

## **“Análisis Multivariable en el Proceso de Corte Electro abrasivo por Hilo para su Aplicación en un Sistema CAPP .”**

Vilma Auxiliadora Moreno Guerrero.  
Universidad De Holguín “Oscar Lucero Moya” Facultad De Ingeniería. Centro De  
Estudio –CAD/CAM . Cuba  
Instituto Universitario de Experimental de Tecnología La Victoria. Venezuela  
(IUETLV).  
vilmamoreno90@hotmail.com  
Calle El Saman # 63 Barrio Lourdes Maracay Estado Aragua Venezuela.  
Teléfono: (0058) 414 464-07-17 Fax: (0058) 243 247-17-67

### RESUMEN

El mecanizado por descarga eléctrica por hilo (WEDM), se ha aplicado fundamentalmente en piezas de geometría compleja, sin importar la dureza del material, este tipo de tecnología puede mecanizar desde piezas de 10mm hasta 400mm dependiendo del diámetro y material del hilo. La mayoría de los manuales de operación suministran los valores de los parámetros tecnológicos recomendados para el corte de espesores determinados, y aun para estos espesores, debidamente documentados, encontrar los valores adecuados para dichos parámetros requiere de gran experiencia del operario. En base a esta situación no se posee una información clara de cómo afecta este proceso de corte en el acabado superficial de las piezas a fabricar. Una de las variables más relevantes para evaluar esta característica es la rugosidad superficial, por tal motivo el propósito de la presente investigación es determinar los parámetros adecuados para este proceso de mecanizado, que garanticen la calidad superficial en lo que se refiere a la rugosidad de las piezas a fabricar con espesores distintos a los que refleja el manual de operaciones. Es importante destacar que al lograr controlar estos parámetros y a la vez utilizándolo como base la Planificación de Procesos Asistido por Computadora (CAPP), se lograría tener un enlace a lo que se refiere al Diseño Asistido por Computadora (CAD) y la Manufactura Asistida por Computadora (CAM), que son los principios del funcionamiento de este tipo de tecnología y permitirá garantizar piezas con una vida útil deseada optimizando el tiempo fabricación y ahorro de material.

### SUMMARY

The process of wire electrical discharge machining (WEDM) has been applied fundamentally in part's complex geometry, without take care about material hardness. This type of technology can be used in machining parts from 10mm to 400mm depending on the diameter and wire material. A lot of operations manuals give the values of the technological parameters recommended for cutting of certain thicknesses, and even for these documented thicknesses find the values adapted for mentioned parameters. In all cases it is needed great experience by the planer. According with this situation, clear information is not complete and it is unknown how cutting process affects parts final surface quality. One of the most important variables to evaluate this characteristic is the superficial roughness. The goal of the present research is to determine the adequate wire electro discharge machine parameters (WEDM), which guarantees the surface quality and part roughness to making it with different thicknesses from those that are reflected in the operation manual. In this context, it is important to emphasize that, to manage the control of these parameters, it is the base of the Computer Aided Process Planning (CAPP).

## INTRODUCCION

Mejorar continuamente la calidad de los procesos, es un factor clave que conduce al éxito y al crecimiento hacia una posición competitiva fortalecida. En este sentido, las empresas manufactureras juegan un papel muy importante en el desarrollo tecnológico de cualquier país. La necesidad de lograr un incremento sustancial en los niveles de estas empresas a la búsqueda de nuevas estrategias y al desarrollo de tecnologías emergentes que permitan mantener sus ventajas competitivas. Dentro de este sector, el mecanizado es uno de los que experimenta mayor evolución.

El gobierno Bolivariano de Venezuela ha fundamentado en el nuevo modelo económico de socialismo del siglo XXI la necesidad de impulsar el desarrollo industrial como un factor importante para le fortalecimiento económico, y se reconoce que las empresas de manufactura Venezolanas jugarán un papel protagónico en este proceso de cambio.

La industria manufacturera del país ha asimilado, dentro de los procesos no convencionales de mecanizado, a los procesos de electroerosión o mecanizado, por descarga eléctrica (EDM), lo que han sido realizados con mucho éxito en el mecanizado de alta dureza, con elevada precisión. Las tecnologías CAD/CAM se puede utilizar la información geométrica de la que corresponde a la pieza y lograr para la creación del programa de control numérico computarizado que corresponda a la pieza y lograr una sensible reducción del tiempo dedicado a la actividad, a la vez de mejorar la calidad de los resultados obtenidos.

Se distinguen dentro del proceso de mecanizado por electroerosión dos métodos: el de corte por electrodo y el corte por hilo conocido como (WEDM) a

partir de su significado en ingles (wire electrical deschanger machining). El presente informe se centrará en el estudio de este ultimo método. El WEDM se ha venido aplicando fundamentalmente para el maquinado de superficies irregulares sin importar la dureza del material con amplio uso en el sector de la matricería para la obtención de la configuración de la matriz y el punzón también en el maquinado de ruedas dentadas y otras piezas complejas.

Este tipo de tecnología puede mecanizar desde piezas de 10mm hasta 400mm dependiendo del diámetro y del material del hilo. La mayoría de los manuales de operación suministran los valores de los parámetros tecnológicos recomendados para el corte de espesores determinados. Sin embargo, aun para estos espesores, debidamente documentados, encontrar los valores adecuados para los parámetros tecnológicos requiere de gran experiencia del operario, por tal motivo es evidente la necesidad de generar una solución para la fabricación de las mismas que garantice una calidad superficial adecuada, debido a que durante el proceso de corte, el principal objetivo a alcanzar es el de obtener pieza que cumplan con su destino de servicio, en el menor tiempo posible con los menores costos asociados.

### **1. Estado del desarrollo del proceso de corte de piezas por WEDM:**

El proceso de electroerosión surge tomando como base un principio físico conocido en el siglo XVI, donde se comprobó que por medio de descargas eléctricas se podía marcar materiales eliminando por puntos eliminando material. (1)

En la actualidad existen dos tipos de máquinas electroerosionadoras:

- Máquina de electroerosión por penetración que se distinguen por erosionar cavidades, (Ver Figura 1).



Fig.1 Máquina de Electroerosión por Penetración.  
Fuente: Revista ONA

- Máquina de electroerosión por hilo, este tipo de máquinas son utilizadas para la fabricación de troqueles o dispositivos de alta precisión, piezas con diseños complejos (Ver Figura 2 a y b).

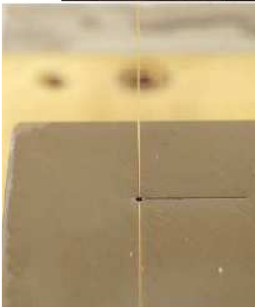


Fig.2.a  
Fig.2.b

Fig.2.a) Máquina de electroerosión por hilo, b) Ejemplo de corte por electroerosión por hilo.  
Fuente: Revista ONA

## 2. Principio de funcionamiento del corte de piezas por WEDM. Ventajas y Desventajas del método.

El proceso de electroerosión se realiza en un medio dieléctrico mediante el salto de descargas eléctricas entre el electrodo y la pieza a mecanizar. Este es un proceso termoeléctrico en el que las chispas representan una fuente térmica puntual donde se generan temperaturas alrededor de 8000 a 12000 °C, donde se funde el material de la pieza produciéndose de esta forma la erosión.(2), en el caso de la electroerosión por hilo el electrodo que se utiliza un hilo metálico como electrodo, cuyo material puede ser de cobre, cobre aleado, molibdeno o wolframio, latón, usualmente tiene un diámetro de 0,25 o 0,5 mm, es importante destacar que el fluido dieléctrico utilizado generalmente es agua desionizada.

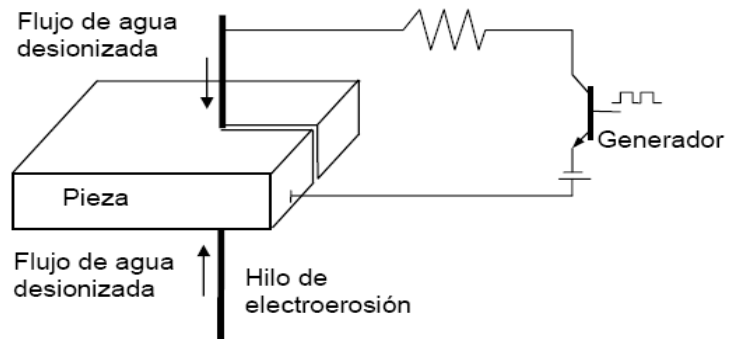


Figura 3. Esquema de electroerosión por hilo. (Principio Físico.TECNU. España).

### Ventajas del proceso de electroerosión por hilo.

Este proceso de mecanizado, desde de sus inicio a logrado mejorar las

condiciones de operación, generando así un aumento en la productividad y en la calidad de las piezas a mecanizar específicamente donde su geometría es compleja o que ameriten un ángulo de inclinación, las ventajas se destacan a continuación (3) :

- Se pueden mecanizar piezas de geometría compleja
- Al no generarse fuerzas de corte como en los procesos de mecanizado (torneado, taladrado, etc.) resulta aplicable para materiales frágiles (como los materiales templados).
- Al ser un proceso esencialmente térmico, se puede trabajar cualquier material mientras sea conductor, por el contrario, el mecanizado tradicional presenta serias dificultades con materiales y aleaciones muy duras.
- Las tolerancias que se pueden obtener son muy ajustadas, desde  $\pm 0,025$  hasta  $\pm 0,127$  mm.
- Velocidad de trabajo:
- La velocidad ha pasado de unos  $6 \text{ cm}^2/\text{h}$  hasta los  $200 \text{ cm}^2/\text{h}$  actuales.
- Tamaño de pieza: En un principio, la aplicación de la electroerosión por hilo se limitaba a la fabricación de piezas no rebasaba los 100 mm, en la actualidad los fabricantes comenzaron a aumentar el tamaño de las máquinas aumentando las dimensiones de todos los ejes, sobre todo en el Z hasta su máxima capacidad

#### **Desventajas de la electroerosión por hilo.**

Los daños producidos por la EDM vienen dados por su naturaleza térmica, que provoca fusiones de materiales y resolidificaciones sobre el material base, dando como resultado una capa superficial con propiedades diferentes a

las del material original. El término “capa blanca” hace referencia al color que toma la capa resolidificada tras ser tratada con Nital (un ácido para preparaciones metalográficas).(4)

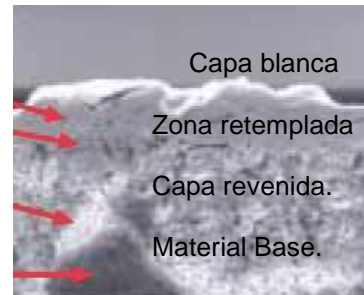


Figura 4. Sección típica de la superficie de una pieza mecanizada por EDM. (4)

En estudios realizados en distintos materiales se observa este común denominado en lo que se refiere a las características provocadas en la superficie de los aceros que han sido mecanizado por medio de la electroerosión por hilo tal como la resolidificada , zona revenida, material base, etc, tal como lo muestra un artículo publicado por la empresa Frontinox C.A (5), donde realiza una serie de pruebas para determinar el comportamiento de aceros para herramientas de su fabricación con respecto al corte por electroerosión por hilo, en este artículo se destaca las consecuencias que puede generar dicho proceso de corte de los cuales se pueden mencionar; fisuras y micro grietas que son generadas cuando se trabaja con alto amperaje y largos tiempos de impulsos, por tal motivo recomienda realizar un revenido posterior a la electroerosión para contrarrestar estos efectos.

### **3. Aplicaciones principales del método de WEDM en piezas en 2D y 3D**

La electroerosión por hilo es un proceso de mecanizado que permite la fabricación de piezas de geometría compleja con gran precisión, este tipo de máquina puede realizar corte cilíndrico o cónico y permiten la ejecución de cualquier forma geométrica en 2 planos de coordenadas X-Y y U-V independientemente. En la actualidad se han diseñados software como el Mastercam Hilo, tal como lo indica TecnoCIM, unas de las empresas que han desarrollado programas que se pueden traducir para cualquier tipo de máquina. Este tipo de software permite mecanizar geometrías en 3D, sincronizar la trayectoria del hilo con el fin de evitar que esté se incline inadecuadamente y deforme la geometría teórica.(6)

Otros tipos de software de manufactura asistida por computador (CAM), para programar máquinas controladas numéricamente por computador (CNC) lo ha desarrollado la empresa Gibbs and Associates, del cual sirve para manejar los programas más exigentes de electroerosión de hilo, la misma se apoya en la programación de máquinas CNC de electroerosión de hilo de 2 a 4 ejes. La asociatividad total permite actualizar con facilidad para ajustar los cambios de la geometría. GibbsCAM Wire-EDM permite un control completo sobre las operaciones de mecanizado de electroerosión de hilo. Los aspectos del programa como ángulo inicial/final, radio de entrada/salida, y tiempos de residencia, pueden especificarse completamente. Pueden ser definidos varios ajustes para diferentes condiciones de pieza/lote de mecanizados estándar o personalizados para cortes de desbaste y roce. Ofrece cortes automáticos de roce y programación de velocidad de sincronización automática para cuatro ejes. Esta empresa ha desarrollado un modulo para electroerosión de hilo de cuatro ejes, Wire-EDM, expande aún más la capacidad de GibbsCAM para responder a las necesidades de los

talleres de moldes, herramientas y troqueles. Dentro del módulo Wire-EDM está incluido un extenso juego de posprocesadores para una amplia selección de máquinas electroerosionadoras de hilo comunes.(7)

#### **4. Comportamiento de los índices de exactitud de las piezas durante el corte por WEDM.**

El proceso de electroerosión por hilo es el mejor cuando se desea diseñar piezas donde se requieren tolerancias y exactitud que un proceso de mecanizado convencional no lo puede lograr. La precisión de una máquina electroerosionadora está a cerca de 0.00002 pulgadas para electroerosionadoras de hilo. El acabado superficial es aproximadamente VDI de 0 (4 micropulgadas) para hilo, la integridad de la superficie es 20 millonésimas de pulgada de un espesor de capa fundida por segunda vez para electroerosionado de hilo y 20 millonésimas de longitud de una microgrieta para electroerosionado de hilo. Los resultados pueden ser tan buenos o mejores que el acabado por rectificado. (2). Los avances en las máquinas de electroerosión por hilo están dotados de nuevos CNC donde se incorporan tablas tecnológicas especialmente desarrolladas para cortes de gran precisión, gracias a ellas es posible obtener los mas altos niveles de precisión, si se esta mecanizando piezas cónicas el CNC incorpora un sistema de compensación del punto de incurvación del hilo el las guías para el corte de precisión de geometrías cónicas.(9)

#### **5. Influencia de la electroerosión por hilo en la rugosidad superficial.**

Cuado una pieza es mecanizada el acabado superficial pueden presentar errores micrométrico y macrométricos(10), tal como se destaca la rugosidad, que es un conjunto de

irregularidades o ondulaciones en la superficie. En algunas aplicaciones industriales el grado de rugosidad superficial es importante, en ocasiones es necesario tener rugosidades altas, dependiendo de la aplicación que va a tener a pieza fabricar, o en algunos casos se buscan superficies que presenten un mínimo de rugosidad ya que esto da una mejor apariencia y disminuye la fricción al estar en contacto con otras piezas reduciendo así el fenómeno de desgaste y la erosión de dichos materiales (11). La rugosidad superficial es uno de los factores fundamentales para medir la calidad superficial de una pieza, la mayor parte de la bibliografía básica consultada sobre los factores que influyen en la rugosidad se resume en el artículo publicado por los Ingenieros, M Correa, M de J Ramírez y J.R. Alique del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (2005), donde hacen referencia de los principales investigadores de la rugosidad superficial tales como Boothroyd y Knight, quienes dividieron la rugosidad superficial en, ideal que es el resultado de la geometría de la herramienta y la velocidad de avance y natural que es el resultado de irregularidades del proceso de corte. Cuando se mecaniza con el proceso de electroerosión por hilo, existen otro tipo de factores adicionales que afecta a la rugosidad superficial, tales como, el diámetro del alambre y la velocidad de alimentación del hilo, esto es debido a que en este proceso de mecanizado se generan una serie de chispa eléctrica entre la pieza y el hilo, ocasionando cráteres en la superficie. La influencia de los parámetros tecnológicos de las máquinas de electroerosión por hilo ha sido objeto de muchos estudios donde se trata de buscar la manera posible de ajustar los parámetros del proceso para lograr una integridad superficial adecuada, también se han generado modelos matemáticos para que permite medir la rugosidad tomando en cuenta

los efectos que proporciona la velocidad de alimentación del hilo así como el diámetro del mismo.(12) (13)(Journal of Manufacturing Science and Engineering 2002).

## **6. Estado actual del desarrollo de los sistemas CAD/ CAPP en la electroerosión por hilo.**

Es importante destacar que en la actualidad la incorporación del CAD/CAPP, en el proceso de electroerosión por hilo, se ha utilizado como herramienta para aumentar la productividad y exactitud, como se destaca en una investigación, donde se trata de implementar la planificación del proceso asistido por computadora en operaciones de mecanizado por descarga eléctrica (EDM) y utilizan técnicas como redes neuronales, regresión lineal y algoritmos genéticos como herramienta para relacionar las variables del proceso y encontrar las sucesiones de mecanizado óptimas, en esta investigación toma en cuenta la influencia que tiene el volumen de material removido por el proceso, en la rugosidad superficial. (15)

Entre los avances significativos en lo que se refiere a los sistemas CAD, se destaca el Q3vic 3D que es un software que corre en las versiones de hilo y penetración (die sinking) de la unidad de control "LQ" basada en Windows-XP de esta compañía fabricante de máquinas electroerosionadoras. Este software proporciona una interfaz especial que le permite al usuario introducir geometrías de modelos sólidos 3D, directamente del sistema CAD, para ser usadas como entradas de la unidad de control de la electroerosionadora. Los datos CAD 3D son analizados por el software y convertidos automáticamente en comandos de máquina con base en parámetros seleccionados por el usuario. No hay un paso separado para la

creación de un programa CN en el software CAM.

En las máquinas de hilo, el software interpreta los datos CAD y desarrolla automáticamente un plan de proceso que optimiza los ajustes correspondientes a espesores variables de la pieza de trabajo, a la posición del cabezal y a la definición de esquinas. Los datos CAD son usados, junto con el nuevo generador de alta velocidad LQ33W y la tecnología de motores lineales AQ325L de Sodik, en sus modelos de hilo AQ3535L. La habilidad de los motores lineales y del generador para responder a la geometría de la pieza de trabajo, permite utilizar picos de corriente eléctrica más altos y agudos, y modular los pulsos para obtener una acción de corte más eficiente (15).

Es importante destacar que en todas las investigaciones se enfocan en aumentar la productividad tomando todos los parámetros de la máquina sin tomar en cuenta un factor importante como la calidad superficial. Si todas estas investigaciones se involucraran los parámetros que afectan directamente la rugosidad se podría generar piezas con una calidad superficial adecuada a su destino de servicio

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. <http://www.ona-electroerosion.es/>ISEM XIII - Bernd M\_Schumacher.htm. Ona Electroerosión(2005):
2. [http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc\\_54724\\_HTML.html?idDocumento=54724](http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_54724_HTML.html?idDocumento=54724)
3. ONA-ELECTROEROSIÓN."Análisis de la precisión del corte cónico en la electroerosión de corte por hilo". 2001/2002.
4. Integridad superficial en piezas cortadas por hilo. Dr. J. A. Sanchez. EDMWORD
5. Aceros Especiales.Ing Eduardo Viva .<http://www.viva@fortinox.com.ar>.
6. <http://www.metalunivers.com>. METALUNIVERS Abril 2002.
7. <http://www.gibbscam.com>. GibbsCAM Wire-EDM
8. <http://www.ona-electroerosion.com>.
9. Estado superficial: Rugosidad. Universitat Rovira Virgili
10. La Rugosidad de Las Superficies: Topometría. Moisés Hinojosa Rivera, Martín Edgar Reyes Melo.
11. Development of Cylindrical Wire Electrical Discharge Machining Process and Investigation of Surface Integrity and Mechanical Property of EDM Surface Layers. Qu, Jun.2002
12. Evolución tecnológica de las máquinas de electroerosión por penetración ONA. <http://www.ona-electroerosion.es/>
13. Entradas CAD para electroerosión. Un software abre nuevas oportunidades Mark Albert-Editor Jefe de Modern Machine Shop. Junio 2007.
14. Y.S. Liao, Y.Y.Chen. A Computer-Aide Process Planning System For The Finishing Operations Of Edm
15. Ren Fujun Ya Bingbing Jiang Yongcheg X. Spacial curved surface With NC-WEDM-HC.Harbin Univ.of Sci.& technol.