



## Artículo Corto de Investigación Cepeda et al., 2024

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.2.4045>

Recibido: 01-08-2024

Revisado: 16-08-2024

Aceptado: 02-09-2024

Publicado: 10-09-2024

# Eficiencia de la limpieza por ultrasonido en tinas par aplicaciones industriales

## Efficiency of ultrasonic cleaning in vats for industrial applications

O. Cepeda<sup>1\*</sup>, S. Silva<sup>1</sup>, M. Hernández<sup>1</sup>, H. Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad Académica Multidisciplinaria Mante (UAMM), Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. 89840.

\* Corresponding author: [omcg\\_12@hotmail.com](mailto:omcg_12@hotmail.com)

### Resumen

Este artículo examina la eficiencia de las tinas ultrasónicas en procesos de limpieza industrial, enfocándose en la influencia de factores como la frecuencia del ultrasonido, la temperatura del líquido limpiador y la concentración de alcohol isopropílico. Se realizaron experimentos utilizando una tina ultrasónica ajustable para evaluar su rendimiento en la limpieza de piezas metálicas contaminadas con grasa, óxido y polvo. Se encontró que una frecuencia de 40 kHz, combinada con una temperatura del líquido de 35°C y una concentración de alcohol del 99.99%, maximizó la remoción de contaminantes en tiempos mínimos. Específicamente, la pasta térmica se eliminó completamente en 10 minutos, el óxido en 15 minutos y el polvo en 5 minutos. Estos hallazgos subrayaron la eficacia de las tinas ultrasónicas como una solución avanzada, eficiente y ecológica para la limpieza industrial, y proporcionaron recomendaciones prácticas para su uso óptimo en diferentes aplicaciones.

**Palabras clave:** Frecuencia, cavitación, contaminantes, temperatura.

### Abstract

This article examined the efficiency of ultrasonic vats in industrial cleaning processes, focusing on the influence of key parameters such as ultrasound frequency, cleaning liquid temperature, and isopropyl alcohol concentration. Experiments were conducted using an adjustable ultrasonic tub to evaluate its performance in cleaning metal parts contaminated with grease, rust, and dust. A frequency of 40 kHz, combined with a liquid temperature of 35°C and an alcohol concentration of 99.99%, was found to maximize contaminant removal in minimal time. Specifically, thermal paste was completely removed within 10 minutes, rust within 15 minutes, and dust within 5 minutes. These findings underscored the efficacy of ultrasonic vats as an



# Artículo Corto de Investigación

Cepeda et al., 2024

**advanced, efficient and environmentally friendly solution for industrial cleaning, and provided practical recommendations for their optimal use in different applications.**

**Keywords:** Frecuency, cavitation, contaminants, temperature.

## 1. Introducción

La limpieza de componentes industriales es una tarea fundamental para mantener la operatividad y la eficiencia de maquinaria y equipos en diversos sectores. En este contexto, las tinas ultrasónicas emergieron como una tecnología avanzada y eficaz para la eliminación de contaminantes adheridos a superficies complejas, utilizando ondas sonoras de alta frecuencia que inducen cavitación en el líquido limpiador. Este fenómeno de cavitación generó microburbujas que, al colapsar, desintegraron y eliminaron eficazmente la suciedad incrustada, despertando un interés considerable en su aplicación en industrias que demandan altos estándares de limpieza (Fuchs, 2015).

La tecnología de ultrasonido se desarrolló significativamente desde su introducción en la década de 1920. Hoy en día, se clasifica en dos categorías principales: ultrasonido de alta frecuencia y baja intensidad (100 kHz a 1 MHz) y ultrasonido de baja frecuencia y alta intensidad. Mientras que la primera se emplea en técnicas de conservación, la segunda se utiliza en tratamientos antimicrobianos y de limpieza industrial (Abd-Elsayed, 2024; Honda, 2021). Los avances en la fabricación de materiales y en el diseño de transductores permitieron la producción de tinas más eficientes y versátiles, capaces de manejar una amplia gama de solventes de limpieza sin comprometer la integridad del equipo (Gogate y Pandit, 2001).

La tina ultrasónica en el ámbito de la electrónica representa una solución innovadora y eficiente para la limpieza de componentes delicados y sensibles, como placas de circuito impreso (PCB), chips, conectores y otros dispositivos electrónicos. Utilizando vibraciones de alta frecuencia generadas por transductores

piezoeléctricos, este dispositivo es capaz de eliminar con precisión la suciedad, los residuos de soldadura y otros contaminantes de la superficie de los componentes electrónicos, incluso en áreas de difícil acceso. Proporciona una solución más económica que el tallado convencional, el uso del jabón tradicional y la manipulación manual, además de que complementa un mejor rendimiento de los objetos o utensilios que maneja (Kohli & Mittal, 2010).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de las tinas ultrasónicas en la limpieza de componentes industriales, con un enfoque en la identificación de los parámetros clave que optimizan su rendimiento, como la frecuencia del ultrasonido, la temperatura del líquido limpiador y la concentración de detergentes. Asimismo, se busca proponer mejores prácticas para el uso de estas tinas en diversas aplicaciones, garantizando una limpieza profunda y eficiente que minimice el impacto ambiental y reduzca la necesidad de productos químicos agresivos.

Algunas de las aplicaciones más importantes de del método de limpieza de la tina ultrasónica son: en la industria médica limpiar instrumentos quirúrgicos y dentales, garantizando una limpieza profunda y la eliminación de residuos biológicos y químicos. En la industria electrónica, las tinas ultrasónicas son cruciales para la limpieza de componentes electrónicos delicados, como placas de circuitos impresos, donde los contaminantes pueden afectar el rendimiento y la vida útil de los dispositivos. En la industria automotriz estos dispositivos se utilizan para limpiar componentes de motores, piezas de transmisión y otros elementos donde la acumulación de grasa, aceite y otros contaminantes puede ser perjudicial. En el sector de la joyería, las tinas ultrasónicas permiten la limpieza de piezas complejas y



## Artículo Corto de Investigación

Cepeda et al., 2024

delicadas, eliminando suciedad y residuos sin dañar los materiales preciosos.

El alcance del trabajo incluye la realización de pruebas experimentales que permitieron determinar las mejores condiciones operativas para la limpieza de componentes metálicos contaminados con grasa, óxido y polvo. A través de la optimización de los parámetros mencionados, este estudio no solo contribuye al entendimiento de la tecnología ultrasónica, sino que también proporciona un marco de referencia práctico para su aplicación en la industria, destacando su potencial como una herramienta poderosa y versátil para la limpieza industrial.

### 2. Materiales y métodos

Las tinas ultrasónicas operan mediante la generación de ondas sonoras de alta frecuencia, típicamente entre 20 y 50 kHz, que son transmitidas a través de un líquido limpiador. Estas ondas producen cavitación, un proceso que crea y colapsa microburbujas en el líquido, generando altas fuerzas de impacto que desintegran y eliminan los contaminantes.

Entre los factores que determinan el funcionamiento del método están: la frecuencia de las ondas sonoras, que determina el tamaño de las burbujas de cavitación; las frecuencias más altas generan burbujas más pequeñas, adecuadas para la limpieza de partículas finas. Asimismo, a temperaturas más altas, la cavitación es más eficiente debido a la disminución de la viscosidad del líquido. Además, la concentración del detergente puede mejorar la eficacia de la limpieza al reducir la tensión superficial del líquido (alcohol isopropílico).

Se utilizó una tina de 30,000 cm<sup>3</sup> (30 litros) para las pruebas experimentales. Se recomendó utilizar un recipiente de metal no muy grueso para permitir que las ondas se propaguen con mayor facilidad. En la placa fenólica con el circuito impreso, se conectó un LED y una resistencia (valor 1 k $\Omega$ ) al positivo y al negativo como indicadores de encendido.

Posteriormente, se empleó un oscilador (NE555 de 5V). El pin 1 se conectó al negativo (GND), y una resistencia (valor 470  $\Omega$ ) se conectó al pin 7, que se descargó al pin 2 de un potenciómetro (valor 100K  $\Omega$ ), con una resistencia de 1k  $\Omega$  entre el pin 1 del potenciómetro y el pin 2 del oscilador, puenteando al pin 6. Un capacitor (tantalio, 0.022  $\mu$ F) se conectó al negativo para filtrar la energía descargada de este.



**Figura 1.** Placa fenólica con componentes instalados (en proceso).

Los pines 8 y 4 se conectaron al positivo (VCC), y un capacitor (tantalio, 0.1  $\mu$ F) se conectó del pin 5 al negativo. Finalmente, una resistencia de 470  $\Omega$  se conectó del pin 3 del 555 a la base del transistor (BD135). El colector pin 2 se conectó a un cable de bocina (ELAC 4Pi Plus.2, tweeter), el otro cable del tweeter va al positivo, y el emisor (pin 3) del BD135 se conectó al negativo. De esta manera, se creó un multivibrador astable para una tina de limpieza ultrasónica.

Antes de instalar el circuito junto con los tweeters, se comprobó en qué parte del recipiente se podían propagar las ondas de manera más uniforme para garantizar una limpieza efectiva. Una vez encontrada la posición adecuada, se instaló el circuito junto con los tweeters.

Se agregó la opción del regulador al circuito para permitir un ajuste en la potencia de las ondas ultrasónicas, lo que facilitó su manejo para el



## Artículo Corto de Investigación

Cepeda et al., 2024

usuario y mejoró su eficacia dependiendo del objeto que se estuviera limpiando.



**Figura 2.** Circuito terminado alimentado por fuente externa de 9v.

Se colocó una fuente de poder externa de 9V al conector de voltaje (Jack) para alimentar el circuito. Además, se agregó una tapa al recipiente para que las ondas ultrasónicas reboten dentro y mejoren su eficacia.



**Figura 3.** PCB de un circuito electrónico antes del lavado ultrasónico.



**Figura 4.** PCB de un circuito electrónico después del lavado ultrasónico.

### 3. Resultados y discusión

Mediante las pruebas realizadas con la tina ultrasónica de 30 litros ajustable en la limpieza de piezas metálicas contaminadas con grasa, óxido y polvo, los resultados demostraron que las sustancias no deseadas como la pasta térmica, se elimina completamente en 10 minutos, el óxido se eliminó en 15 minutos y el polvo se eliminó en 5 minutos.

Las pruebas se realizaron a una frecuencia de 40 kHz, una temperatura del líquido de 35°C y una concentración de alcohol isopropílico del 99.99%. La eficiencia observada en la remoción de contaminantes con una frecuencia de 40 kHz coincide con estudios previos que destacan esta frecuencia como óptima para la cavitación efectiva (Mason y Peters, 2002). La cavitación en esta frecuencia genera burbujas suficientemente pequeñas para penetrar en partículas finas y desintegrarlas, proporcionando una limpieza exhaustiva sin dañar las superficies (Wuchao et al., 2021).



## Artículo Corto de Investigación

Cepeda et al., 2024

La temperatura del líquido de 35°C, cercana a la temperatura ambiente, también resultó ser efectiva. Estudios han demostrado que temperaturas moderadas pueden mejorar la eficiencia de la cavitación al reducir la viscosidad del líquido sin necesidad de un calentamiento adicional (Kohli y Mittal, 2010). La combinación de una temperatura adecuada con una frecuencia específica asegura una mayor eficacia en la limpieza de contaminantes adheridos.

La alta concentración de alcohol isopropílico (99.99%) utilizada en este estudio complementa los hallazgos de investigaciones anteriores, que indican que una alta concentración de alcohol mejora la capacidad de limpieza al reducir la tensión superficial del líquido y mejorar la acción mecánica de la cavitación (Wang, 2023). Esto resulta especialmente relevante para contaminantes como la pasta térmica y el óxido, que requieren una limpieza efectiva para eliminar residuos sin dejar trazas.

Estos resultados subrayan la eficacia de las tinas ultrasónicas como una solución avanzada para la limpieza industrial. Comparado con métodos tradicionales que a menudo dependen de productos químicos agresivos, el uso de tinas ultrasónicas representa una opción más ecológica y eficiente. La tecnología ultrasónica permite una limpieza profunda con menos impacto ambiental, alineándose con las tendencias actuales hacia prácticas industriales más sostenibles, como señalan Chhikara et al. (2022) y Gogate y Pandit, (2001).

Se confirma que las tinas ultrasónicas son altamente efectivas para la limpieza industrial, especialmente cuando se optimizan los parámetros de frecuencia, temperatura del líquido y concentración de detergente. Estas tinas ofrecen ventajas significativas en términos de eficiencia y sostenibilidad, contribuyendo a la reducción del uso de productos químicos agresivos y proporcionando soluciones prácticas para diversas aplicaciones industriales.

## 4. Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las tinas ultrasónicas en la limpieza de componentes industriales, enfocándose en identificar los parámetros clave que optimizan su rendimiento. A través de experimentos realizados con una tina de 30 litros, se determinó que la frecuencia de 40 kHz demostró ser óptima para la cavitación y la remoción de contaminantes, generando burbujas pequeñas que permiten una limpieza efectiva de partículas finas adheridas a las superficies.

La temperatura del líquido de 35°C, cercana a la temperatura ambiente, mejoró la eficacia de la cavitación sin requerir calentamiento adicional, lo cual resultó en una limpieza eficiente y protegió los componentes sensibles. Por su parte, la concentración de alcohol isopropílico del 99.99% mejoró la capacidad de limpieza al reducir la tensión superficial del líquido y complementar la acción mecánica de la cavitación, especialmente en la eliminación de contaminantes difíciles como pasta térmica y óxido.

Los resultados indican que las tinas ultrasónicas son una herramienta eficaz para la limpieza de contaminantes en componentes industriales, proporcionando una solución avanzada que combina eficiencia con sostenibilidad ambiental. La optimización de los parámetros de frecuencia, temperatura y concentración de detergente maximiza los resultados de limpieza, reduciendo la necesidad de productos químicos agresivos.

El estudio subraya la importancia de ajustar estos parámetros para obtener los mejores resultados en la limpieza industrial, y sugiere que las tinas ultrasónicas pueden ser implementadas en una variedad de aplicaciones industriales para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. La tecnología ultrasónica no solo representa un avance significativo en la limpieza, sino que también contribuye a prácticas industriales más sostenibles y menos dependientes de productos químicos dañinos.



## Artículo Corto de Investigación

Cepeda et al., 2024

Este trabajo proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones de la tecnología ultrasónica en la industria, destacando su potencial para revolucionar los métodos de limpieza y apoyar la sostenibilidad ambiental.

### 5. Referencias

1. Abd-Elseyed, A., Young, E. & Zaky, S. (2024). 'Principles of Ultrasound', in Alaa Abd-Elseyed (ed.). *Basic Anesthesia Review*. Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/med/9780197584569.003.0015>
2. Chhikara, N. Panghal, A., Chaudhary, G. (2022). Radio-Frequency Technology in Food Processing. Chhikara, N., Panghal, A. y Chaudhary, G. (eds.). (2022). *Novel Technology in food science*. <https://doi.org/10.1002/9781119776376.ch7>
3. Fuchs, F.J. (2015). Ultrasonic cleaning and washing of surfaces. *Power Ultrasonics. Applications of High-Intensity Ultrasound*. 577-609. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781782420286000193?via%3Dihub>
4. Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2001). A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 8(3-4), 501-551. <https://core.ac.uk/download/pdf/291534917.pdf>
5. Honda, A., Sugino, F. Yamamoto, K. (2021). Inactivation of Algae and Plankton by Ultrasonic Cavitation. *Sustainability*. 13 (12). <https://doi.org/10.3390/su13126769>
6. Kimmel, T., Kunkel, C., Ait Sghir, M. et al. (2023). Potencial de los ultrasonidos para el ahorro de energía en el proceso de lavado doméstico. *Energy Efficiency*. 16 ,33. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10115-7>
7. Kohli, R. & Mittal, K. (2010). *Developments in Surface Contamination and Cleaning*. Ed. William Andrew. <https://www.sciencedirect.com/book/9781437778304/developments-in-surface-contamination-and-cleaning>
8. Mason, T. J., & Peters, D. (2002). *Practical sonochemistry: Power ultrasound uses and applications*. Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/book/9781898563839/practical-sonochemistry>
9. Wang, Z. (2023). Limpieza ultrasónica. En: Wang, Z. (ed.) *Modelado del proceso de microfiltración*. Springer, Singapur. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-0471-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-99-0471-6_7)
10. Wuchao, Wang., Qi, Zhou., Haofan, Long., Yanyun, Zhang., Luqman, Jameel, Rather., Qing, Li. (2021). Un estudio sobre la optimización de la frecuencia de irradiación para el lavado ultrasónico de textiles. *Fibras y polímeros*. 22(5) doi: 10.1007/S12221-021-0573-1
11. Young, E. y Zaky, S. (2024). Principles of Ultrasound. En Abd-Elseyed, A. (ed.) (2024). *Basic Anesthesia Review*. Oxford Medicine Online. <https://doi.org/10.1093/med/9780197584569.003.0015>