# DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UNA LAVADORA ULTRASONICA PARA LA LIMPIEZA DE PLASTICOS RECUPERADOS

# DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ULTRASONIC CLEANER FOR RECICLED PLASTIC

**Sergio Andrés Giraldo Pardo***[1]

**Resumen***:* En la actualidad Las maquinas fabricadas para el lavado de plásticos son en principio muy costosas, además son muy grandes y pesadas lo que dificulta su transporte, generan mucho ruido, gastan mucha agua y consumen una cantidad considerable de energía ya que suelen tener motores de 15Hp a 30Hp según su capacidad.

Por todos estos inconvenientes, se desarrolló un sistema de lavado ultrasónico, el cual, se compone de cuatro transductores ultrasónicos de limpieza trabajando simultáneamente que suman una potencia de 480W. El tanque donde se deposita el material a ser lavado tiene una capacidad aproximada de 30 litros y su fabricación es en acero. El consumo general del sistema no sobrepasa los 600W, se puede lavar aproximadamente 12Kg de material en un tiempo de 15 minutos, y el ruido que genera es mínimo.

**Palabras clave**: plástico, lavadora, ultrasónica, recuperados, industria

**Abstract:** At present the machines manufactured for washing plastics are very expensive, they are also very large and heavy, making it difficult to transport, generate a lot of noise, spend a lot of water and consume a considerable amount of energy.

For all these drawbacks, an ultrasonic cleaning system was developed, which is composed of four ultrasonic cleaning transducers working simultaneously with a total power of 480W was developed. The tank where the material to be washed is deposited has a capacity of 30 liters and is in steel manufacturing. The overall system power consumption does not exceed 600W and the noise generated is minimal.

**Key Words:** Plastic, Ultrasonic Cleaner,

Recycled, industry,

## 1 Introducción

Actualmente en la industria dedicada a la recuperación mecánica de plásticos, se ha estado usando siempre el mismo tipo de maquinaria para sus procesos, estas máquinas constan de un gran tanque con un eje central con aspas el cual rota con la ayuda de un motor trifásico, con el fin de limpiar el material por fricción. Esta máquina además de costosas, consume mucha

**Estudiante Tecnología en Electrónica.**
**Lugar de trabajo: Universidad Distrital.**
**Correo electrónico: sagp758@gmail.com**

energía, y generan mucho ruido, por el hecho de utilizar motores de gran potencia.

El objetivo del presente trabajo es fabricar una lavadora de ultrasonidos para la limpieza de plásticos recuperados una vez molidos, como es el caso de PET, PEAD, PVC, PP. Este equipo consta de un tanque de acero en el que van adheridos los transductores ultrasónicos encargados de generar una vibración a una frecuencia especifica la cual produce en el líquido un efecto llamado cavitación que se encarga de remover la suciedad superficial del plástico de forma que pueda ser reutilizable para la industria, también se busca conseguir que sea una alternativa más eficiente a nivel energético y que su funcionamiento sea silencioso.

## 2. DESCRIPCION DE LA SOLUCION

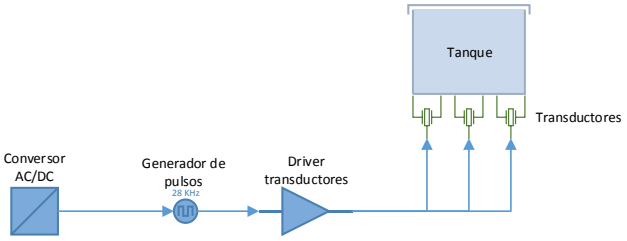



**Figura 1. Diagrama de bloques del sistema**

En la figura 1 se puede apreciar los diferentes bloques que componen el sistema de limpieza ultrasónica, desde la fuente de voltaje encargada de alimentar el sistema, pasando luego por el generador de pulsos que es la etapa digital del sistema, llegando al driver encargado de proporcionar la potencia necesaria para el correcto funcionamiento de los transductores ultrasónicos, estos, a su vez convierten los pulsos electrónicos en vibraciones las cuales son transmitidas al líquido del tanque, generando un fenómeno conocido como cavitación, esto crea en el líquido pequeñas burbujas de vacío que al explotar genera una gran cantidad de energía, la liberación de esta energía produce un efecto de ondas de choque, eliminando así la suciedad, impurezas y contaminación del material plástico.

### Descripción de las etapas del proyecto

A continuación se describen las diferentes etapas que componen el proyecto

### Parte electrónica

Esta es la parte encargada de entregar a los transductores ultrasónicos la potencia y frecuencia necesarias para su óptimo funcionamiento, se compone de diferentes etapas, de alimentación, digital, y de potencia

Etapa de alimentación: Esta etapa consta en parte en un circuito de rectificación de voltaje que se utilizara para la alimentación del generador de pulsos, y el driver que controla los transductores, además contiene un sistema de protección de sobre voltaje y un filtro que evita la contaminación de harmónicos.

Debe tener la capacidad de suministrar la potencia consumida por el sistema, alrededor de 600W con una entrada de voltaje de 120V la corriente de entrada es.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{500W}{85V} = 5.9A$$

Conociendo la corriente de entrada, se deduce que el puente rectificador requiere de componentes que superen este requerimiento, en este caso se utiliza un puente regulador de 15A el cual es más que suficiente para esta aplicación.

El voltaje que debe entregar la fuente es un voltaje regulado de 35V (Vdd) que alimenta la etapa de potencia, y un voltaje de 18V (Vcc) que alimenta la etapa digital.

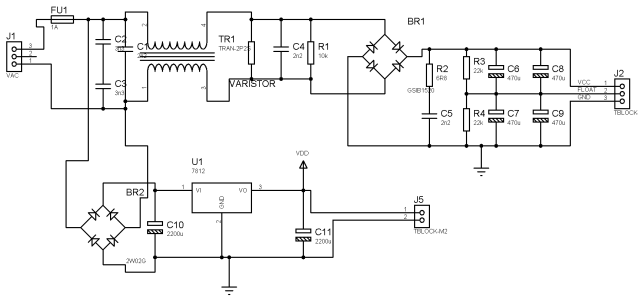



Figura 2. Diagrama etapa de alimentación

Etapa que se encarga del manejo directo a los transductores que se van a usar, en este caso la etapa de potencia está compuesta por ocho transistores mosfet, en topología push pull, que reciben la señal del generador de 18Vp y conmutando el voltaje de la fuente de 35Vdc, la envían a un transformador que convertirá los pulsos de los mosfet a un voltaje pico a pico aproximado de 600Vpp el cual será inyectado al transductor piezoeléctrico.

Etapa digital: Se encarga de producir los pulsos a la frecuencia indicada para que los transductores puedan funcionar a su máxima potencia, la frecuencia de manejo de los transductores en este caso, está en los 28Khz.

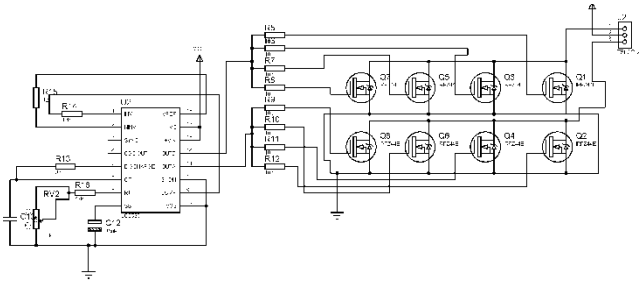


Figura 3. Diagrama parte digital y de potencia

## Calculo de frecuencia de operación

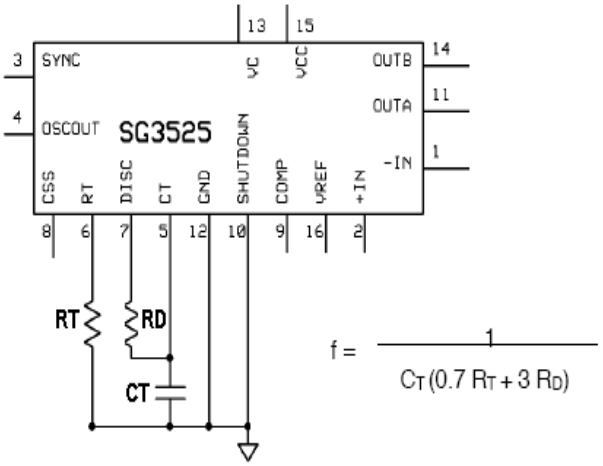



Figura 4. Diagrama calculo de frecuencia SG3525

Con un condensador Ct de 1nF y una resistencia Rd de 33ohn se obtiene al despejar Rt

$$Rt = \frac{1}{0.7FCt} - 3RdCt$$

$$Rt = \frac{1}{0.7 * 28000 * 10^{-9}} - 3 * 33 * 10^{-9}$$

$$Rt = 5.1k$$

## Calculo de transformador

Para la construcción del transformador se utilizó un núcleo de ferrita etd54 que es suficiente para la potencia requerida.

Requisitos de diseño
V1 = 85V
V2= 600V
P = 500W
F= 28000Hz

Datos del fabricante
B= 320mT
S=2.8cm$^2$
D=3A/mm$^2$

Para determinar el número de espiras del bobinado primario se utiliza la siguiente expresión:

$$\mathrm{N1} = \frac{\mathrm{V1}}{4.4 * \mathrm{FSB} * 10^{-8}}$$

Reemplazando

$$N1 = \frac{85}{4.4 * 28000Hz * 2.8cm^2 * 320 * 10^{-8}}$$

$$N1 = 7.7 \approx 8$$

Se requieren 8 vueltas en el bobinado primario.

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$N2 = \frac{N1 * V2}{V1}$$

$$N2 = 56.47 \approx 57$$

Ahora se calcula la sección transversal del conductor para cada bobinado.

$$S1 = \frac{I}{D}$$

$$S1 = \frac{5.9A}{3A/mm^2}$$

$$S1 = 1.96mm^2 \quad AWG\ 14$$

Para el secundario

$$S2 = \frac{0.833}{3A/mm^2}$$

$$S2 = 0.277mm^2 \quad AWG\ 22$$

En la figura 5 se puede apreciar la onda de salida del transformador la cual se aplica al transductor ultrasonico.

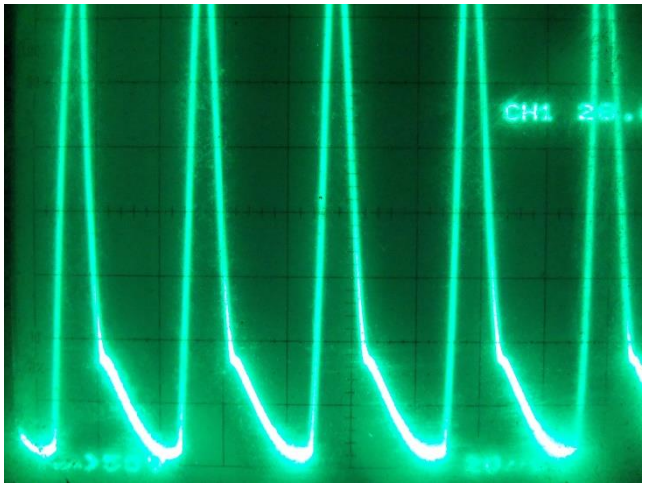


Figura 5. Onda de salida del transformador

**Transductor ultrasónico de limpieza**

Es el encargado de trasmitir la corriente eléctrica en vibración para generar el efecto de lavado, en este caso en particular se utilizaron cuatro transductores a una frecuencia de resonancia de 28khz que son empleados comúnmente para limpieza de objetos con un alto grado de suciedad que es lo que se necesita para los materiales plásticos post consumo.

Es el componente principal del sistema, el cual transforma la energía eléctrica en vibraciones, que cuando son transmitidas a través del líquido genera el efecto de cavitación necesario para limpiar el material

plástico. Sus especificaciones son las siguientes:

| | |
|---|---|
| **Capacitancia (pf)** | **7500** |
| **Impedancia de resonancia (Ω)** | **10 - 20** |
| **Frecuencia (KHz)** | **28** |
| **Potencia (W)** | **120** |

**Calculo tanque de lavado**

Según los fabricantes de los transductores ultrasónicos de limpieza se recomienda una potencia por galón de 70W promedio para obtener una limpieza profunda del material, partiendo de esto se puede deducir la siguiente formula

$$Preq = \frac{(L * A * (Al - 0.05)) * 1000}{3.78} * 70$$

Donde

L= longitud del tanque en m
A= Ancho del tanque en m
Al= altura del tanque en m
Preq= potencia de los transductores que requiere el tanque.

Se decidió por diseño que el largo del tanque seria de 0.5m y el ancho sea de 0.35m

La potencia que se va a emplear es de 480W

Partiendo de esto se requiere hallar la atura del tanque por lo tanto

$$Al - 0.05 = \frac{480 * 3.78}{0.5 * 0.35 * 1000 * 70}$$

$$Al - 0.05 = 0.15$$

$$Al = 0.2m$$

La altura resultante es de 0.2 metros con una base de 0.5m x 0.35m.

**Pruebas y resultados**

El material plástico elegido para las pruebas es el PVC rígido por su dificultad de lavado, siendo un material que por su uso en tuberías principalmente presenta un alto nivel de suciedad al momento de empezar el proceso de recuperación.

En la figura 6 se puede apreciar una muestra del material plástico PVC seleccionado y molido, listo para ser lavado. Se aprecia la suciedad superficial que tiene el material, esta suciedad es difícil de remover por métodos convencionales de lavado.



Figura 6. Muestra de material PVC sucio

El líquido usado para las pruebas es agua con un 3% de detergente común y 1% de soda caustica.

En la figura 7 se muestra la acción del lavado ultrasónico, los transductores ultrasónicos se encargan de transmitir la energía de vibración al agua produciendo un efecto llamado cavitación, en la imagen se alcanzan a observar algunas burbujas que son las que se encargan de remover la suciedad del material.



Figura 7. Procedimiento de lavado

Después de 15 minutos de lavado se obtiene un material como el que se muestra en la figura 8**.** Como se puede apreciar no se logró remover toda la suciedad superficial, pero los resultados son aceptables y similares a lo que se podría obtener lavándolo con una lavadora de plástico común.



Figura 8. Muestra de material PVC limpio

## Conclusiones

Tomando en cuenta las experiencias adquiridas se puede decir que es posible fabricar una máquina de lavado ultrasónico para aplicaciones livianas de la industria a un costo bajo obteniendo un resultado aceptable. El objetivo principal era aplicar la tecnología del lavado ultrasónico para limpiar material plástico recuperado, pero no solo se limita a eso, también puede aplicarse a cualquier campo que requiera un sistema de limpieza eficiente.

Se pudo apreciar que los transductores ultrasónicos escogidos para este proyecto, tal vez no son los más indicados para la limpieza de este tipo de materiales por su baja frecuencia lo que causo que los resultados no fueran óptimo

## Referencias


[1] Daniel W Hart,"Electronica de potencia" Madrid Prentice Hall, pp 259-306 2001

[2] Muhammed H. Rashid, Electrónica de potencia 2 edición, Prentice hall hispanoamericana S.A. pp 263-287 1993

[3] MAQUINAS ELECTRICAS. Stephen J. Chapman.Editorial:McGRAWHILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA. pp 62-73

[4] tm associates, Questions and answers about Ultrasonic Cleaning Disponible en: http://www.tmasc.com/qa%20process.htm

[5] Cleanang technologies group, Understanding Ultrasonic Power Requirements Based on Tank Size and Other Factors. Disponible en: