

REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ELECTROEROSIONADORA CON INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA PARA EL LABORATORIO DE CNC DE LA ESPE-EL.

Ing. Lara Roberto¹

Ing. Quispe Alexander²

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Quijano y Ordoñez y Marqués de Maéna s/n

email: tito-3008@hotmail.com¹

alex.q1989@gmail.com²

Latacunga – Ecuador

Energía Mecánica Innovación y Futuro 2014.

RESUMEN:

Actualmente en nuestro país, la mayoría de pequeños y medianos empresarios de las industrias metalmecánicas, que se dedican a la fabricación de matrices y moldes, realizan el proceso en máquinas electroerosionadoras convencionales, limitando la producción en serie y el tiempo de operación.

El presente proyecto consiste en el “REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ELECTROEROSIONADORA CON INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA PARA EL LABORATORIO DE CNC DE LA ESPE-EL.”, cuya finalidad es integrar una interfaz hombre-máquina para supervisión y control del proceso amigable para los usuarios y con alta funcionalidad.

Este mecanizado por descarga eléctrica se realiza con un electrodo previamente fabricado, la característica más relevante de la electroerosión es la posibilidad de erosionar cualquier tipo de material conductor, independientemente de su dureza, ya que el desbaste en la pieza a mecanizar no se produce por arranque de viruta sino por eliminación de material mediante arcos eléctricos.

Las modificaciones requeridas en la parte mecánica fueron el rediseño del sistema de transmisión, para los movimientos de la mesa (eje X e Y) y el mecanismo de avance del electrodo hacia la pieza de trabajo (eje Z), mismos que serán adaptados a servomotores para ejecutar su desplazamiento y posicionamiento con exactitud, dentro del sistema eléctrico y electrónico se realizaron las

conexiones necesarias para la calibración de los equipos y lograr su correcto funcionamiento.

De esta manera se obtuvo una máquina electroerosionadora capaz de realizar movimientos en tres ejes controlados desde una interfaz, logrando así obtener similares características a las existentes en el mercado para la fabricación de matrices.

Palabras Clave:

Mecanizado por descarga eléctrica, electrodo

ABSTRACT

Currently in our country, most of small and medium entrepreneurs of metalworking Industry engaged in the manufacture of dies and molds perform the process in conventional EDM machines, limiting mass production and operation time.

This project consists of: “REDESIGN AND AUTOMATION OF A ELECTROERODING MACHINE WITH HUMAN-MACHINE INTERFACE FOR THE CNC LABORATORY OF ESPE-L.”

The proposed project has as aim to integrate a human-machine interface to supervise and control the process, with high functionality for users.

The electrical discharge machining is carried out with an electrode previously manufactured; the most important feature of EDM is the ability to erode any conductive material, regardless of hardness, as the roughing in the work piece is not produced by the chip removal but rather by material removal by electrical arcs.

The required changes in the mechanical part were gotten through the redesign of the transmission system to the movements of the worktable (X and Y axis) and the advancing mechanism of the electrode to the work piece (Z axis), which will be adapted to the servo motors to perform their displacement and positioning with accuracy, inside of the electrical and electronic system the necessary connections were made to adjust the equipment and getting the correct performance.

In this way, an electro eroding machine was obtained which is capable of performing movements in three axes and it is controlled from an interface, achieving well characteristics similar to those existing on the market to manufacture any type of dies and molds.

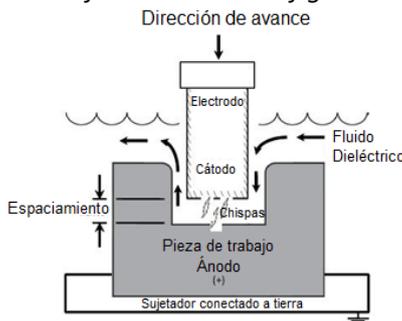
Keyword:

Electrical discharge machining, electrode

I. INTRODUCCIÓN

MAQUINADO POR DESCARGA ELÉCTRICA (EDM)

Es un proceso de mecanizado de materiales eléctricamente conductores mediante el uso de chispas controlada con precisión que se producen entre un electrodo y una pieza de trabajo en presencia de un fluido dieléctrico figura2.



Fuente: Diseño y prueba de un sistema de control de espaciamiento y potencia para Micro-EDM recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-3812009000100001&script=sci_arttext
 Figura 2. Componentes básicos del EDM

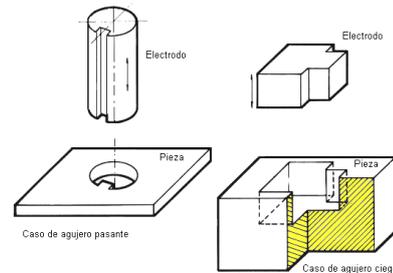
CARACTERÍSTICA MÁS IMPORTANTE DE LA ELECTROEROSIÓN

Es la posibilidad de erosionar cualquier tipo de material conductor, independientemente de su dureza, ya que los factores que influyen en los

resultados no son los puramente mecánicos como dureza, tenacidad, etc. sino los térmicos como conductividad térmica, temperatura de fusión, etc

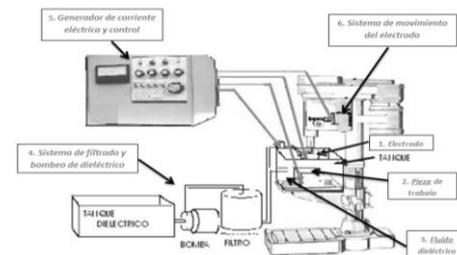
ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN.

Es el mecanizado de agujeros y formas ciegas, en las que el electrodo tiene la forma que se desea mecanizar, debe existir un movimiento relativo vertical entre electrodo y pieza de trabajo, moviéndose el electrodo y manteniéndose fija la pieza figura 3.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 3. Ilustración de electroerosión por penetración
 Componentes básicos de la electroerosión por penetración, figura 4:

- Electrodo.
- Pieza de trabajo.
- Fluido dieléctrico.
- Sistema de filtrado y bombeo de dieléctrico.
- Fuente de corriente eléctrica.
- Sistema de movimiento del electrodo y la mesa de trabajo.



Fuente: Rincón del vago. Electroerosión. Recuperado de: <http://html.rincondelvago.com/electroerosion.html>
 Figura 4. Componentes básicos de electroerosión por penetración

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN

El sistema EDM básico consiste en una herramienta (electrodo) y la pieza de trabajo, conectadas a una fuente de poder de DC y colocadas en un fluido dieléctrico. Cuando la diferencia de potencial entre la herramienta y la pieza es suficientemente alta, se descarga una chispa transitoria que atraviesa el fluido y quita una cantidad muy pequeña de metal de la superficie de la pieza

El electrodo se hace avanzar hacia la pieza de trabajo hasta un punto cercano a ellos igual a 0,001 pulgadas (0,025 mm) y con una tensión aplicada igual a 170 V DC, el fluido dieléctrico se ioniza formando un canal conductor que cambia su esquema de fluido aislante a un conductor eléctrico

A. TIPOS DE ELECTRODOS.

Por necesidad los materiales de los electrodos deben ser eléctricamente conductores, pero debe tener las siguientes características:

- Un alto punto de fusión.
- Ser fácilmente mecanizadas.
- Un bajo costo.

Los materiales que más se utilizan en nuestro medio son:

COBRE

El cobre es fácilmente disponible y normalmente específica como cobre electrolítico, o de aleación de telurio - cobre. El cobre de grado electrolítico puede considerarse como cobre puro.

GRAFITO

El grafito no se derrite, sino que se sublima, es decir, que pasa de un sólido directamente en un gas, sin fundir y sin pasar por el estado líquido. La temperatura de sublimación del grafito es aproximadamente igual a la temperatura de fusión de tungsteno.

A continuación Tabla 1. Se muestran valores de desgaste de los distintos tipos de electrodos

Tabla 1. Valores de desgaste de electrodos

ELECTRODO	PIEZA DE	POLARIDAD	DESGASTE
-----------	----------	-----------	----------

	TRABAJO		in	mm
Cobre	Acero	Positiva	0.1	2.54
Cobre	Acero	Negativa	1	25.4
Cobre	Carburo de Tungsteno	Negativa	0.6	15.24
Cobre tungsteno	Acero	Positiva	0.4	10.16
Cobre tungsteno	Carburo de Tungsteno	Negativa	0.7	17.78
Grafito	Acero	Positiva	0.01	0.254
Grafito	Acero	Negativa	0.4	10.16

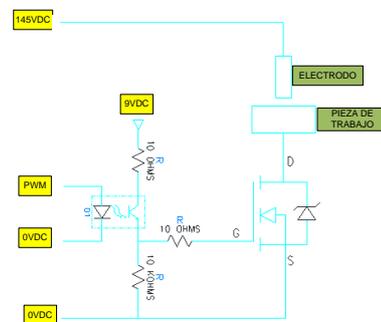
Esta es la razón por la que el grafito es utilizado como el material para los electrodos en el presente trabajo, en la figura 5. Se ven los electrodos de grafito utilizados.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 5. Electrodos de grafito.

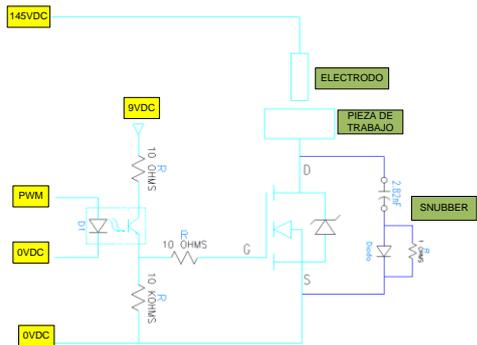
B. Diseño del circuito del EDM.

Para el diseño del circuito de electroerosión se optó por el circuito resistencia-capacitor, Y para separarlo de la parte del control se utilizó un opto acoplador de acuerdo con la figura 6.



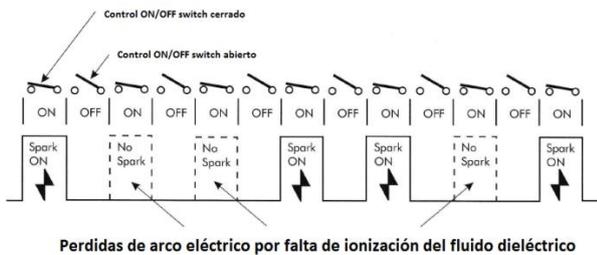
Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 6. Circuito de electroerosión.

Para mejorar la conmutación de encendido y apagado del mosfet y obligarlo a su apagado, se emplea el circuito Snubber figura 7.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 7. Circuito de electroerosión agregado la red Snubber.

Es de fundamental importancia que los pulsos necesarios para este mecanizado y que encienden y apagan al Mosfet son dados por el PWM del PLC, mismos que se pueden cambiar de forma rápida y se explican en la figura 7. Porque la maquina en este proceso de mecanizado no realiza el desbaste de materia todo el tiempo, debido a las pérdidas de arco eléctrico por falta de ionización del fluido dieléctrico



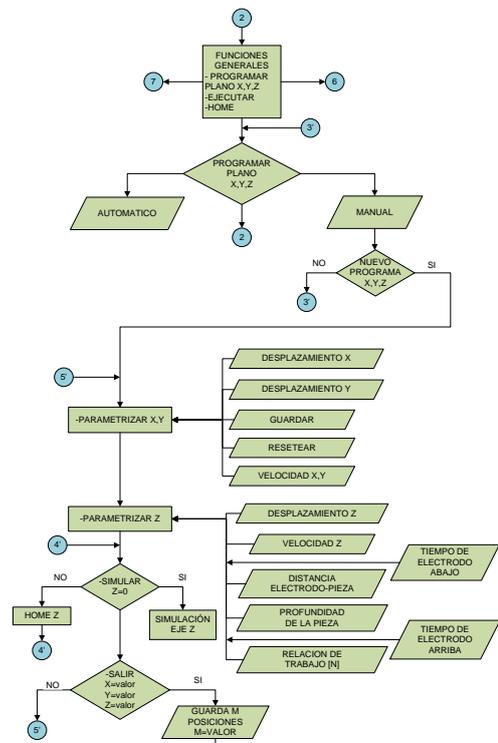
Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 7. Pérdidas de arco eléctrico por falta de ionización del fluido dieléctrico

C. Diseño de la Interfaz Hombre-máquina

PROGRAMAR PLANO X, Y, Z (MANUAL - AUTOMÁTICO).

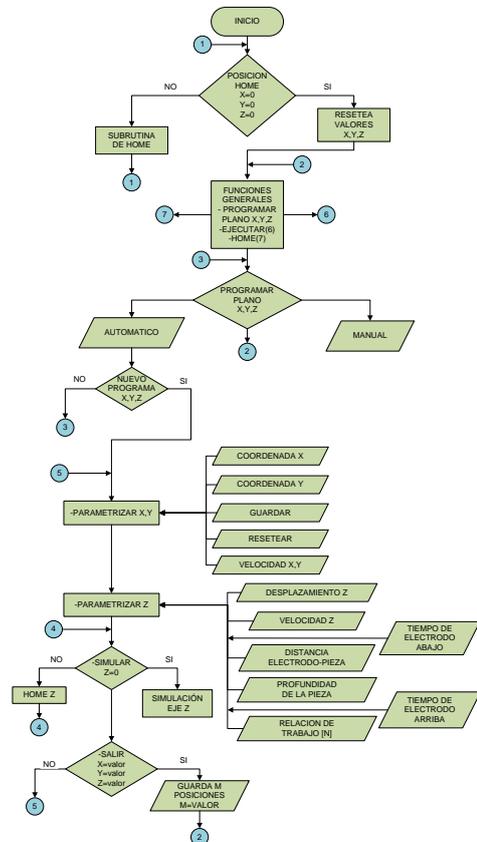
Para el desarrollo de la programación se consideró dos modos, el manual figura 8 y el modo automático figura 9, en los cuales se estableció memorias retentivas para guardar posiciones en los ejes X e Y, mientras que para el eje Z se elaboró una relación de trabajo [n], para el mecanizado por electroerosión.

❖ Manual:



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 7. Diagrama de flujo de programación en modo manual.

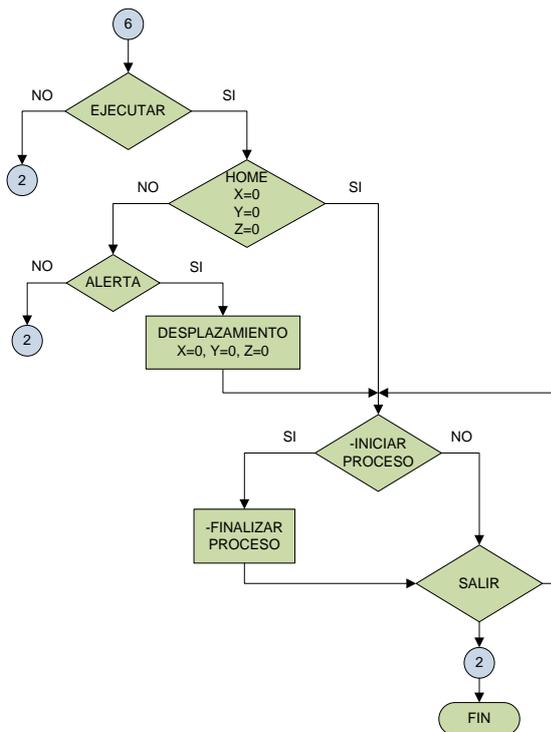
❖ Automático :



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 8. Diagrama de flujo de programación en modo automático EJECUTAR.

En la figura 9, se representa el diagrama de flujo de la función ejecutar del programa donde todas las M posiciones guardadas en los ejes (X, Y) y los parámetros de trabajo en el eje Z (distancia electrodo pieza, distancia de retroceso, profundidad de la pieza, relación de trabajo, tiempo de espera abajo y arriba), para el mecanizado por descarga eléctrica.

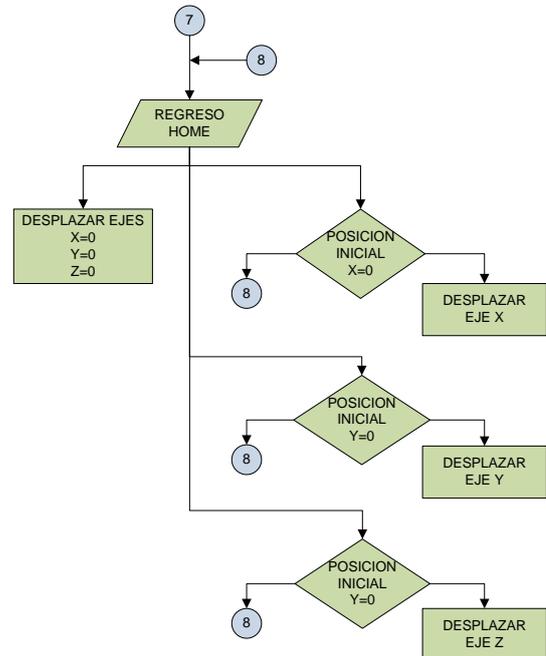
Consecutivamente con las salidas de cada variable se monitorea las posiciones de avance de los ejes (X, Y, Z), la frecuencia en la erosión y el motor de la bomba del dieléctrico, tanto para el modo manual – automático.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 9. Diagrama de flujo de de la ejecución del programa en modos manual – automático

HOME.

Para el diagrama de flujo de home figura 10, se elaboró de dos formas, por ejes individuales y un general (X, Y, Z), permitiendo al usuario regresar los valores a su cero máquina.



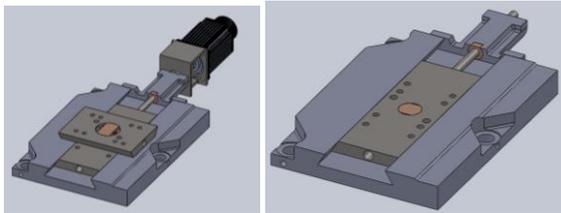
Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
 Figura 10. Diagrama de flujo de home en X, Y, Z.

D. Parámetros de rediseño del sistema mecánico.

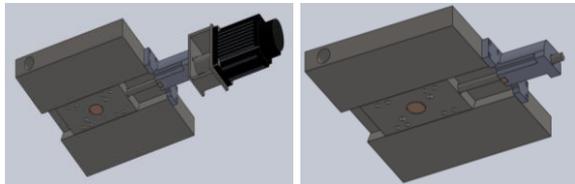
A partir de la evaluación inicial de la máquina se nota claramente que la misma no cuenta con ningún sistema de transmisión de movimiento en el eje Z, por lo tanto se inicia con el análisis de la posición, alcance de desplazamiento y velocidad, para realizar un diseño eficiente que cumpla los requisitos de las existentes en el mercado, para así garantizar un adecuado funcionamiento y rango de operatividad de la máquina.

Mecanismos del sistema de transmisión de movimiento.

Mecanismos para el recorrido longitudinal figura 11 y mecanismo para el recorrido transversal Figura 12, se conservaron las guías prismáticas originales para el movimiento de los eje X, Y, pero se agregaron los adaptadores para sujetar al servomotor y se modifica los soportes para alojar a los nuevos tornillos sin fin que son fueron realizados con el mismo paso de los originales pero alargados 10 cm para ganar mayor desplazamiento de la mesa de trabajo

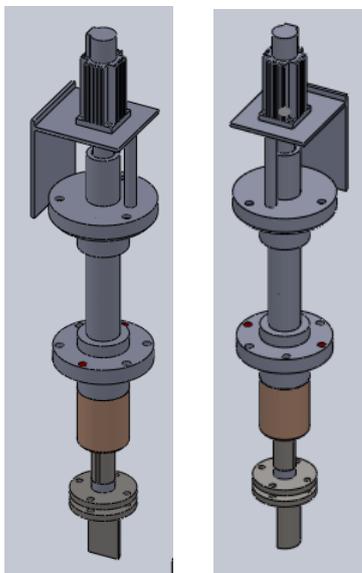


Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 11. Mecanismo longitudinal.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 12. Mecanismo transversal.

El Mecanismo para el recorrido vertical figura 13, se diseña en su totalidad, esto debido a que la máquina no contaba con este sistema de transmisión en el eje z.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 13. Mecanismo recorrido vertical

II. DESARROLLO

A. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA.

La funcionalidad de la máquina estará definida por los siguientes parámetros tabla 2, que son compatibles con las máquinas electroerosionadoras industriales similares y existentes en el mercado.

Tabla 2. Características generales de la máquina de electroerosión

Característica	Descripción
Ejes de trabajo	X, Y, Z
Recorrido longitudinal del eje X	0mm – 100 mm
Recorrido transversal del eje Y	0mm – 100 mm
Recorrido vertical del eje Z	0mm - 131 mm
Dimensiones internas del tanque	25 cmx33 cmx20 cm
Capacidad de dieléctrico	4 gal
Peso máximo del electrodo	0.3 kg
Peso máximo de la pieza	5 kg
Máximo longitud de pieza	25 cm
Máximo ancho de pieza	18 cm
Máximo altura de pieza	8 cm
Dimensiones de la máquina	80 cmx80 cmx200 cm
Peso de la máquina	2 Ton
Distancia desde el electrodo hasta la mesa de trabajo	13 cm
Potencia máxima del generador	2 KVA

III. PROCEDIMIENTO / MEDICIONES

A. PRUEBAS DEL MECANIZADO POR DESCARGA ELÉCTRICA.

Una vez revisado que la máquina opere a la precisión requerida se inician las pruebas de mecanizado, realizando una comparación entre electrodos de distinto material, en este caso cobre electrolítico y grafito, se escogieron estos materiales porque son los más comúnmente utilizados en este tipo de mecanizado.

Para la primera prueba se realizó con un electrodo de cobre electrolítico figura 13, donde se observó que existe un desgaste considerable de 0.9mm.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 12. Electrodo de cobre electrolítico

Después se realizaron pruebas con un electrodo de grafito figura 13, dando como resultado que este presenta un desgaste menor de 0.1mm.



Fuente: Lara Roberto, Quispe Alexander
Figura 12. Electrodo de grafito

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. ANÁLISIS DE RAPIDEZ DE REMOCIÓN CON UN ELECTRODO DE COBRE ELECTROLÍTICO.

Para este análisis se realizaron pruebas a distintos parámetros de corriente y frecuencia con el electrodo de cobre dando como resultado la tabla 3.

Tabla 3. Rapidez de remoción del electrodo de cobre

Profundidad	Volumen	Tiempo	Rapidez de remoción
3 mm	3870.96m ³	3,2 horas	19.35 m ³ /min
4 mm	5161.28m ³	4,15 horas	20.24 m ³ /min
3 mm	3750m ³	3 horas	20.83 m ³ /min
6 mm	7500m ³	6,4 horas	18.75 m ³ /min

Estos valores están dentro de los rangos de trabajo de las máquinas electroerosionadoras convencionales y existentes en el mercado.

B. ANÁLISIS DE RAPIDEZ DE REMOCIÓN CON UN ELECTRODO DE GRAFITO.

Nuevamente se realizaron pruebas a distintos parámetros de corriente y frecuencia, pero esta vez se las realizó con el electrodo de grafito dando como resultado la tabla 4.

Tabla 4. Rapidez de remoción del electrodo de grafito

Profundidad	Volumen	Tiempo	Volumen de remoción
9 mm	5806.44m ³	8 horas	12.09 m ³ /min
10 mm	6451.6m ³	9 horas	11.94 m ³ /min
9 mm	4572m ³	8 horas	9.52 m ³ /min
9 mm	5715m ³	8 horas	11.90 m ³ /min
7 mm	4516.12m ³	6 horas	12.54 m ³ /min

Y nos dimos cuenta que la máquina cumple con los parámetros de funcionamiento de otras máquinas electroerosionadoras disponibles en el mercado.

V. CONCLUSIONES

- Se rediseño y construyo en base a la estructura principal el sistema de transmisión mecánico para los tres ejes, logrando así una reincorporación de la máquina en el mercado de la fabricación de moldes y matrices.
- Dentro de los electrodos que se puede utilizar para la fabricación de moldes de acero, el cobre electrolítico presenta un mayor desgaste versus el grafito.
- Se diseñó la transmisión de movimiento de los ejes X, Y, Z con un paso fino para un desplazamiento preciso (1mm*1000pulsos) en milésimas mediante un control en lazo cerrado.
- Se diseñó e implementó el programa de control para los movimientos de los tres ejes de la máquina electroerosionadora en modo manual y automático, permitiendo de esta manera introducir sentencias de control por planos para el eje X, Y, mientras que para el eje Z el desarrollo de una relación de trabajo para el mecanizado por electroerosión.
- Se diseñó el circuito de electroerosión para una corriente máxima de 10 A, con una tasa de remoción que bordea entre los rangos de 35 a 40 minutos por 1mm.
- Se desarrolló una interfaz hombre-máquina para el control y monitoreo de los movimientos de los ejes, y así controlar de mejor manera el proceso de electroerosión por posiciones.
- Se realizó un sistema de circulación continuo de fluido dieléctrico mediante una bomba, para desalojar las partículas pulverizadas y crear un medio ideal para el proceso por descarga eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Elman C., J. (2001). *Electrical Discharge Machining*. Estados Unidos: SME Society of Manufacturing Engineers.
- Helmi A., Y., & El-Hofy, H. (2008). *Machining Technology: Machine Tools and Operations*. Estados Unidos: CRC Press.
- SCHEY, J. (2000). *Procesos no tradicionales de maquinado* (4ta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Solá, P. M. (1989). *Electromecanizado: electroerosión y mecanizado electroquímico*. Barcelona: Marcombo Boixareu Editores.

BIOGRAFÍA



¹ **Roberto Lara**, nació en la ciudad de Ambato Ecuador. Es Ingeniero Mecatrónico.



² **Alexander Quispe**, nació en la ciudad de Latacunga Ecuador. Es Ingeniero Mecatrónico.

Registro de la publicación

Fecha recepción

Fecha aceptación

Revisado por: