

**Propuesta de optimización en la operación de la máquina erosionadora de hilo en la
empresa Grupo Wedm**

Cristian Andres Cuero Perez

Director

ING Alejandro Esteban Castillo Ruiz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Industrial

2024

Resumen

Actualmente la industria metalmecánica está en pro de su actualización de maquinaria con el fin de ser más competitiva, Grupo Wedm es una compañía la fabricación de piezas metalmecánica a la industria “farmacéutica, aeroespacial, automotriz y alimentaria “con el fin de ser competitivo actualmente posee una maquina erosionadora de hilo es una tecnología poco usada en esta industria, pero muy efectiva realiza cortes precisos mediante alambre de latón. Para la compañía es una tecnología nueva y aún no ha conseguido estandarizar los tiempos de mecanizado, su eficiencia y sus tiempos de producción son excesivamente largos en este trabajo se investiga las causa del por qué este suceso, para poder lograr este objetivo es necesario comprender el software CAM que utiliza la compañía en este caso Mastercam el paso a paso de su programación, por otro lado la maquina erosionadora de hilo cuenta con parámetros de cortes que relaciona su voltaje y amperaje que se representa como ; intensidad, velocidad del hilo, potencia, rugosidad, fluido dieléctrico. Estos valores son obtenidos del manual de maquina por lo tantos. Se realiza un diseño mediante metodología Taguchi, implementando métodos de pruebas con el fin de encontrar el parámetro ideal teniendo en cuenta la correlación de software y parámetros en este trabajo se logra estandarizar parámetros de corte en dicha máquina y optimizar su rendimiento de acuerdo a el tipo de metal que se mecanice logrando calcular su tiempo óptimo de mecanizado logrando su caracterización, como beneficio tener mejores tiempo de productividad y ser competente a nivel de industrias de la región.

Palabras claves: erosionadora de hilo, metalmecánica, metodología Taguchi, optimización.

Abstract

Currently the metalworking industry is in favor of updating its machinery in order to be more competitive, Wedm Group is a company that manufactures metalworking parts for the “pharmaceutical, aerospace, automotive and food” industry in order to be competitive. It currently has A wire eroding machine is a rarely used technology in this industry, but it is very effective in making precise cuts using brass wire. For the company, it is a new technology and it has not yet managed to standardize machining times, its efficiency and production times are excessively long. In this work, the cause of this event is investigated. In order to achieve this objective, it is necessary to understand the CAM software used by the company in this case Mastercam the step by step of its programming, on the other hand the thread eroding machine has cutting parameters that relate its voltage and amperage which is represented as; intensity, wire speed, power, roughness, dielectric fluid. These values are obtained from the machine manual therefore. A design is carried out using Taguchi methodology, implementing testing methods in order to find the ideal parameter taking into account the correlation of software and parameters. In this work it is possible to standardize cutting parameters in said machine and optimize its performance according to the type. Of metal that is machined, managing to calculate its optimal machining time, achieving its characterization, as a benefit of having better productivity times and being competent at the level of industries in the region.

Keywords: wire eroder, metalworking, Taguchi methodology, optimizati

Tabla de Contenido

Introducción	9
Planteamiento del Problema	10
Justificación	12
Objetivos.....	13
Marco Referencial.....	14
Estado del Arte	14
Revisión de Literatura	26
Marco Conceptual	28
Metodología	31
Documentar el Funcionamiento de Software y sus Parámetros	31
Realizar Pruebas de Corte Analizando sus Datos Mediante el diseño Experimental del Método Taguchi.....	31
Implementar La Caracterización de la Erosionadora de Hilo	32
Caracterización	33
Desarrollo, Análisis y Resultados.....	34
Parámetros de Corte Según la Tabla de Tecnologías.....	46
Análisis de la Interpretación y Documentación del Funcionamiento de Software con sus Parámetros:	52
Pruebas de Corte Analizando sus Datos Mediante el Diseño Experimental del Método Taguchi	53
Análisis de Pruebas	59

Objetivo Específico 3 Caracterización de la Erosionadora de Hilo	61
Aplicación de los Resultados	66
Análisis de los Resultados	69
Conclusiones.....	72
Referencias Bibliografía	74

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Resultados de pruebas</i>	55
Tabla 2 <i>Parámetros con tiempo</i>	58
Tabla 3 <i>Tipos de aceros</i>	68

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Esquema del corte por hilo</i>	15
Figura 2 <i>Cortes cónicos</i>	15
Figura 3 <i>Geometrías complejas de gran calidad</i>	21
Figura 4 <i>Corte de 2 y 4 ejes</i>	23
Figura 5 <i>Desarrollo del diseño de experimentos</i>	26
Figura 6 <i>Inicio Mastercam</i>	35
Figura 7 <i>Pestaña Wire EDM</i>	35
Figura 8 <i>Trayectoria de herramienta</i>	36
Figura 9 <i>Configuración de parámetros</i>	37
Figura 10 <i>Wire power</i>	38
Figura 11 <i>Compensation left</i>	39
Figura 12 <i>Compensation right</i>	39
Figura 13 <i>Leads</i>	40
Figura 14 <i>Leads arcos y entrada</i>	40
Figura 15 <i>Taper top</i>	41
Figura 16 <i>Taper bottom</i>	41
Figura 17 <i>Taper top</i>	42
Figura 18 <i>Taper alturas</i>	43
Figura 19 <i>Gráfico de la geometría</i>	44
Figura 20 <i>Simulación</i>	45
Figura 21 <i>Pantalla generadora de código</i>	46

Figura 22 <i>Ilustración de parámetros</i>	47
Figura 23 <i>TD</i>	48
Figura 24 <i>VS</i>	49
Figura 25 <i>Parámetro general de máquina</i>	51
Figura 26 <i>Medida de datos</i>	57
Figura 27 <i>Parámetros ideales</i>	59
Figura 28 <i>Precisión y acabado</i>	59
Figura 29 <i>Aceros</i>	63
Figura 30 <i>Cobre y aluminios</i>	64
Figura 31 <i>Tungstenos</i>	65
Figura 32 <i>Ejemplo de segmento</i>	67
Figura 33 <i>Registro bitácora</i>	71

Introducción

Este trabajo esta inicialmente enfocado en la solución a una problemática para la empresa Grupo Wedm es una compañía prestadora de servicios en el campo de la metalmecánica en la cual abarca diferentes sectores, es de resaltar que la empresa cumple con altos estándares de calidad. La compañía actualmente dentro de su maquinaria cuenta con una maquina erosionadora de hilo marca Actspark su principal función es realizar cortes precisos en geometrías complejas, este tipo de máquinas no son muy usuales en el sector, por lo tanto, la empresa desconoce algunos factores debido a esto se presenta que el equipo brinda el rendimiento óptimo que requiere la producción.

Se realiza un plan de trabajo en donde inicia por comprender el software que utiliza la maquina “Mastercam” entendiendo el paso a paso de su programación la descripción de sus funciones, comprender mediante el manual los parámetros de la maquina un que causa cada función en su rango y su correlación entre parámetros y software.

Se plantea la implementación de la filosofía Taguchi que abarca toda la producción teniendo diferentes métodos de prueba se daría a conocer que parámetros son los ideales se realiza ensayos con diferentes valores al azar por la herramienta Minitad diferente cortes combinando valores entre intensidad, velocidad del hilo, potencia, rugosidad, fluido dieléctrico, de esta manera identificando el mejor tiempo y acabado, se realizaría un diagnóstico de los ensayos logrando lo anterior se procede a realizar la caracterización de la maquina realizando ejemplos en tiempo real, obteniendo como beneficios tiempo reales, impactar de forma positiva su producción reduciendo tiempos de entrega.

Planteamiento del Problema

Grupo Wedm es una empresa dedicada a la prestación de servicio a nivel metalúrgico atendiendo a diferentes sectores entre ellos; alimentarios, farmacéuticos, automotriz y aeronáutico entre otro. Por lo tanto, para suplir necesidades de los clientes la compañía cuenta con diferentes tipos de maquinaria como; tornos, fresas, rectificadora, centros de mecanizado, y EDM de penetración e hilo.

Actualmente la compañía cuenta con una erosiona dora de hilo marca Actspark, esta es una herramienta de mecanizado que utiliza la energía eléctrica para erosionar materiales duros y resistentes, permitiendo la fabricación de piezas de alta precisión con formas y tamaños complejos. Con su capacidad para producir piezas de alta calidad y precisión, es una tecnología ampliamente utilizada en diversas industrias que buscan producir piezas de alta precisión dimensional y formas complejas. La máquina funciona en relación por un lado un programada por un software que genera códigos, generando coordenadas y por otro lado unos parámetros dados por el operario relacionados con su velocidad de corte voltaje, potencia entre otros. Actualmente la eficiencia de la maquina no está a nivel del requerimiento de la compañía y al realizar validaciones se logra identificar que genera diferentes problemas en su funcionalidad, no está realizando su función como se espera.

Estos inconvenientes han llevado a una extensión exagerada en los tiempos de trabajos, malos acabados en las piezas “rugosidad excesiva” rompimiento del hilo muy frecuente piezas dañadas fuera de las medidas especificadas. Por otro lado, se ha generado gran preocupación por los dirigentes de la compañía. Ya que los comerciales realizan la cotización con un tiempo.

Estimado en que demora el trabajo en horas máquinas. Para contrarrestar lo anterior es necesario realizar una investigación, realizar diferentes pruebas y estandarizar parámetros de corte de la maquina se debe analizar su correlación entre sus diferentes aspectos. Es necesario medir el tiempo real y sus acabados.

¿Cómo se pueden optimizar los parámetros de corte de la máquina erosionadora de hilo marca Actspark en Grupo Wedm para mejorar su eficiencia, reducir los tiempos de trabajo y garantizar la calidad de los acabados en las piezas producidas?

Justificación

La justificación de este trabajo se enfoca en la necesidad de abordar los desafíos operativos y mejorar el rendimiento de la máquina de erosión de hilo en la empresa Grupo Wedm. Su estandarización y optimización es muy importante implantar debido a que, la máquina de erosión presenta problemas de eficiencia y tiempos de producción excesivos no está estandarización en sus parámetros operativos. La tecnología, del equipo, aunque es avanzada y prometedora, no ha sido el resultado esperado por la compañía por este motivo se plantea como objetivo principal investigar y solucionar estos problemas mediante la comprensión y mejora de la relación entre el software CAM utilizado (Mastercam) y los parámetros operativos de la máquina en su erosión por hilo.

La implementación de una metodología rigurosa, como es la metodología Taguchi, que permitirá identificar los parámetros ideales y optimizar el rendimiento de la máquina. Se centrará en definir y aplicar parámetros operativos estandarizados que aseguren consistencia en la producción, mejorando la precisión y calidad de las piezas producidas, garantizando tiempos de entrega más rápidos, obtener eficiencia en los Procesos reduciendo los tiempos de producción y optimizar el uso de recursos, lo que se traduce en una mayor capacidad de producción. Ofreciendo productos de mayor calidad a costos reducidos, mejorando la competitividad en el mercado ya que una máquina de erosión de hilo eficiente y bien ajustada no solo mejora los tiempos de entrega y reduce costos, sino que también eleva la calidad de los productos. Esto es crucial para satisfacer las expectativas de los clientes y destacar frente a la competencia en los diferentes sectores.

Objetivos

Objetivo General

Proponer propuesta de optimización en la operación de la máquina erosionadora de hilo en la empresa Grupo Wedm.

Objetivos Específicos

Documentar funcionamiento de software y sus parámetros.

Realizar pruebas de corte analizando sus datos mediante el diseño experimental del método Taguchi.

Implementar caracterización de la erosionadora de hilo.

Marco Referencial

En el presente marco teórico se evidencia referencia de trabajos, conceptos que describen la ideología de los objetivos principales de esta investigación para su respaldo, por lo tanto, es importante conocer datos relevantes y antecedentes desde su inicio.

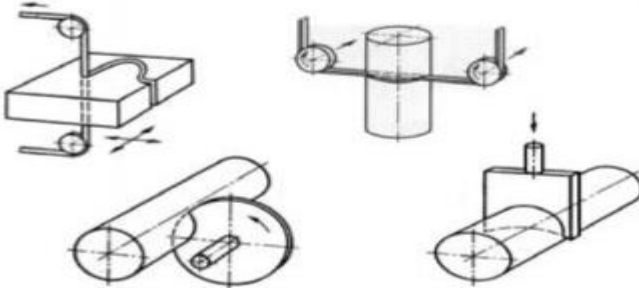
Estado del Arte

La industria metalúrgica a nivel que va evolucionando asume nuevos retos en la transformación de materia, de tal manera que todas las geometrías no se pueden realizar de la manera convencional la erosionadora de hilo es una gran alternativa para asumir estos retos Ortiz (2013) señala que es necesario implementar esta tecnología con el fin de atacar las figuras complejas, y materiales que con alta relación de dureza ya que al mecanizarlos estos tienden a deformarse por su desprendimiento de viruta al mecanizar por lo tanto plantea un sistema de mecanizado híbrido teniendo en cuenta complejidad del trabajo a realizar.

Desde otro punto de vista Blanco (2014) asegura que para mecanizar en erosionadora de hilo las piezas deben ser pasantes es posible realizar cortes en forma de cono realizando un descentre entre las boquillas inferior y superior, tiene como beneficio su rapidez al realizar los mecanizados a comparación de la erosión por penetración ya que esta debe tener una geometría para dar forma, debe tener en múltiples ocasiones electrodo de aproximación y de definido, en la erosión por hilo se resalta que el electrodo es el hilo y no se mecaniza tiene influencia de desgaste del tal manera da como resultado precisión.

Figura 1

Esquema del corte por hilo



Nota. Se muestra las condiciones para mecanizar las piezas deben ser pasantes para que el hilo enhebre libre *Fuente.* Blanco (2014).

Figura 2

Cortes cónicos



Nota. Se visualiza un claro ejemplo de cómo son los cortes en forma cónicas. *Fuente.* Blanco (2014).

Mahapatra (2006) señala que en cualquier tipo de proceso de erosión todos los parámetros cumplen un papel importante para su proceso de optimización, que su interrelación debe ser muy profunda su investigación es decir que solo un factor no es significativo al momento de optimizar sus parámetros.

Chavarro (2016) asegura que mediante el método Taguchi fue posible realizar métodos de experimentos “usando un arreglo ortogonal L27 Taguchi, fue posible analizar el efecto de las variables eléctricas, de limpieza y del diámetro del electrodo sobre las características del mecanizado de perforaciones de pequeño diámetro en piezas de acero rápido DIN 1.3344. El análisis de los resultados experimentales y su conversión a señales de ruido permitieron optimizar la tasa de remoción de material, la velocidad de avance de perforación, el desgaste del electrodo y la rugosidad superficial” el uso del arreglo ortogonal L27 de Taguchi permitió al investigador un análisis detallado y una optimización efectiva de las variables del proceso de mecanizado, mejorando así la eficiencia y la calidad del proceso.

Desde otro punto de vista Castro (2014) menciona que para su investigación. “El método facilitó la experimentación con factores no controlables, la depuración de las variables del proceso de producción de café soluble que afectaban sus resultados y la evaluación cuantitativa de la pérdida de calidad debido a variaciones funcionales. En forma adicional, los resultados ofrecen información valiosa para las empresas del sector, que les permite abordar proyectos de mejoramiento de la calidad en este tipo de procesos” el método Taguchi es una herramienta poderosa para optimizar el proceso de producción, permitiendo a las empresas identificar y controlar variables críticas, cuantificar pérdidas de calidad y, en última instancia, mejorar la calidad del producto final.

En los antecedentes de la tecnología de erosión de hilo los orígenes señalan que “la electroerosión podríamos remontarlos a 1770, cuando el sabio inglés Priestley dejó ya constancia del efecto erosivo de las descargas eléctricas sobre metales conductores de calor y electricidad.

Pero fue en 1943, cuando el matrimonio ruso B.R. y N.I. Lazarenko tuvieron la idea de explotar el efecto erosivo de las descargas eléctricas y desarrollar un nuevo método de arranque de viruta sin contacto entre la pieza y la herramienta, llamado electroerosión. Lazarenko fue el primero en crear un generador, por medio de un circuito eléctrico muy sencillo. Por ello este primer generador lleva el nombre de Circuito de Lazarenko. Posteriormente fue llamado Generador de Relajación.-2” Metalunivers (2002).

Las primeras aplicaciones de la electroerosión “se realizó en la U.R.S.S. y la llevaron a cabo los esposos B. y N. Lazarenko, al poner a punto, en el Instituto Técnico de Moscú (U.R.S.S.), los primeros circuitos preparados para realizar trabajos de electroerosión. En el transcurso de la Segunda Guerra Mundial en la U.R.S.S. se activó esta técnica”. Barrera (2024).

Barrera (2024) respalda afirmando que la tecnología de la electroerosión permaneció desconocida hasta que en los inicios de la década de los 50 empezó a interesar al mundo industrial, especialmente en los EE.UU. donde alcanzó, desde entonces, un gran desarrollo. Actualmente se aplica, tanto en América como en Europa, en la fabricación de hileras, herramientas de torno y fresa, troqueles, estampas, matrices, moldes para inyección, etc. y en materiales tan dispares como los aceros aleados, las superaleaciones níquel, cromo y cobalto y en las pseudoaleaciones base carburo de tungsteno.

La importancia de la correlación de la electricidad y el mecanizado brinda soluciones a nivel de ingeniería de tal manera es importante reconocer quien llevo a cabo el proceso desde su inicio, logrando transformación de materiales de manera eficaz siempre y cuando sea conductores con gran precisión.

Los fundamentos como ya se ha apuntado en el capítulo anterior Barrera (2024) señala que las nociones de electro mecanizado, el fundamento de la electroerosión estriba en el efecto térmico ocasionado por la descarga eléctrica al saltar la chispa entre electrodos: pieza a mecanizar y electrodo-útil y, sobre todo, el efecto dinámico consecuente del arco. Esto ocurre al final de la descarga, cuando se corta la intensidad de corriente, la presión desciende considerablemente en el interior de la burbuja y se produce una vaporización explosiva del metal fundido de la pieza a mecanizar. Este fenómeno origina la formación de pequeñas y numerosas partículas esféricas. Si entre electrodo y pieza sólo existiera aire no se produciría electroerosión, ya que al saltar la chispa se ionizaría el aire, ramificando las descargas.

En el funcionamiento y los parámetros de la máquina de erosiónadora de hilo el proceso de erosión por hilo es complejo por lo que se mecaniza geometrías complejas con un nivel de precisión exigente, por lo tanto, es necesario conocer el funcionamiento y sus parámetros ocasionalmente se utilizan métodos convencionales sin resolver el interrogante como, ¿Lo estoy haciendo bien? o ¿lo puedo hacer mejor? Por lo anterior se respalda la información con libros y tesis con el fin de tener éxito en la investigación.

El mecanizado por descarga eléctrica, o EDM, “es un proceso sin contacto que puede mecanizar piezas independientemente de su dureza. Consiste en colocar un electrodo o alambre y una pieza conductora de electricidad en un fluido dieléctrico en circulación”. Pere (1989) vale resaltar que el proceso de erosión no funciona como contacto directo entre material y cobre o hilo su trabajo es por medio de descargas eléctricas contante generando desprendimientos de material.

El fluido actúa como aislante hasta que un espacio de chispa y un voltaje específicos lo ionizan y permiten que una chispa se desplace hasta la pieza. Esta chispa tiene una temperatura de entre 8,000 y 12,000° C (14,430 y 21,630° F) lo suficientemente alta como para erosionar parte de la pieza. La electroerosión por hilo alimenta un hilo desde una bobina proveedora hasta la pieza de trabajo mediante un sistema de drives de hilo. “El hilo se energiza mediante contactos eléctricos y pasa a través de la pieza de trabajo a una velocidad específica determinada por la operación en cuestión. Un chorro o baño de agua desionizada rodea el alambre, y se emiten chispas continuamente a lo largo del mismo” Pere (1989) en el proceso de erosión es importante tener en cuenta que el fluido eléctrico va atado con el proceso, como se menciona anteriormente los electrodos o alambre tienden a elevar su temperatura por lo tanto debe refrigerarse para controlar su temperatura.

Proceso de corte aplicando de la electroerosión es un proceso de corte no convencional, es decir, no corta la pieza por métodos mecánicos según Barrera (2024) dice que. Se utiliza un electrodo de hilo móvil que atraviesa la pieza de trabajo y que es supervisado con precisión por un sistema CNC. Como ya se mencionó, la electroerosión por hilo elimina material con electricidad mediante la erosión por chispas, por lo que el material a cortar debe ser eléctricamente conductor. Se generan pulsos eléctricos rápidos de corriente continua entre el electrodo y la pieza entre el alambre y la pieza se tiene una interfaz de agua desionizada, denominada dieléctrico. El agua pura es un aislante, aunque el agua del grifo suele contener minerales que la hacen demasiado conductora para la electroerosión por hilo. Para controlar la conductividad del agua, ésta pasa por un depósito de resina para eliminar gran parte de sus elementos conductores, lo que se denomina agua desionizada. A medida que la máquina corta, la

conductividad del agua tiende a aumentar, y una bomba fuerza automáticamente el paso del agua por un depósito de resina cuando la conductividad del agua es demasiado alta. Cuando se aplica una tensión eléctrica suficiente, el fluido se ioniza y una chispa controlada erosiona con precisión una pequeña sección de la pieza, provocando su fusión y vaporización. Estos pulsos eléctricos se repiten miles de veces por segundo. El dieléctrico enfría el metal vaporizado y lo expulsa del hueco las partículas erosionadas Re solidificadas. El fluido dieléctrico pasa por un filtro que elimina los sólidos en suspensión. La resina elimina las partículas disueltas y los filtros eliminan las partículas en suspensión. Para mantener la precisión del proceso, el fluido dieléctrico pasa por un enfriador para mantener el líquido a una temperatura constante.

Demaquinas & Herramientas (2013) para interpretar mejor este concepto es importante recocer los conceptos básicos en el proceso y su operación con el fin de realizarse más eficiente la principal función de la erosión por hilo consiste en cortar material mediante la electricidad ocasionando un arco con chispa creando pulsos continuos entre el electrodo en este caso es el hilo “alambre” y pieza para lograr que el hilo pueda realizar su función debe funcionar un agua desionizada dieléctrico que se accionaria como aislante es importante resaltar que esta agua de pasar por un proceso mediante una resina para eliminar su conductividad.

Entre las características principales de la electroerosión por hilo podemos citar:

Se generan geometrías únicamente pasantes en la pieza, en función de la trayectoria recorrida por el hilo, pudiendo realizarse cortes rectos y cortes cónicos.

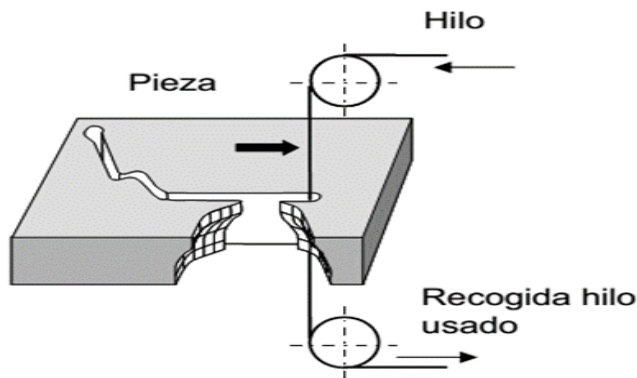
El fluido dieléctrico es agua des ionizada.

Dado que el hilo es muy delgado, la energía utilizada es limitada y las tasas de extracción son bajas.

Aplicaciones: conjuntos punzón-matriz, insertos para moldes, componentes electrónicos, como así también para medicina y relojería.

Figura 3

Geometrías complejas de gran calidad



Nota. Muestra los cortes complejos que puede realizar le erosionadora de hilo. *Fuente.*

Demaquinas & Herramientas (2013).

(Mayorga, 2020) nos afirma que los parámetros de la máquina de erosión de hilo se distribuyen en:

Período (t_p): Tiempo que pasa desde el comienzo de un impulso hasta el comienzo del impulso siguiente.

Tensión de descarga (U_f): Tensión entre electrodo y pieza después de cebada la descarga.

Tensión en vacío (U_0): Tensión entre electrodo y pieza antes de cebada la descarga, o tensión entre electrodos si no hay descarga.

Impulso de tensión: Tensión aplicada a ambos electrodos durante un tiempo determinado.

Intensidad media de corriente (I_{fm}): Valor medio de la corriente que circula por el gap durante el mecanizado. Es el valor leído en el amperímetro.

Intensidad de impulso (i_f): Intensidad que circula por el gap durante una descarga.

Tiempo de descarga (t_f): Tiempo durante el cual pasa la descarga hasta que eléctricamente se corta la corriente.

Tiempo de impulso (t_i): Tiempo que dura el impulso de erosión entre ambos electrodos.

Tiempo de pausa (t_0): Intervalo de tiempo que transcurre entre el final de un impulso y el comienzo del siguiente. Se verifica que: $t_p = t_i + t_0$.

Tiempo de retraso de descarga o de ionización (t_d): Tiempo que transcurre entre la aplicación del impulso de tensión y el comienzo de descarga. Suele ser muy pequeño, del orden de 0,5 a 2 μs . Se cumple que: $t_i = t_d + t$.

El trabajo se centró en identificación de identificar parámetros de la maquina con el fin de comprender la causa de cada uno de ellos de tal manera conocer que ocasiona cada uno de ellos en la máquina.

Software

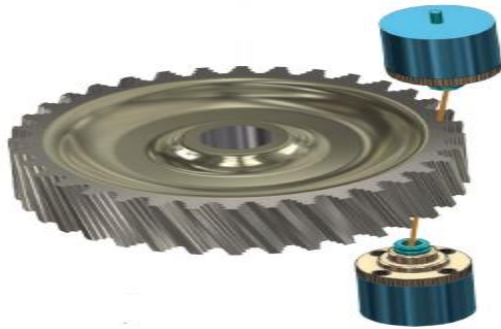
Cadavshmei (2020) indica que Mastercam wire te permite mover un solo archivo de la pieza entre máquinas, ahorrando tiempo y evitando errores. Las bibliotecas de cables personalizables por el usuario almacenan la configuración de energía y otros registros para pases brutos y decrementos otras características incluyen:

Creación y gestión eficiente de pestañas.

Configuraciones de control para tipos de esquina y ángulos cónicos en cualquier punto del contorno.

Figura 4

Corte de 2 y 4 ejes



Nota. Visualizamos Corte recto o cónico desde cualquier dirección. *Fuente.* Cadavshmei (2020).

El programa CAM en este caso Mastercam actúa como un puente entre el diseño digital y la máquina CNC, traduciendo las especificaciones de diseño en instrucciones que la máquina puede seguir para producir el objeto físico deseado.

Diseño Experimental Mediante Método Taguchi

El método Taguchi se ha utilizado en una amplia gama de industrias, incluyendo la manufactura, la ingeniería de software, la salud, entre otras, para mejorar la calidad y reducir los costos de producción. Su enfoque en la minimización de la variabilidad y la optimización del proceso lo convierten en una herramienta poderosa para mejorar la competitividad y la eficiencia en cualquier entorno de producción.

Villafranca & Ramajo (2004) asegura que el diseño de experimentos es un procedimiento que se utiliza en aquellos procesos en los se desea determinar si una o más variables independientes (factores) tienen influencia sobre la media de una variable respuesta. Evalúa simultáneamente en una misma experimentación los efectos de los factores y sus interacciones; permite un análisis completo de los resultados experimentales.

Taguchi innovó y simplificó el diseño de experimentos con la introducción de las tablas conocidas como arreglos ortogonales (A.O.), que son una modificación de las matrices de Hadamard (matrices ortogonales $n \times n$). A través de un A.O. Se determina de una manera estandarizada la combinación de los niveles de los factores que se probarán en cada ensayo. Los A.O. permiten examinar hasta un total de $n-1$ factores, siempre y cuando no se consideren las interacciones entre los mismos. Facilitan y, en algunos casos, reducen gran parte del esfuerzo del diseño experimental porque posibilitan evaluar simultáneamente numerosos factores con un número mínimo de ensayos, permitiendo así una disminución en los recursos necesarios para la experimentación.

El método de diseño de experimento podemos apoyarnos en las afirmaciones de Sánchez (2022) que señala que el método Taguchi es ampliamente utilizado en la industria manufacturera y en otros campos donde la optimización de la calidad es fundamental. Su enfoque en la minimización de la variabilidad y la optimización del proceso ha demostrado ser efectivo para mejorar la calidad y reducir los costos de producción.

Diseño Robusto – es la búsqueda por el juego de condiciones para lograr un comportamiento del proceso óptimo.

Minimización de la función de pérdida s la minimización de la pérdida económica debido a las corridas en condiciones no-óptimas.

Maximización de la Señal razón a Ruido – es el alcance de los mejores objetivos del proceso bajo las condiciones no controlables (ruido).

Selección del diseño experimental para examinar las Gráficas Lineales, que permiten además la investigación de las interacciones de los efectos deseados, basados en el proceso conocido.

Figura 5

Desarrollo del diseño de experimentos



Nota. Descripción de mapa de proceso en el desarrollo experimental. *Fuente.* Castro (2014).

Revisión de Literatura

La introducción a la máquina de erosión de hilo Mostafa & Shehata (2022) nos aseguran que la máquina de erosión de hilo, también conocida como WEDM (Wire Electrical Discharge Machining), es una herramienta de precisión utilizada en la fabricación de componentes complejos que requieren un alto grado de precisión y acabado superficial. La tecnología WEDM utiliza un hilo conductor, generalmente de latón o cobre, que actúa como electrodo y corta el material mediante descargas eléctricas. Esta técnica es especialmente útil en la fabricación de componentes para las industrias aeroespacial, automotriz, médica y electrónica.

La optimización de los parámetros operativos en WEDM es esencial para mejorar la eficiencia y la calidad del proceso. Estudios como el de Mahapatra (2007) han demostrado que factores como la velocidad del hilo, la tensión del hilo, la corriente de descarga y el tiempo de descarga influyen significativamente en la tasa de remoción de material, la rugosidad superficial y la precisión dimensional. La metodología Taguchi es una técnica estadística ampliamente

utilizada para optimizar estos parámetros, permitiendo una identificación sistemática de los factores críticos y sus niveles óptimos Ross (1996).

Uso del Software CAM en WEDM

El software CAM (Computer-Aided Manufacturing) es una herramienta crucial en la programación y control de las máquinas WEDM. Mastercam, uno del software CAM más populares, facilita la generación de trayectorias de corte precisas y la simulación del proceso de mecanizado. Según el estudio de Babu (2019) la integración efectiva de Mastercam con las máquinas WEDM puede mejorar significativamente la precisión y la eficiencia del proceso, reduciendo los tiempos de configuración y minimizando los errores de programación.

Estandarización de Procesos en WEDM

La estandarización de procesos es vital para asegurar la consistencia y la calidad en la producción investigaciones como las de Handilya & Jain (2011) destacan la importancia de establecer procedimientos operativos estándar (SOPs) que incluyan parámetros de proceso óptimos y protocolos de mantenimiento. Esto no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también reduce la variabilidad y los defectos en los productos finales.

Metodología Taguchi para Optimización

La metodología Taguchi se ha utilizado ampliamente para optimizar los procesos de manufactura debido a su enfoque robusto y eficiente. Esta metodología utiliza diseños experimentales ortogonales para evaluar múltiples parámetros de proceso simultáneamente, identificando las combinaciones óptimas que minimizan la variabilidad y mejoran la calidad Phadke (1989) en el contexto de WEDM, la aplicación de la metodología Taguchi ha demostrado

ser efectiva para mejorar la tasa de remoción de material y la calidad de la superficie Kumar (2022).

La revisión de la literatura destaca la importancia de la optimización y estandarización de los parámetros operativos en las máquinas de erosión de hilo. La implementación de metodologías robustas como la Taguchi, junto con el uso efectivo de software CAM como Mastercam, puede mejorar significativamente la eficiencia y la calidad del proceso. Esto, a su vez, fortalece la competitividad de la empresa en el mercado global.

Marco Conceptual

La electroerosión por hilo (WEDM, por sus siglas en inglés) es una tecnología avanzada en la industria metalúrgica utilizada para cortar materiales conductores con precisión. Esta técnica es esencial para la creación de geometrías complejas que no pueden ser realizadas mediante métodos convencionales de mecanizado. A lo largo de este marco conceptual, se explorarán los fundamentos teóricos, antecedentes históricos, funcionamiento, parámetros operativos, y la optimización de procesos mediante la metodología Taguchi.

La electroerosión por hilo se basa en la utilización de descargas eléctricas controladas para cortar materiales conductores sin contacto físico directo entre la herramienta y la pieza. Este proceso implica la creación de un arco eléctrico entre un hilo conductor (electrodo) y la pieza de trabajo, generando temperaturas extremadamente altas que vaporizan y eliminan pequeñas cantidades de material. El dieléctrico, generalmente agua desionizada, actúa como medio para eliminar las partículas erosionadas y mantener la estabilidad del proceso.

Los orígenes de la electroerosión se remontan a 1770 con las observaciones de Joseph Priestley sobre los efectos de las descargas eléctricas en metales. Sin embargo, fue en 1943 cuando los científicos rusos B.R. y N.I. Lazarenko desarrollaron un método práctico para utilizar este fenómeno en aplicaciones industriales, introduciendo el generador de relajación para controlar las descargas. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado significativamente y se ha aplicado en diversas industrias, incluyendo la fabricación de herramientas y moldes complejos.

La optimización de los parámetros operativos en WEDM es crucial para lograr la máxima eficiencia y calidad del proceso. La metodología Taguchi es una herramienta estadística que permite identificar y optimizar los factores críticos del proceso mediante diseños experimentales ortogonales. Esta metodología se ha utilizado con éxito en diversas industrias para minimizar la variabilidad y mejorar la calidad del producto final.

El proceso de erosión por hilo implica varios parámetros críticos, incluyendo la tensión de descarga, la intensidad de corriente, y el tiempo de impulso. Estos parámetros deben ser cuidadosamente controlados para asegurar un mecanizado preciso y eficiente. El software CAM, como Mastercam, facilita la programación y control de estos parámetros, permitiendo la generación de trayectorias de corte precisas y reduciendo los errores de configuración los parámetros claves:

Período (t_p): Tiempo entre el comienzo de un impulso y el siguiente.

Tensión de descarga (U_f): Tensión entre el electrodo y la pieza durante la descarga.

Intensidad de impulso (i_f): Corriente que circula durante una descarga.

Tiempo de descarga (tf): Duración de la descarga hasta que se corta la corriente.

La metodología Taguchi se utiliza para diseñar experimentos que permitan la optimización de los parámetros del proceso. Utilizando arreglos ortogonales, este método facilita la evaluación simultánea de múltiples factores y sus interacciones, reduciendo el número de experimentos necesarios y mejorando la eficiencia de la optimización.

El marco conceptual presentado proporciona una visión integral de la electroerosión por hilo, desde sus fundamentos teóricos y antecedentes históricos hasta la optimización de sus parámetros operativos mediante la metodología Taguchi. Esta tecnología ofrece soluciones avanzadas para el mecanizado de piezas complejas y materiales de alta dureza, destacándose por su precisión y eficiencia en la industria moderna.

Metodología

En este fragmento de esta investigación demuestra el método de cómo se resuelve la problemática planteada anteriormente para la empresa Grupo Wedm y su máquina erosionadora de hilo, teniendo en cuenta unos objetivos planteados con el fin de dar respuesta a la pregunta de la investigación ¿Cómo se pueden optimizar los parámetros de corte de la máquina erosionadora de hilo marca ACTSPARK en Grupo WEDM para mejorar su eficiencia, reducir los tiempos de trabajo y garantizar la calidad de los acabados en las piezas producidas? por lo anterior la propuesta se plantea de la siguiente manera;

Documentar el Funcionamiento de Software y sus Parámetros

Para comprender el funcionamiento del software es necesario realizar el paso para este ejercicio se tomará la programación de la pieza que se requiere mecanizar en este caso un acero de 10 mm longitud X 10 de ancho X 10 mm de altura de esta manera reconocer las funciones principales del software para un proceso de corte por erosionado sencillo tomando desde el inicio de abrir el programa hasta la generación de códigos G. teniendo una relación entre software y máquina se necesita identificar el funcionamiento de parámetros de máquina para este paso es necesario comprender que función realiza cada parámetro su rango máximo y el mínimo.

Realizar Pruebas de Corte Analizando sus Datos Mediante el diseño Experimental del Método Taguchi

Teniendo relación entre: compensación del hilo, compensación del software, realizara ensayo con diferentes parámetros sinistrados por el manual estandarizando: Potencia, velocidad del hilo, intensidad, rugosidad, fluido dieléctrico. Con el fin de identificar que parámetros son los

óptimos para el trabajo de la máquina, como referencia la implementación de métodos de Taguchi para el diseño experimental y la caracterización de la máquina de erosión de hilo permitirá a la empresa desarrollar un enfoque de mejora continua en sus procesos de fabricación, lo que contribuirá a su crecimiento y desarrollo a largo plazo, utilizando las estadísticas para establecer unos límites de control que garantizan un mínimo de calidad en los productos y desechar aquellos que no cumplan con ella.

Implementar La Caracterización de la Erosionadora de Hilo

La estandarización se lograría a raíz de los ensayos anteriores implementando formulas logarítmicas teniendo en cuenta perímetro de piezas a mecanizar y tiempo de mecanizado para lograr estos resultados se toma referencia el manual de máquina para diferentes tipos de metales, presentando tomando como ejemplo una pieza donde se pueda implementar las variables mediante fórmulas, obteniendo como beneficio que la empresa pueda tener en cuenta tiempo reales para realizar una mejor cotización de sus trabajos, es de notar que mediante este punto de partida de estandarización en el procedimiento se mejora la calidad del producto, la eficiencia de producción y mejorarla competitividad de la empresa en la región.

Caracterización

El alcance del trabajo se centra en mejorar el rendimiento de la máquina de erosión de hilo mediante la optimización de los parámetros del software, utilizando métodos de Taguchi, y en caracterizar su capacidad para producir piezas de alta calidad para lograr lo mencionado se debe enfocar en los siguientes puntos:

Análisis de Parámetros del Software: Investigar y comprender los parámetros del software utilizados en la máquina de erosión de hilo, así como su impacto en el rendimiento de la máquina.

Diseño de Experimentos con Métodos de Taguchi: Implementar métodos de Taguchi para diseñar experimentos que permitan identificar la influencia de los diferentes parámetros del software en la eficiencia y los tiempos de trabajo de la máquina.

Realizar Pruebas Experimentales: Llevar a cabo pruebas experimentales utilizando las configuraciones diseñadas según los métodos de Taguchi para evaluar el rendimiento de la máquina en términos de eficiencia y tiempos de trabajo.

Análisis de Resultados: Analizar los datos obtenidos de las pruebas experimentales para identificar las configuraciones óptimas de los parámetros del software que maximizan la eficiencia y minimizan los tiempos de trabajo de la máquina.

Caracterización de la Máquina: Evaluar y caracterizar la capacidad de la máquina de erosión de hilo para producir piezas de alta precisión y calidad, considerando los parámetros del software optimizados.

Documentación y Recomendaciones: Documentar los resultados del estudio, incluyendo las configuraciones óptimas de los parámetros del software y las recomendaciones para mejorar la eficiencia y los tiempos de trabajo de la máquina, así como para garantizar la producción de piezas de alta calidad.

Desarrollo, Análisis y Resultados

Para dar inicio con el objetivo específico 1 en el proceso interpretar funcionamiento de software y sus parámetros en este proceso se utiliza, Mastercam se va contextualizar sobre esta herramienta CAM. El objetivo del software Mastercam podemos realizar diversas operaciones entre ellas “Hilo, fresado, torneado, ruteador” por medio de diseños y operaciones que nos brinda el programa podemos mecanizar piezas en 2, 3 y 4 ejes dependiendo de la geometría de la pieza que queremos obtener. Una vez generados los programas, se traducen o postproceso para cualquier tipo de máquina. El mismo programa se puede traducir al lenguaje de Fanuc, Charmilles, Agie, Mitsubishi, Sodick, o de cualquier otra máquina, sin necesidad de volverlo a realizar. Vale resaltar que para este caso utilizamos operación en “2D” de acuerdo a la exigencia de la pieza para comprender mejor el cómo es la forma de utilizarlo realizamos una guía básica, teniendo claro que el Mastercam debe estar configurado (Wire EDM).

Inicio de Mastercam

Dar inicio a Mastercam y abre el archivo de dibujo o modelo CAD en el que planeas realizar el corte por hilo como se puede observar en la “Figura 6 Inicio Mastercam”.

Figura 6

Inicio Mastercam



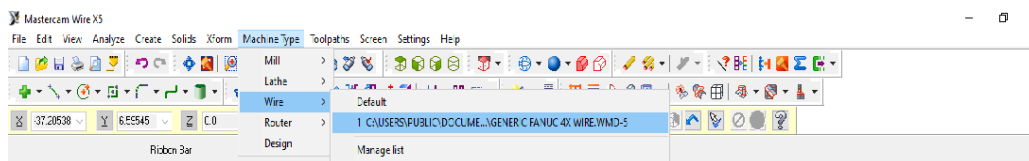
Nota. Imagen alusiva a logo de software. *Fuente.* Autoría propia.

Ir a la Pestaña de Electroerosión de Hilo

Se debe seleccionar la pestaña "Electroerosión de Hilo" o "Wire EDM" en la interfaz de Mastercam observar en “Figura 7”.

Figura 7

Pestaña Wire EDM



Nota. Imagen referente primera pantalla para iniciar programación. *Fuente.* Autoría propia.

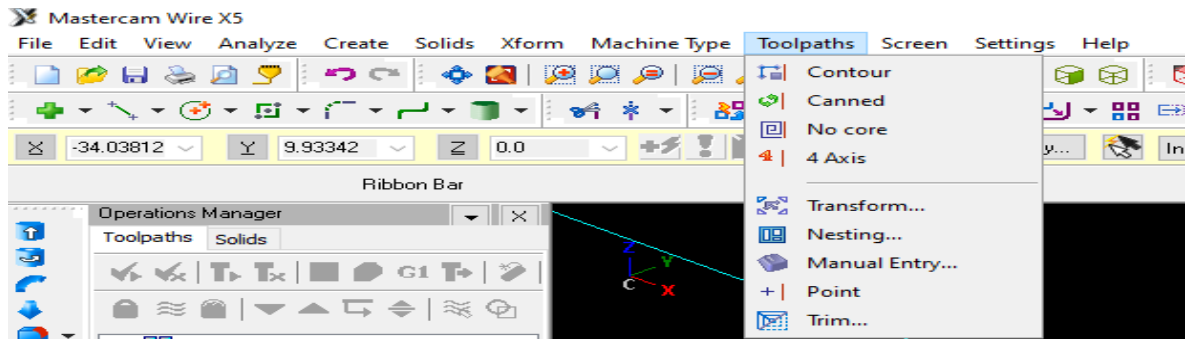
Trayectoria de Herramienta “Toolpaths”

Al desplegar las opciones se selecciona la geometría que quiero mecanizar por hilo. Tenemos diversas opciones entre ellas importar un archivo o dibujarlo, después de definir esta situación, regularmente seleccionamos las líneas para este caso de debe seleccionar “contour

“por donde quiero que corte la geometría como se puede observar en “figura 8 Trayectoria de herramienta”.

Figura 8

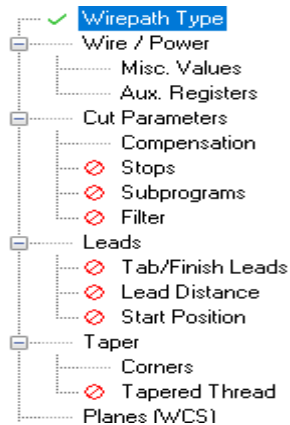
Trayectoria de herramienta



Nota. Imagen indicando visualizando ventana de Trayectoria de herramienta. *Fuente.* Autoría propia.

Configuración de Parámetros

Después de seleccionar la geometría se debe proceder en la modificación de los parámetros el software nos brinda diversas opciones como podemos notar en “figura 9 Configuración de parámetros”.

Figura 9*Configuración de parámetros*

Nota. Imagen desplegando la ventana configuración de parámetros. *Fuente.* Autoría propia.

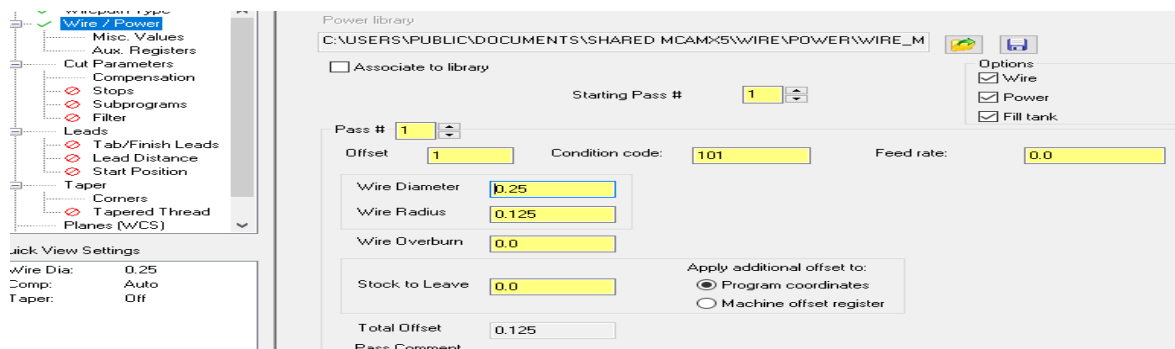
Wire Power

Al desplegar la configuración de parámetros de selecciona Wire power el software nos ofrece datos que se hace nombrar biblioteca de valores, esta opción que nos ofrece Mastercam va relacionada con el tipo de máquina que utilizamos y su procesador que sean compatible. En este caso se utiliza Wire_mm. En esta ventana posee la opción de programar staning pass# que nos quiere decir pases permanente donde podemos configurar el número de pasones de corte para un buen acabado con un límite de 24 pasadas hasta llegar a la medida deseada. El software cuenta con la opción de Offset nos permite compensar se relacionamos de acuerdo a la compensación o sobre material que deajo en cada corte ejemplo, si deseo cortar una pieza con un diámetro 10mm y me la medida queda cerrada con medida 9.9mm la compensación seria de 0.05mm. Al diámetro da una compensación de 0.1mm Mastercam posee condition code que nos genera un código de condición su correlación está de acuerdo a el tipo de material que vamos a trabajar esta relación

está según a valores arrojados por la máquina. Fil tank “tanque de llenado” se puede activar y desactivar el llenado del tanque de forma programada por el software power que es la potencia de la chispa, wire enhebrado automático, wire diameter se debe anexar el valor del diámetro del hilo y su radio. Todos los aspectos mencionados lo podemos visualizar en “Figura 10 Wire power”.

Figura 10

Wire power



Nota. Imagen desplegando la ventana Wire power visualizando todos sus componentes. *Fuente.*

Autoría propia.

Cut Parámetros

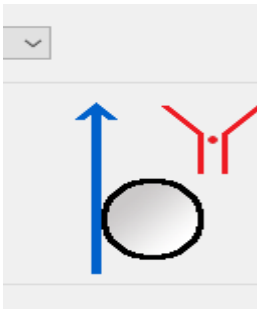
En esta pestaña se encuentra la opción de Cutting method “Método de corte” En esta opción nos permite visualizar en qué sentido queremos que inicie nuestro “corte derecha o izquierda” en la opción Tab programamos tiene la opción de programar una parada ejemplo, si deseo cortar una pieza y al terminar el corte la pieza cae “se puede tallar o golpear las boquillas de la maquina” procedemos a utilizar esta opción como condición ejemplo 1 parada faltando 1 mm del finalizar el corte.

Compensation

El software muestra que tipo de corte requiero si es por dentro de la pieza “left” izquierda “Figura 11 compensation leftf” o por fuera “right” derecha ver en “figura12 compensation right ”.

Figura 11

Compensation leftf



Nota. Imagen se enfocada en la compensación del hilo a la izquierda. *Fuente.* Autoría propia.

Figura 12

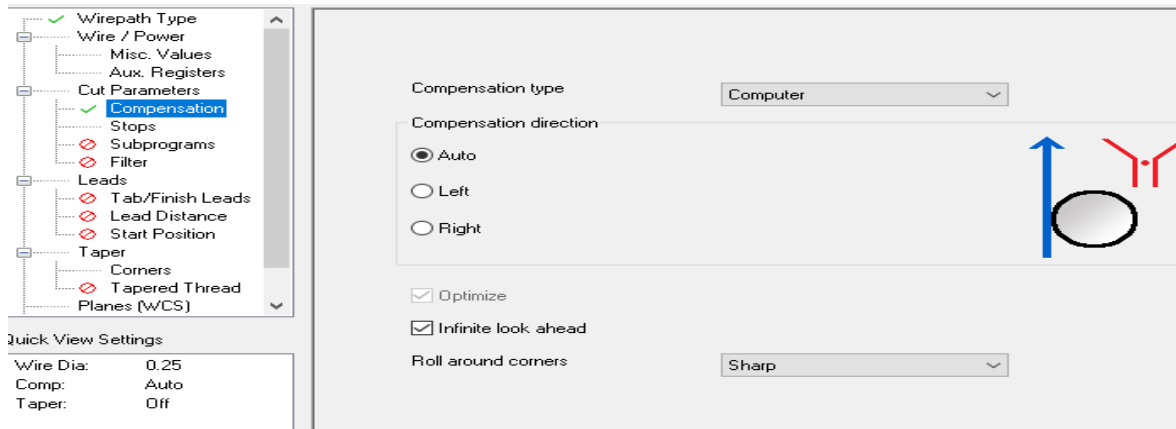
Compensation right



Nota. Imagen se enfocada en la compensación del hilo a la izquierda. *Fuente.* Autoría propia.

Figura 13

Leads



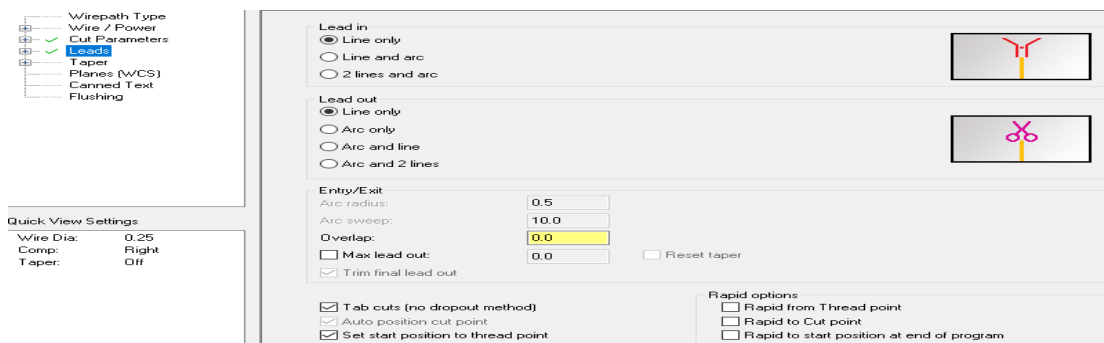
Nota. Imagen enseñando ventana de compensaciones. *Fuente.* Autoría propia.

Leads

Esta opción permite controlar como va entrar a cortar el hilo en nuestra pieza si lineal o en radio “Figura 14 Leads arcos y entrada”.

Figura 14

Leads arcos y entrada



Nota. Imagen enseña la ventana arcos y entrada. *Fuente.* Autoría propia.

Taper

En esta ventana se puede visualizar diversas operaciones entre ellas la opción de trabajar piezas en cono en la opción taper “desvanecimiento cónico” permite programas que tipo de conicidad se requiere “Figura 15 Taper”.

Figura 15

Taper

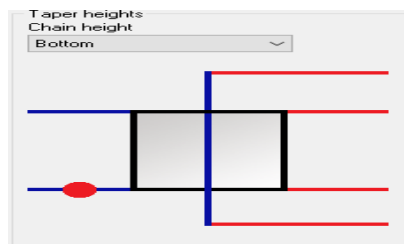


Nota. Imagen enseña la visualización de cómo se configuran los conos. *Fuente.* Autoría propia

Al visualizar taper heights “alturas cónicas” que nos pregunta cuál va a hacer el cero inicial de la pieza el punto rojo de la “figura 16, taper bottom” quiere decir que se va a seleccionar la boquilla en la parte inferior bottom “abajo” si fuera en la parte superior se utilizaría la opción top como se observa en la “figura 17 taper top”.

Figura 16

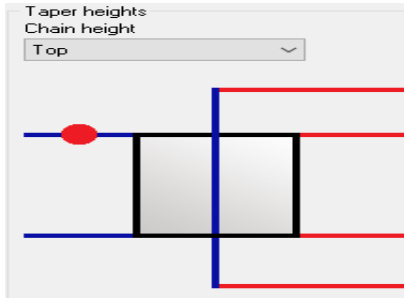
Taper bottom



Nota. Imagen enseña la como el software refleja la boquilla en la parte inferior. *Fuente.* Autoría propia.

Figura 17

Taper top



Nota. Imagen enseña la como el software refleja la boquilla en la parte superior. *Fuente.* Autoría propia.

Las siguientes opciones se deben describir las medidas de la pieza en el software:

Rapid height: posicionamiento de la boquilla.

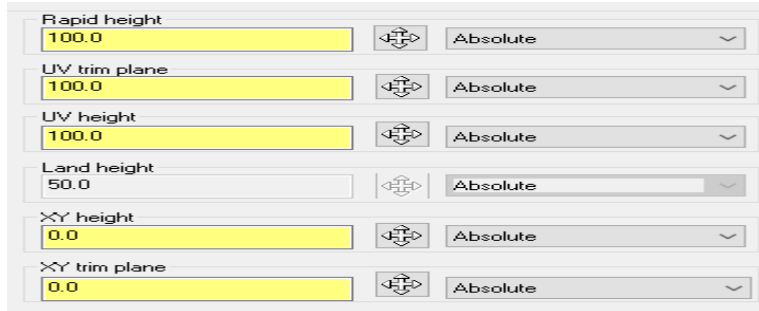
UV trim plane: posicionamiento de la boquilla en el corte.

UV height: altura de la pieza.

XY height: representa la base de la pieza.

XY trim Plane: separación de la boquilla en la pieza.

Ver en” Figura 18 - taper alturas”.

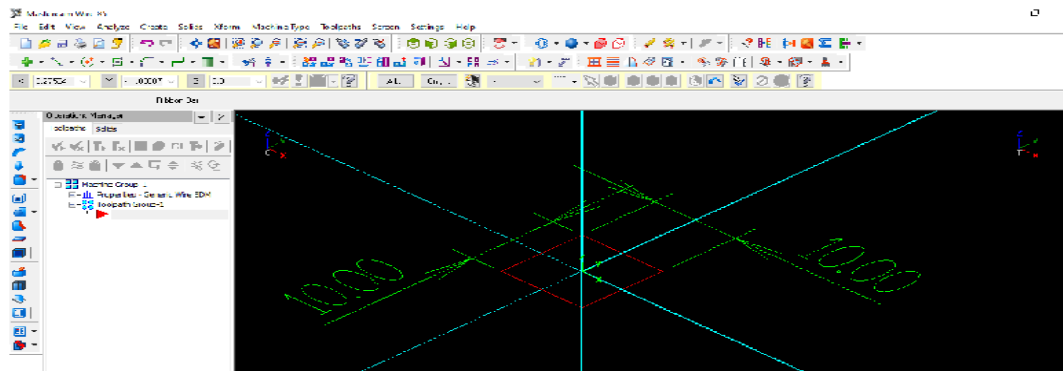
Figura 18*Taper alturas*

Nota. Imagen enseña la configuración de alturas. *Fuente.* Autoría propia.

Después de comprender el funcionamiento de software se plantea mecanizar un cuadrado de 10×10 y 10 de altura en este caso se procede a dibujar la figura en el Mastercam, pero vale resaltar tenemos diversas opciones entre ellas importar un archivo o dibujarlo, después de definir esta situación, regularmente seleccionamos las líneas “contorno “por donde quiero que corte la geometría. A continuación, mostraremos un gráfico de la geometría que vamos a utilizar en el software.

Figura 19

Gráfico de la geometría



Nota. Imagen enseña ambiente de software con geometría a mecanizar. *Fuente.* Autoría propia.

En la "Figura 19 gráfico con la geometría", se puede visualizar la geometría de la pieza deseada es de resaltar que el software permite seleccionar un punto de enhebrado que es donde inicia el corte por hilo y un punto que refleja la salida. Las líneas que se visualizan le indican a el software, la sincronización de la trayectoria del hilo con el fin de cumplir la geometría.

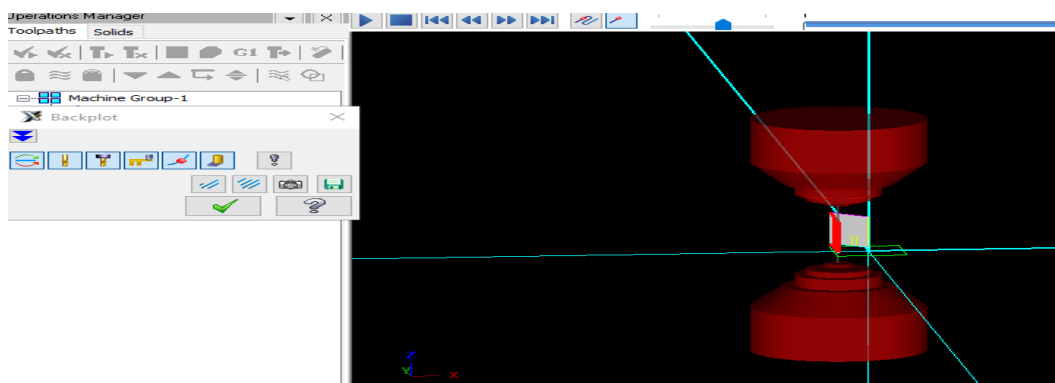
El siguiente paso consiste en seleccionar el perfil inferior de pieza y el perfil superior. Mastercam ya calculará la proyección del perfil superior, que está inclinado, hasta el espesor de la placa que debemos cortar. Una vez seleccionada refleja el cuadro de diálogo de mecanizado con 4 ejes, que es preciso complementar. En opción de guías UV y en altura UV se debe anotar el espesor de la placa que se va a mecanizar, a fin de que Mastercam extienda la geometría 3D del perfil superior hasta este plano. Al pulsar en aceptar, se generará la trayectoria del hilo en máquina. Todas las operaciones quedan registradas en el cuadro de diálogo del Gestor de

Operaciones. Con las opciones habituales en el entorno Windows se puede cambiar el orden de las operaciones, renombrarlas, copiarlas, etc.

Todas las operaciones de corte quedan grabadas en el mismo fichero que la geometría. De modo que en cualquier momento se pueden recuperar los parámetros de mecanizado, modificarlos y regenerar la operación de corte, sin necesidad de volver a asignar la geometría. El gestor de operaciones también permite grabar en librerías de usuario los parámetros de corte y los procesos completos que sean repetitivos. Cuando hay que realizar piezas con geometrías distintas, pero con procesos similares, basta con cargar la librería de operaciones correspondiente y asignarle la nueva geometría. Vale resaltar que el software me posee la opción de simular lo que se va a mecanizar en la máquina y como se va a comportar Backplot.

Figura 20

Simulación



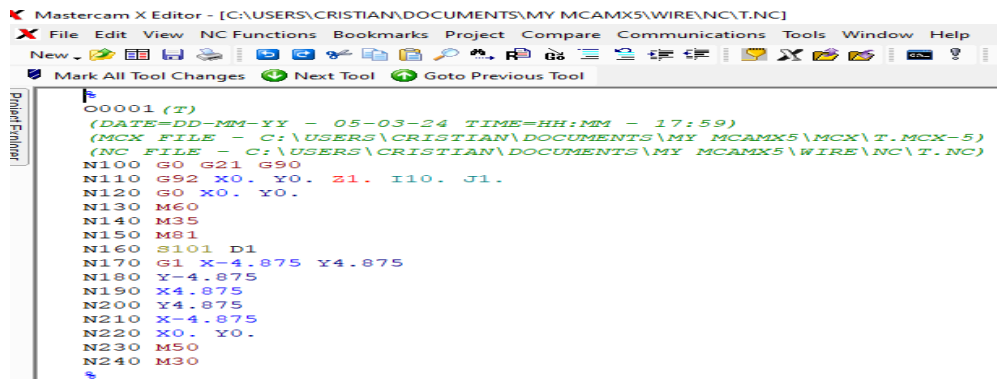
Nota. Figura muestra de cómo se visualiza la simulación en el software. *Fuente.* Autoría propia.

Tras generar las trayectorias se obtienen los mecanizados a punto de postproceso Por G1 esta opción nos genera los códigos G y coordenadas para que la maquina pueda ejecutar el

mecanizado que se requiere, luego se debe grabar estos códigos en memoria con el fin de transmitir lo que se desea realizar.

Figura 21

Pantalla generadora de código



```

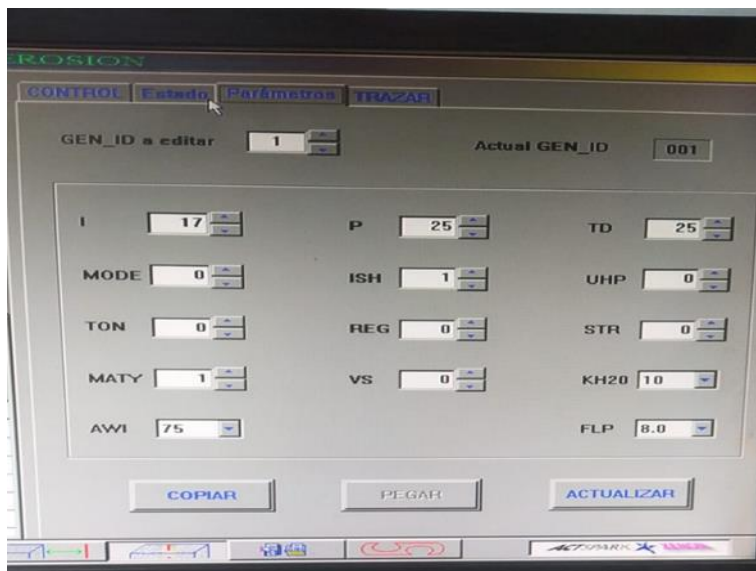
Mastercam X Editor - [C:\USERS\CRISTIAN\DOCUMENTS\MY MCAMX5\WIRE\NC\T.NC]
File Edit View NC Functions Bookmarks Project Compare Communications Tools Window Help
New
Mark All Tool Changes Next Tool Goto Previous Tool
Project Editor
O0001 (T)
  (DATE=DD-MM-YY - 05-03-24 TIME=HH:MM - 17:59)
  (MCX FILE - C:\USERS\CRISTIAN\DOCUMENTS\MY MCAMX5\MCX\T.MCX-5)
  (NC FILE - C:\USERS\CRISTIAN\DOCUMENTS\MY MCAMX5\WIRE\NC\T.NC)
N100 G0 G21 G90
N110 G92 X0. Y0. Z1. I10. J1.
N120 G0 X0. Y0.
N130 M60
N140 M35
N150 M81
N160 S101 D1
N170 G1 X-4.875 Y4.875
N180 Y-4.875
N190 X4.875
N200 Y4.875
N210 X-4.875
N220 X0. Y0.
N230 M50
N240 M30
%
```

Nota. Figura muestra generación de códigos después de programar en el software. *Fuente.*

Autoría propia.

Parámetros de Corte Según la Tabla de Tecnologías.

Para comprender esta etapa del proceso es necesario apoyarse en información suministrada por el manual de la máquina.

Figura 22*Ilustración de parámetros*

Nota. Figura muestra el ambiente de la pantalla de la maquina donde se pueden modificar los parámetros. *Fuente.* Autoría propia.

Potencia (p)

Posiciones 1 a 34 (según parámetro I) Esto influye en la potencia de la electroerosión y, en consecuencia, en la velocidad de corte. Esto puede compararse con el acelerador en un coche. Una mayor potencia de descarga significa una mayor velocidad de corte, pero también una mayor probabilidad de error de forma y riesgo de rotura del cable. Cada nivel de potencia lleva asociado una intensidad media entre hilo y pieza. A mayores valores de potencia se producen mayor calor, duración y tamaño de las chispas, todo ello lleva a aumentar la intensidad entre hilo y pieza. Ello provoca mayor arranque de material y por lo tanto mayor velocidad de corte. Un aumento excesivo de la potencia puede producir roturas del hilo. La potencia está íntimamente

relacionada con la rugosidad, a valores altos de potencia le corresponden valores altos de rugosidad.

Corriente de Descarga (i)

Posiciones 0 a 22 Esto se determina en función de la tecnología seleccionada y de la altura de la pieza. Este El parámetro no se cambia durante el mecanizado, de lo contrario afectará la precisión y la rugosidad.

Porcentaje de Pulsos Inactivos (td)

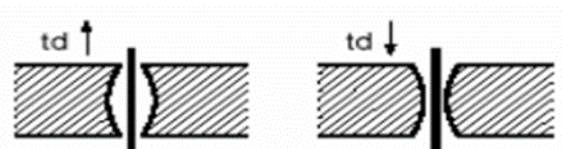
Posiciones 10 a 93 Esto influye en la velocidad de corte y la estabilidad del proceso. Un TD más bajo aumenta la velocidad de corte, pero también la inestabilidad del proceso (mayor riesgo de rotura del alambre), mientras que una mayor TD en corte principal provoca pérdida de energía. Durante los cortes de recorte, el TD influye en el perfil de corte de la siguiente manera:

La TD alta genera un perfil cóncavo.

La TD baja genera un perfil convexo.

Figura 23

TD



Nota. Figura hace una visualización sencilla de cómo funciona el hilo con el parámetro de TD alto y parámetro de TD bajo. *Fuente.* Autoría propia.

Velocidad Estable (vs)

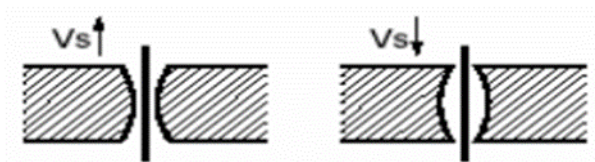
Posiciones 0,1 a 31 (en mm/min) Este parámetro influye en el tiempo de ejecución de un mecanizado. Es una variación del parámetro VS influye en el perfil de corte de la siguiente manera:

High Vs genera un perfil cóncavo.

Low Vs genera un perfil convexo.

Figura 24

VS



Nota. Figura hace una visualización sencilla de cómo funciona el hilo con el parámetro de VS alto y parámetro de TD bajo. *Fuente.* Autoría propia.

Reducción de la Amplitud de los Pulsos Cortos (ISH)

Posiciones 0 a 4 Este parámetro se cambia para evitar la rotura del cable. Sólo se puede utilizar en el modo principal.

Longitud del Pulso (TON)

Posiciones 0 a 15. Este parámetro no se modifica durante el mecanizado, salvo casos especiales. Ejemplo: Reducción del parámetro en cortes de recorte para reducir muy ligeramente la rugosidad.

Voltaje Inactivo (UHP)

Posiciones 0 a 7 el voltaje inactivo está determinado por el material de la pieza de trabajo y el cable utilizado. Este parámetro no se modifica durante el mecanizado excepto en casos especiales (por ejemplo, para reducir la rugosidad muy ligeramente).

Regulación (REG)

Posiciones 0 a 30 y 100 a 130 Los ajustes de 100 a 130 prevén el empleo de un filtro adicional según con el tamaño a ajustar.

Wire Parameter (AWI)

Velocidad de cable posiciones 33 a 200 mm/s Una reducción de este parámetro para reducir el consumo de cable puede provocar los siguientes efectos: En el corte principal mayor riesgo de rotura de cables Y Generación de forma cónica.

Al reducir el parámetro P para reducir el riesgo de rotura del alambre, la velocidad de corte aumentará, también se reduce en los cortes de adorno generación la forma cónica.

Maty

Tipo de mecanizado Posiciones 1 a 4.

1: tecnología normal.

2, 3, 4 no utilizado.

Parámetro de lavado (flp).

Posiciones 0,2 a 12 bares.


Conductividad del agua (kh20):

Posiciones 1 a 15 μ s.

Figura 25

Parámetro general de maquina

10.2005

ACTSPARK 

3. Wire: Brass

3.1 Wire: Φ 0.25 Brass — Material: Steel Cr12

3.1.1 (H10mm)

CF20

Material: Steel Cr12

Wire: Brass Φ 0.25

TECHNOLOGY PARAMETER TABLE

Tkm [$\pm \mu$ m]: 10

Ra [μ m]: 1.0

H	10mm	
	Hs	1Ns
MODE	0	2
I	18	12
P	33	15
TD	55	13
Vs	0	0
ISH	3	0
TON	0	1
UHP	0	5
Reg.	0	14
WIRT	14	14
AWI	200	165
FLP	8	0.3
KH ₂ O	10	10
Str.	0	0
MATY	1	1
ofs	215	135
ofs rel.		80
speed	6.30	6.30
speed avg	3.15	

Tkm [$\pm \mu$ m]: 5

Ra [μ m]: 0.5

H	10mm		
	Hs	1Ns	2Ns
MODE	0	2	2
I	18	12	9
P	33	15	18
TD	55	13	3
Vs	0	0	0
ISH	3	0	0
TON	0	1	0
UHP	0	5	2
Reg.	0	14	14
WIRT	14	14	14
AWI	200	165	135
FLP	8	0.3	0.3
KH ₂ O	10	10	10
Str.	0	0	0
MATY	1	1	1
ofs	223	143	133
ofs rel.		80	10
speed	6.30	6.30	9.50
speed avg	2.37		

Nota. Figura muestra parámetros y configuraciones básicas para programación de la máquina.

Fuente. Autoría manual de la maquina marca Actspark.

Análisis de la Interpretación y Documentación del Funcionamiento de Software con sus Parámetros:

Podemos concluir que la erosionadora de hilo no se utiliza con los parámetros adecuados, se indaga con el personal que la ópera este equipo informa que no se recibió la capacitación adecuada ya que la maquina fue importada y el personal que la instalo no cuenta con el conocimiento necesario es de resaltar que este tipo de equipos son de poco comercio en nuestra región es decir que es un tipo de tecnología nueva para algunas empresas en el mercado laboral la estadística tiende a hacer baja.

Al comprender el manual se recomienda que los parámetros suministrados varían según las condiciones de la máquina de tal manera es necesario realizar nuevas pruebas con el fin de estandarizarlos. Se evidenciamos que para configuración en el Mastercam realizan el proceso incompleto sin tener en cuenta conceptos fundamentales para su correcto funcionamiento, cuando inician un programa en el software no se realiza las modificaciones de los valores que necesita la versión de la maquina a continuación se menciona los hallazgos encontrados:

En el software es importante determinar el espesor real del hilo con el que se va a trabaja actualmente la compañía cuenta con hilo de espesor 0.25mm se evidencia que el personal trabaja con las configuraciones por default del programa es de 0.35mm esto quiere decir que por cada pieza mecanizada deja una diferencia de +0.1 por cada pieza vale resaltar que por este motivo se tiene una deficiencia de calidad ya que no cumple por lo requerido por el cliente.

El Mastercam necesita los datos de la altura en pieza a mecanizar. Modificación de alturas” por otro lado el taper heights necesitamos indicar a el software cuál es el cero inicial, el

personal de planta al no conocer esta función al momento de realizar un trabajo con conocida esta quedada con diferente ángulo por tal desconocimiento evitaba realizar este tipo de trabajos.

Para lograr un óptimo rendimiento de la maquina es necesario relacionar los parámetros según el tipo de material por ejemplo “acero, aluminio, tusígenos” va sujeto a la altura de la pieza a mecanizar como se menciona anteriormente el personal no se capacito se evidencia que utilizan un solo conjunto de parámetros para todo tipo de trabajo a mecanizar esto ocasiona tiempos extendidos.

A continuación, se realiza un método de pruebas apoyándonos en el manual de la maquina implementando el método Taguchi teniendo en cuenta que se comprendido el uso del software Mastercam con el paso a paso anterior se procede a realizar el objetivo número 2 de este proyecto.

Pruebas de Corte Analizando sus Datos Mediante el Diseño Experimental del Método Taguchi

Para este proceso de pruebas se debe tomar en cuenta la información del procedimiento que obtuvo en software Mastercam y se carga el programa con la información base suministrada por el manual de máquina. la cual tiene un rango de parámetros de acuerdo a el tipo de material, acabado y altura de la pieza a mecanizar los parámetros en este caso se utiliza como material de prueba platina de acero 10/20 con 10mm de espesor sacar una geometría de un cuadrado de 10 x 10 mm considerados la información del manual se selecciona los parámetros que se consideran puntuales por sugerencia del manual estos varían según el ambiente y condiciones del equipo

por lo cual se realiza las pruebas con los siguientes parámetros con su rango de acuerdo a el material a utilizar y su altura:

Intensidad (i): rango de parámetros 20, 17, 15.

Velocidad del hilo (awi): rango de parámetros 200, 105, 75.

Potencia (p): rango de parámetros 33, 25, 20.

Rugosidad (td): rango de parámetros 55, 35, 20.

Fluido dieléctrico (flp): rango de parámetros 10, 08, 06.

Como objetivo se necesita identificar por la herramienta de TAGUCHI “arreglo octagonal” para identificar los parámetros óptimos con la que tendremos un proceso contralado, estable y de buena calidad. Para poder obtener una combinación aleatoria se es necesario realizar 27 pruebas con combinación de parámetros para este ejercicio se utiliza la herramienta MINITAD en la siguiente tabla realizaremos 27 pruebas con los resultados teniendo como objetivo el menor tiempo.

Análisis de Taguchi: tiempo vs. Potencia; velocidad del hilo; intensidad; rugosidad; fluido dieléctrico.

Tabla 1*Resultados de pruebas*

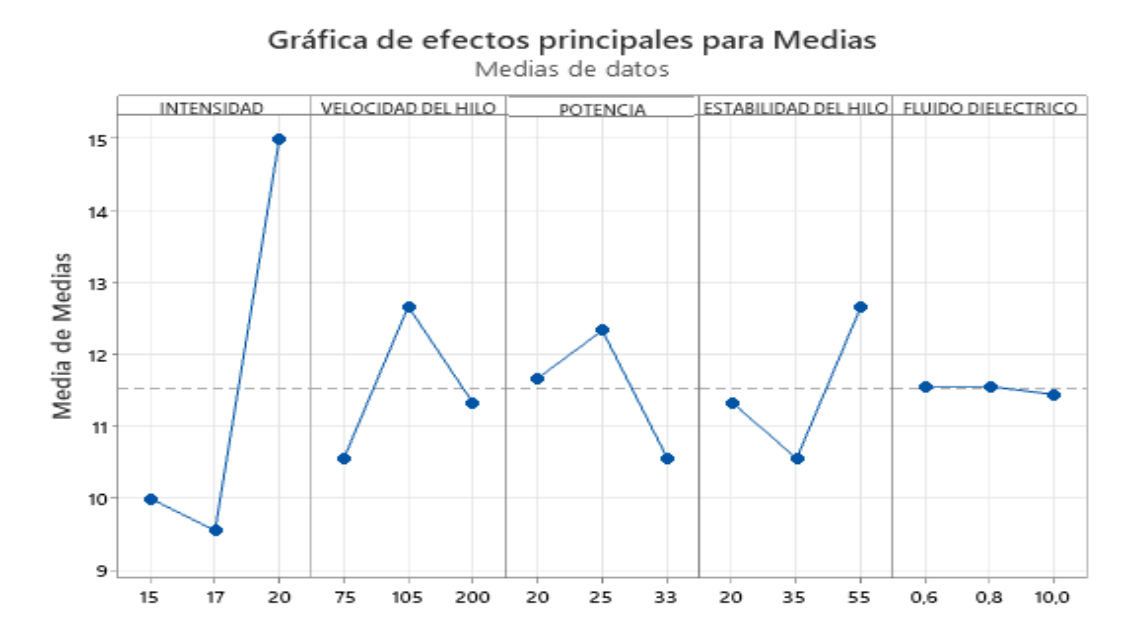
Factores que pueden afectar el proceso de erosionado en la máquina de hilo

Número de pruebas	Intensidad	Velocidad del hilo	Potencia	Rugosidad	Fluido dieléctrico	Tiempo
1	20	200	33	55	10	15
2	20	200	33	55	0,8	15
3	20	200	33	55	0,6	15
4	20	105	25	35	10	16
5	20	105	25	35	0,8	16
6	20	105	25	35	0,6	16
7	20	75	20	20	10	14
8	20	75	20	20	0,8	14
9	20	75	20	20	0,6	14
10	17	200	25	20	10	10
11	17	200	25	20	0,8	10
12	17	200	25	20	0,6	10
13	17	105	20	55	10	12
14	17	105	20	55	0,8	12
15	17	105	20	55	0,6	12

16	17	75	33	35	10	6
17	17	75	33	35	0,8	7
18	17	75	33	35	0,6	7
19	15	200	20	35	10	9
20	15	200	20	35	0,8	9
21	15	200	20	35	0,6	9
22	15	105	33	20	10	10
23	15	105	33	20	0,8	10
24	15	105	33	20	0,6	10
25	15	75	25	55	10	11
26	15	75	25	55	0,8	11
27	15	75	25	55	0,6	11

Nota. Se visualiza un menor tiempo con 6 minutos de cual esta subrayado de color gris. *Fuente.*

Autoría propia.

Figura 26*Medida de datos*

Nota. Se visualiza la medida de datos entre velocidad del hilo; intensidad; rugosidad; fluido dieléctrico. *Fuente.* Autoría propia.

En la Grafica 1 medidas de datos tiempo vs. Potencia; velocidad del hilo; intensidad; rugosidad; fluido dieléctrico se puede identificar que la variable con mayor índice de variación es intensidad para este ejercicio si la potencia es muy alta el mecanizado tiende a demorar más tiempo. Y de menor significancia es el fluido de corte; se resaltaría que la velocidad del hilo, intensidad y estabilidad del hilo o rugosidad va sujeta a la configuración de los demás parámetros para la velocidad del hilo en este caso si su parámetro es menor su funcionamiento es óptimo y para la intensidad en este caso si es mayor su funcionamiento es efectivo, la estabilidad

del hilo o rugosidad se deduce que el parámetro adecuado es el intermedio de su parámetro en este caso 35.

Tabla 2

Parámetros con tiempo

Factores	Descripción	Parámetros 2
a	potencia	17
b	velocidad del hilo	75
c	intensidad	33
d	rugosidad	35
e	fluido dieléctrico	10
	tiempo en minutos	6

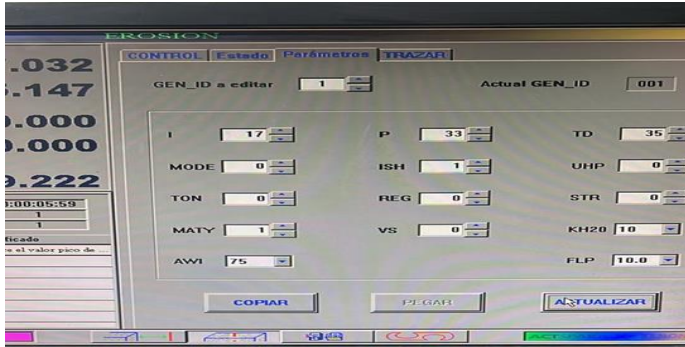
Nota. Se visualiza una descripción más detallada de la mejor relación de parámetros. *Fuente.*

Autoría propia.

Según las pruebas realizadas la combinación de parámetros que mejor se comporta es la prueba #16 “Tabla resultado de pruebas” con un tiempo de 6 minutos como se puede ver en “Figura 27 parámetros ideales” con esta combinación de parámetros se obtuvo mejor precisión en medida y buen acabado ver “precisión y medidas”.

Figura 27

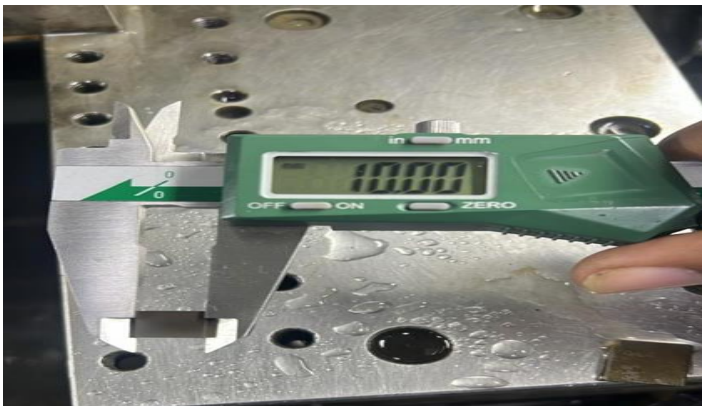
Parámetros ideales



Nota. Figura muestra parámetros y configuraciones básicas que mejor se comportó la erosionadora. *Fuente.* Autoría manual de la maquina marca Actspark.

Figura 28

Precisión y acabado



Nota. Figura muestra el resultado de la pieza mecanizada con las medidas. *Fuente.* Autoría propia.

Análisis de Pruebas

En el proceso de pruebas se puede identificar que:

La velocidad del hilo va sujeto a la altura de la pieza por optimación de recurso del hilo, si en otro escenario la pieza a mecanizar es con una altura superior a la de esta actividad su velocidad de hilo debería ser mayor ya que el área de contacto lo requiere al ser mayor.

Rugosidad va sujeto al tipo de trabajo a realizar se debe identificar qué tipo de acabado superficial se requiere el producto a mecanizar ya en si su parámetro en maquina es mayor deja un acabado superficial pulido y fino, si en otro escenario se requiere una pieza a mecanizar sin importar su rugosidad superficial se sugiere utilizar parámetros bajos con esto se reduciría el tiempo de mecanizado ya que esta no requiere acabados finos.

La potencia va sujeta a el tipo de material a mecanizar y su altura; si se fuese a mecanizar un material con dureza ejemplo tungsteno su potencia debe ser mayor ya que requiere mayor voltaje para realizar el corte, vale resaltar que si utilizamos en otro escenario una pieza a mecanizar con una altura mayor se necesitaría mayor potencia ya que se su área de contacto aumenta pero si la altura de la pieza es menor y se utiliza un parámetro de corte muy alto el hilo tiende a reventarse tiende a ocasionar chispa como reacción se calienta el hilo.

El fluido dieléctrico es recomendable utilizarlo en valores alto ya que esta permite lavar el residuo entre el hilo y la pieza. Teniendo en cuenta que la pieza de mecanizado debe estar bien sujeta, a la base de la maquina con finalidad de que cuando el fluido dieléctrico este activado la pieza no se mueva esto ocasionaría daño en la geometría y medidas fuera de especificaciones.

La intensidad se debe utilizar en los parámetros intermedios entre potencia y rugosidad por lo regular la intensidad es donde la maquina refleja sus impulsos de corriente, de

tal manera que si es muy alta el hilo tiende a calentarse de tal manera a reventarse, si la intensidad tiene valores altos la pieza de mecanizado presentara una rugosidad exagerada, si en otro escenario se selecciona los valores bajos, el tiempo de mecanizado es muy extendido.

Con los ensayos realizados y la comprensión del software con el fin de encontrar valores óptimos de la maquina obteniendo información de la maquina se logró caracterización de la maquina relacionando el tipo de material incluyendo formulas donde nos permite calcular el área y regresiones algebraicas obtenido como finalidad el tiempo calculado por cada pieza como beneficio para la compañía poder realizar cálculos de tiempos aproximados y disminución en tiempos de la producción.

Caracterización de la Erosionadora de Hilo

Para que conseguir un óptimo desempeño de la máquina se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

Las tarjetas electrónicas deben estar limpias y en buenas condiciones de funcionalidad.

El agua debe estar fría y tener una conductividad inferior a 40 según el medidor.

El material a trabajar debe estar libre de óxido o calamina producto de los tratamientos térmicos, para que sea buen conductor de electricidad.

Tomar como base principal los parámetros de los ensayos y su relación potencia, velocidad del hilo, intensidad, velocidad del hilo, rugosidad y fluido dieléctrico.

Si todo lo anterior se cumple, podemos estimar la velocidad de corte (en mm/min) que se puede conseguir en función de variables como el material a trabajar y la altura “H” en mm de la pieza. Esta información se obtiene del manual de tecnologías propio de la máquina:

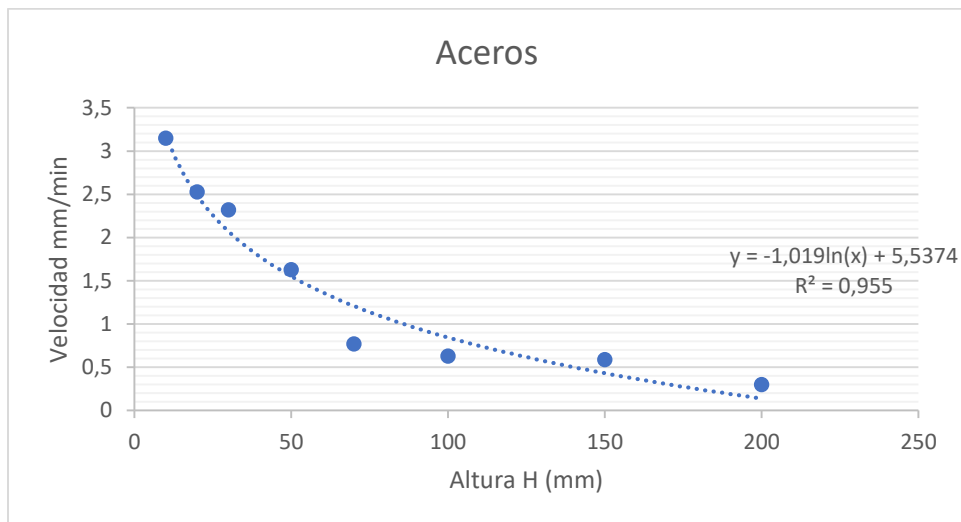
Tabla 3

Tipos de aceros

H	Aceros	Cu / Al	Tungsteno
10	3,15	5,18	1,58
20	2,53	4,56	0,84
30	2,32	3,01	0,67
50	1,63	1,97	0,49
70	0,77		0,39
100	0,63		
150	0,59		
200	0,3		

Nota. Se visualiza función de variables según el tipo de material. *Fuente.* Autoría manual de maquina marca Actspark.

Con la información suministrada en la anterior tabla se aplican las respectivas regresiones algebraicas para sacar la función que más se aproxime al comportamiento de los datos para cada material.

Figura 29*Aceros*

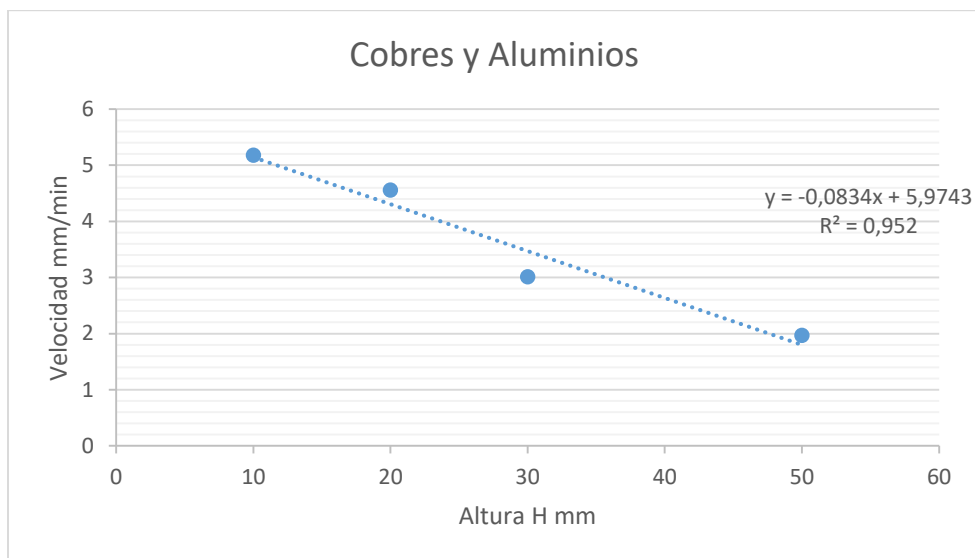
Nota. Se visualiza regresiones algebraicas del acero relacionando las alturas vs velocidad en mm/min. *Fuente.* Autoría propia.

Para los aceros se aprecia un comportamiento logarítmico cuya función es:

$$V = -Ln(H) + 5.54$$

Figura 30

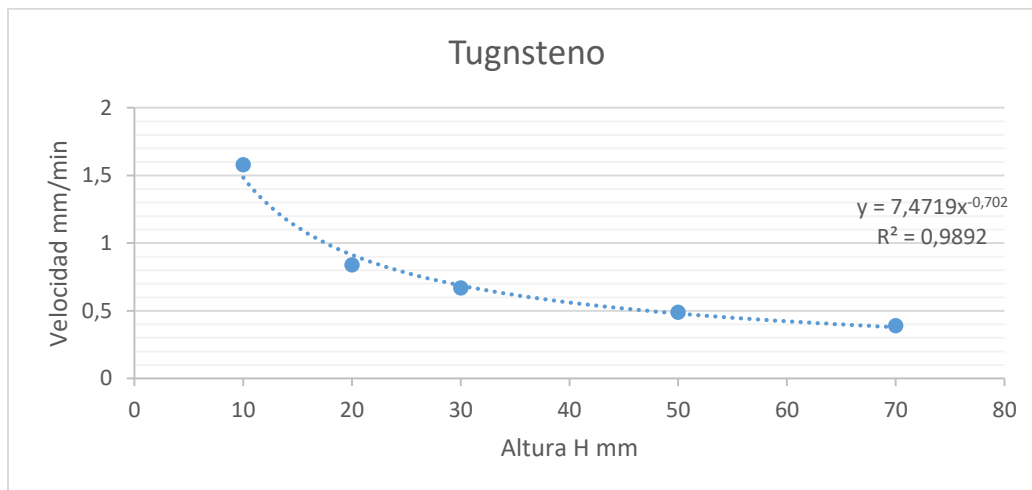
Cobre y aluminios



Nota. Se visualiza regresiones algebraicas del cobre y aluminios relacionando las alturas vs velocidad en mm/min. *Fuente.* Autoría propia.

Para los cobres, bronces y aluminio se aprecia un comportamiento lineal:

$$V = -0.08H + 6$$

Figura 31*Tungstenos*

Nota. Se visualiza regresiones algebraicas del tungsteno relacionando las alturas vs velocidad en mm/min. *Fuente.* Autoría propia.

Y finalmente para los tungstenos el comportamiento es exponencial

$$V = 7.5H^{-0.7}$$

La función de velocidad sería por tramos y queda definida como sigue:

$$V(H) = \left\{ \begin{array}{ll} -\ln(H) + 5.54 & \text{Aceros} \\ -0.08H + 6 & \text{Cu/Al} \\ 7.5H^{-0.7} & \text{Tungsteno} \end{array} \right\}$$

Experimentalmente se ha evidenciado que para aceros templados o geometrías cónicas esta velocidad tiende a reducirse entre 20% y 40% según la altura de trabajo.

Para determinar el tiempo en horas que va a tomar la máquina en hacer un corte, se deben tener 3 variables definidas: material, altura y perímetro de corte “P” en mm. Con estos datos se obtiene la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P}{60 * V(H)} + 0.20$$

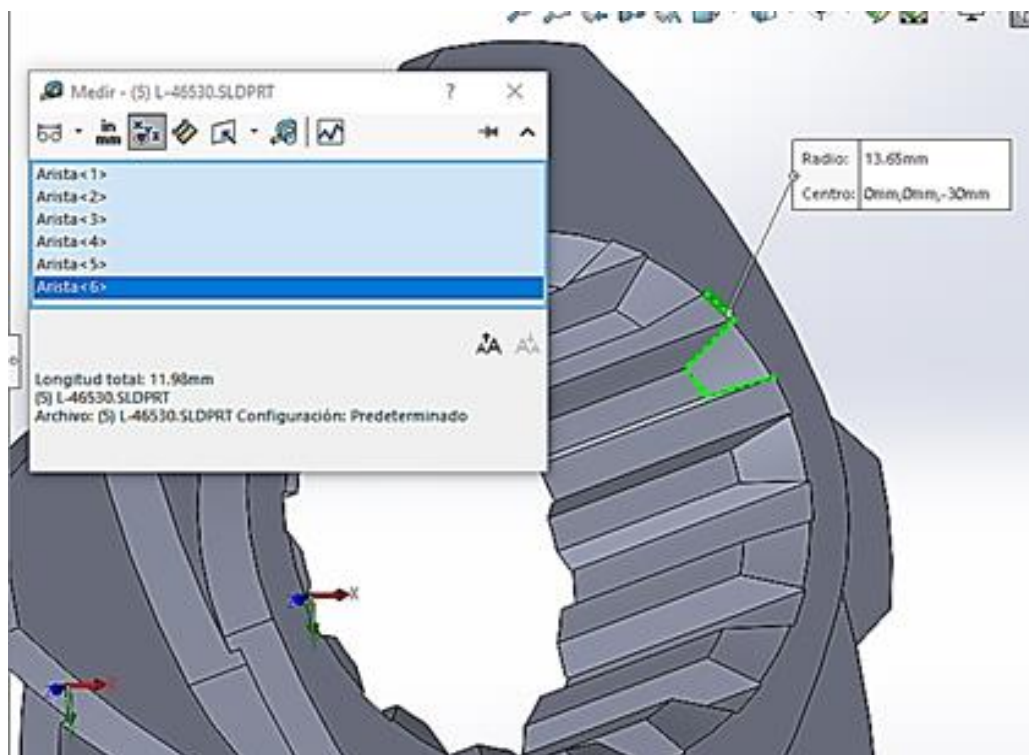
Se adiciona un valor de 0.20 horas que corresponde al tiempo que toma en promedio el montaje, la alineación, y el centrado de la pieza.

Aplicación de los Resultados

Calcular el tiempo que demora cortar los dientes de un segmento, incluyendo ambos diámetros (externo e interno).

Figura 32

Ejemplo de segmento



Nota. Se muestra la figura que se va tomar como ejemplo para realizar el cálculo de un corte por hilo. *Fuente.* Autoría propia.

El perímetro de un diente es 11.98 mm, al ser 16 dientes el perímetro total es 191.68 mm. La altura de la pieza es de 30 mm. Como trabajaremos acero la función de velocidad es:

$$V = -Ln(H) + 5.54$$

Por lo tanto, reemplazando los valores en la ecuación de tiempo, tenemos lo siguiente:

$$t = \frac{191.68}{60 * (-\ln(30) + 5.54)} + 0.20$$

$$t = 1.69 h$$

Este valor simplemente se multiplica por la tarifa de la máquina que si por ejemplo el precio actual es de \$111.800 COP y así obtenemos el precio de venta del corte por hilo. \$188.986 COP Es el precio mínimo que se puede cobrar por ese corte de hilo específicamente.

Análisis de los Resultados

Para dar respuesta a la pregunta del problema, al interpretar adecuadamente los parámetros del software y en la máquina de erosión de hilo se logra mejorar el rendimiento del proceso. Utilizando metodologías como Taguchi, es posible identificar y aplicar configuraciones de parámetros que maximicen la eficiencia, la calidad del corte y minimicen los tiempos de trabajo, asegurando un proceso de manufactura robusto y eficiente.

Teniendo en cuenta la problemática de la compañía se afirma que el método de programación de la maquina no, es el adecuado debido falta de conocimiento el personal de la compañía, de tal manera que se ejecutaba un proceso sin conocerlo sus causas y el significado de sus valores, esto aplica para software y parámetros de la máquina, logrando realizar un profundo análisis de funcionalidad de Mastercam y Parámetros tomando como punto de partida en realizar documentación del paso a paso de su programación se hace relevante que factores se deben tener en cuenta para la programación mediante el software con el objetivo de comprender que puntos importantes como:

Comprender la importancia de la compensación del hilo informando al software de que diámetro es el hilo que va a mecanizar.

Incluir en el software la altura de la pieza a mecanizar.

La importancia del utilizar el procesador compatible con la máquina.

Para profundizar su análisis se con el apoyo del manual de la maquina se procede a comprender cada factor de su parámetro y el rango permitido “potencia, velocidad del hilo, intensidad, velocidad del hilo, rugosidad y fluido dieléctrico” vale resaltar que el los parámetros y el software tiene una correlación, de tal manera es necesario comprenderlos, como se menciona anteriormente al no tener conocimiento de esta relación la compañía no obtenía los resultados esperados. Se evidencia que no relacionaban los rangos de parámetros de tal manera los tiempos de trabajo eran extremadamente exagerados y los acabados no eran los esperados.

Cumpliendo con el objetivo 2 realizando ensayos experimentales de evidencia los parámetros dependen de otro “potencia, velocidad del hilo, intensidad ,velocidad del hilo ,rugosidad y fluido dieléctrico” para ejecutarlos de la mejor manera vale resaltar que esta prueba es necesaria realizar ya que en el manual nos informa que dependiendo en las condiciones de la maquina varían los parámetros, se identifica el parámetro que mejor se comporta teniendo como punto de partida para realizar su caracterización.

Como resultado final se logra tener un punto de partida para estandarizar sus parámetros, ya que puede tener variaciones mínimas vale resalta que mediante fórmulas y ecuaciones matemáticas estimar un tiempo de mecanizado dependiendo entre perímetro de corte VS tiempo con los resultados obtenidos, se logra visualizar el tiempo de trabajo y proyección de costos en los trabajos por hora, como se mencionaba en el problema los comerciales no podían visualizar un tiempo estimado, por medio de la aplicación de los resultados realizada anteriormente se evidencia que es posible, se evidencia por medio de testimonio de los colaboradores de la empresa que se redujo el tiempo de mecanizado alrededor de un 50% la empresa cuenta con

bitácora de trabajo donde los colaboradores informan cuánto tarda cada trabajo de mecanizado, a raíz de esto llegamos a la comprobación que los objetivos de este trabajo se cumplieron con éxito. Como evidencia se anexa formato donde registran los tiempos “Figura 33 registro bitácora” donde se visualiza tiempos registrados de piezas en serie donde inicialmente tardaban alrededor de 4 horas de cual esta resaltada con marcador verde implementando los parámetros sugeridos se redujo alrededor de 2 horas por pieza donde se resalta con marcador color rojo, es de resaltar que con este método la compañía será rentable por otro lado el sector de producción tendrá como beneficio calidad en el proceso y cumpliendo con los objetivos esperado.

Figura 33

Registro bitácora

BITACORA INDIVIDUAL - FORMATO REGISTRO DE TIEMPOS									
FECHA	OP / COD	ITEM	OPERARIOS DE PRODUCCIÓN		OPERACIÓN	MAQUINA	Si se da prioridad al personal de producción (¿?)		QA (CALIDAD EN SITIO) FIRMA
			H INICIO (24HR)	H FINAL (24HR)			Si	Si	
16/mar/24	10947	1	6:00	10:00	Corte segmento	H10	SI	SI	L TOVAR
16/mar/24	10947	1	10:00	14:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
16/mar/24	10947	1	14:00	18:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
17/mar/24	10947	1	6:00	10:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
17/mar/24	10947	1	10:00	14:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
17/mar/24	10947	1	14:00	18:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
17/mar/24	10947	1	6:00	8:00	Corte segmento	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	8:00	10:00	Corte segmento	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	10:00	12:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	12:00	14:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	14:00	16:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
21/mar/24	10947	1	6:00	8:00	Corte segmento	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	8:00	10:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	10:00	12:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	12:00	14:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR
"	10947	1	14:00	16:00	"	H10	SI	SI	L TOVAR

Nota. Se muestra la evidencia de los tiempos de mecanizado antes y después de la implementación de parámetros. *Fuente.* Autoría propia.

Conclusiones

El análisis y la optimización de los parámetros del software y la máquina de erosión de hilo han demostrado ser fundamentales para mejorar el rendimiento del proceso de manufactura. La utilización de metodologías como Taguchi permite identificar y aplicar configuraciones de parámetros que maximizan la eficiencia, la calidad del corte y minimizan los tiempos de trabajo, resultando en un proceso robusto y eficiente.

La falta de conocimiento del personal en la programación de la máquina ha sido un problema clave, impidiendo la obtención de los resultados esperados. El análisis profundo de la funcionalidad del software Mastercam y la documentación detallada del proceso de programación han permitido identificar factores críticos como la compensación del hilo, la altura de la pieza y la compatibilidad del procesador.

Mediante ensayos experimentales, se ha demostrado que los parámetros del proceso (potencia, velocidad del hilo, intensidad, rugosidad y fluido dieléctrico) están interrelacionados y deben ser ajustados adecuadamente para optimizar el rendimiento. La estandarización de estos parámetros, junto con el uso de fórmulas y ecuaciones matemáticas, ha permitido estimar tiempos de mecanizado y proyecciones de costos con mayor precisión.

Los resultados obtenidos han mostrado una reducción significativa en el tiempo de mecanizado, aproximadamente un 50%, lo que ha sido corroborado por los registros de los tiempos de trabajo. Esto no solo ha hecho que la compañía sea más rentable, sino que también ha mejorado la calidad del proceso y ha cumplido con los objetivos establecidos.

El éxito de este trabajo se evidencia en la optimización del proceso de mecanizado, la reducción de tiempos y costos, y la mejora en la calidad del producto final, posicionando a la compañía de manera favorable en su sector.

Referencias Bibliografía

- Alcaldía de Medellín . (2013). *Guía de manejo socioambiental para la construcción de obras de Infraestructura*. Obtenido de https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed_portal/siamed/documentos/Digital/GuiaSociAmbiental2014.pdf
- Amit Kumar 1, A. K. (12 de Diciembre de 2022). Estudio del parámetro del proceso de tasa de eliminación de material en WEDM. *Revista Internacional de Materiales, ManuFabricación y Tecnologías Sostenibles (IJMMST)*, págs. 31-42. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366957616_Study_of_Material_Removal_Rate_Process_Parameter_in_WEDM
- Blanco, L. P. (2014). Proyecto / Trabajo Fin de Carrera. *optimización del proceso de*. universidad de cantabria, españa. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4652/365857.pdf>
- cadavshmei. (2020). *control de mastercam para cable edm*. México: mastercam. Obtenido de <https://f.hubspotusercontent40.net/hubfs/2452243/PDF/Mastercam/mastercam-wire.pdf>
- Carlos Barrera, S. G. (2024). Propuesta de diseño de una máquina de corte por. *propuesta de diseño de una máquina de corte*. universidad de el salvador, salvador. Obtenido de <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/34633/1/Trabajo%20de%20Graduaci%C3%B3n%20WEDM%20Febrero%202024.pdf>
- Castro, A. Z. (2014). Mejoramiento de la calidad del café soluble utilizando el método Taguchi. *Mejoramiento de la calidad del café soluble utilizando el método Taguchi*. Universidad

Nacional de Colombia, Manizales. Obtenido de
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052014000100011&script=sci_arttext&tlng=pt

demaquinasyherramientas. (3 de 12 de 2013). *Tipos de Mecanizado por Electroerosión*. Obtenido de demaquinas & herramientas:
<https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion>

El método Taguchi se ha utilizado en una amplia gama de industrias, i. l. (2015). *investigacion operativa. la metodología de taguchi en el control estadístico de la calidad*. Universidad Tecnológica Nacional, Regional Bahía Blanca. Obtenido de
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/11986/12697>

Handilya, P. ..., & Jain, P. y. (2011). *máquina de descarga eléctrica de cableing de fm ateriales compuestos de m atriz metá*. viena: d anube a dria a ssociación para una utomación y fabricación. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/263167689_Wire_Electric_Discharge_Machining_of_Metal_Matrix_Composite_Materials

J.Ross, P. (1996). *Técnicas Taguchi para ingeniería de calidad*. Michigan: McGraw Hill Profesional.

Jiménez-Chavarro*, G. (2016). Optimización del mecanizado de agujeros profundos. *Optimización del mecanizado de agujeros profundos*. Universidade de São Paulo, São Paulo. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v25n42/v25n42a10.pdf>

Mayorga, E. A. (2020). optimización de parámetros de corte en el. *tesis*. instituto tecnológico de toluca, estado de méxico. Obtenido de https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/4020/1/Eduin%20Ramirez%20tesis_011720.pdf

Metalunivers. (2002). *Metalmecanica*. españa: interempresas. Obtenido de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1916-Evolucion-tecnologica-de-las-maquinas-de-electroerosion-por-penetracion-ONA.html>

mexico, m. m. (2022). *electroerosionadoras*. mexico: mexico, modern machine shop. Obtenido de <https://www.mms-mexico.com/articulos/electroerosionadoras-que-es-el-mecanizado-por-descarga-electrica>

Molera Solà, P. (1989). *Mecanizado con arranque de viruta Mecanizado por abrasión*. barcelona: Boixareu editores. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3-_fVPR9HN4C&oi=fnd&pg=PA9&dq=Antecedentes+de+la+tecnolog%C3%ADa+de+erosi%C3%B3n+de+hilo&ots=I9CsJwE9ns&sig=ZvAoEnhEjBLK7y7Y3pIx-Q6alXA

Mostafa M. Shehata, S. E. (13 de diciembre de 2022). Proceso de mecanizado por descarga eléctrica de cables: desafíos y perspectivas de futuro. *Revista Internacional de Tecnología e Innovación de Materiales*, págs. 31-37. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366510841_Wire_Electrical_Discharge_Machining_Process_Challenges_and_Future_Prospets

- N. babu, S. M. (2019). Multi-response optimization of process parameters. *International Journal of Mechanical and Production*, 233-242. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Babu-Narayanan-3/publication/339783551_Multi-response_optimization_of_process_parameters_in_wire_electric_discharge_machining_of_ti-3al-25v_alloy_using_taguchi_integrated_grey_relational_analysis/links/5e65195692851c7
- Ortiz, L. M. (2013). Monografía. *estado del arte de los sistemas de corte de alta*. corporación mexicana de investigación en materiales, Saltillo. Obtenido de <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/84/1/Monograf%C3%A1Da%20LuisMarioZunigaO-SIN.pdf>
- Pere, m. s. (1989). *Electromecanizado: Electroerosión y mecanizado electroquímico*. barcelona: Marcombo. Obtenido de https://books.google.com.cu/books?id=3-_fVPR9HN4C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false
- Phadke, M. S. (1989). *Ingeniería de calidad utilizando un diseño robusto*. Michigan: Prentice Hall. Obtenido de https://books.google.com.co/books/about/Quality_Engineering_Using_Robust_Design.html?id=TZoQAQAAMAAJ&redir_esc=y
- S.Boopathi 1, K. 2. (4 de Junio de 2012). Estudio Paramétricode WEDM seco usando TaguchiMétodo. *Revista internacional de investigación y desarrollo de ingenieríaeISSN*, págs. 63-68. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/233802433_Parametric_Study_of_Dry_WEDM_Using_Taguchi_Method

Sánchez, I. J. (2022). Los diseños de taguchi contra los diseños clásicos de. *los diseños de taguchi contra los diseños clásicos de*. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Mexico. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94401906.pdf>

Sanchez, M. Á. (Genichi Taguchi). *Genichi Taguchi*. Mexico: Calidad total y productividad. Obtenido de <https://miguelangelperez50.weebly.com/-genichi-taguchi.html>

SS Mahapatra I ; Amar Patnaik. (2006). Optimización paramétrica del proceso de mecanizado por descarga eléctrica de alambre (WEDM) utilizando el método taguchi. *Departamento de Ingeniería Mecánica de GIET Gunupur. INDIA*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/285630962_Parametric_optimization_of_Wire_Electrical_Discharge_Machining_WEDM_process_using_taguchi_method

SS Mahapatra, A. P. (10 de enero de 2007). Optimización del mecanizado por descarga eléctrica de alambre.(WEDM) parámetros de proceso usando Tmétodo aguch. *Optimización de los parámetros del proceso de mecanizado por descarga eléctrica de alambre (WEDM) utilizando el método Taguchi*, págs. 911-925.