

Diseño y Construcción de una Máquina Didáctica para Mecanizado Electroquímico de Metales, con una corriente de 75 Amperios.

Santiago Castellanos V.
Departamento de
Ciencias de la Energía y
Mecánica
Universidad de las
Fuerzas Armadas-ESPE
Sangolquí-Ecuador
sdcastellanos@espe.edu.
ec

Hernán Ojeda R.
Departamento de
Ciencias de la Energía y
Mecánica
Universidad de las
Fuerzas Armadas-ESPE
Sangolquí-Ecuador
hdojeda@espe.edu.ec

Erik Estrada H.
Departamento de
Ciencias de la Energía y
Mecánica
Universidad de las
Fuerzas Armadas-ESPE
Sangolquí-Ecuador

Diego León B.
Departamento de
Ciencias de la Energía y
Mecánica
Universidad de las
Fuerzas Armadas-ESPE
Sangolquí-Ecuador

Abstract— El Mecanizado Electroquímico (ECM) es un proceso de manufactura no convencional que se basa en el principio de la electrólisis, donde la pieza a ser trabajada funciona como ánodo (polo positivo) y el electrodo-herramienta como cátodo (polo negativo) sumergidos en un medio electrolítico. El ECM se caracteriza por permitir el desbaste de cualquier material conductor, sin importar su dureza, forma geométrica y sin desgaste del electrodo de trabajo. El desarrollo de éste proyecto contempla el diseño y la construcción de una máquina que realice el proceso de Mecanizado Electroquímico para la fabricación de marcados y perforaciones con dificultad geométrica y dimensional. El equipo está diseñado de una manera didáctica lo que permite comprender el concepto de funcionamiento y su operación, está compuesto por una fuente eléctrica de corriente continua, un sistema de suministro y filtración de fluido electrolítico, un sistema de control para el avance automático del electrodo-herramienta en el eje Z. El ECM considera 6 variables para su óptimo funcionamiento, las cuales son: forma geométrica a maquinar, caudal de electrolito, amperaje de la fuente eléctrica, velocidad de avance de la herramienta, distancia herramienta-pieza de trabajo y la concentración de electrolito. A partir de la experimentación se identificó y determinó los valores de los parámetros óptimos para el correcto funcionamiento de la máquina, comparando los valores de la tasa de remoción de material (MRR) teórica con los valores prácticos obtenidos en las pruebas realizadas. Esta máquina ha sido diseñada con la finalidad de incluir procesos constructivos de piezas metálicas con métodos alternativos de mecanizado que utilizando principios electroquímicos para el Laboratorio de Procesos de Manufactura del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Keywords-component: ECM (electrochemical machining), electrolito, ánodo, cátodo, MRR (material removal rate).

I. INTRODUCCIÓN

El mecanizado de materiales de alta resistencia y dureza, puede presentar diversas dificultades para los procesos tradicionales de manufactura debido a las grandes fuerzas de corte que requieren, las cuales generan un desgaste rápido de las herramientas de corte y un mayor tiempo trabajo ocasionado por sus bajas tasas de remoción de material, además el maquinado de estos materiales generan esfuerzos residuales y afecciones térmicas en la pieza, alterando sus propiedades mecánicas y físicas, lo cual restringe la facilidad de realizar formas geométricas complejas.

El mecanizado electroquímico (ECM) es un proceso no convencional, que presenta varias ventajas con respecto a los procesos de mecanizado tradicionales tales como: no genera desgaste de la herramienta (cátodo), no induce esfuerzos mecánicos o térmicos y permite altas tasas de remoción de material independientemente de la dureza, resistencia del material o la complejidad de la forma geométrica requerida; con buenos acabados superficiales y alta precisión, puesto que el material se desbasta de una manera atómica.

El mecanizado electroquímico aparece con su primera patente en 1929 por el ruso Gusiev, quien recomendaba el uso de 110 V, basado en este principio Jacquet en 1935 propuso el pulido electrolítico para el acabado de piezas [1]. Uno de los primeros modelos analíticos fue generado por Bhattacharyya en 1973. Quien tuvo básicamente inconvenientes con el proceso, por la ebullición del electrolito, la inestabilidad del flujo y la pasivación en la pieza de trabajo, con esto tuvo dificultad para llegar a las tasas de remoción del material adecuadas. Las variables que siguió para el proceso fueron: velocidad de avance de la herramienta y la

velocidad del flujo de electrolito. Estos experimentos proporcionaron gran parte de las bases para la optimización del proceso, los cuales son útiles para conseguir intervalos aproximados de los parámetros de mecanizado, pero dichos modelos asumieron herramienta plana y pieza plana, siendo de esta manera no válidos para piezas de diferente forma geométrica o tamaño. A partir de esto aparecen técnicas de optimización multi-objetivas para poder solventar los inconvenientes con respecto a la tasa de remoción de material, acabado superficial y marcados [2].

El proceso se basa en el principio de electrólisis: reacción química que ocurre cuando se pasa corriente continua entre dos conductores sumergidos en una solución iónica (electrolito), los iones cargados positivamente viajan desde el ánodo (pieza de trabajo) hacia el cátodo (electrodo-herramienta). En el final de la reacción, el ánodo pierde una cierta cantidad de materia [3]. Según la Ley de Faraday la cantidad de metal que se elimina en el ánodo, es función de la intensidad de corriente y del tiempo de experimentación. Este proceso se esquematiza en la figura 1.

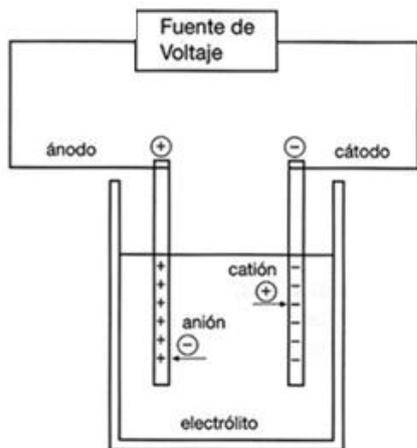


Figura 1. Electrólisis en una Solución de NaCl

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de una máquina de Mecanizado Electroquímico Didáctica. Los parámetros analizados para la realización de la máquina son: caudal, concentración y temperatura de electrolito, intensidad de corriente eléctrica, distancia entre electrodos, velocidad de avance de la herramienta, área y forma geométrica a mecanizar, tipo de material y profundidad a maquinar en la pieza de trabajo, mismos que son considerados en la calibración de la máquina.

Ésta máquina permite observar de manera didáctica todos los parámetros que influyen en el mecanizado, por medio de un Interfaz Hombre Máquina (HMI), Las pruebas se realizan en acero de baja aleación ASTM A36 y acero inoxidable ASTM S30400, para imprimir

marcados y perforaciones de diversas formas geométricas.

II. DISEÑO DE LA MÁQUINA

La máquina de mecanizado electroquímico tiene un esquema que permite de una manera fácil y didáctica la interacción con el operario. Consiste en: un módulo de maquinado y una controlador. Como se muestra en la figura 2.

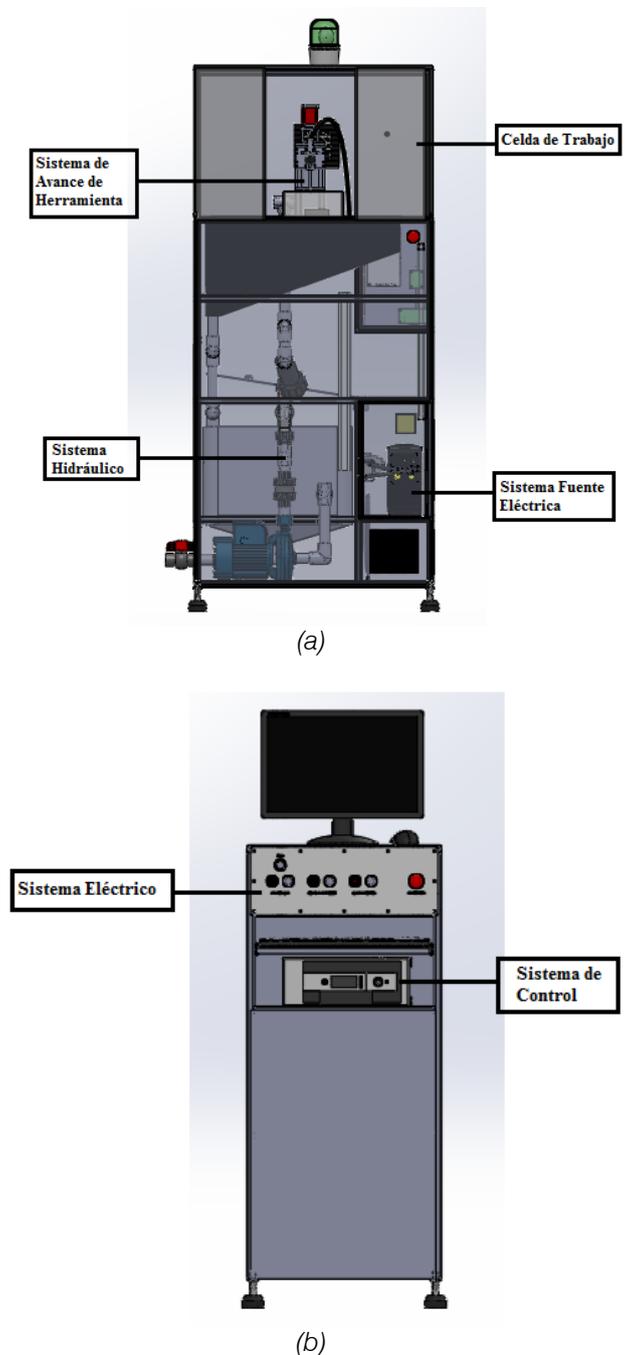


Figura 2. ESQUEMA MÁQUINA DE ECM; a) Módulo de Maquinado; b) Módulo Controlador

La máquina consta de 6 módulos principales para su diseño:

1. Estructura, área de trabajo, soporte de pieza y sujeción de herramienta (electrodo).
2. Módulo de circulación de fluido electrolítico.
3. Módulo de fuente eléctrica.
4. Módulo de alimentación y de control.
5. Módulo de avance de la herramienta
6. Módulo de seguridad

1. ESTRUCTURA, ÁREA DE TRABAJO, SOPORTE DE PIEZA Y SUJECIÓN DE HERRAMIENTA DE TRABAJO.

La estructura de la máquina soporta los elementos y sistemas para el mecanizado. Está fabricada con tubos cuadrados de 25 mm x 1.2mm, recubierta con lámina metálica de 1.2 mm y acabados con pintura electrostática, para evitar la corrosión. Cuenta con cuatro patas de altura regulable para la nivelación de la máquina. El módulo de trabajo tiene una altura total de 1.75m y el área de trabajo está a 1.25m. El módulo de control tiene una altura 1.20m figura 5.

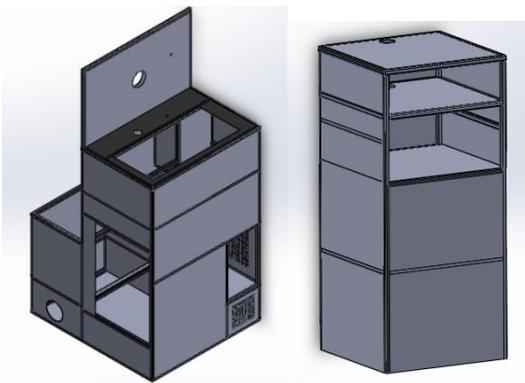


Figura 5. MÓDULOS DE TRABAJO Y CONTROL.

El área de trabajo se encuentra cubierta por una cabina de vidrio de 6mm de espesor, para poder visualizar y aislar el proceso, la misma está sujeta con perfiles F de aluminio y atornillado a la estructura. El vidrio superior es soportado por los vidrios laterales y adherido con silicón transparente. Las puertas de la cabina están sujetas con bisagras y selladas con un perfil plástico. Dentro del área de trabajo se encuentra la cuba de acrílico para que el soporte y la pieza de trabajo se puedan inundar. El módulo de sujeción y avance del electrodo-herramienta, el sistema de extracción de hidrógeno, el ingreso de suministro de electrolito y los cables de conexión de la fuente eléctrica también se encuentran dentro de la cabina en el área de trabajo.

El mecanismo de avance de la herramienta está fabricado en PVC de alta densidad, los ejes y el tornillo

de avance en acero inoxidable, asegurando de esta manera su resistencia a la corrosión. Este mecanismo se encuentra sujeto a la estructura por medio de un pórtico soldado, además posee un mandril porta brocas de hasta 10 mm de apertura que permite la sujeción del electrodo-herramienta.

El sistema de extracción de hidrógeno se encuentra ubicado en una perforación de 250 mm, en la parte superior de la cara posterior del área de trabajo.

Al área de trabajo llega el suministro de electrolito por medio de dos mangueras plásticas rígidas de 1/2 pulgada; los cables de la fuente eléctrica para el cátodo se ubica por la parte superior del soporte de herramienta y para el ánodo ingresa por la parte inferior el cual está sujeto en un eje de acero inoxidable permitiendo la conexión con la pieza de trabajo y exista el mecanizado. El área de trabajo se muestra a continuación en la figura 6.



Figura 6. ÁREA DE TRABAJO

2. MÓDULO DE CIRCULACIÓN DE FLUIDO ELECTROLITICO

El sistema para suministro de electrolito consiste en un tanque reservorio, un tanque de depósito, una bomba de fluido, una válvula de pie, una válvula check, un caudalímetro, un filtro de anillos, dos mangueras plásticas rígidas, una llave de media vuelta para regulación de caudal y una llave de media vuelta para desfogar del reservorio. Este sistema es crucial en el proceso de mecanizado, porque de este depende el acabado final de la pieza maquinada. Se debe tener un flujo constante y uniforme en el electrodo-herramienta [2] y una temperatura entre 15 y 35°C.

Este módulo permite inundar la cuba de acrílico con fluido electrolítico lo que permite mejorar la eficiencia eléctrica y conseguir un flujo laminar, dado que el exceso de caudal genera un flujo turbulento, dañando el acabado superficial por efecto de la cavitación, caso contrario, al ser el caudal muy bajo no permite una

correcta limpieza de la pieza maquinada lo que genera un mal acabado.

El tanque reservorio tiene una capacidad de 50 litros, fabricado en planchas de acero de 2 mm, con pintura electrostática y recubierta internamente con aislante bate piedra para evitar la corrosión, geométricamente este tanque no posee aristas para que no exista acumulación de residuos o lodos.

El tanque de depósito se encuentra en el área de trabajo, sirve para recoger el electrolito después de maquinar y retornarlo al reservorio, está fabricado con las mismas características que el reservorio.

Para poder mantener el caudal constante, el sistema posee una bomba centrífuga de 1 Hp monofásica 110V, con una capacidad de caudal de 10-100 lpm, altura manométrica de 34-19 m y una temperatura máxima de trabajo de 90°C Como sistemas de seguridad la bomba, posee un interruptor de nivel, una válvula de pie en la absorción y una válvula check en el desfogue. Para poder controlar el caudal cuenta con un caudalímetro de 0.25 a 2.5 m³/h (4-40 lpm), el cual se regula por medio de un bypass. Para el desfogue del fluido electrolítico de la máquina en la parte inferior del reservorio posee una llave de media vuelta.

Para el filtrado se utiliza un filtro de anillos de 1 pulgada con capacidad de 200 micrones de filtrado y caudal máximo de 40 lpm. Todo el sistema de circulación está fabricado con tubería de PVC de 1 pulgada de diámetro. El módulo de circulación de fluido electrolítico se muestra en la figura 7.

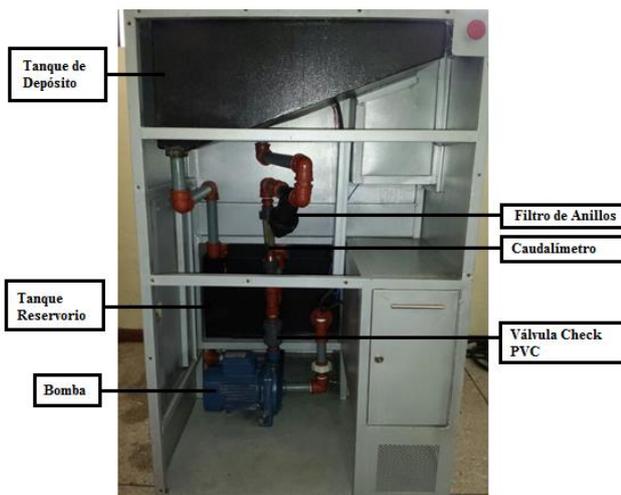


Figura 7. MÓDULO DE CIRCULACIÓN DE FLUIDO ELECTROLITICO

3. MODULO DE FUENTE ELÉCTRICA

El proceso de mecanizado electroquímico teóricamente trabaja en rangos desde 10 a 5000 amperios. Este sistema consiste de una fuente eléctrica con 3 metros de cable de soldadura #2/0 para el ánodo y el cátodo con una capacidad de 250 amperios, un shunt y un indicador análogo para medición del amperaje. El proceso solo trabaja con grandes amperajes en corriente continua, siendo el positivo (ánodo) la pieza de trabajo y el negativo (cátodo) es el electrodo-herramienta. La fuente eléctrica que se utiliza es una soldadora TIG tipo inversor de 250 amperios. Como se muestra en la figura 8.



Figura 8. MODULO DE FUENTE ELÉCTRICA

El electrodo-herramienta, está colocado en un soporte empotrado en el mecanismo de avance del eje vertical, el electrolito se suministra a través de una manguera conectada a la herramienta por medio de un agujero realizado en la parte superior de la misma, como se indica en la figura 3, el líquido fluye internamente en la herramienta y para no generar turbulencia en la salida posee radios de curvatura mínima de 0,762 mm [1].



Figura 3 HERRAMIENTA DE TRABAJO

La máquina construida se muestra a continuación en la figura 4.

4. MÓDULO DE ALIMENTACIÓN Y DE CONTROL

El sistema de alimentación de la máquina se encuentra en el módulo de mecanizado y cuenta con componentes electromecánicos como son contactores, disyuntores y un selector ON/OFF. La selección de estos elementos se realizó de acuerdo al consumo de corriente de cada equipo de la máquina. La conexión central es de 220V bifásica, de la cual se distribuye 110V para las tarjetas de control del motor paso a paso, la bomba de agua y ventilador, se usa 220V para la fuente eléctrica. La figura 9 indica el sistema de conexión central.



Figura 9. SISTEMA ELÉCTRICO CENTRAL

El sistema de control cuenta con pulsadores ON y OFF con señal luminosa led, sujetas en una placa de acero inoxidable. Los pulsadores sirven para el control del área de trabajo, para encendido y apagado de los elementos de la máquina. Todas las conexiones se encuentran en la parte superior de este módulo y se conectan a través de cables cubiertos por manguera de protección al módulo de maquinado, a través de tres conectores de 6 pines. Como se muestra en la figura 10.



(a)



(b)

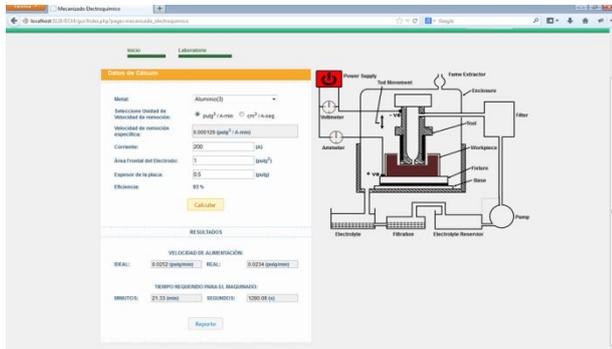
Figura 10. SISTEMA DE CONTROL; a) Conectores de 6 pines; b) Módulo de Control

Como parte del Sistema de Control la máquina cuenta con una plataforma virtual, que consiste en una página web que integra una hoja inicial con información general del proceso, una hoja de simulación y un programa de cálculo que genera un reporte del trabajo realizado en formato PDF. La finalidad de la página inicial de la plataforma educativa es brindar a los estudiantes una introducción al proceso de mecanizado electroquímico, mediante información básica y ayuda multimedia. Como se muestra en la figura 11(a).

La hoja de cálculo y simulación, permite acceder a una base de datos de la velocidad de remoción específica para cierto tipo de materiales, ingresar los valores de corriente, área de la forma a mecanizar y profundidad de corte para obtener como resultado la velocidad de alimentación de la herramienta y tiempo de operación. En esta hoja se encuentra una simulación del proceso de maquinado, con un esquema general del sistema. Además la hoja de cálculo, una vez obtenidos los resultados, la página permite generar un reporte del trabajo realizado en formato PDF con los valores de los parámetros ingresados y resultados del proceso, figura 11 (b).



(a)



(b)

Figura 11. PLATAFORMA VIRTUAL;

a) Página inicial b) Hoja de Cálculo y Simulación

5. MÓDULO DE AVANCE DE LA HERRAMIENTA

Para el desbaste en el mecanizado electroquímico es importante el control de la velocidad de avance de la herramienta, tanto para perforaciones como para marcados, esta velocidad de avance depende del MRR.

Para esto se diseñó el sistema de control de avance de la herramienta, el mismo que trabaja con un motor paso a paso para poder controlar la velocidad de avance de la herramienta. El mecanismo de avance está conformado por: dos ejes, 4 rodamientos lineales, un tornillo sinfín, una junta, 2 rodamientos, soporte de la herramienta. Éste mecanismo está fabricado con acero inoxidable los ejes, tornillo, juntas, rodamientos y soportes de PVC de alta densidad. Todo esto se encuentra sujeto a la máquina por un pórtico empotrado al área de trabajo.

El sistema se controla por medio de un computador ubicado en el módulo de control, conectado con el módulo de trabajo por medio de un cable DB25 a las tarjetas controladoras del motor paso a paso. El computador tiene instalado el programa MACH 3 DEMO –software para automatización–. El sistema de muestra en la figura 12.



Figura 12. SISTEMA DE AVANCE DE LA HERRAMIENTA

6. MODULO DE SEGURIDAD

Al trabajar con altos amperajes, la seguridad es muy importante en el diseño de la máquina, para salvaguardar la integridad del operario y los elementos eléctricos de la misma. Para esto cuenta con dos botones de paro de emergencia tipo hongo, uno en la parte frontal del módulo de trabajo, otro en el módulo de control y un sistema de seguridad con un Switch ON/OFF en cada una de las puertas del área de trabajo. De tal manera que al ser accionado uno de los botones de paro o una de las puertas se encontrara abierta o mal cerrada, se desconecta inmediatamente el suministro de energía a: la fuente eléctrica, bomba y sistema de avance de la herramienta. Este sistema se puede observar en la figura 13.

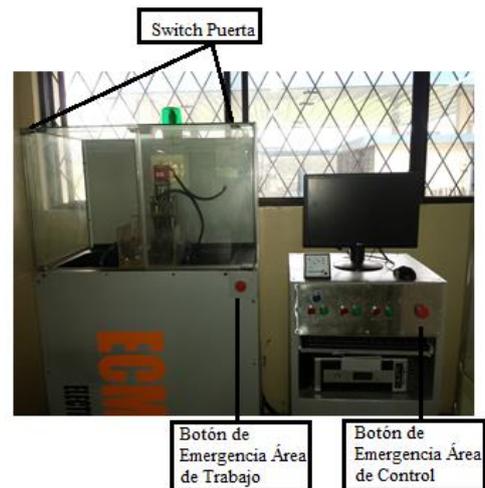


Figura 13. SISTEMAS DE SEGURIDAD

La fuente eléctrica cuenta con un sistema integrado de seguridad con una luz indicadora de temperatura elevada y apagado automático.

La protección eléctrica de la bomba consiste en interruptor de nivel tipo flotador, el mismo que caso de tener el nivel de electrolito inferior al necesario, la bomba se apaga y no acciona nuevamente hasta que se complete el nivel requerido en el reservorio. El flotador se muestra en la figura 14.



Figura 14. SISTEMA DE SEGURIDAD DE LA BOMBA

La conjunción de todos los elementos permite configurar el equipo de maquinado electroquímico diseñado el cual ha sido nombrado ECM-200 por las siglas en ingles de Electrochemical Machining y 200 por el amperaje de la fuente eléctrica.



Figura 15. MAQUINA DE ECM CONSTRUIDA

III. PRUEBAS

Para el inicio de las pruebas de funcionamiento del equipo se toman parámetros teóricos lo que permite realizar los primeros ensayos y la estructuración de un protocolo de pruebas para la optimización del equipo

basado en los parámetros del proceso de maquinado electroquímico.

Las pruebas se desarrollaron considerando que dentro del proceso de mecanizado electroquímico se tienen 6 parámetros importantes que son:

1. Forma geométrica a mecanizar
2. Concentración de fluido electrolítico,
3. Distancia entre cátodo y ánodo
4. Caudal
5. Intensidad de corriente eléctrica
6. Velocidad de avance de la herramienta.

Las pruebas de funcionamiento iniciales del equipo se realizan maquinando placas con configuraciones teóricas, lo que permite determinar las condiciones iniciales de operación, encontrando las siguientes consideraciones.

La intensidad de corriente se debe mantener constante en 75 amperios durante el proceso, debido a que se determinó que el aumento de la misma genera sobrecalentamiento en la fuente eléctrica, también se restringe las dimensiones de la pieza de trabajo, a placas de 50mm x 50mm x 1.2 mm.

Se caracteriza que el proceso se realizara con la pieza de trabajo inundada, de esta manera la eficiencia de corriente eléctrica de la fuente es de 83% y el control del flujo laminar del fluido electrolítico es mayor.

En el protocolo de pruebas se analiza cada una de las variables que afectan al proceso

1. Forma Geométrica a Mecanizar

Con esto se busca determinar cuál es el mejor método para maquinar la forma geométrica deseada, en el desarrollo de estas pruebas se mantiene constante el caudal del fluido electrolítico, el avance del electrodo y el tiempo de maquinado

Para la primera prueba realizada, se usa un caudal de 0.5 m³/h, sin avance del electrodo y un tiempo de maquinado de 1 minuto,

Inicialmente se maquina directamente el electrodo-herramienta circular sobre la placa, lo que genera salpicaduras, un bajo acabado y mala precisión en la forma geométrica, como se muestra en la figura 16 (a).

Luego se utilizó un restrictor, el cual consiste en una pieza realizada en Duralón, con forma circular, siendo el resultado una mejora, puesto que se eliminaron las

salpicaduras pero la forma obtenida no era exacta, tomada la forma del restrictor, con baja precisión, como se muestra en la figura 16 (b).

Por último se utilizó papel contact, de tal manera que se protegía totalmente a la placa de las salpicaduras y solo se mecaniza el área expuesta al fluido electrolítico. El resultado fue el óptimo, se mecaniza únicamente el área libre del papel contact y el resto que se encontraba cubierto no se afectaba superficialmente como se muestra en la figura 16 (c).

Con este método se consigue realizar cualquier forma geométrica sea para perforación o para marcado.



(a)



(b)



(c)

Figura 16. FORMA GEOMÉTRICA;

a) Mecanizado directo; b) Mecanizado con restrictor; c) Mecanizado con papel contact

2. Concentración del Fluido Electrolítico

El siguiente parámetro a considerar es el fluido electrolítico, que tiene como función aumentar la eficiencia de transferencia eléctrica.

La elaboración del electrolito consiste en la mezcla de agua con NaCl (sal). La teoría indica que es recomendable el uso de 100 a 500 g/l. [4].

La primera prueba realizada se utilizó un electrolito con una concentración de 100g/l, que en operación el amperímetro marcó una corriente máxima de 35 amperios.

Se aumentó la concentración a 500 g/l, y en operación el amperímetro marcó una corriente de 75 amperios, pero convirtiéndose en una solución sobresaturada.

La siguiente prueba se realizó con una solución saturada, la cual fue con una concentración de 300g/l, que de igual manera en operación se consiguió una corriente de 75 amperios, siendo de ésta manera 300g/l la concentración óptima de mecanizado.

3. Distancia entre cátodo y ánodo

Para determinar la distancia óptima entre el ánodo y cátodo, se mantuvo constante el caudal en $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$, sin avance del electrodo y un tiempo de maquinado de 1 minuto, para buscar obtener un buen acabado superficial.

Las pruebas se realizaron a 0.5, 2, 3, 4, 5 y 6 milímetros de distancia. A 0.5 mm no maquinó toda el área, únicamente lo más cercano al electrodo como muestra la figura 17 (a).

A 2, 3, 4 y 5 mm existen cavitaciones en la pieza de trabajo, esto se genera por una turbulencia en el fluido y una falta de maquinado en todo el área de trabajo de la pieza, aunque se obtuvo un buen acabado como se muestra en la figura 17 (b).

A 6 mm de distancia se obtuvo un acabado superficial perfecto y un maquinado de toda el área, como se muestra en la figura 17 (c) siendo 6 mm la distancia óptima de mecanizado.



(a)



(b)



(c)

Figura 17. DISTANCIA ÓPTIMA DE MAQUINADO; a) A 0.5 mm; b) A 2, 3, 4 y 5 mm; c) A 6 mm

4. Caudal

El siguiente parámetro de calibración es el valor de cauda, que tiene como finalidad obtener un buen acabado superficial en la pieza maquinada.

Para determinar el caudal óptimo se mantuvo constante la distancia entre electrodos de 6mm, la concentración del electrolito en 300 g/l., sin avance del electrodo y un tiempo de maquinado de 1 minuto., las pruebas se realizaron a 0.5, 0.75 y 1 m³/h.

A 0.5 m³/h se obtuvo un acabado muy bueno y cubrió todo el área de maquinado, como se muestra en la figura 18 (a).

A 0.75 m³/h comenzó a existir mucha porosidad por turbulencia del fluido como se muestra en la figura 18 (b), y estas porosidades fueron más evidentes al probar un caudal de 1 m³/h como se indica en la figura 18 (c).



(a)

(b)

(c)

Figura 18. CAUDAL ÓPTIMO; a) A 0.5 m³/h; b) A 0.75 m³/h; c) A 1 m³/h

5. Velocidad de avance de la herramienta

El siguiente parámetro a determinar es la velocidad de avance del electrodo, para lo cual se necesita saber la velocidad de remoción específica del material (MRR) [5]. La misma que se muestra en la tabla 1.

Material de Trabajo	Velocidad de remoción específica C	
	pulg ³ /A – min	cm ³ /A – seg
Aluminio (3)	1,26E-04	3,44E-05
Cobre (1)	2,69E-04	7,35E-05
Hierro (2)	1,35E-04	3,69E-05
Aceros		
De baja aleación	1,10E-04	3,00E-05
De alta aleación	1,00E-04	2,73E-05
Inoxidable	9,00E-05	2,46E-05
Níquel (2)	1,25E-04	3,42E-05
Titanio (4)	1,00E-04	2,73E-05

Tabla 1. VELOCIDAD DE REMOCIÓN DE MATERIAL [1]

Cada material cuenta con una velocidad de remoción distinta y por lo tanto la velocidad de avance es distinta para cada material. Para esto se utiliza la plataforma virtual, en la que se ingresa los parámetros necesarios para determinar la velocidad de alimentación de la herramienta, lo cuales son: selección del metal a maquinar, selección de la unidad de velocidad de remoción (automáticamente muestra la velocidad de remoción específica), se ingresa la corriente, el área de maquinado, profundidad de maquinado para marcados o espesor de la placa para perforación. Al ingresar estos parámetros muestra la velocidad de remoción ideal, y la velocidad de remoción real dada por la eficiencia de la fuente eléctrica y el tiempo requerido para el maquinado.

Una vez determinados el caudal, el avance del electrodo, la concentración del electrolito y la distancia óptima entre ánodo y cátodo, se procedió a realizar una prueba conjunta, primero para marcado y luego para perforación. Las dos pruebas fueron realizadas en una placa de 50x50x1.2 de un acero de baja aleación con forma triangular con área de 4.62 cm² realizada en papel contact.

6. Prueba para marcado

Primero se determina la velocidad de avance de la herramienta en la plataforma virtual, ingresando un acero de baja aleación, con unidades métricas, con una corriente de 75 amperios, un área de 4.62 cm² y una profundidad de 6 mm. Esto determina una velocidad de alimentación real de 0.0004 cm/s como se muestra en la figura 19.

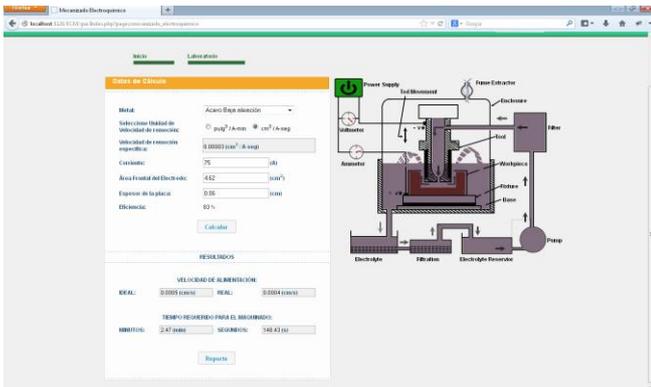


Figura 19. PLATAFORMA VIRTUAL, MARCADO

Después de determinar la velocidad de alimentación, se utiliza el software MACH 3 DEMO. Para esto primero se debe encender la máquina, acercándola hasta hacer contacto con la placa y encendiendo el sistema. El dato de la velocidad de alimentación se debe utilizar en milímetros por minuto (mm/min) lo cual equivale a 0.24 mm/min. Con este se escribe el código G, con una posición inicial a 6 mm de la pieza de trabajo. Como se muestra en la figura 20.

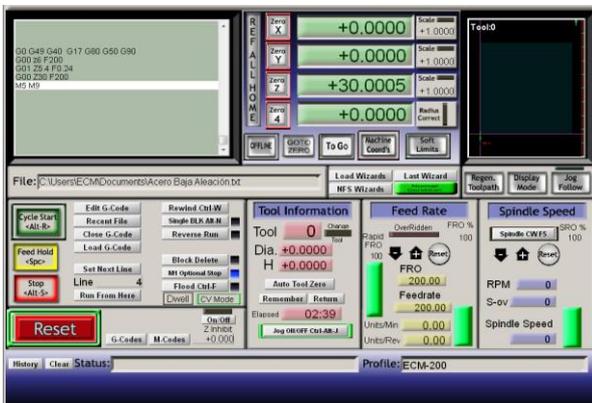


Figura 20. CÓDIGO MACH 3 DEMO, MARCADO

Después de ingresar el código G, se procede a iniciar el proceso de maquinado, primero se enciende la bomba y se espera a que la cuba se inunde totalmente, luego de enciende la fuente eléctrica y se espera a que suba la corriente a 75 amperios, y luego de da inicio al ciclo del software MACH 3 DEMO. En caso de no marcar 75 amperios, significa que la placa no está haciendo buen contacto con la masa. Una vez que se acaba el ciclo se apaga la fuente, la bomba y los controladores del avance. La pieza maquinada se muestra en la figura 21.



Figura 21. MARCADO MAQUINADO

7. Prueba de Perforación

El proceso para perforación es exactamente igual que para marcado, pero con una distancia de 3mm de separación entre el electrodo y la pieza de trabajo, y además se debe ingresar una penetración con 0.3 mm mayor al espesor de la placa para asegurar la perforación, esto se puede diferenciar en la plataforma, figura 22 y en el código G, figura 23. En este caso la placa es de 1.2 mm de espesor, y en el código se colocó un espesor de 1.5 mm.

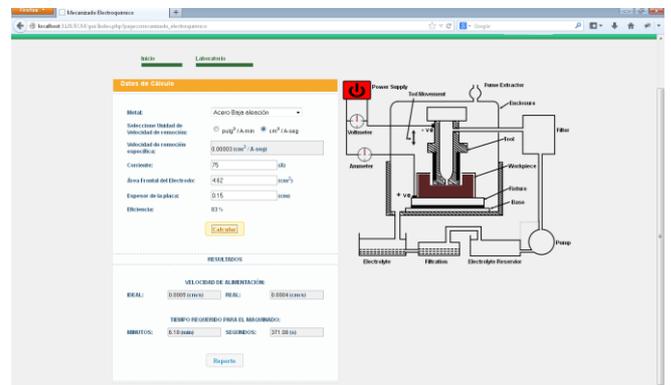


Figura 22. PLATAFORMA VIRTUAL, PERFORACIÓN

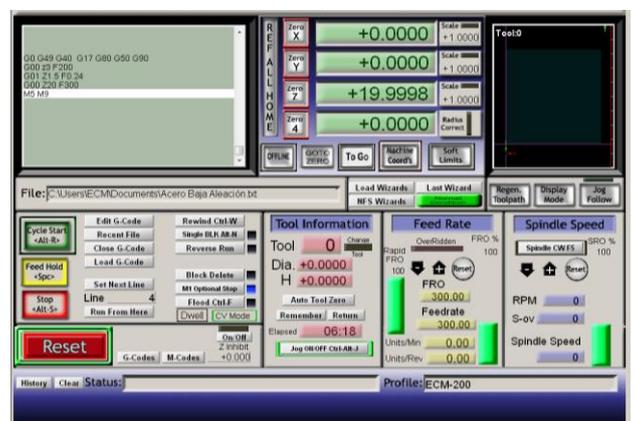


Figura 23. MACH 3 DEMO, PERFORACIÓN

El proceso de mecanizado es el mismo. La pieza perforada se muestra en la figura 24.

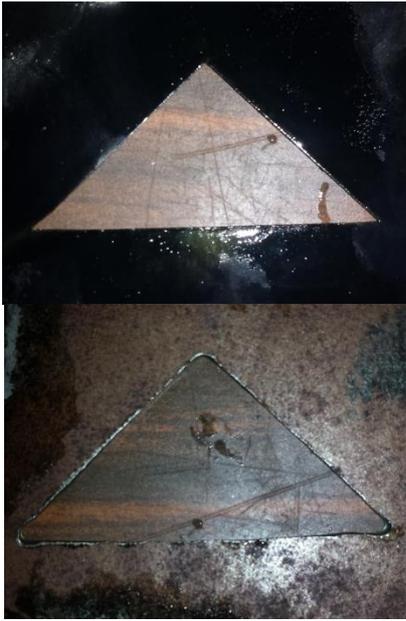


Figura 24. PLACA PERFORADA

IV. CONCLUSIONES

1. La turbulencia del fluido electrolítico genera porosidad en la pieza por el fenómeno de cavitación.
2. La función del papel contact es aislar eléctricamente y proteger a la superficie de la pieza que no se desea maquinar.
3. Realizar el proceso con la cuba inundada permite mantener una intensidad de corriente constante y con eficiencia alta dado que al no inundar máximo se obtiene 50 Amp., no constantes.
4. El proceso genera buen acabado al trabajar con temperaturas entre 15 y 35°C del electrolito, a una temperatura mayor se genera defectos.
5. La velocidad de avance de maquinado es directamente proporcional a la intensidad de corriente continua; a mayor corriente mayor velocidad de avance y menor tiempo de maquinado.
6. La masa de acero inoxidable se desgasta durante el trabajo de maquinado dado a que se encuentra inmerso en la misma cuba.

V. RECOMENDACIONES

1. Trabajar con un flujo laminar para evitar la cavitación y obtener un buen acabado superficial.

2. La curvatura de 1mm de radio a la salida en la herramienta ayuda a mantener un flujo laminar de fluido.
3. Es necesario filtrar el electrolito antes de verterlo en el tanque reservorio para retener cualquier impureza y partículas de NaCl (sal doméstica), para evitar algún tipo de defecto superficial en la pieza.
4. Tomar la temperatura del electrolito después de 15 minutos de maquinado para evitar exceder la temperatura de trabajo.
5. Cambiar la masa de acero inoxidable cuando su desgaste sea visible y no genere contacto eléctrico, que se evidencia en el amperaje alcanzado.

REFERENCIAS

- [1] P. Molera Solá, "Electromecanizado, Electroerosión y mecanizado electroquímico", Editorial Marcombo S.A., 1989.
- [2] Bruce C. Bingham, Atanas A. Atanasov, John P. Parmigiani, "The design and fabrication of an electrochemical machining test apparatus", San Diego, California 2013.
- [3] Apez H & Cruz J., 2010, "Celda Electrolítica", Weg log post, Recuperado el 09 de Agosto del 2013 de <http://celdaelectrolitica.blogspot.com/>.
- [4] F. R. Morral y E. Jimeno Y P. Molera, "Metalurgia General", Primera Edición, Editorial Reverté, 1985.
- [5] P. Groover, "Fundamentos de Manufactura Moderna", Primera Edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1997.