

# Influencia del flujo de electrolito y presión de aire de limpieza en el sobrecorte en procesos de micromecanizado electroquímico pulsado bipolar

*Influence of the electrolyte flow and cleaning air pressure on the overcut in bipolar pulsed electrochemical micro-machining processes*

■■■■  
Octavio Catarino-Aguilar, Everardo-Efrén Granda-Gutiérrez, José-Arturo Pérez-Martínez, José-Luis Tapia-Fabela, Allan-Antonio Flores Fuentes y Juan-Fernando García Mejía  
Universidad Autónoma del Estado de México (México)

DOI: <https://doi.org/10.6036/10766>

## 1. INTRODUCCIÓN

La miniaturización y la demanda de materiales para la fabricación de turbinas, componentes de aviación, herramientas, troqueles, entre otros, donde existe la necesidad de mecanizar con alta precisión y acabado superficial, ha impulsado el desarrollo de técnicas de mecanizado no tradicional [1]. Dichas técnicas se caracterizan porque la herramienta y la pieza de trabajo no están en contacto, sino que ocurre una transferencia indirecta de energía para remover el material de la pieza [2].

Entre las técnicas de mecanizado no tradicional destacan las que utilizan energía eléctrica para la remoción del material. El mecanizado por electroerosión, también conocido como mecanizado por descargas eléctricas (EDM, *Electrical Discharge Machining*) aprovecha el efecto termoeléctrico de una descarga producida en un medio dieléctrico en el régimen de ignición del arco, y es utilizado en operaciones de perforación [3] o de corte, en su variante de electroerosión con alambre (*Wire-EDM*) [4]. El Mecanizado Electroquímico (ECM, *Electrochemical Machining*) utiliza un medio electrolítico para promover la disolución de una pieza conductora mediante reacciones electroquímicas [2]. Existen equipos comerciales basados en ECM y EDM, principalmente para taladrado y desbaste, y para la fabricación de componentes como soportes de rotores, boquillas, álabes, engranes, entre

otros [5]. Sin embargo, se continúa en la investigación de mejoras para estos procesos, sobre todo enfocadas en incrementar la precisión y la productividad.

El Micro Mecanizado Electroquímico Pulsado (PECM, *Pulsed ECM*) es una variante del ECM utilizada en escalas micrométricas que produce acabados sin rugosidades ni deformaciones [6]. Se utiliza en la fabricación de micro boquillas, microtubos, y como complemento de procesos tradicionales, con el objetivo de eliminar o reducir la rugosidad y porosidad [7]. El proceso se realiza en un equipo que consta de una herramienta y una pieza de trabajo (electrodos), ambas metálicas y conductoras, conectadas respectivamente al cátodo y ánodo de una fuente de polarización eléctrica. Debe existir una separación entre la herramienta y pieza de trabajo denominada distancia inter-electrodos, que se encuentra en el orden de los micrómetros, y en la cual fluye un electrolito. La remoción de material ocurre a nivel atómico por disolución electroquímica del ánodo, según el principio de Faraday [8].

El micro mecanizado (orden de los micrómetros) implica un grado de complejidad mayor que en escalas dimensionales más grandes, sobre todo en un sistema que incorpora múltiples variables, como: voltaje de polarización, separación entre electrodos, tipo de electrolito, composición química del electrolito, material de los electrodos, entre otros [2]. Además, durante el proceso suceden fenómenos fisicoquímicos, necesarios para obtener el acabado, profundidad y forma requeridos, pero que producen efectos indeseables, como el sobre corte (diferencia entre el diámetro obtenido y el diámetro del electrodo), relacionado con la precisión [9].

Uno de los fenómenos con mayor impacto en el sobre corte se debe al flu-

jo del electrolito en la separación inter-electrodos. En esta distancia micrométrica ocurren reacciones químicas que forman microburbujas de gas [10], y acumulación de subproductos en las zonas cercanas a los electrodos [11]. Considerando que la pieza sea de un material compuesto en su mayor proporción de hierro y que electrolito empleado es comúnmente una solución de cloruro de sodio ( $H_2O + NaCl$ ), al someterlos al diferencial de potencial, se produce la disociación de las moléculas de agua, formado microburbujas de hidrógeno  $H_2$ , hidróxidos de hierro  $Fe(OH)_2$  y cloruro ferroso  $FeCl_2$ , en forma de lodos que quedan estancados entre la herramienta y la pieza, obstaculizando el flujo del electrolito, lo que puede provocar deformaciones, excesivo sobre corte, acabados rugosos o corto circuitos.

Las microburbujas quedan atrapadas en la distancia inter-electrodos debido a dos causas principales: a) el flujo turbulento del electrolito y b) el fenómeno de cavitación, que consiste en que se crean cavidades por el gas liberado sujeto a diferenciales de presión, generando deformaciones [12]. Un estudio que aborda esta problemática fue desarrollado por Shimasaki y Kunieda [13], quienes analizan el comportamiento de la distancia inter-electrodos y el resultado del mecanizado con presencia de microburbujas de hidrógeno. En su investigación, utilizaron electrodos transparentes y cámaras de alta resolución, mostrando que desde el inicio del proceso se generan burbujas que permanecen atrapadas entre la pieza y la herramienta. Los autores intentan forzar la salida de dichas burbujas haciendo rotar la herramienta, con lo cual logran que estas se concentren en el centro de esta, generando un mecanizado con forma de domo. Confirman que hacer fluir un electrolito entre herramienta y pieza de trabajo ayuda a que las burbujas fluyan; sin embargo, también se concluye que este flujo debe ser controlado y estar acorde a la distancia inter-electrodos.

Fang y colaboradores [14] proponen una inyección de electrolito a 90° con respecto a la posición de la herramienta, exactamente en el espacio inter-electrodos, con el objetivo de evitar la aparición de burbujas y la inmovilización de electrolito. Los

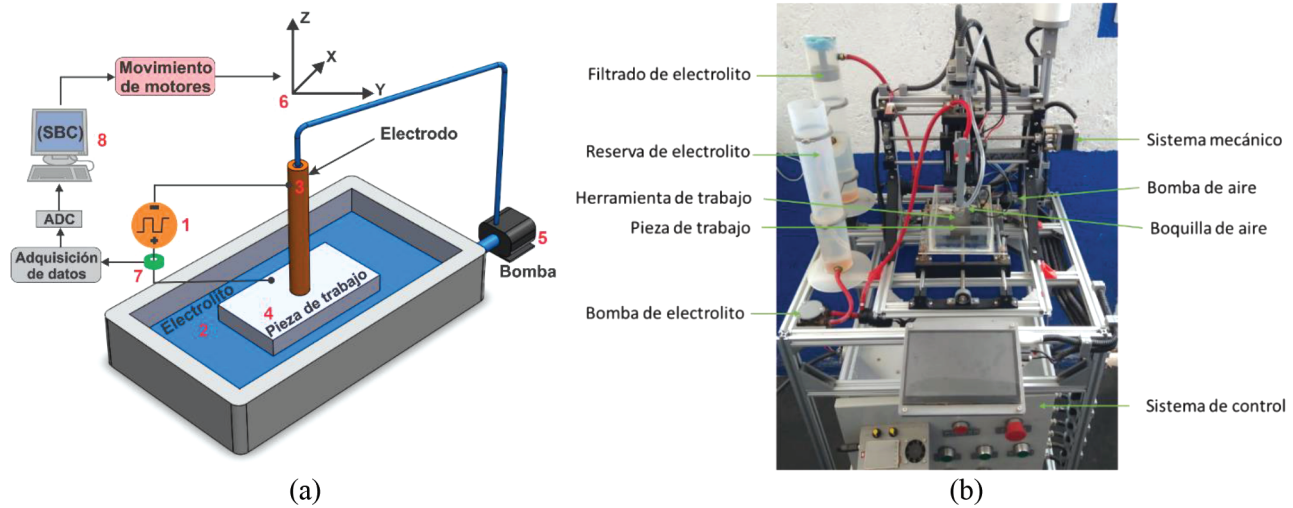


Figura 1. Elementos del proceso MMEPB representados esquemáticamente (a) y fotografía del prototipo experimental (b).

resultados, tanto en simulación como en el proceso experimental, resultan prometedores, ya que se reduce la generación de burbujas, mejorando el acabado; sin embargo, la aplicación es limitada, ya que ante geometrías complejas o de relativamente gran profundidad (algunas centenas de micrómetros), la inyección horizontal tiende a estancar el electrolito, que es incapaz de seguir la forma de la herramienta.

Liu y colaboradores [15] recomiendan la succión del electrolito para reemplazar la inyección tradicional. Los autores desarrollan un sistema que suministra electrolito directamente entre la herramienta y pieza de trabajo, y que es succionado por un sistema neumático, garantizando la cantidad de electrolito para cubrir la zona de mecanizado, sin generar excedentes o desbordamientos. El trabajo profundiza en la relación existente entre la presión del electrolito y la distancia inter-electrodos, obteniendo valores optimizados para su sistema en específico.

Con la finalidad de contribuir a explorar alternativas para reducir el efecto de sobre corte provocado por la cavitación y la acumulación de subproductos durante el mecanizado electroquímico, en el presente trabajo se propone la inyección de electrolito de manera controlada a diferentes caudales, así como la incorporación de aire comprimido como fluido de limpieza a diferentes valores de presión. Adicionalmente, la polarización de la herramienta se realiza utilizando un tren de pulsos al que se le invierte la polaridad entre electrodos en uno de cada 12 pulsos, para promover la limpieza de la herramienta.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se presenta una variante del proceso PECM que se ha denominado Micro-Me-

canizado Electroquímico Pulsado Bipolar (MMEPB), por utilizar una fuente de polarización pulsada a la que se adiciona periódicamente una inversión de polaridad para promover la limpieza de la herramienta. Este proceso está conformado por los elementos mostrados en la Figura 1 (a). Una herramienta cilíndrica hueca (3) y una pieza de trabajo (4) son conectadas al cátodo y al ánodo de una fuente pulsada bipolar (1), respectivamente. Un electrolito (2) se hace fluir a través de la herramienta por medio de una bomba (5). La adquisición de la corriente de mecanizado y voltaje de polarización se realizan mediante sensores (7) asistidos por un convertor analógico a digital (ADC, *Analog to Digital Converter*) que envía los datos a una computadora de tamaño reducido SBC (*Single Board Computer*) Raspberry Pi B+ (8), que procesa, interpreta y genera una respuesta que determina el movimiento de un sistema mecánico (6) que desplaza la herramienta en los ejes del plano cartesiano mediante motores a pasos. En la Figura 1(b) se muestra el prototipo de diseño y construcción propia al que se han integrado los sistemas de

inyección y control de flujo de electrolito, inyección y medición de la presión de aire de limpieza (explicado más adelante), sistema mecánico y sistema de control. El prototipo se opera desde una pantalla táctil y cuenta con accesorios para el funcionamiento seguro, como: paro de emergencia, interruptores de límite de carrera para el sistema mecánico y recipiente contenedor de electrolito resistente a la corrosión.

Adicionalmente a la formación de microburbujas, al efecto de cavitación y la acumulación de residuos, en la práctica se observa que, cuando el fluido sale expulsado del espacio inter-electrodos, se forma una acumulación en las cercanías de la herramienta. Al comportarse como un fluido con caudal reducido que circula por una tubería estrecha, el electrolito no puede circular libremente debido a la escasa velocidad del flujo que permite el paso del electrodo hueco y la adherencia del electrolito a la herramienta. La acumulación de electrolito y los residuos generados, así como el descenso vertical de la herramienta, ocasionan que el electrolito salga proyectado, provocando medicio-

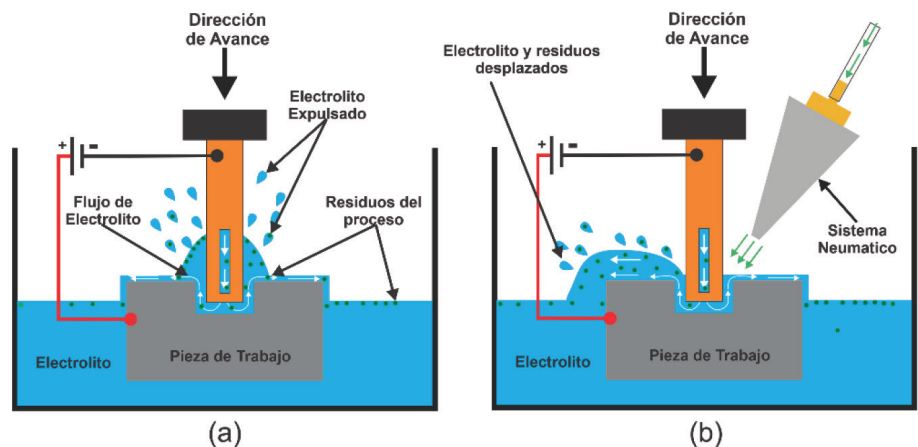


Figura 2. Flujo turbulento de electrolito acumulado (a), incorporación de sistema neumático (b).

nes erróneas en las variables eléctricas, así como salpicaduras y obstrucciones, como se representa gráficamente en la Figura 2(a). Como solución a estas problemáticas, se propone un sistema neumático encargado de inyectar aire a 45° con respecto a la herramienta, con el objetivo de que desplace el excedente de electrolito y los residuos, como se ilustra en la Figura 2 (b).

Para medir la presión del aire se utiliza un sensor diferencial (matrícula Mpx10dp), conectado a un ADC modelo MCP3204. Esto permite a la SBC adquirir la magnitud de esta variable y ajustar el ciclo de trabajo de la bomba neumática para modificar la presión. El flujo del electrolito se mide con un sensor de caudal con matrícula 937-0820, posicionado entre el contenedor primario de electrolito y la bomba que lo suministra; conectado a la SBC para que, dependiendo de la magnitud del flujo, puede ser ajustado el ciclo de trabajo de la bomba que suministran el electrolito. Se incorpora una fuente pulsada bipolar para la polarización la herramienta, con una frecuencia de 25 kHz y un ciclo de trabajo del 50%. La polarización se realiza en una configuración herramienta negativa – pieza positiva, durante la denominada etapa de corte, ya que es donde se produce la reacción de disolución que remueve material. Posteriormente, cada 12 pulsos se produce un pulso con polarización inversa, quedando una configuración herramienta positiva – pieza negativa, denominada etapa de limpieza. Durante esta etapa, se promueve la eliminación de residuos adheridos a la herramienta durante la etapa de corte. La amplitud del tren de pulsos de corte es de 5V, en tanto que el pulso de limpieza es de 3V.

Para verificar los resultados en el mecanizado de orificios micrométricos en acero AISI-1018, se realizó una serie experimental utilizando una solución acuosa de NaCl al 16.6% en masa, donde se hizo variar el flujo de electrolito suministrado al proceso en un intervalo de 85 – 147 *ml/min*. Asimismo, se modificó la presión a la cual se le inyecta aire al sistema, variándola en un intervalo de 6-3 – 8.4 *kPa*. Cada una de las pruebas tuvo una duración de 60 segundos, en tanto que la distancia inter-electrodos inicial se estableció en 240  $\mu\text{m}$ . La herramienta de trabajo fue un cilindro hueco de acero inoxidable AISI-316, con diámetro exterior de 603  $\mu\text{m}$  y diámetro interno de 310  $\mu\text{m}$ . En cada experimento se monitoreó la corriente de mecanizado, ya que está directamente relacionada con la remoción del material [8]. Al terminar, se limpió la superficie de la pieza utilizando acetona,

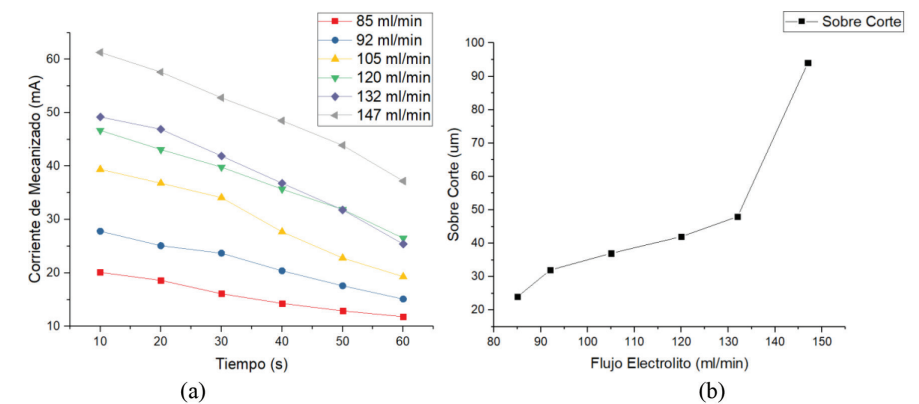


Figura 3. Corriente en función del tiempo para los diferentes valores de flujo del electrolito (a), y sobre corte en función del flujo (b).

y se visualizaron los orificios producidos en un microscopio óptico para medir su diámetro y cuantificar el sobre corte.

### 3. RESULTADOS

A partir de la experimentación, se observó el comportamiento de la corriente de mecanizado cuando el flujo de electrolito se incrementa desde 85 hasta 147 *ml/min*. El máximo valor de flujo se determinó a partir de la máxima capacidad de las bombas utilizadas; por otro lado, el valor mínimo de flujo se propuso empíricamente ante condiciones donde el electrolito fluye libremente por el interior del electrodo. En la Figura 3 (a) se aprecia la evolución de la corriente de mecanizado con respecto al tiempo, para los valores propuestos en el flujo de electrolito, resultando en 36 experimentos, realizados por duplicado para asegurar la reproducibilidad. En todos los casos la corriente desciende gradualmente mientras el proceso avanza, lo cual da evidencia que la remoción de material se está realizando. Esto se debe a que conforme se remueve material de la pieza de trabajo, la distancia inter-electrodos aumenta, reduciendo la corriente. Ahora bien, se observa que entre mayor es el flujo de electrolito, la remoción de material también se incrementa, debido a que existe una mayor cantidad de electrolito circulando entre la pieza y la herramienta, por lo que la remoción de material es mayor en tanto mayor es el flujo de electrolito. Por otro lado, el sobre corte resultante en las pruebas realizadas se observa en la Figura 3 (b), donde se nota una tendencia de crecimiento con referencia al flujo de electrolito.

Los resultados más representativos se aprecian en las micrografías de la Figura 4, incluyendo el diámetro del orificio para cada valor ensayado de flujo de electrolito. A 85 *ml/min*, la remoción de material es menor en comparación con 147 *ml/min*, donde el diámetro del orifi-

cio es mayor. Conociendo el diámetro de los orificios se calcula el sobre corte. La importancia de minimizar el sobre corte radica en que está estrechamente relacionado con la calidad dimensional del mecanizado, ya que a menor sobre corte se tiene una mejor precisión [16]. Si bien un mínimo sobre corte es deseable, no da validez para tomar este criterio como único. Como se puede observar en las micrografías de la Figura 4 y en el comportamiento de la corriente de la Figura 3 (a), la remoción de material es menor cuando se utiliza un flujo reducido. Esto significa que, para ser aplicado en barrenos de mayor profundidad, el tiempo de proceso tendría que prolongarse. Por otro lado, considerando el extremo opuesto de la experimentación, si se suministra un flujo abundante, el sobre corte alcanza su valor máximo, y la remoción de material es mayor, pero se compromete el resultado final al no cumplirse la premisa de mantener el sobre corte al mínimo. Tomando en consideración estos resultados, se estableció como criterio empírico un flujo de 120 *ml/min*, que corresponde a un sobre corte del 7%, equivalente a 42  $\mu\text{m}$ .

Manteniendo el flujo de electrolito en 120 *ml/min*, se analizó el efecto que ejerce el aire de limpieza. Al trabajar en escala micrométrica, el electrolito se acumula entre la herramienta y la pieza, como se explicó anteriormente, por lo que se incorporó un sistema neumático para variar la presión del aire entre 1.5 y 8.4 *kPa* y se diseñó una secuencia de experimentos para determinar la influencia que tiene el suministro de aire. Sin embargo, se observó que sin presencia de aire y hasta un valor de 5.3 *kPa*, los resultados son similares, y no parece haber un efecto significativo en el micro orificio producido. Por otra parte, para una presión de 6.3 *kPa* y hasta el límite de 8.4 *kPa* (valor máximo del sistema neumático), se aprecia como la corriente desciende mientras el proceso

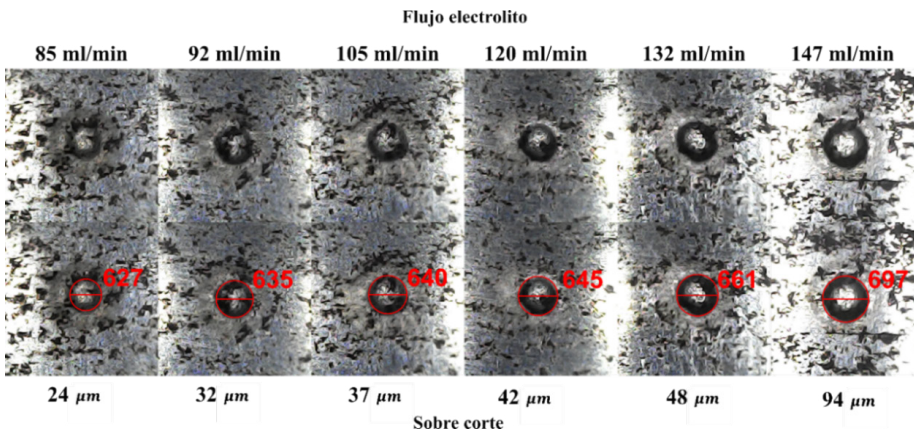


Figura 4. Micrografías de los orificios en función del flujo (arriba); el sobre corte (abajo) se incrementa proporcionalmente.

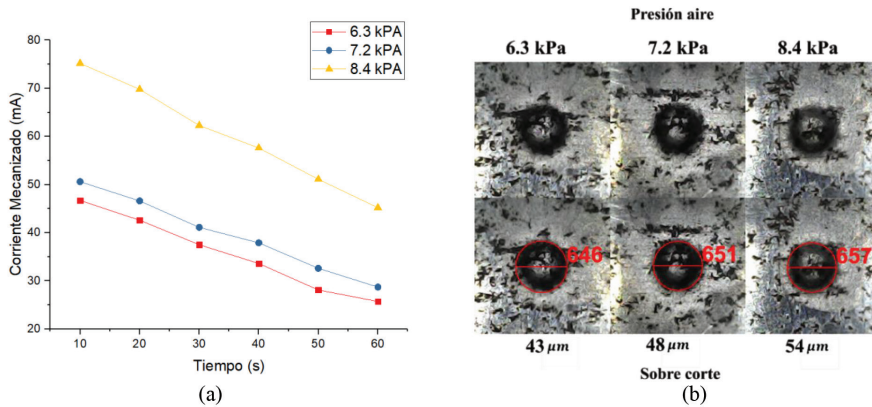


Figura 5. Corriente en función del tiempo para diferentes valores de presión de aire (a) y sobre corte en orificios (b).

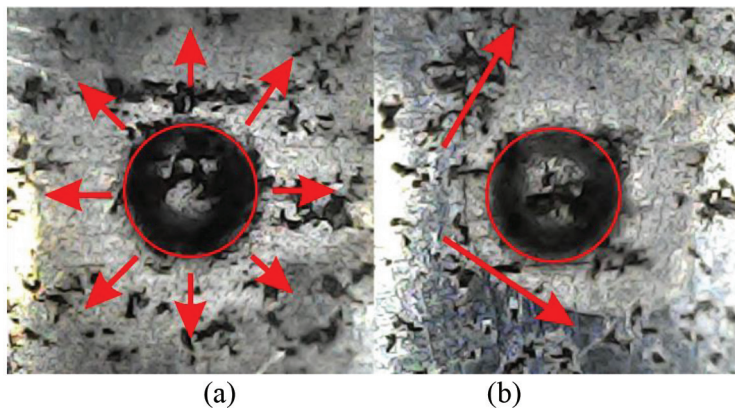


Figura 6. Efecto causado por la inyección de aire a 7.2 kPa (a) y 8.4 kPa (b).

se realiza, como se observa en la Figura 5 (a). Esto es evidencia de que se remueve material, puesto que el descenso en la corriente indica que la distancia inter-electrodos aumenta debido a que el material de la pieza se elimina. La diferencia entre la corriente inicial y la corriente final, en las pruebas a 6.3 kPa y 7.2 kPa es de 21 y 21.9 mA, respectivamente, mientras que en la prueba a 8.4 kPa fue de 30 mA, lo cual indica que, ante una presión de aire mayor, el descenso de la corriente es más rápido. Esto se atribuye a que el electrolito excedente y los residuos del mecanizado se eliminan rápidamente, permitiendo un

meconizado más eficiente debido al ingreso de electrolito limpio. Sin embargo, así como la corriente disminuye con mayor rapidez, el sobre corte aumenta, como se aprecia en la Figura 5 (b), teniendo un valor mayor cuando la presión de aire se encuentra al máximo. Se determina, por lo tanto, que a 6.3 y 7.2 kPa, se mantiene el sobre corte dentro del margen de 5 a 8% que se ha propuesto como valor ideal en este trabajo, con respecto al diámetro externo de la herramienta de trabajo.

Además de tener un sobre corte mayor, a la máxima presión de aire se aprecia un efecto que se ha denominado "de abanico",

que se caracteriza por realizar una remoción de material con mayor preferencia en la dirección con la cual se inyecta el aire. Este efecto se ilustra en la Figura 6, donde se muestran dos pruebas: a) al aplicar una presión de 7.2 kPa, la huella de desplazamiento del electrolito es uniforme en todas las direcciones (se aprecia como una zona brillante que significa el indicio eliminación de material de la superficie), y b) con una presión de 8.4 kPa la huella del electrolito (zona más brillante en la imagen), tiende a seguir la dirección del flujo de aire (efecto "de abanico"). Esto sugiere que un exceso en la presión del aire también es perjudicial para el proceso y puede comprometer los resultados; se especula que, de prolongar el proceso, sería cada vez más notorio este efecto, mismo que influiría en la geometría del orificio, deformándolo.

#### 4. CONCLUSIONES

1. Mediante la experimentación realizada se puede determinar que el flujo de electrolito en procesos MMEPB influye directamente sobre remoción del material de la pieza y el sobre corte. El suministrar electrolito a un flujo bajo tiene como resultado un sobre corte menor, pero menor remoción; por otro lado, un flujo de electrolito abundante genera mayor remoción de material y sobre corte excesivo.
2. Se determinó que el flujo de electrolito debe estar entre 105 y 120 ml/min para que la remoción de material se realice adecuadamente y que el sobre corte se mantenga entre 5 y 8% con respecto al diámetro exterior de la herramienta.
3. Incorporar un sistema de recirculación de electrolito con flujo variable permite conocer en todo momento el valor del flujo de electrolito, por lo que esta investigación demuestra que es una variable de interés para incorporarla en técnicas de control como trabajo a futuro.
4. La inyección de aire de limpieza sobre la superficie a maquinar ayuda al desplazamiento de los remanentes de material que se acumulan entre herramienta y pieza de trabajo; se comprobó que esto mejora el proceso, pero una presión excesiva genera nuevos efectos que potencialmente deforman los orificios realizados. Se determinó que el rango operativo de la presión del aire de limpieza es entre 6.3 y 8.4 kPa.
5. Con los datos recabados se generaron umbrales de funcionamiento que

pueden ser incorporados a técnicas donde los parámetros involucrados pueden ser las variables para controlar el proceso.

## REFERENCIAS

- [1] M. K. Roy, A. Ray, y B. B. Pradhan, «Non-traditional machining process selection using integrated fuzzy AHP and QFD techniques: a customer perspective», *Production & Manufacturing Research*, vol. 2, n.o 1, pp. 530-549, ene. 2014, DOI: <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.938276>.
- [2] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*, 3a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2007.
- [3] A. Beranoagirre, G. Urbikain, A. Calleja, y L. López De Lacalle, «Hole Making by Electrical Discharge Machining (EDM) of  $\gamma$ -TiAl Intermetallic Alloys», *Metals*, vol. 8, n.o 7, p. 543, jul. 2018, DOI: <https://doi.org/10.3390/met8070543>.
- [4] R. Chaudhari, J. J. Vora, V. Patel, L. N. López De Lacalle, y D. M. Parikh, «Surface Analysis of Wire-Electrical-Discharge-Machining-Processed Shape-Memory Alloys», *Materials*, vol. 13, n.o 3, p. 530, ene. 2020, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13030530>.
- [5] EMAG ECM GmbH, «Brand EMAG ECM - Electro Chemical Machining». 2023. Consultado: 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.emag.com/company/brands/emag-ecm/>
- [6] R. Mathew y M. M. Sundaram, «Modeling and fabrication of micro tools by pulsed electrochemical machining», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, n.o 7, pp. 1567-1572, jul. 2012, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.03.004>.
- [7] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, y Espinoza Limón Jaime, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 5a ed. México, D.F.: Pearson Educación, 2008.
- [8] H. El-Hofy, *Advanced machining processes: nontraditional and hybrid machining processes*. New York: McGraw-Hill Professional, 2005.
- [9] A. W. Nugroho, S. Sudarisman, M. B. N. Rahman, y P. Septiaji, «Overcut and Material Removal Rate on Electrochemical Machining of Aluminum and Stainless Steel using Isolated Brass Electrode», en *2016 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE)*, Piscataway: IEEE, 2016, pp. 78-81. [En línea]. Disponible en: <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/10039>
- [10] H. D. He, N. S. Qu, Y. B. Zeng, y P. Z. Tong, «Improvement of Hydrogen Bubbles Detaching from the Tool Surface in Micro Wire Electrochemical Machining by Applying Surface Microstructures», *J. Electrochem. Soc.*, vol. 164, n.o 9, pp. E248-E259, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1149/2.1131709jes>.
- [11] B. Bhattacharyya, «Electrochemical Machining», en *Electrochemical Micromachining for Nanofabrication, MEMS and Nanotechnology*, Elsevier, 2015, pp. 25-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-32737-4.00002-5>.
- [12] S. Ling, M. Li, Y. Liu, K. Wang, y Y. Jiang, «Improving Machining Localization and Surface Roughness in Wire Electrochemical Micromachining Using a Rotating Ultrasonic Helix Electrode», *Micromachines*, vol. 11, n.o 7, p. 698, jul. 2020, DOI: <https://doi.org/10.3390/mi11070698>.
- [13] T. Shimasaki y M. Kunieda, «Study on influences of bubbles on ECM gap phenomena using transparent electrode», *CIRP Annals*, vol. 65, n.o 1, pp. 225-228, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.026>.
- [14] X. Fang, N. Qu, Y. Zhang, Z. Xu, y D. Zhu, «Effects of pulsating electrolyte flow in electrochemical machining», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, n.o 1, pp. 36-43, ene. 2014, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.07.012>.
- [15] G. Liu, Y. Zhang, y W. Natsu, «Influence of electrolyte flow mode on characteristics of electrochemical machining with electrolyte suction tool», *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 142, pp. 66-75, jul. 2019, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2019.04.010>.
- [16] A. Tiwari, A. Mandal, y K. Kumar, «Optimization of Overcut in Electrochemical Machining for EN 19 Tool Steel Using Taguchi Approach», *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, n.o 4-5, pp. 2337-2345, 2015, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.293>.

**32BIEMH**

**Bilbao 3-7 Junio 2024**  
**Bilbao Exhibition Centre**

**ARE  
YOU  
READY?**

COME TO  
**BIEMH**

**Conocimiento, tecnología  
y oportunidades  
que anticipan el futuro  
de la industria.**

Partner institucional:



Organizadores:



EXPOSIBLE!