en gotas de forma que caen en el tanque de disolvente. El vapor desengrasante es ideal para alcanzar hendiduras pequeñas en piezas con formas complicadas y también para eliminar la suciedad más incrustada. Un beneficio adicional de este proceso es que no hay necesidad de una etapa adicional de secado, como se requiere en otras tecnologías.

El mayor inconveniente para estos procesos es por supuesto la salud, problemas ambientales asociados con el uso de disolventes clorados como tetracloruro de carbono (CTC), tetracloroetileno (PCE), tricloroetileno (TCE) y tricloroetano (TCA) que fueron cuatro de los más utilizados en limpieza y desengrasado con disolventes. Durante la década de 1980, la preocupación por el medioambiente así como temas de seguridad condujeron a la prohibición de disolventes clorados para la limpieza de las piezas y en la década de 1990, el CTC fue eliminado en el Protocolo de Montreal debido a su papel en el agotamiento del ozono estratosférico.

Por lo tanto, los sistemas acuosos deben reemplazar a los disolventes clorados, y además se hace necesaria la búsqueda de métodos que permitan realizar una limpieza más eficiente. Para la consecución de una mayor eficiencia, una opción sería mejorar el rendimiento de detergentes para la limpieza de inmersión y para ello se requiere de un considerable desarrollo químico. Además de este desarrollo son necesarios también varios métodos mecánicos para que las disoluciones de detergente llegasen a todas las partes de la superficie del objeto a limpiar.

Dos alternativas de métodos mecánicos surgieron que hoy en día siguen siendo utilizadas: chorro de presión y limpieza de piezas por lavado. Ambos difieren en que el primero consiste en un chorro a presión de agua con detergente dirigido hacia el elemento a limpiar. Mientras que por lavado se emplea para limpiar artículos más pequeños, la limpieza se consigue a través de pulverización o por inmersión de las piezas en un detergente acuoso.

- **Industria alimentaria**

En la industria alimentaria debe eliminarse higiénicamente toda aquella suciedad existente, los métodos tradicionales implican simplemente remojar en un agua, detergente o mezcla, seguido de un proceso de agitación y calentamiento y finalmente un ciclo de enjuague.

La elección del detergente es clave para esto y es así que el empleo de temperaturas de funcionamiento más altas es más eficaz para la óptima limpieza de las piezas. La limpieza industrial de chorro de presión es a veces utilizada para ayudar en la eliminación de material muy adherente [3].

- **Instrumentos médicos**

Se necesitan métodos más específicos para la limpieza de instrumentos quirúrgicos, implantes médicos e instrumentos dentales. El método de limpieza debe eliminar la suciedad así como esterilizar la superficie. El proceso de eliminación de la suciedad se puede hacer con una máquina que lave además de desinfectar de forma automatizada para hacerlo de forma consecutiva. Sin embargo para la completa esterilización se requiere un autoclave.

- **Ropa y textiles**

Tradicionalmente la forma de limpieza de ropa y textiles se realiza en una mezcla de agua caliente y detergente, la temperatura del proceso depende del tejido pero de forma general se realiza en dos partes: una primera de pulimiento con detergente acuoso caliente y una segunda de enjuague y secado.

Actualmente el proceso sigue siendo muy similar, excepto que se producen nuevos detergentes y el lavado puede realizarse a temperaturas significativamente más bajas, hasta 30 °C.

2.2.2 Origen de la limpieza por ultrasonidos

Resulta difícil saber de forma exacta el momento en el que se empezó a utilizar de forma generalizada la limpieza por ultrasonidos. El descubrimiento original de que el ultrasonido podría utilizarse para mejorar la limpieza parece no ser publicado como cualquier tipo de hecho autenticado. De hecho no es obvio por qué alguien querría aplicar irradiación ultrasónica a un sistema de limpieza. Lo que está claro sin embargo es que por la década de 1950 hay una serie de empresas que habían desarrollado el sistema de limpieza ultrasónica. Entre ellas en USA fueron “Bendix Corporation” en Davenport, Iowa, “Branson Cleaning Equipment Co.”, Danbury, “Connecticut and Zenith Ultrasonics”, Norwood, New Jersey mientras que en Reino Unido era “Mullard” en Redhill, Surrey [4].

El ultrasonido es particularmente útil para la descontaminación superficial debido a dos factores relacionados con la cavitación en un medio líquido:

- Por encima del umbral de cavitación el colapso de una burbuja de cavitación cerca de una superficie da lugar a la formación de un potente chorro contra la superficie que puede desplazar la suciedad y las bacterias. Se trata de un mecanismo eficaz para sistemas de limpieza convencionales que operan en el rango de 40 kHz.
- Cuando las ondas acústicas pasan a través de la disolución líquida por transmisión acústica ocurre que se reduce el espesor de la capa límite hidrodinámica. Como resultado las partículas diminutas en la superficie están más expuestas al líquido de transmisión que puede superar la fuerza de la adherencia entre partículas y superficie. Este proceso ocurre a alta frecuencia 1 MHz (limpieza megasónica).

La ventaja particular de limpieza ultrasónica en este contexto es que puede llegar a las grietas que no son fácilmente accesibles mediante métodos convencionales de limpieza. Además, el uso del ultrasonido permite la destrucción de una gran variedad de hongos, bacterias y virus en un tiempo muy reducido en comparación con el tratamiento térmico a temperaturas similares. La eliminación de bacterias de diferentes superficies es de gran importancia para la industria alimentaria.

Para piezas pequeñas como componentes de ordenador, obleas de silicio y tableros del circuito impreso, el método de elección es limpieza megasónica.

2.2.3 *Parámetros que afectan la eficiencia*

- Disolución de Limpieza

La disolución de limpieza desempeña un papel importante en la determinación de la efectividad en la limpieza ultrasónica. Es importante destacar que en la limpieza ultrasónica el disolvente no es solo el medio de limpieza sino que también se emplea como líquido orgánico para transmitir las vibraciones ultrasónicas desde el transductor al objeto que a limpiar [5].

A la hora de elegir el disolvente se deben tener en cuenta las propiedades físicas como viscosidad, tensión superficial y presión de vapor así como las propiedades de cavitación. Además también destaca la importancia de elegir el disolvente adecuado para cada tarea de limpieza.

Para la eliminación de grasa su suele utilizar como disolvente los hidrocarburos halogenados y acetona, para la limpieza general de componentes contaminados con polvo se emplea una mezcla de 8-12% de alcohol en agua, mientras que para la eliminación de óxidos y ligera descalcificación se emplean varias combinaciones de una disolución de peróxido de hidrógeno, ácido fórmico y agua destilada.

- Temperatura

La temperatura del baño es otro parámetro importante que debe ser considerado en la limpieza ultrasónica. La temperatura tiene un efecto sobre la intensidad de la cavitación del líquido. Niemczewski estudió la intensidad de cavitación en un rango de temperaturas para 37 líquidos orgánicos y agua [6]. Él encontró que la intensidad máxima de la cavitación del agua ocurre a 35 ° C a pesar de que la mayor parte de disoluciones acuosas empleadas en la limpieza ultrasónica funcionan de forma óptima entre 50°C y 65°C. Niemczewski sugirió que esto era debido al efecto de los reactivos añadidos a las disoluciones de limpieza ultrasónicas como ácidos o detergentes ya que estos podrían producir un efecto más fuerte de limpieza a 60°C que a 35°C.

- Ondas estacionarias

Otro factor que puede influir en el rendimiento de la limpieza en los baños ultrasónicos es la presencia de una onda acústica. Esto puede suceder cuando un transductor en la base de un tanque emite una frecuencia única y la onda golpea la superficie del líquido y se refleja hacia el tanque. La onda resultante producirá zonas de cavitación activa en puntos fijos sobre la profundidad del baño correspondientes a distancias de media onda para la frecuencia utilizada. Este problema ha sido resuelto por fabricantes de baños de limpieza ultrasónica insertando un circuito en el generador de ultrasonidos que hace que la señal que se envía al transductor varíe ligeramente en frecuencia durante un período determinado de tiempo.

- Energía

Un aumento en la potencia por el transductor va a producir un aumento en la amplitud de vibración de la superficie emisora y por lo tanto puede esperarse que esto aumente el efecto de limpieza de un baño de ultrasonidos. Sin embargo, existe un límite en la amplitud de la vibración por encima del cual el transductor va a sufrir fractura mecánica pero antes de que esto ocurra habrá una reducción en la energía vibratoria que puede transferir un transductor al líquido. La generación y el colapso de las burbujas de cavitación es la fuente de energía para la limpieza pero si un gran número de burbujas de

cavitación se forma delante de la superficie de emisión del transductor pueden actuar como una barrera a la transferencia de energía acústica y amortiguar la transmisión de energía a la mayor parte del tanque.

Cuando la superficie emisora es conducida en amplitudes amplias, el movimiento físico de la superficie viaja muy rápido por el líquido presente en el baño para permanecer en contacto con la superficie emisora, por lo que se genera una brecha entre el transductor y la mayoría de la energía acústica se pierde, esto se denomina desacoplamiento. Por este motivo habrá una cantidad máxima de energía que puede ser transmitido eficientemente en el medio líquido [7]. En general, para cualquier proceso de limpieza habrá una potencia óptima para el efecto máximo. Esto dependerá de una variedad de condiciones pero puede permitir un considerable ahorro en la economía global del proceso.

- Frecuencia

La mayoría de los sistemas de limpieza ultrasónicos que se desarrollaron en la década de 1950 funcionaron en el rango de 20-40 kHz. Hoy en día la frecuencia utilizada es casi en su totalidad alrededor de 40 kHz. Esto es porque 20 kHz puede ser escuchado por los trabajadores más jóvenes pero 40 kHz es inaudible para todos los trabajadores que utilizan las máquinas aunque todavía habrá vibraciones asociadas a las carcasas metálicas y otras partes del equipo.

2.2.4 Evaluación de la eficiencia del proceso de limpieza

La medición de la eficiencia de un proceso de limpieza ha sido una cuestión de interés desde el inicio del estudio de la limpieza ultrasónica. En dicha eficiencia intervienen aspectos como la configuración del baño. Con el paso del tiempo se creó un movimiento para calibrar y evaluar la eficiencia de las máquinas de limpieza por ultrasonidos.

La medida de la eficiencia del proceso puede llevarse a cabo de las siguientes maneras:

- Inspección visual

El requisito básico de cualquier proceso de limpieza es que debe eliminar la contaminación de una superficie. A menudo es posible ver que un objeto está más limpio que cuando se pone en el baño y esto se puede realizar visualmente o con la ayuda de aumento óptico. La contaminación puede hacerse más visible por la adición de tintes fluorescentes o por visualización bajo luz ultravioleta. Esto es sin duda el método más ampliamente utilizado y sencillo para la evaluación rápida de la eficiencia de limpieza pero no puede considerarse como exacto. Ciertamente tal inspección visual simple no puede determinar la limpieza de las zonas que se ocultan de la vista como las grietas. A simple vista no es posible detectar nano partículas que puedan quedar en la superficie después de la limpieza.

- Análisis gravimétrico

Para piezas pequeñas es posible determinar la eliminación de la suciedad simplemente al pesar la pieza antes y después de la limpieza. Este tipo de prueba es menos conveniente para artículos grandes porque el material eliminado en la limpieza es sólo una pequeña proporción de la masa global del objeto y como consecuencia se compromete la exactitud.

Los efectos mecánicos de la cavitación también pueden ser determinados midiendo la pérdida de material de un espécimen de prueba a través de los daños de erosión. Una técnica similar puede usarse mediante la perforación de papel de aluminio de dimensiones conocidas. En la práctica esta metodología no es muy cuantitativa debido a la pobre reproducibilidad.

Esta técnica nos permite sin embargo hacer una prueba cualitativa de la limpieza para obtener la localización de zonas activas dentro de un baño de limpieza. Las posiciones en las cuales la lámina sufre una perforación máxima es la zona de cavitación máxima dentro del baño.

- Eliminación de suciedad deliberada.

Un método que se remonta a los orígenes mismos de la limpieza ultrasónica pero que ha sufrido muchos avances es limpiar un objeto de dimensiones estándar que ha sido deliberadamente ensuciado.

La técnica de la eliminación de suciedad deliberada consiste en cubrir un objeto, como por ejemplo una placa de cristal, con suciedad en forma de tinta para realizar una posterior limpieza ultrasónica y observar a través de fotometría la eficacia de dicha limpieza. La limpieza por ultrasonidos se utiliza cada vez más para la limpieza de instrumentos médicos y dentales. En estas situaciones es necesario tener varios contaminantes estándar que reflejen la contaminación médica [8]. En el análisis de eficiencia de limpieza también será necesaria una evaluación microbiológica de la superficie del elemento limpio.

- Cavitación

Una medida de la actividad de la cavitación acústica en el baño de limpieza permite estandarizar el equipo de limpieza de tal forma que logre los mismos efectos cada vez que se enciende. Existen diversos métodos para medir y caracterizar la cavitación acústica.

- Energía

Quizás el método más simple de estimar el consumo de energía eléctrica por un baño de limpieza es medir directamente el consumo de energía de la corriente eléctrica. Mientras esto es importante para calcular el coste del proceso, no se tiene en cuenta la eficiencia eléctrica del generador o del transductor. Puede medirse la potencia acústica neta sumergiendo en el baño un hidrófono o cavito-metro. El primero puede ser algo frágil pero el último es más robusto y puede ser utilizado en medios con alta intensidad de cavitación. Ambos dispositivos convierten la energía vibracional dentro de la bañera en señales eléctricas por el efecto piezoeléctrico.

- Calorimetría

Un método general para calcular la potencia que entra en un baño de limpieza ultrasónico es la calorimetría. Se trata de la medición del aumento de temperatura del baño líquido durante un período corto de tiempo después de que el transductor se ha conectado. Esto da una estimación de la potencia acústica que ingresa al sistema (es decir, la energía acústica absorbida por la disolución).

- Dosimetría Química

Existen diversos métodos disponibles para la medición de la energía acústica en un baño de ultrasonidos con su efecto en una reacción química. Un problema común con estos métodos es que el baño suele ser de gran volumen y se requiere una gran cantidad de productos químicos, por lo que este tipo de determinación está limitada a equipos pequeños para determinar la actividad de burbujas de cavitación. Estos dosímetros se utilizan más generalmente en química del sonido en vez de en sistemas de baño de limpieza [9].

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Metodología

El trabajo consiste en la limpieza práctica de piezas de motor, observando y analizando los resultados obtenidos. Para esta limpieza se precisa de un baño de limpieza por ultrasonidos, en nuestro caso el equipo empleado será Elmasonic 300H, es necesario además el empleo de disolventes desengrasantes como los empleados Ultrasonic-A y Ultrasonic-7 [10].

El equipo trabaja a una frecuencia fija de 37 KHz y una potencia de 1500 W. Su máxima potencia ultrasónica es de 1200 W. Además el equipo cuenta con una cuba de 28 L de capacidad de acero inoxidable resistente a la erosión por cavitación.



Figura 3-1 Baño ultrasónico Elmasonic 300H

El equipo en cuestión funciona con una tensión de red de 220 V, tiene reducidas dimensiones, ocupa aproximadamente 0.05 m³, y con un peso de 11 kg. El equipo es muy sencillo de utilizar con una unidad de mando de manejo cómodo y claramente estructurado, con instrumentos intuitivos y de uso sencillo. Por último el equipo permite operar en distintos modos. Permite el uso del Modo Sweep y del modo de desgasificación. Permite también iniciar la limpieza a temperatura ambiente o con temperatura

controlada en intervalos de 5°C. Además, permite la selección del tiempo de operación desde 1 a 30 minutos.

Los disolventes empleados son como se ha mencionado anteriormente Ultrasonic-A y Ultrasonic-7. Estos disolventes son de la misma casa que el baño de ultrasonidos y sus características están detalladas a continuación;

- **Ultrasonic-A** es un desengrasante que combina agentes humectantes, no iónicos y aniónicos, desarrollado principalmente como agente de adición de soluciones desengrasantes alcalinas aplicadas por inmersión y baños de fosfatación. Su empleo es diluido en agua en una proporción de 0,5 % siempre trabajando junto al producto Ultrasonic-7 [10].
- **Ultrasonic-7** es un detergente concentrado de alta tecnología, apto para la limpieza de hierro, acero galvanizado y aluminio en equipos de ultrasonidos. Se utiliza diluido en agua en una proporción del 3 % y se puede mezclar con Ultrasonic-A y Ultrasonic-B. La temperatura óptima de operación es de 40 °C a 80 °C.

En la Figura 3-2 se puede observar de forma sintetizada el procedimiento empleado para el correcto uso del baño ultrasónico con el principal objetivo de obtener una limpieza óptima de las piezas en cuestión.



Figura 3-2 Gráfico del procedimiento seguido en limpieza ultrasónica

Una vez conocido el equipo y los desengrasantes con los que vamos a trabajar, el siguiente paso es la preparación de la disolución pertinente para hacer efectivo el empleo de ultrasonidos generados por este equipo. La disolución que emplearemos es una mezcla de los dos disolventes explicados anteriormente, Ultrasonic-7 y Ultrasonic-A.

En la mayor parte de los casos se ha utilizado un volumen total de 15 litros de disolución, ya que es el volumen mínimo necesario para que las piezas se sumerjan de forma completa y sea posible la limpieza de todos los conductos de que disponen. Teniendo en cuenta que las proporciones de los disolventes, tendremos mezclados con los 15 litros de agua 450 gramos de Ultrasonic-7 y 75 gramos de Ultrasonic-A. Esta proporción es la recomendada por la casa fabricante de dichos disolventes.

Cuando ya se dispone de la disolución preparada en el baño de ultrasonidos se emplearán unos minutos en desgasificar la mezcla para su óptimo funcionamiento. Desgasificar consiste en eliminar, por medio de los ultrasonidos, pequeñas burbujas de gas que se encuentren suspendidas en el líquido. Este

procedimiento se realiza para que estas burbujas no se interpongan en la función de las burbujas originadas por cavitación de limpiar las piezas, provocando choques de burbujas no deseados.

Al finalizar este proceso solo quedará aumentar la temperatura de la disolución hasta la temperatura óptima en función de la suciedad presente en la pieza y de la complejidad de su forma. Tras tener lista la disolución a la temperatura adecuada ya se encontrará todo en condiciones para sumergir la primera pieza y poner en funcionamiento el equipo de limpieza. Dependiendo de la temperatura empleada en la limpieza y del tiempo de espera, se obtendrán diferentes resultados que se analizarán en el siguiente apartado.

Durante todo el proceso experimental, se han ensayado un total de 16 piezas de motor. En todos los casos se ha intentado optimizar el tiempo de limpieza, cuyos valores varían entre 10 y 40 min y el rango de temperatura empleado ha sido entre 30 y 50 °C. Se ha tratado de emplear la temperatura mínima en cada proceso para evitar un gasto excesivo de energía y por lo tanto para evitar un gasto económico mayor.

Cabe destacar que en el proceso de limpieza se ha tratado de mantener una temperatura constante de operación, ya que si se deja trabajar de forma autónoma al baño ultrasónico la temperatura de operación aumenta debido a los choques provocados por la cavitación. La Tabla 3-1 recoge las condiciones de operación de cada uno de los ensayos realizados. Todos aquellos tiempos en los que se añade un segundo período de 10 minutos es debido a la insuficiencia del tiempo inicial para el óptimo lavado de la pieza.

PIEZA	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN (L)
1. CULATA	30+10	40	10/15
2. PISTÓN 1	30	30	15
3. PISTÓN 2	30	50	15
4. TOBERA INYECCIÓN 1	10	30	15
5. TOBERA INYECCIÓN 2	10	50	15
6. VÁLVULA INYECCIÓN	10	30	15
7. VÁLVULA EXPULSIÓN	10	50	15
8. CARBURADOR	20	40	15
9. EXPULSIÓN DE GASES	20	40	15
10. PROTECTOR ALTERNADOR	20	40	15
11. BOMBA DE CEBADO	20	40	15
12. SOPORTE MOTOR	20	40	15
13. PROTECTOR MOTOR	20+10	40/50	15
14. MOTOR DE ARRANQUE	20+10	40/50	15
15. BOBINA DE ENCENDIDO	20	40	15
16. CARBURADORES RHIB	10	40	10

Tabla 3-1 Relación de piezas con tiempo/ temperatura/ volumen de operación

3.2 Parte experimental

En este apartado se procederá al análisis de todas las experiencias realizadas durante el tiempo de preparación del presente trabajo de fin de grado, así como los resultados obtenidos.

PIEZA 1 CULATA

El primer ensayo realizado es el de una culata procedente de la Comisión Naval de Regatas de la Escuela Naval Militar.

Como se puede observar en la imagen (Figura 3-3), la pieza muestra una gran cantidad de carbonilla y óxido procedente de su uso. En esta pieza se tiene la posibilidad de observar el posible efecto decapante que tiene la limpieza por ultrasonidos ya que la pieza dispone de una capa de pintura en su superficie.



Figura 3-3 Culata antes de ser limpiada

En la Figura 3-4 se muestra la culata durante el proceso de limpieza, como se puede observar en dicha figura, y debido a que la pieza no se podía sumergir de forma completa, ya que en un principio se disponía de una disolución de 10 litros de volumen, el procedimiento a seguir para su limpieza total fue limpiarla por una cara en una primera fase (la más sucia), y por la otra cara en una segunda fase (la más limpia). En la primera se fijó para ello un tiempo de 20 minutos y por la otra cara de la pieza un tiempo 10 minutos.



Figura 3-4 Culata en proceso de limpieza

Al terminar este proceso y observar que las partes internas de la pieza no tenían los resultados esperados se decidió incrementar la cantidad de la disolución, aumentando en 5 litros el volumen de la mezcla. Se sumergió de nuevo la pieza entera durante 10 minutos más, y a la misma temperatura. Tras esta operación se obtuvieron resultados mejores por la parte interna de la pieza, así como en ambas caras de la misma, tal y como se puede apreciar en la Figura 3-5.



Figura 3-5 Culata tras la limpieza por ultrasonidos

Tal y como se puede observar la Figura 3-5, se puede establecer que la culata carece de carbonilla en su superficie, y que además el óxido existente antes de la limpieza en las partes metálicas de la misma ya no se aprecia.

Por otra parte, la cara de la pieza que se encontraba pintada ha sufrido un efecto decapante, ya que parte de esta pintura ha saltado debido a la acción de las vibraciones ultrasónicas.

PIEZA 2: PISTONES

Las siguientes piezas objeto de estudio son dos pistones que fueron sometidos al efecto ultrasónico en una disolución de 15 litros durante 30 minutos a dos temperaturas distintas. El primer pistón fue limpiado a 30 °C y en el segundo caso la temperatura fue de 50 °C con el fin de analizar la influencia de la temperatura en el proceso de limpieza.



Figura 3-6 Pistón sucio

En la Figura 3-6 se puede observar la suciedad existente en el pistón, sobre todo en forma de carbonilla con restos de aceite en la cabeza del pistón. En la Figura 3-7 se puede comprobar la efectividad de los ultrasonidos viendo cómo sale la suciedad del interior del pistón sin necesidad de realizar esfuerzo alguno en llegar a las partes más escondidas de la misma.



Figura 3-7 Pistón sumergido en equipo ultrasonidos

Transcurrido el tiempo establecido, la pieza se aprecia mucho más limpia ya que se observa la reducción de aceite y de carbonilla en la mayor parte de su superficie. Se comprueba en la Figura 3-8 como la cabeza del pistón no dispone de restos de aceite, pero se observa también que la pieza todavía tiene restos de carbonilla.



Figura 3-8 Pistón limpio a 30 °C

En la siguiente figura (Figura 3-9) se puede apreciar la diferencia existente entre la pieza tras la limpieza por ultrasonidos y la pieza antes de ser pasada por el baño ultrasónico. En esta figura se puede comprobar que la pieza antes de la limpieza con la técnica de limpieza por ultrasonidos (en la parte inferior de la imagen) dispone de gran cantidad de carbonilla, así como se restos de aceite que no se aprecian en el otro pistón de la imagen.



Figura 3-9 Comparación Pistón limpio (30 °C) – Pistón sucio

Con el fin de comprobar la influencia de la temperatura de operación en el proceso de limpieza, se ha procedido a limpiar un segundo pistón (Figura 3-10) incrementando la temperatura de 30 a 50°C durante 30 minutos.

Con este aumento de la temperatura de operación sobre el segundo pistón se ha tratado de realizar una comprobación de si la temperatura influye en el proceso de limpieza.



Figura 3-10 Pistón 2 sucio

Una vez transcurrido el tiempo de operación, se extrae el pistón 2 del baño de ultrasonidos y se procede a su análisis. Se puede observar en la Figura 3-11 que al limpiar la pieza a una temperatura superior la disolución es capaz de eliminar con mayor facilidad la carbonilla presente en la cabeza del pistón, por lo que al incrementar la temperatura de la disolución se realiza una limpieza de mayor calidad de la pieza.



Figura 3-11 Pistón limpio a 50 °C

En la siguiente imagen (Figura 3-12) se aprecia que el pistón a la izquierda en la imagen tiene un color más claro en la base de la cabeza, esto se debe a que dispone de menor cantidad de restos de carbonilla. A pesar de que el tiempo empleado en la limpieza de ambos pistones fue el mismo se observa que la pieza en la izquierda en la imagen está más limpia que la que se encuentra a la derecha.

La única diferencia en la limpieza de estas dos piezas ha sido el incremento de 20 °C en la temperatura de operación, siendo de 50 °C en la que se encuentra a la izquierda en la imagen y de 30 °C en la de la parte derecha. Por tanto se puede concluir que a mayor temperatura mayor efectividad de la limpieza, pero se debe tratar de alcanzar un equilibrio entre temperatura y tiempo, de tal forma que se encuentre el tiempo mínimo a la mínima temperatura posible para una limpieza óptima reduciendo gastos energéticos.



Figura 3-12 Comparación Pistón limpio (50°C) – Pistón limpio (30°C)

PIEZA 3: TOBERA INYECCIÓN

Las siguientes piezas disponibles para su limpieza han sido dos inyectores de una tobera de inyección de un motor de una embarcación. Este tipo de pieza tiene menor complejidad al no disponer de conductos internos por lo que se decide realizar la limpieza durante un tiempo de 10 minutos.

Tras la primera limpieza a 30°C durante 10 minutos se aprecia la efectividad de la acción de los ultrasonidos. En la Figura 3-13 se observa de forma clara que la pieza en la derecha de la imagen dispone de mayor cantidad de carbonilla en su superficie. Además, en la pieza a la izquierda de la imagen se pueden leer de forma clara el código de fábrica del inyector, sin embargo en la pieza en la derecha no se llegan a ver.



Figura 3-13 Comparación inyectores antes y después de limpieza ultrasónica

Al disponer de dos piezas iguales también se pudo apreciar la diferencia entre limpiarla a 30°C y hacerlo a 50°C. El resultado fue el siguiente (Figura 3-14):



Figura 3-14 Comparación tobera inyectora a 30 °C y a 50 °C

En esta imagen ya no se observa de forma tan clara la diferencia entre ambas piezas. De todos modos se ve que la parte metálica en la pieza de la parte izquierda dispone de mayor cantidad de restos de aceite. Además esta pieza tiene la parte cilíndrica de un color más oscuro debido a la mayor cantidad de carbonilla en su superficie. Por tanto, en vista de los resultados obtenidos se puede concluir que una limpieza a 50 °C resulta más efectiva que una realizada a 30°C.

PIEZA 4: VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN

Empleando la misma disolución que en los inyectores de las toberas (3% de Ultrasonic-7 y un 0,5% de Ultrasonic-A) se han expuesto a la acción del baño de ultrasonidos las válvulas de inyección y expulsión de los gases que se emplean en el funcionamiento de un motor. Al disponer de dos válvulas también se ha tenido la posibilidad de comparar el resultado tras la limpieza a dos temperaturas empleando el mismo tiempo de operación (Figura 3-15):



Figura 3-15 Comparación válvulas

En la Figura 3-16 se aprecia que la válvula colocada en la parte izquierda en ambas figuras, tiene color negro en la base de la misma procedente de los restos de carbonilla. Se observa por lo tanto que la pieza a la derecha en la imagen, limpiada a 50°C, dispone de menor suciedad ya que su limpieza ha sido más efectiva.



Figura 3-16 Comparación válvulas

.PIEZA 5: CARBURADOR

La siguiente pieza de trabajo es un carburador procedente de un motor de una embarcación del destino de la Comisión Naval de Regatas de la ENM (Figura 3-17). Para su limpieza se dispone de 15 litros de disolución tipo, que es calentada hasta llegar a una temperatura de 40°C.



Figura 3-17 Carburador sucio

Una vez en las condiciones óptimas de operación, se sumerge la pieza en la bañera y se comienza con la limpieza. Los ultrasonidos comienzan a formar cavitación y empiezan a expulsar toda aquella suciedad de la pieza. Tras 20 minutos de lavado extraemos la pieza ya limpia (Figura 3-18).



Figura 3-18 Carburador limpio

Si comparamos ambas imágenes, antes y después de la limpieza, la técnica de limpieza por ultrasonidos ha eliminado de forma muy efectiva la carbonilla y óxido que tenía la pieza original. También se puede observar de forma clara la diferencia en la parte redondeada interna así como en el color de la pieza que se aprecia más clara.

PIEZA 6: EXPULSION DE GASES

En el caso particular de esta pieza para la ventilación de gases (Figura 3-19), no existió la posibilidad de sumergirla de forma completa en el interior del baño ultrasónico por el elevado tamaño de la pieza en cuestión. Lo cual hace que no se obtengan resultados tan buenos como en el caso del carburador o de los pistones.

En esta pieza además se añade el problema, como en el caso de la culata, de que la pieza dispone de una capa de pintura exterior, en las cuales hay una gran posibilidad de que la pintura salte, ya que como se ha mencionado anteriormente los ultrasonidos también tiene efecto decapante.



Figura 3-19 Conducto expulsión de gases sucio

Tras la limpieza, los conductos internos de esta pieza siguen con restos de aceite, todo esto motivado por el problema de su tamaño ya nombrado anteriormente y parte de la pintura exterior se ha desprendido de la pieza. Una solución para la limpieza correcta de esta pieza sería la disponibilidad de contar con un baño ultrasónico de mayor tamaño para sumergir en su totalidad la pieza.



Figura 3-20 Conducto ventilación de gases

Como se puede apreciar en la Figura 3-20 los resultados en la limpieza de esta pieza no han sido los esperados, esto se debe a varias razones. En primer lugar, el baño de ultrasonidos del que se dispone en el laboratorio no es de las dimensiones adecuadas para albergar la limpieza de una pieza de este tamaño,

por lo que resulta imposible la limpieza adecuada de los conductos internos de la misma. En segundo lugar el material del que está hecho esta pieza no es del todo apropiado ya que cuenta con una capa de pintura que con la fuerza de la cavitación ultrasónica tiende a ser decapada. Estos dos problemas impiden el correcto funcionamiento del baño ultrasónico en su tarea de limpieza.

PIEZA 7: PROTECTOR ALTERNADOR

En principio la pieza en cuestión carece de complejidad alguna en su limpieza ya que es una pieza sin conductos internos. Además en esta pieza se favorece el correcto funcionamiento del baño de ultrasonidos ya que es una pieza sin complejidad geométrica y hecha en su totalidad de un material metálico.



Figura 3-21 Protector alternador sucio

En la Figura 3-21 se muestra la pieza en cuestión por ambas caras. Se trata de un protector de un alternador, y que será sumergida en el baño de ultrasonidos durante 20 minutos a una temperatura de 40 °C. En la siguiente imagen (Figura 3-22) se muestra como la limpieza en este tipo de piezas es muy efectiva, ya que no tienen ninguna complejidad al carecer de conductos internos y ser toda ella una pieza superficial.



Figura 3-22 Protector alternador limpio

En este tipo de piezas los resultados se pueden apreciar de forma más clara que en piezas con capas de pintura en su superficie y se observa que tras la limpieza la pieza carece de carbonilla, muy presente en la pieza originalmente.

PIEZA 8: BOMBA DE CEBADO

La siguiente pieza experimentada ha sido una bomba de cebado (Figura 3-23). Es una pieza que presenta mayor complejidad que la pieza anterior (el protector del alternador), ya que en este caso se trata de una pieza realizada en varios materiales y además dispone de conductos internos. Además se puede apreciar que la parte circular tiene un gran desgaste debido al tiempo de vida que dispone la pieza.



Figura 3-23 Bomba de cebado sucia

Como se aprecia en las imágenes posteriores a la limpieza (Figura 3-24), los resultados en esta pieza han sido considerablemente buenos. Se observa claramente en el color de la pieza original tras ser sometida a la limpieza ultrasónica.



Figura 3-24 Bomba de cebado limpia

PIEZA 9 SOPORTE DE MOTOR

La siguiente pieza es una pieza utilizada para el soporte del motor (Figura 3-25 y Figura 3-26). Para su limpieza se emplea el mismo procedimiento que anteriormente, con las mismas condiciones de operación (20 minutos a 40°C). Se observa la suciedad presente en la pieza, sobretodo en forma de carbonilla en su superficie.



Figura 3-25 Soporte de motor sucio



Figura 3-26 Soporte de motor sucio parte circular

Posteriormente tras su limpieza en el baño de ultrasonidos se obtienen los resultados apreciables en la Figura 3-27 y Figura 3-28, en los cuales se puede observar la ausencia de carbonilla en la superficie y en las partes externas de la misma.



Figura 3-27 Soporte de motor limpio

Se puede observar además que la pieza ya tiene el color característico del material y no un color más oscuro procedente de la carbonilla debido a su uso. En estas imágenes muestran unos resultados excelentes tras la limpieza ultrasónica.

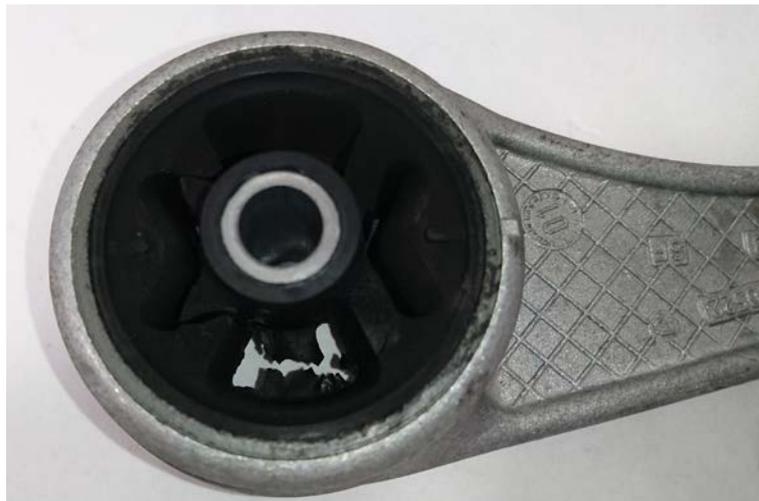


Figura 3-28 Soporte de motor limpio parte circular

PIEZA 10: PROTECTOR MOTOR

Una de las principales ventajas del baño de ultrasonidos es el ahorro de tiempo como fue explicado en apartados anteriores, en este caso podemos apreciar de forma práctica esta ventaja ya que se ha empleado la misma disolución para limpiar de forma simultánea las dos siguientes piezas gracias a su pequeño tamaño.



Figura 3-29 Protector motor sucio

La Figura 3-29 muestra el estado de una de las dos piezas antes de ser limpiada. El proceso de limpieza es el mismo que en los casos anteriores, en este caso comparte tiempo en la bañó con la Figura 3-31. Ya que su limpieza se hizo de forma simultánea.



Figura 3-30 Protector motor limpio

Tras la limpieza se puede observar que aunque la pieza esté muy desgastada dispone de mucha menos carbonilla en su superficie.

PIEZA 11 MOTOR DE ARRANQUE

Se aprecia en la Figura 3-31 que esta pieza disponía de gran cantidad de suciedad, esto supuso que una limpieza como las anteriores, a 40 °C durante 20 minutos no fuese suficiente para que la pieza quedase limpia.



Figura 3-31 Motor de arranque sucio

Por lo tanto se inició un nuevo proceso de limpieza a una temperatura de 50°C durante 10 minutos más. Tras esta segunda limpieza la disolución queda inutilizable para otra pieza debido a la cantidad de suciedad desprendida.



Figura 3-32 Motor de arranque limpio

Se observa en la Figura 3-32 que a la finalización del proceso de limpieza la pieza carece de suciedad, en este caso se ha visto que si se trata una pieza que se encuentra con demasiada suciedad se puede cambiar las variables de tiempo y temperatura en el baño ultrasónico con el objetivo de obtener mejores resultados.

PIEZA 12 BOBINA DE ENCENDIDO

En esta pieza (Figura 3-33) se cuenta con una complejidad a mayores, se trata de que una parte de la pieza no se puede sumergir ya que dispone de conexiones electrónicas, por lo tanto se precisa del material del laboratorio para poder hacer esta tarea posible.



Figura 3-33 Bobina de encendido sucia

En un principio la pieza no aparenta demasiada suciedad pero al apreciar la bañera ultrasónica tras la limpieza en la Figura 3-34 se puede comprobar que se ha eliminado gran cantidad de suciedad en forma de carbonilla y aceite.



Figura 3-34 Bobina de encendido sumergida en baño ultrasónico

En la Figura 3-35 se puede ver como se dispuso la pieza para su introducción en el baño de ultrasonidos.



Figura 3-35 Método empleado para no sumergir pieza integra

La pieza tras ser extraída del baño de ultrasonidos durante 20 minutos y a 40 °C, y tal como se aprecia en la Figura 3-36 tiene un color plateado sin suciedad apreciable antes de ser sumergida en el baño de ultrasonidos.



Figura 3-36 Bobina de encendido limpia

Además se puede comprobar en la Figura 3-37 que el interior de la pieza se encuentra totalmente limpio.



Figura 3-37 Parte interna de bobina de encendido

3.3 Caso práctico real

A la hora de trabajar con un sistema de limpieza es útil comprobar si este sistema es eficiente y si la pieza que se limpia tiene unos buenos resultados en cuanto a su operatividad tras la limpieza.

En este caso se produjo un problema en la Escuela Naval referente al funcionamiento del motor de una Rhib. Se trataba del motor fueraborda Yamaha F40B el cual al poner el motor en funcionamiento, este no superaba las 2000 r.p.m. por algún tipo de problema, lo cual no permitía la correcta utilización de dicha embarcación.



Figura 3-38 Carburadores limpiados manualmente

El personal del destino decidió limpiar manualmente y de forma minuciosa los carburadores de dicho motor por la sospecha en que ahí se encontraba el problema (Figura 3-38).

Tras la realización de dicha limpieza manual se volvió a montar el motor y se comprobó que el problema no se había solucionado. Estos tres carburadores del motor fueron entregados a los responsables del presente TFG y se planteó la posibilidad de realizar una limpieza por ultrasonidos para resolver dicho problema.

En la Figura 3-39 se observa que las piezas se encontraban ya limpias de manera superficial, aun así tras 10 minutos sometidos al efecto de la limpieza ultrasónica se pudo comprobar que las piezas se encontraban con todavía menos suciedad sobre todo en los conductos internos, a los cuales manualmente es muy complicado llegar.



Figura 3-39 Carburadores limpios por ultrasonidos

Una vez limpias se dejaron otros 10 minutos al aire libre ya que esta disolución no requiere de secado de las piezas, con el contacto directo con el aire se secan de forma rápida.

Posteriormente los responsables de la embarcación se llevaron las piezas y se procedió a montarlas de nuevo en el motor y hacer una prueba operativa del mismo. Al realizar la prueba se comprobó que el motor ya llegaba a altas revoluciones con lo cual la Rhib estaba de nuevo operativa.

Esto demuestra que la limpieza por ultrasonidos además de ser rápida y segura es eficaz y que realmente sería útil su instalación en las principales bases para reparar todo tipo de piezas. Aunque en un principio pueda suponer una inversión inicial, quizás con un planteamiento más a largo plazo podría salir rentable ya que se podría aumentar en gran medida la vida útil de los motores de Armada.

En esta imagen se pueden ver los carburadores montados de nuevo en el motor fueraborda Yamaha F40B, una vez realizada su limpieza por ultrasonidos



Figura 3-40 Carburadores montados en motor Fueraborda Yamaha F40B

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

Durante el inicio del presente trabajo de fin de grado se propusieron una serie de objetivos de cara a la realización del mismo. El primero de ellos consistía en el estudio de la temperatura óptima de limpieza en el baño de ultrasonidos. Se han estudiado diversas temperaturas de operación y se ha concluido en que en función de la suciedad presente en la pieza se necesitarán distintas temperaturas; es decir a mayor suciedad en la pieza se necesitará una mayor temperatura de operación. Se podría concluir en que empleando la mayor temperatura de las empleadas en las piezas podrían ser limpiadas todas las piezas pero siempre se debe buscar el punto óptimo de limpieza de forma que no se desperdicie energía de forma innecesaria.

El segundo de los objetivos iniciales del trabajo era la optimización del tiempo de operación. También se ha realizado un análisis, viendo que este factor varía mucho en función de la cantidad de suciedad presente en la pieza y por supuesto también de la temperatura de operación ya que en este caso son inmersamente proporcionales, a mayor temperatura de operación, menor tiempo necesario de limpieza de las piezas.

Para una correcta limpieza de las piezas se necesita una buena combinación entre estas dos variables de forma que se adecuen a la pieza en cuestión y eliminen toda la suciedad sin excederse en los recursos empleados.

4.2 Líneas futuras

En cuanto al posible desarrollo de alguna forma de llegar más a fondo en el estudio y análisis de la limpieza ultrasónica, se puede destacar la posibilidad de empleo de diferentes detergentes en el baño ultrasónico así como la posibilidad de comprobar cuál de los dos integrantes de la limpieza ultrasónica ejerce mayor influencia en la limpieza de las piezas; el efecto de la cavitación provocada por las vibraciones ultrasónicas o la acción de los propios detergentes que se encuentran diluidos en la disolución.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Abrasivos y Maquinaria, S.A.» 2014. [En línea]. Available: <http://www.abrasivosymaquinaria.com/limpieza-por-ultrasonidos>. [Último acceso: 22 Enero 2016].
- [2] J. Mertens, Vapor degreasing with chlorinated solvents, *Mert. Finish.* 98, 2000.
- [3] M. Stanga, *Ultrasound cleaning, Sanitation*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2010.
- [4] T. J. Mason, «Ultrasonic cleaning: An historical perspective,» *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 29, pp. 519-523, 2016.
- [5] W. Colclough, *The chemistry of solvents used for ultrasonic cleaning*, Ultrasonics, 1968.
- [6] B. Niemczewski, A comparison of ultrasonic cavitation intensity in liquids, *Ultrasonics* 18, 1980.
- [7] A. Henglein y M. Gutierrez , Chemical effects of continuous and pulsed ultrasound; a comparative study of polymer degradation and iodide oxidation, *J. Phys. Chem.* 94, 1990.
- [8] M. Alfa y R. Nemes, *Manual versus automated methods for cleaning reusable accessory devices used for minimally invasive surgical procedures*, 2004.
- [9] R. Al-Juboori, Y. T., B. L. y A. V., Energy characterization of ultrasonics systems for industrial processes, *Ultrasonics* 57, 2015.
- [10] Tierra Tech S.L..

