

SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE CORTE POR ELECTROEROSIÓN POR HILO

E. Portillo, I. Cabanes, D. Orive, M. Marcos

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao
Alda. Urquijo s/n 48013 Bilbao. Tlfo: 94 6014049; FAX: 94 6014187
jtpmamum@bi.ehu.es

Resumen

En este trabajo se describe un sistema de adquisición y diagnóstico de una máquina de corte por electroerosión por hilo (WEDM). El objetivo de dicho sistema es el análisis de una extensa batería de ensayos, para la obtención de una serie de indicadores que permitan prever la rotura del hilo y la inestabilización del proceso.

El sistema de adquisición permite el muestreo y almacenamiento en disco de las señales a analizar (tensión del gap e intensidad de la descarga) a 10 Mmuestras/s.

El sistema de diagnóstico consta de diversas aplicaciones desarrolladas en Labview que permiten conocer el comportamiento de las variables que caracterizan las señales adquiridas. Así, a través de este sistema se ha podido detectar la tendencia en el comportamiento del proceso WEDM tanto en régimen estable como en régimen inestable.

Palabras Clave: WEDM, electroerosión por hilo, sistema de adquisición, diagnóstico, Labview.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de corte por electroerosión por hilo (WEDM) es uno de los procesos de mecanizado no convencional más utilizado en la actualidad. El proceso de electroerosión consiste en el arranque de material originado por sucesivas descargas eléctricas entre la pieza a mecanizar y el hilo (ambos electrodos conductores) sin que se produzca contacto entre ellos. Este espacio de separación entre electrodos, en el cual se producen las sucesivas descargas, se denomina *gap*. La descarga es originada tras la ionización del *gap* en presencia de fluido dieléctrico. Un generador mantiene la diferencia de potencial o *tensión de vacío* (U_i) necesaria en el *gap* hasta que este es ionizado por completo, esto es, hasta que transcurre el *tiempo de ionización* t_a . Una vez transcurrido este tiempo, el generador se descarga dando lugar a una chispa capaz de erosionar material

de la pieza. Antes de repetir este ciclo para generar la siguiente descarga, se deja transcurrir un tiempo que se emplea principalmente para refrigerar y limpiar el canal de descarga del material arrancado durante el ciclo anterior. Este tiempo se conoce como *tiempo de pausa* (t_{off}). En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso WEDM.

Entre las aplicaciones del proceso WEDM destacan la fabricación de utillajes para troquelaría (conjuntos matriz-pisador-guía-punzón) así como los moldes de estampación.

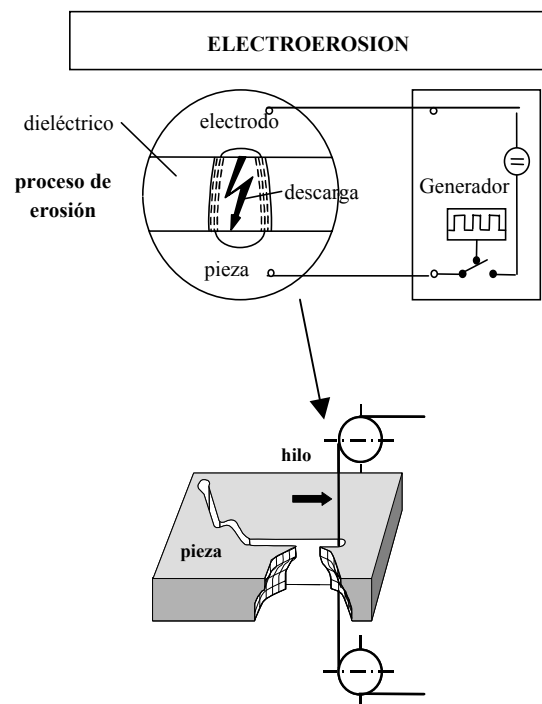


Figura 1: Proceso WEDM

Uno de los problemas más importantes que presenta el proceso WEDM es la inestabilización de las descargas, siendo el peor de los casos la rotura del hilo. Así, uno de los principales efectos nocivos de la inestabilización de las descargas es la disminución en la calidad superficial de las piezas mecanizadas. La rotura del hilo, además de suponer una peor calidad superficial, implica una importante disminución de la

productividad del proceso de corte.

Entre los factores causantes de la rotura del hilo destacan los cortocircuitos, la contaminación del canal de descarga y otros fenómenos poco controlables que aparecen durante el proceso de corte.

Existen numerosos antecedentes en el campo de la detección de la rotura del hilo y de la inestabilización de las descargas, así como en el campo de control del proceso de corte por electroerosión por hilo.

Una de las estrategias desarrolladas, consiste en la obtención de la posición de la descarga a partir de la relación entre las intensidades que circulan por las guías superior e inferior por las que pasa el hilo. Así, en [1] se define un circuito equivalente del proceso WEDM. A partir de dicho circuito se determina la relación entre las intensidades e inductancias que revela finalmente la posición de la descarga.

En esta misma línea, se desarrolló un sistema de control basado en un modelo térmico que realiza un cálculo on-line de la distribución de la temperatura en el hilo [2]. El modelo térmico presentado tiene en consideración el calor de entrada debido a las descargas, y la evacuación de calor por conducción en el hilo y por convección al dieléctrico. La localización de cada descarga (necesaria para el cálculo de la temperatura) se realiza en base a la corriente diferencial y/o al voltaje diferencial medido entre el contacto superior e inferior del hilo. Así, el control desarrollado provoca una reducción o parada temporal de la energía del pulso cuando la temperatura máxima T_{max} del hilo calculada excede un valor crítico.

La principal desventaja que presenta la detección de la rotura basada en la localización de las descargas es la dificultad existente en la creación de modelos equivalentes del proceso WEDM.

Una de las estrategias más empleadas en el campo del análisis y detección de la rotura del hilo se basa en el desarrollo de sistemas de diferenciación de pulsos [3]; [4]. Se trata de sistemas hardware que permiten registrar ciertas variables de las descargas a partir de las cuales se determina si la descarga analizada se trata de una descarga normal, vacía, arco o cortocircuito. Entre los trabajos de análisis basados en un sistema de diferenciación de pulsos se encuentra el desarrollado por Liao y Woo [3]. El sistema de diferenciación de pulsos en cuestión solamente muestrea la variable característica de las descargas conocida como *tiempo de ionización*. Así, el valor del tiempo de ionización es procesado para determinar el tipo de descarga basándose en el tiempo de ionización y en el tiempo de subida de la

tensión. Además, el software halla el porcentaje de cada tipo de descarga en un determinado intervalo de tiempo. Sin embargo, para que esta estrategia funcione se debe realizar de forma previa un exhaustivo análisis de las descargas que garantice que los rangos definidos para diferenciar las descargas son válidos y suficientes para poder diferenciar distintas causas de rotura. Además, el generador empleado en este antecedente se trata de un generador iso-energético, distinto del generador tratado en el trabajo aquí presentado, que es un generador de relajación. En este caso, la máquina permite ajustar un número inferior de variables que definen las características de las descargas, por lo que el número de variables que explican las causas de rotura puede ser superior.

Uno de los pocos trabajos encontrados que se centra en la detección de la rotura del hilo con generador de relajación en esta última década, es el desarrollado por Wang y Rajurkar [5]. El generador se trataba concretamente de un generador de relajación RC transistorizado. A diferencia de otros trabajos, en este caso se analizó la rotura del hilo no solo aumentando la velocidad de corte del hilo en una recta, sino también cortando geometrías complejas y disminuyendo la presión del dieléctrico. Sin embargo, los autores solamente analizaron la rotura del hilo debido al incremento en la frecuencia de las descargas. Muchos autores han demostrado que en numerosas ocasiones la rotura no se debe al incremento en la frecuencia de las descargas, sino al tipo de descargas o, lo que es lo mismo, a los valores alcanzados por la tensión, la intensidad y/o el tiempo de ionización [6].

Así, en el trabajo que se presenta se ha optado por un sistema más flexible (a diferencia de los sistemas hardware) que permite conocer las características de las descargas en profundidad. Dicho análisis se ha basado en la adquisición de una completa batería de ensayos bajo condiciones conocidas, que considera desde condiciones de corte estable hasta distintas causas de corte inestable. Tras el análisis de diversas variables de las descargas, se pretende identificar índices de funcionamiento que permitan detectar las inestabilidades del proceso y la rotura del hilo, así como definir los indicadores correspondientes.

2 OBJETIVOS

Este trabajo se centra en la mejora del proceso de mecanizado no convencional de electroerosión por hilo. Como se ha comentado anteriormente, existen diferentes factores en la operación del proceso que pueden llevar a un funcionamiento degradado del mismo. El más grave es que, como resultado, se produzca la rotura del hilo. Pero otros factores, sin

llegar a ese extremo, pueden llevar a situaciones de corte degradado (por ejemplo, la insuficiente limpieza del canal de descarga, variación en el espesor de la pieza, etc.).

Desafortunadamente, cuando se detecta dicha situación, el operador modifica los parámetros de la máquina normalmente guiado por criterios puramente subjetivos y basados en la experiencia. Por tanto, lo deseable es poder detectar la tendencia del proceso hacia una operación degradada de forma temprana.

Esto permitiría anticiparse a la situación y actuar sobre los parámetros de la máquina para evitar la situación de corte degradado, y actuar para recuperar la situación de corte estable con el máximo rendimiento.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la calidad de la descarga en un proceso de electroerosión por hilo, a partir de una base de datos resultante de un conjunto exhaustivo de experiencias en régimen de funcionamiento correcto y de funcionamiento degradado. Concretamente, se abordan los siguientes objetivos parciales:

- Diseño de una batería de ensayos de corte estable e inestable.
- Implantación de un sistema de adquisición que permite almacenar en tiempo real la batería de ensayos de corte estable e inestable.
- Desarrollo de aplicaciones de diagnóstico que permitan identificar los parámetros asociados a la descarga más adecuados para determinar el estado de la misma. El objetivo es identificar aquellos parámetros de la descarga que muestren una diferencia más clara en su comportamiento en corte estable e inestable.

3 BATERÍA DE ENSAYOS

Se ha diseñado una batería de ensayos que permite diferenciar situaciones de corte estable, y situaciones de corte degradado.

Las señales a muestrear durante los ensayos son la tensión del *gap* y la intensidad de la descarga. Se ha utilizado acero de espesores 50 y 100 mm, y los cortes se han realizado con hilo Bercocut de diámetro 0.25 mm.

En la Tabla 1: Parámetros de mecanizado, se muestran los parámetros de mecanizado ajustados en la máquina.

ESPESOR 50mm		
Potencia: 10	Dieléctrico: 31	Inv: OFF
T.Pausa: 5	Ten.Hilo: 20	C.Esquinas: 2
Tensión: 130	Vel.Hilo: 9	Flocula: ON
Servo: 30	Acabado: OFF	Velocidad: 240
ESPESOR 100mm		
Potencia: 10	Dieléctrico: 31	Inv: OFF
T.Pausa: 7	Ten.Hilo: 20	C.Esquinas: 2
Tensión: 130	Vel.Hilo: 9	Flocula: ON
Servo: 30	Acabado: OFF	Velocidad: 240

Tabla 1: Parámetros de mecanizado

2.1 ENSAYOS DE CORTE ESTABLE

Las pruebas de corte estable han permitido definir un patrón de señal con el que poder comparar situaciones de corte degradado.

Se ha establecido como señal patrón la correspondiente al corte recto con parámetros de tecnología en régimen de desbaste, y en unas condiciones óptimas de presión.

2.2 ENSAYOS DE CORTE INESTABLE

2.2.1 Corte con falta de dieléctrico

La presión del dieléctrico representa un factor fundamental en el proceso de electroerosión. El dieléctrico es el medio que posibilita la chispa controlada. Además, refrigera la zona de descarga y limpia el *gap* de los residuos originados durante el arranque de material. Por tanto, una presión insuficiente implica una mayor cantidad de impurezas, incrementando la probabilidad de arcos y cortocircuitos y, consecuentemente, el riesgo de rotura del hilo.

2.2.2 Corte de piezas con distintas geometrías

Con estos ensayos se pretende extraer el comportamiento de las señales del proceso con distintos ángulos de corte (120°, 90°, 60°, 30°, 15°). En la Figura 2 se muestra una de las piezas mecanizadas durante los ensayos con dichos ángulos.

2.2.3 Cambio de los parámetros de tecnología

Los parámetros de tecnología definidos por los fabricantes presentan un índice de seguridad elevado, siendo válidos para los ángulos más agudos.

El objetivo de estos ensayos es poder determinar, en corte recto y para distintos rangos de ángulos, la mayor velocidad de corte posible, de manera que en un futuro la velocidad de corte se pueda ajustar de manera automática según el ángulo de corte, garantizando además una baja probabilidad de rotura del hilo.



Figura 2: Pieza mecanizada durante los ensayos

4 SISTEMA DE ADQUISICIÓN

4.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN. HARDWARE

La elección del sistema de adquisición de datos empleado se ha visto especialmente condicionada por los siguientes factores:

- Una elevada frecuencia de muestreo requerida por el proceso ($F_m = 5$ MHz).
- Capacidad para realizar la adquisición de forma continua: para poder obtener una base de datos de las descargas que permita observar el comportamiento inestable de las señales, es necesario emplear un sistema de adquisición capaz de captar y almacenar las señales a la frecuencia de muestreo definida garantizando que no se produzca la pérdida de muestras. Así, a priori se desconoce el tiempo de degradación del proceso antes de la rotura, por lo que puede resultar insuficiente almacenar solamente un número determinado de descargas antes de la misma.
- Resolución independiente para cada canal de adquisición: esto es debido a la diferencia existente entre los niveles de tensión de las señales a adquirir.

Como se ha comentado anteriormente, también se ha optado por un sistema de adquisición que permita almacenar las señales completas, y no exclusivamente ciertas variables de las descargas, pues se desconoce de antemano si dichas variables van a ser adecuadas y suficientes para detectar la rotura del hilo.

Las señales que permiten caracterizar la calidad de las descargas son la tensión del *gap* U_{gap} y la intensidad de la descarga. La inestabilización de estas señales refleja la degradación del proceso de corte siendo la rotura del hilo una de los posibles efectos. Consecuentemente, el sistema de adquisición ha tenido por objetivo la captura y el almacenamiento de dichas señales.

La Figura 3 muestra el hardware del esquema del sistema de adquisición de datos. Las señales tensión del *gap* e intensidad de la descarga son transmitidas a través de sondas al adaptador BNC 2110 de National Instruments. Este adaptador se encuentra conectado a la tarjeta de adquisición de datos NI-6115 a través del bus PCI. Dicha tarjeta realiza la adquisición y el almacenamiento de las señales a una frecuencia de muestreo total de 10 MHz.

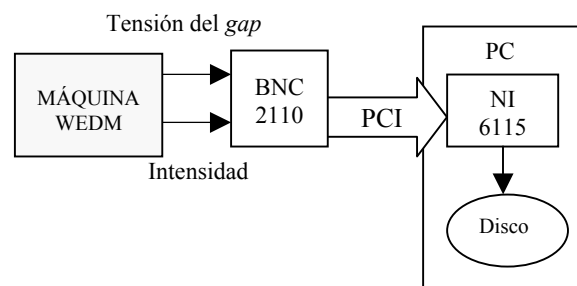


Figura 3: Sistema de Adquisición

4.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN. SOFTWARE

4.2.1 Configuración de la tarjeta de adquisición

La aplicación utilizada para el empleo de la tarjeta de adquisición es Measurement & Automation Explorer MAX [7]. Esta aplicación permite la configuración de la tarjeta, la realización de tests para comprobar el buen funcionamiento de la tarjeta y de los canales, así como definir canales virtuales.

Los canales virtuales permiten que un canal físico de entrada asuma las características previamente definidas en el MAX cuando dicho canal virtual es llamado desde una aplicación de adquisición o emisión de señales.

En la Figura 4 y Figura 5 se presentan las características de configuración de los dos canales virtuales definidos para este sistema de adquisición (tensión e intensidad).

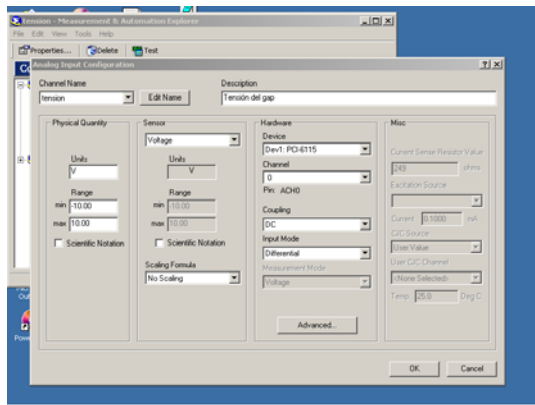


Figura 4: Características del canal virtual *Tensión*

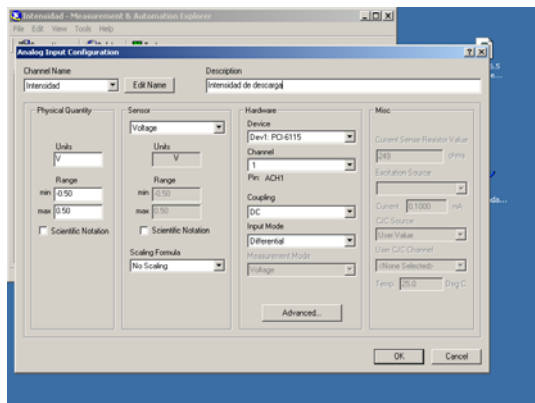


Figura 5: Características del canal virtual *Intensidad*

4.2.2 Software de adquisición y lectura de las muestras

Para poder llevar a cabo la adquisición, el almacenamiento y la lectura de las señales se han empleado las librerías de adquisición rápida y de lectura de Labview [7].

En la Figura 6 se muestra el interfaz de usuario de la aplicación desarrollada para la adquisición de las señales.

Esta aplicación garantiza la adquisición continua de las señales. La *frecuencia de muestreo por cada canal* para la adquisición de la tensión del *gap* y la intensidad de las descargas es 5 Mmuestras/s y la resolución es 12-bit, asegurándose así la correcta reconstrucción de las señales.

Los parámetros de entrada llamados *Tamaño buffer* y *Nº de muestras a escribir en cada iteración* han sido establecidos para adecuar la velocidad de escritura en disco y la frecuencia de adquisición garantizando que no se produce la pérdida de muestras.

Además, se ha habilitado un campo para registrar comentarios ya que durante los ensayos se pueden producir situaciones inesperadas.

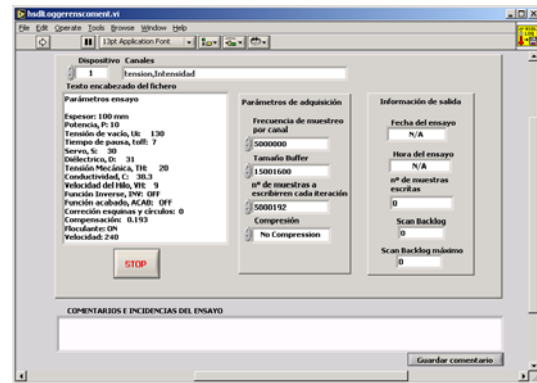


Figura 6: Interfaz de usuario de la aplicación de adquisición

La Figura 7 muestra el interfaz de usuario de la aplicación de lectura.

Dicha aplicación permite visualizar las señales tras la adquisición.

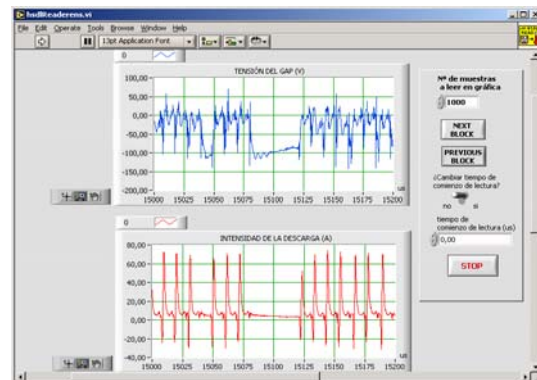


Figura 7: Interfaz de usuario de la aplicación de lectura

Una consecuencia del elevado tamaño de los ficheros generados y de la gran cantidad de ensayos a realizar, ha sido la necesidad de almacenar los ensayos en DVDs. Dado que la capacidad de los DVDs es 4.7 GB, ha sido necesario realizar una aplicación para fraccionar aquellos ficheros de los ensayos superiores a dicho tamaño, y así poder conservar los encabezados del fichero en cada partición.

5 SISTEMA DE DIAGNÓSTICO

El sistema de diagnóstico está formado por diversas aplicaciones desarrolladas en Labview. El objetivo de dichas aplicaciones ha sido detectar tendencias en el

comportamiento de las descargas tanto en régimen estable como inestable, a partir de los datos experimentales adquiridos.

Una de las aplicaciones desarrolladas ha tenido por objeto el análisis de diversas variables características de las descargas que permiten caracterizar el proceso de electroerosión. En concreto, se analiza el comportamiento de funciones de esas variables en una experiencia. Las variables estudiadas son:

- Tiempo de ionización (t_d): t_d medio total, distribución de la frecuencia de t_d , gráfica de la evolución de la media hallada cada n unidades de tiempo.
- Intensidad de pico (I_p): I_p medio total, distribución de la frecuencia de I_p , gráfica de la evolución de la media hallada cada n unidades de tiempo.
- Duración de la descarga (t_c): t_c medio total, distribución de la frecuencia de t_c .
- Número total de descargas (N_t), porcentaje de descargas normales (N_n/N_t), porcentaje de cortocircuitos (N_c/N_t), porcentaje de arcos (N_{arc}/N_t). Se presenta una gráfica de la evolución del porcentaje hallado cada n unidades de tiempo para cada una de las clasificaciones de descargas definidas.

En la Figura 8 y Figura 9 se muestra parte de la interfaz de usuario de las salidas de la aplicación de diagnóstico.

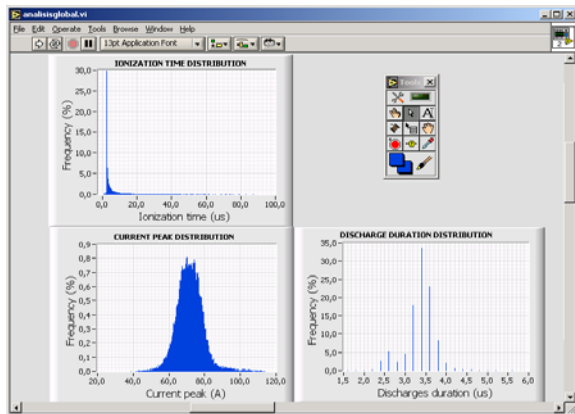


Figura 8: Interfaz de usuario: distribuciones de frecuencia

En la Figura 10 se muestran los valores de entrada de la aplicación de diagnóstico.

El tiempo de pausa es un valor de entrada de la aplicación al ser un parámetro ajustable de la máquina.

También se ha establecido como parámetro de entrada variable el intervalo de muestreo de análisis con el objeto de poder seleccionar el intervalo de tiempo más adecuado para detectar la rotura del hilo.

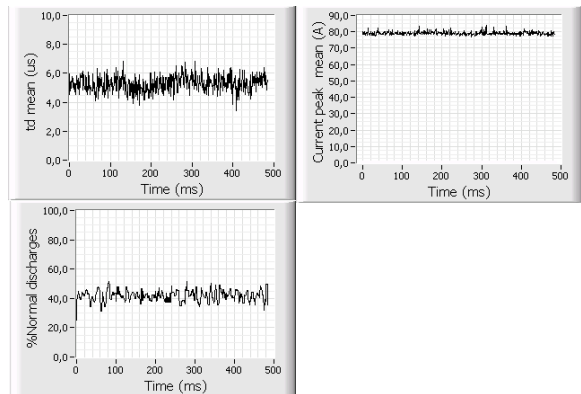


Figura 9: Interfaz de usuario: evolución de la media de t_d , I_p , y porcentaje de descargas normales.

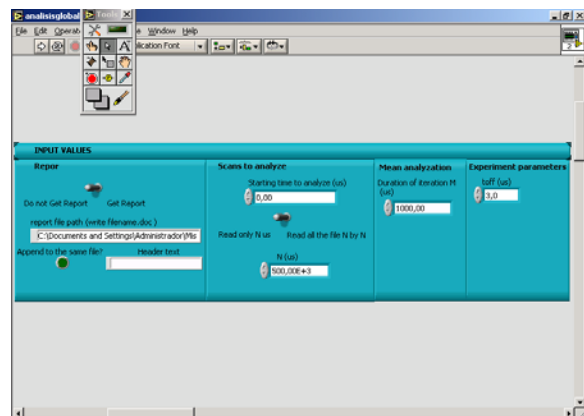


Figura 10: Interfaz de usuario: valores de entrada

Además, se debe indicar el momento del comienzo del análisis, así como la duración del mismo. Esto permite seleccionar y analizar los instantes previos a la rotura del hilo. Por último, la aplicación genera un informe del análisis que contiene las gráficas resultado del mismo.

6 EJEMPLO DE APLICACIÓN

En este apartado se presentan los indicadores seleccionados por medio del análisis de los datos de diferentes experiencias. Inicialmente se proponen los indicadores correspondientes a corte estable, y posteriormente se compara la evolución de dichos indicadores para corte inestable. De esta forma, el comportamiento de las descargas en corte estable se selecciona como comportamiento de referencia para detectar una tendencia a operación inestable, pudiendo ésta desembocar en la rotura del hilo.

Uno de los indicadores estudiados es el porcentaje de descargas normales. Se considera que una descarga normal presenta una tensión del *gap* de entre -130 V y -110 V (aproximadamente el parámetro de tecnología tensión de vacío U_i , que se trata de un parámetro ajustable de la máquina), y un tiempo de ionización de entre $2\text{ }\mu\text{s}$ y $6\text{ }\mu\text{s}$. Este último rango ha sido seleccionado tras el análisis de 20 muestras de 0.5 s de duración cada una, correspondientes a distintos ensayos de corte estable, lo que equivale al análisis de aproximadamente un millón de descargas. En dichas muestras de corte estable el 80% de las descargas presentan un tiempo de ionización de entre 2 y $6\text{ }\mu\text{s}$.

6.1 COMPORTAMIENTO DE LAS DESCARGAS EN CORTE ESTABLE.

En la Figura 11, se presenta la evolución de los distintos indicadores en corte recto con espesor 50 mm durante 0.5 s . El tiempo de pausa ajustado en la máquina es $5\text{ }\mu\text{s}$.

Las gráficas situadas en la parte superior de la Figura 11, muestran la evolución de la media del tiempo de ionización t_d , y de la media de la intensidad de pico I_p , respectivamente.

Las gráfica situada en la parte inferior muestra la evolución del porcentaje de descargas normales.

El tiempo de muestreo para la obtención de las evoluciones de las variables señaladas es 1 ms .

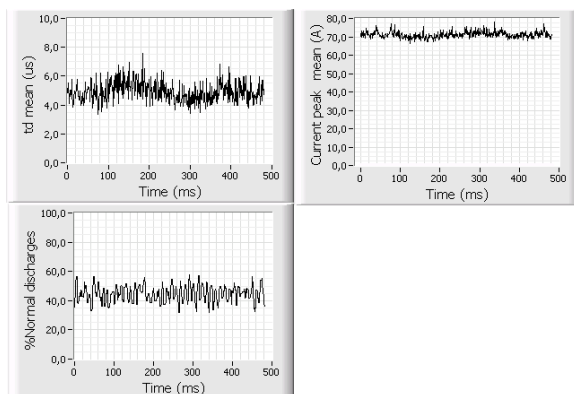


Figura 11: Comportamiento de variables características en corte estable

Como se puede observar en la Figura 11, la media del tiempo de ionización, se encuentra alrededor de $5\text{ }\mu\text{s}$. En cuanto a los valores máximos de la intensidad de cada descarga, se aprecian valores medios inferiores a 80 A . En ambos casos se observa que no se producen variaciones significativas de valor.

La evolución del porcentaje de descargas normales se mantiene aproximadamente entre el 40% y el 60% . En este caso también cabe destacar la estabilidad observada en la evolución del porcentaje de las descargas normales. Es decir, la inexistencia de variaciones bruscas y de valor apreciable.

Así, este proceso de análisis sobre la batería de ensayos está permitiendo conocer el proceso en profundidad, y establecer los indicadores que detectan tendencias a corte inestable. Posteriormente se analizará si existen criterios diferenciadores de las causas (ensuciamiento del canal de descarga, velocidad de corte excesiva,...).

6.2 COMPORTAMIENTO DE LAS DESCARGAS EN CORTE INESTABLE

En este apartado se presenta el comportamiento de las variables características de las descargas en el caso de rotura de hilo con espesor 50 mm en acero. La rotura del hilo ha sido provocada disminuyendo progresivamente el tiempo de pausa o, lo que es lo mismo, incrementando la velocidad de corte.

Al disminuir el tiempo de pausa se producen varios efectos que pueden dar lugar a una mayor probabilidad de la rotura del hilo. Una de las razones es que una disminución del tiempo de pausa implica un incremento sustancial en el número de descargas, dando lugar a un mayor desgaste del hilo.

Además, al haber más descargas, se produce una mayor contaminación del *gap* debido a la mayor cantidad de material arrancado. Este hecho provoca una disminución en la resistencia del dieléctrico, por lo que se puede dar lugar a un mayor número de descargas de elevada intensidad.

Por último, cabe destacar que una disminución del tiempo de pausa supone un menor tiempo de limpieza y refrigeración del *gap*, por lo que se incrementan las probabilidades de rotura del hilo debido a la mayor temperatura y contaminación del *gap*.

En la Figura 12 se muestra de nuevo la evolución de algunas de las variables que caracterizan las descargas. En este caso, el tiempo de pausa, en el cual se ha producido la rotura, es $2.5\text{ }\mu\text{s}$.

Como se puede observar en la primera gráfica de la Figura 12, se produce un incremento del tiempo de ionización a un valor constante alrededor de $6\text{ }\mu\text{s}$ durante aproximadamente 90 ms . Tras dicho intervalo de tiempo, alcanza un valor estable de unos $4\text{ }\mu\text{s}$ durante los 120 ms anteriores a la rotura.

En la siguiente gráfica se puede apreciar que la media de los picos de intensidad ha ascendido de forma brusca antes de la rotura (de 80 A a 150 A).

En la última gráfica se observa que el porcentaje de descargas normales ha disminuido sustancialmente. Además, se producen oscilaciones bruscas de dichos valores.

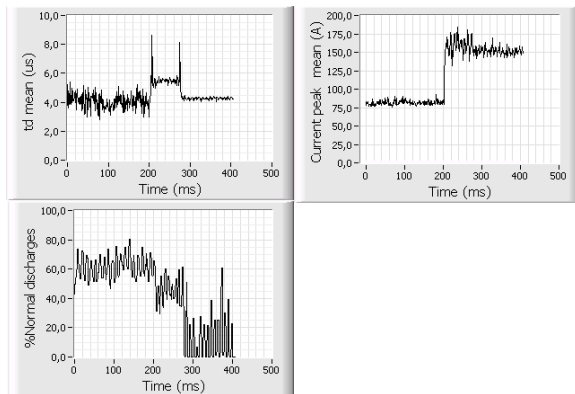


Figura 12: Comportamiento de variables características antes de la rotura del hilo

Por tanto, este tipo de rotura se caracteriza por cambios bruscos tanto del tiempo de ionización como de la intensidad de las descargas, acompañado de un importante descenso del porcentaje de descargas normales.

7 CONCLUSIONES

Uno de los principales problemas del proceso de electroerosión por hilo es la inestabilización de las descargas, siendo el peor de los casos la rotura del hilo.

Tras el diseño de una metodología de ensayos que considera un amplio abanico de causas de rotura, se ha implantado un moderno sistema de adquisición de datos. Dicho sistema permite la adquisición y almacenamiento en disco de ensayos de larga duración a elevada frecuencia.

Para el análisis de las muestras almacenadas, se ha desarrollado un sistema de diagnóstico basado en Labview. Este sistema permite obtener el comportamiento de las variables características de las señales, y detectar casos de inestabilización.

Por último, se ha presentado el comportamiento de las variables características de las señales tensión del gap e intensidad de la descarga, en corte por electroerosión por hilo en régimen estable e inestable. Los resultados de los análisis de la rotura del hilo con espesor 50 mm muestran un incremento brusco de la intensidad de las descargas, así como

variaciones notables del tiempo de ionización y una disminución e inestabilización considerables del porcentaje de descargas normales.

Tras estos resultados, se está en disposición de obtener los indicadores que permitan detectar con mayor antelación la rotura del hilo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado, en parte, por el Departamento de Industria del Gobierno Vasco y por ONA Electroerosión, S.A. en el marco del Proyecto Oferta-Demanda OD02UN45 Modelado Empírico del Proceso de Electroerosión por Hilo para la Optimización de la Calidad de las Descargas y, en parte, por la Universidad del País Vasco a través del proyecto 1/UPV00146.363-T-15319/2003 Análisis y Diagnóstico de la Calidad de la Descarga en el Proceso de Electroerosión por Hilo.

Referencias

- [1] Shoda, K.; Kaneko, Y.; Nishimura, H.; Kunieda, M.; Fan, M.X., *Development of Adaptive Control System to prevent EDM wire breakage*. EDM Technology, Vol. 3, pp. 17-22, 1995.
- [2] Lauwers, B.; Kruth, J.P.; Bleys, Ph.; Van Coppenolle, B.; Stevens, L. y Derighetti, R., *Wire Rupture Prevention Using On-Line Pulse Localisation in WEDMB*. VDI Berichte NR. 1405, 1998.
- [3] Liao, Y.S. y Woo, J.C., *The effects of machining settings on the behavior of pulse trains in the WEDM process*. Journal of Materials Processing Technology 71, pp. 433-439, 1997.
- [4] Dekeyser, W.; Snoeys, R. y Genes, M., *Expert System for Wire Cutting EDM, based on Pulse Classification and Thermal Modeling*. Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol.4, No.1/2, pp. 219-224, 1988.
- [5] Wang, W.M.; Rajurkar, K.P. *Monitoring Sparking Frequency and Predicting Wire Breakage in WEDM*. Sensors and Signal Processing for Manufacturing, PED-Vol. 55, ASME, 1992.
- [6] Obara, H.; Abe, M. Y Ohsumi, T. *Control of Wire Breakage during Wire EDM*. International Journal of Electrical Machining, No. 4, 1999.
- [7] Labview Measurements Manual, Edición Julio 2000.