

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la frecuencia y el ciclo de trabajo en la microestructura, la dureza, los esfuerzos residuales y la evolución del perfil de crecimiento en piezas electroformadas de níquel fabricadas por la técnica UV-LIGA.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener una metodología óptima para los procesos de microfotolitografía y electrodeposición.
- Determinar una geometría adecuada de las micropiezas que permita realizar los ensayos propuestos.
- Obtener resultados que sirvan de base para la obtención de micropiezas con alguna aplicación específica.
- Fortalecer el área de microingiería del Grupo de Ciencia y Tecnología de los Materiales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder producir las micropiezas de níquel ha sido necesario la combinación de las técnicas microlitográficas evolucionadas a partir de la microelectrónica, y las técnicas químicas de deposición de metales, surgiendo así la técnica de microfabricación llamada UV-LIGA ya descrito en la revisión bibliográfica (ver Figura 3). Una vez obtenidas las micropiezas la mitad de ellas se utilizaron para el análisis de microestructura y medición de microdurezas; la otra mitad de se utilizaron para la medición de las tensiones residuales. A continuación se describirán con detalles cada una de las etapas descritas anteriormente.

4.1 PROCEDIMIENTOS PARA LA ETAPA FOTOLITOGRÁFICA.

En el proceso de Microfotolitografía se requiere una cabina de extracción y purificación de aire, una placa calentadora (ver Figura 16), una lámpara de luz ultravioleta (ver Figura 17) y un *spinner* (ver Figura 18).

Figura 16. Placa calentadora para el curado de las resinas fotosensibles.

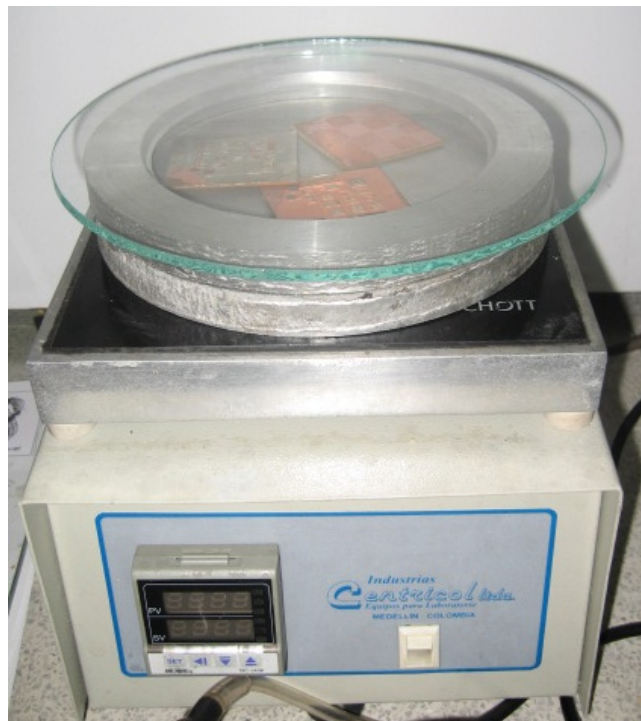


Figura 17. Lámpara de rayos ultravioleta fabricada en la universidad para generar las fotolitografías en la de resinas fotosensibles

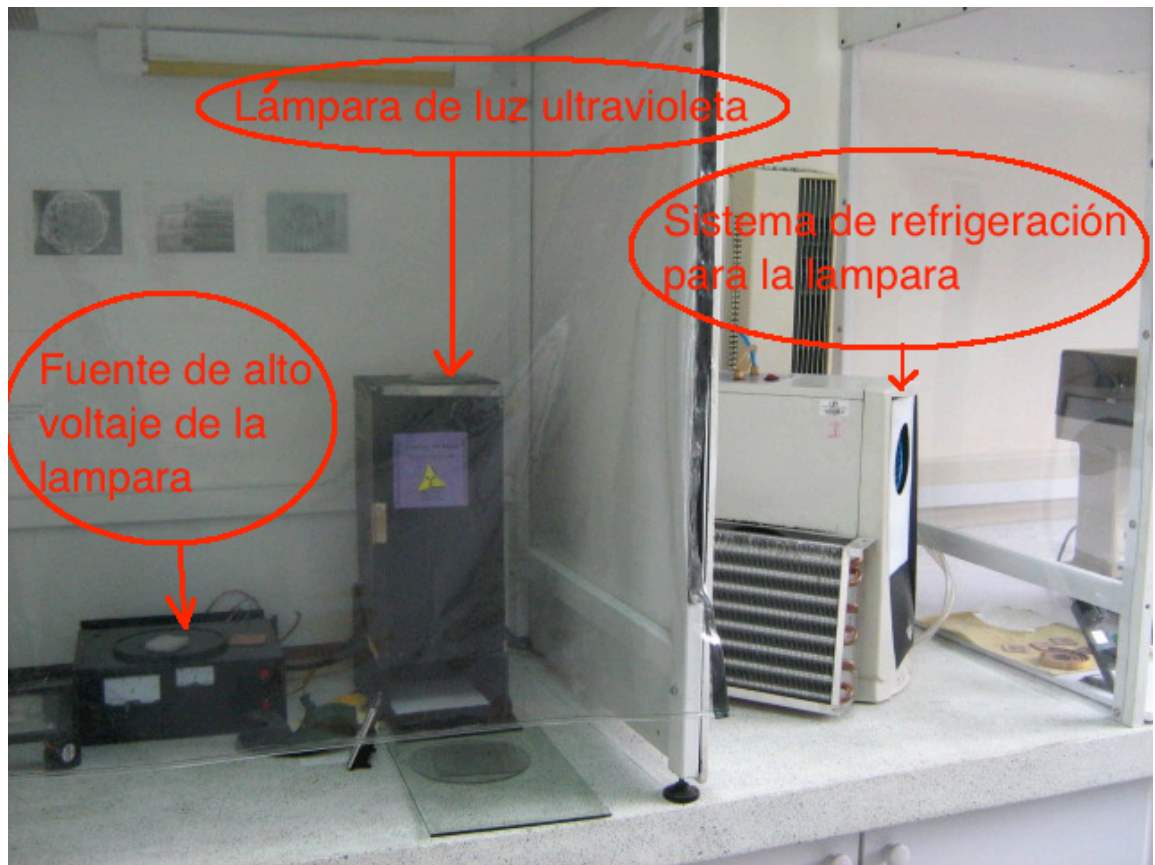
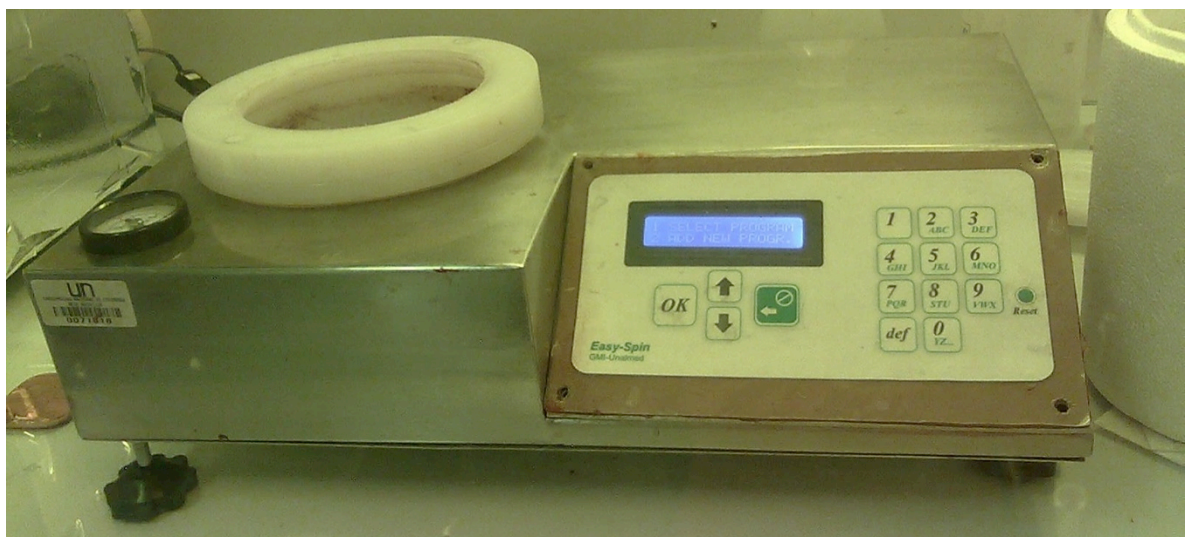
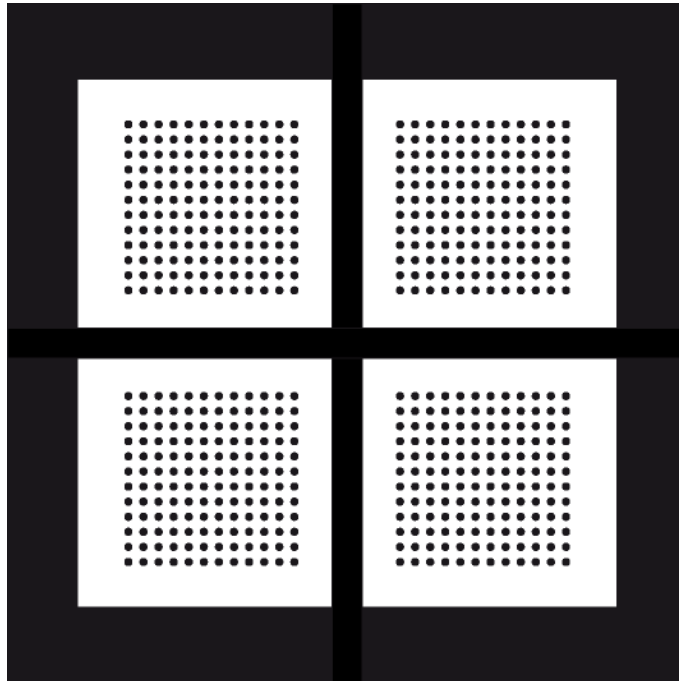


Figura 18. Spinner fabricado en la universidad para generar las diferentes capas de resinas fotosensibles



Para la máscara se puede utilizar un patrón impreso en acetato (ver Figura 19), el cual consiste de círculos de 500 μm de diámetro. Luego se transmite el mismo patrón en una máscara de aluminio, ya que una pequeña cantidad de radiación ultravioleta puede pasar a través de la tinta que se encuentra en el acetato.

Figura 19. Patrón de la máscara impreso en acetato



Como resina fotosensible se utiliza la resina SU8 2100, utilizada en el proceso de microfotolitografía, y para el proceso de revelado y remoción de ésta se utiliza el respectivo revelador y removedor suministrados por MICROCHEM [3].

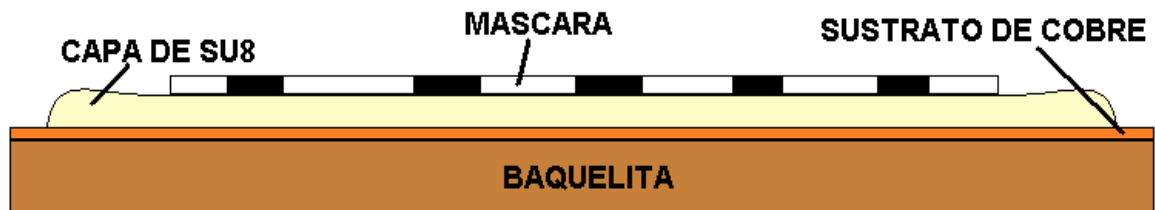
Antes de empezar el proceso de microfotolitografía es necesario realizar una buena limpieza del sustrato de cobre el cual consiste en los siguientes pasos:

1. Limpieza con thinner SU8
2. Limpieza con revelador del SU8
3. Limpieza con acetona
4. Limpieza con alcohol isopropílico
5. Agua destilada y desionizada
6. Horneado del sustrato por un minuto a 200 °C para evaporar el agua y trazas de los otros solventes.

El proceso de microfotolitografía está determinado por los siguientes pasos:

1. Se cortan pedazos de baquelita y cobre de dimensiones 4.6 x 4.6 cm (21.16 cm²), los cuales son mucho mayores que la máscara de 7.29 cm². Esto con el fin de que la máscara siempre esté en contacto con el sustrato y no se den los efectos de difracción (ver Figura 20).

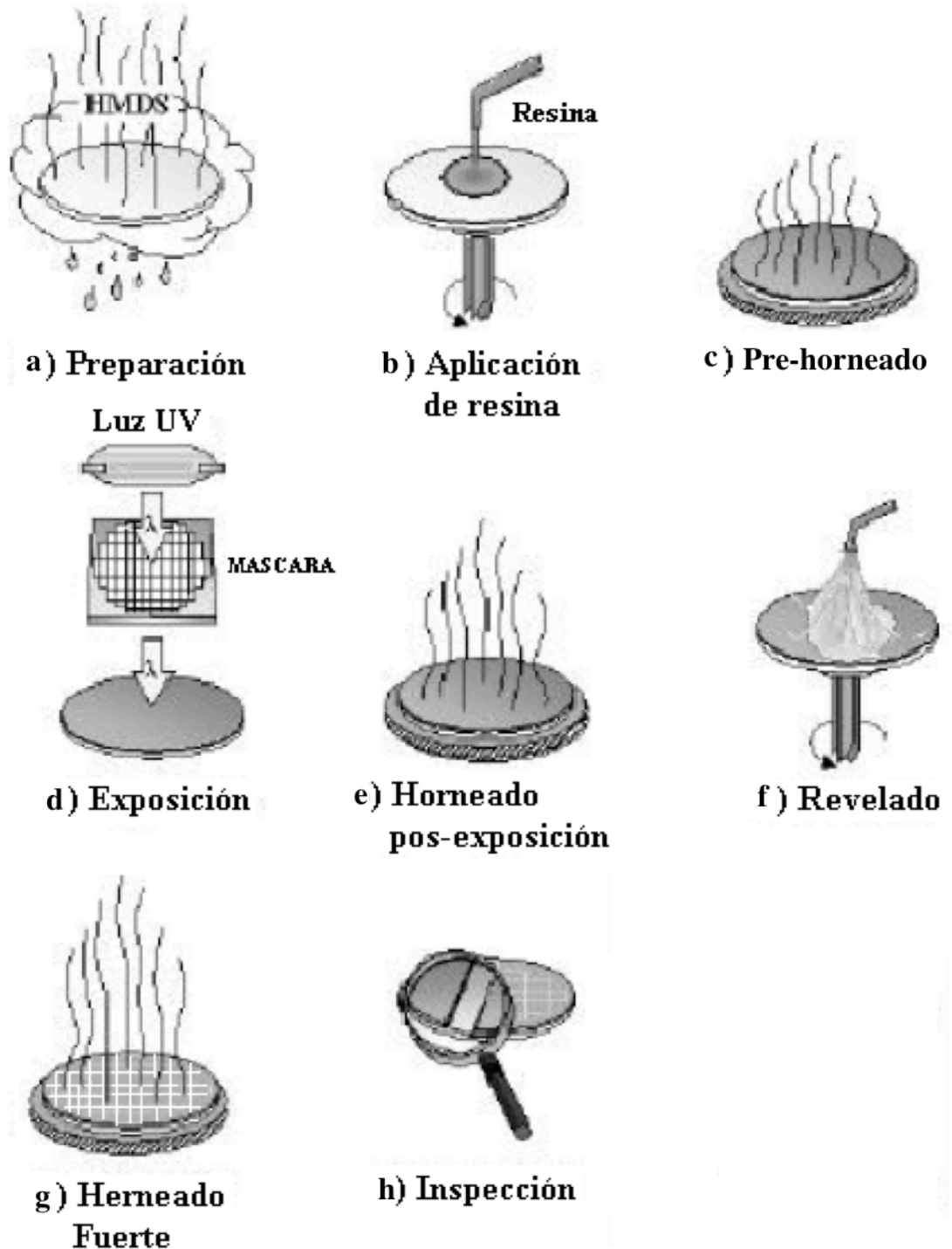
Figura 20. Esquema del montaje para el proceso de exposición con radiación ultravioleta a la capa de resina SU8



2. Limpieza del sustrato del cobre mediante lijado y ataque químico, para evitar contaminaciones en el proceso. Luego el sustrato se calienta en la placa calentadora para evaporar los productos de limpieza (ver Figura 21.a).
3. Generación mediante el *spinner* de una capa de *Omnicoat* sobre el sustrato, a una velocidad de 1500 rpm por 30 segundos, para facilitar la manipulación y la mejor adherencia del SU8 sobre el sustrato.
4. Curado del *Omnicoat* en la placa calentadora a 200 °C por un minuto
5. Precalentamiento del SU8 a 50 °C en baño de María, para disminuir viscosidad de la resina.
6. Generación de una capa de SU8 encima de la capa de *Omnicoat* de 200 um espesor mediante el *spinner* a 1500 rpm por un tiempo de 30 segundos (ver Figura 21.b).
7. Remoción del borde en la capa de resina de SU8 con espátula
8. Homogenización de la capa de SU8 utilizando una placa calentadora, para la evaporación del solvente del SU8, y homogenización del espesor de la capa. En esta etapa, el curado se hace a temperaturas de 75, 95, y 115 °C por tiempos de 5, 10 y 15 minutos, respectivamente (ver Figura 21.c).
9. Evaporación del solvente en la resina SU8 mediante la placa calentadora. Esta etapa se hace a temperaturas de 115, 135 y 155 °C, por un tiempo de 5 minutos en cada una de las temperaturas. Los puntos 8 y 9 se realizan para evitar la generación de tensiones internas en la resina y evitar así problemas de adherencia (ver Figura 21.c)

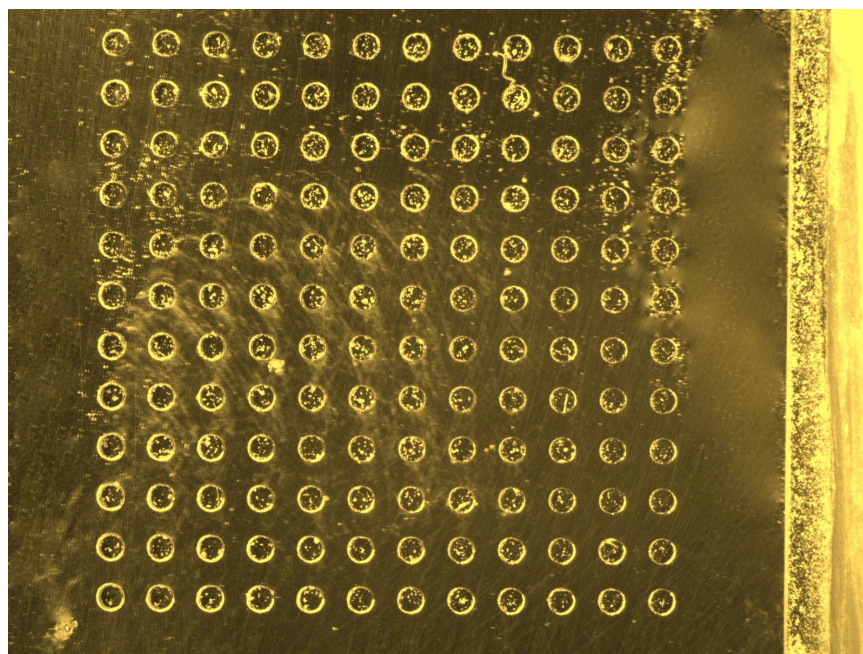
10. La placa calentadora se apaga y se procede a un enfriamiento lento de la capa de SU8 por un tiempo de 2 horas, para evitar tensiones internas en la capa de polímero producida
11. Transferencia del patrón de la máscara a la resina, utilizando la lámpara de luz ultravioleta por un minuto y medio (ver Figura 21.d).
12. Inicio de la polimerización selectiva por temperatura de la resina SU8, por medio de una placa calentadora a temperaturas de 75, 95, 155 °C por tiempo de 5, 10 y 15 minutos, respectivamente. En este paso la región de la resina que fue expuesta a la radiación ultravioleta se polimeriza y se vuelve resistente al revelador del SU8 (ver Figura 21.e).
13. Segundo enfriamiento de 2 horas de la resina sobre la placa calentadora apagada, por las mismas razones del primer enfriamiento.
14. Revelado de la resina fotosensible utilizando el revelador y el *thinner* del SU8. En este paso es necesario sumergir el molde en *thinner* por 2 minutos para mejorar el efecto del revelador. Después se debe sumergir el molde en el revelador por 10 minutos, para luego dejarlo en el ultrasonido por 2 minutos. Por último, se sumerge la muestra en alcohol isopropílico, se coloca de nuevo en el ultrasonido para limpiar residuos y verificar la remoción completa del SU8 que no se ha expuesto a la radiación ultravioleta (ver Figura 21.f).
15. Endurecimiento del molde mediante sobre-exposición en la lámpara de luz ultravioleta y un tercer horneado (ver Figura 21.g).

Figura 21. Diagrama de la secuencia de pasos de un proceso Fotolitográfico



En la Figura 22 se puede observar un ejemplo de cómo queda terminado el molde donde se va a electroformar las micropiezas

Figura 22. Molde de cobre y SU8 listo para la electroformación de micropiezas



4.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA ETAPA DE ELECTROFORMACIÓN.

Se tomó como base las condiciones obtenidas en el trabajo de Devaraj[15], dadas a continuación: densidad de corriente 40 mA.cm^{-2} , temperatura del baño de 52°C , sustrato de cobre, pH 3.5, baño Watt estándar cuya composición se puede apreciar en la tabla 1. Por otro lado para garantizar la mojabilidad en las cavidades del molde se coloca previamente el molde en ultrasonido con agua destilada, ya que el SU8 es extremadamente hidrofóbico.

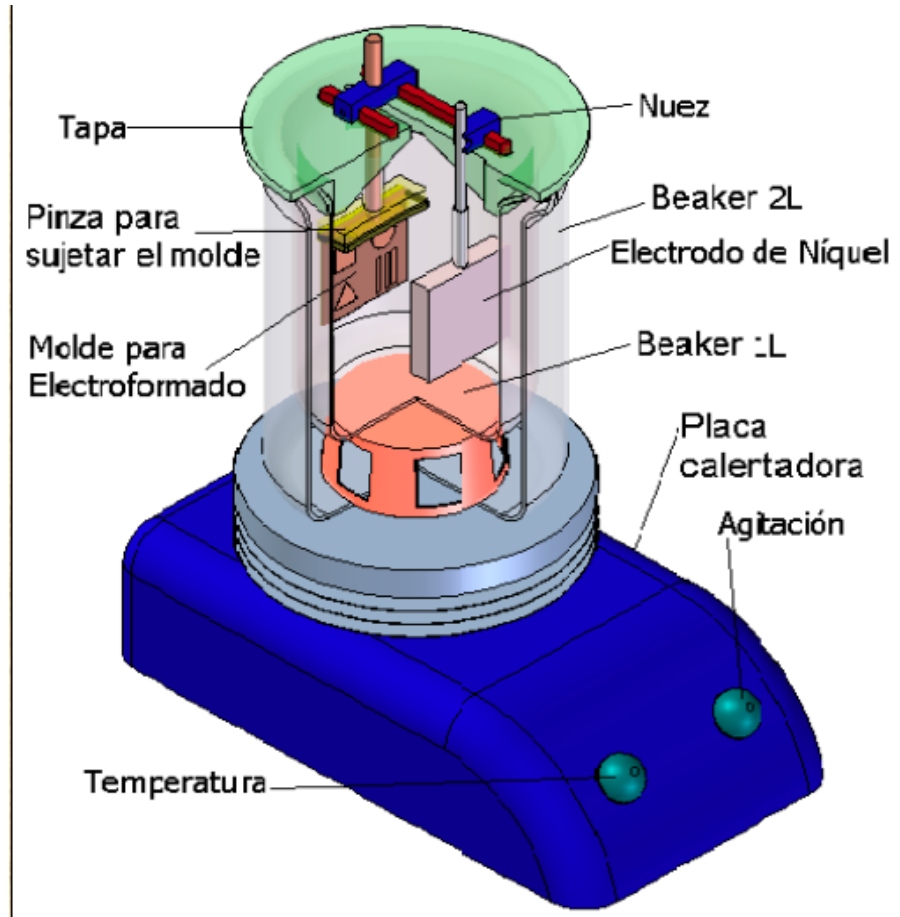
Tabla 1. Composición del baño WATTS

Reactivo	Concentración
Sulfato de níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	340 g.L^{-1}
Cloruro de níquel pentahidratado ($\text{NiCl}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	45 g.L^{-1}
Acido Bórico (H_3BO_3)	hasta ajustar pH=3.4
Lauril sulfato	1 g.L^{-1}

El proceso de electroformado se lleva a cabo en una celda electrolítica. Esta consiste en una placa calentadora y agitadora en la que se le coloca encima un Beaker de 2L donde va el agua para el baño de maría, dentro de este se coloca un Beaker de 1L donde va la

solución electrolítica, encima del beaker de 1L se coloca una tapa especialmente diseñada para sostener mediante unas nueces el electrodos de níquel y el electrodo donde se va a electroformar las micropiezas de níquel, teniendo en cuenta que para sostener este electrodo se debe agarrar con unas pinza especialmente diseñada para que se pueda dar una buena conducción eléctrica y no se oxide mediante el proceso(ver Figura 23).

Figura 23. Esquema de la celda electrolítica.



Para determinar cuales son los valores de corriente y frecuencia utilizados se hizo un diseño de experimentos enfocado en regresión lineal de 5 niveles distintos en cada variable. Los valores de frecuencia ciclo de trabajo utilizados en la muestra en el diseño de experimentos se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores de ciclo de trabajo y frecuencia de cada una de la muestras

Frecuencia Hz	Ciclo de trabajo %	Muestra
19	20	A
55	49	B
86	9	C
37	78	D
1	14	E

El tiempo de electroformado para un espesor de 200um y una densidad de corriente promedio de 40 mA/cm² es de 4 horas y 30 minutos. Este fue calculado mediante la ecuación (11), la cual parte de la ley de Faraday, haciendo una corrección que asume una eficiencia aproximada del 90% (calculada empíricamente) para la reacción electroquímica.

$$t = \frac{h n F \rho}{i M \cdot 0.9} \quad (11)$$

Donde n es el número de electrones que participan en la reacción, F es la constante de Faraday, ρ es la densidad del metal a depositar (en este caso la del níquel), i es la densidad de corriente promedio, M es el peso molecular del elemento a depositar y h es la altura a la cual se desea que queden las piezas electroformadas

En la Figura 24 se puede observar un ejemplo de como quedan las micropiezas después de electrodepositarse

Figura 24. Matriz de micropiezas de níquel sobre el sustrato de cobre

