



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

TEMA:

Optimización de los parámetros operativos de una máquina de corte por electroerosión por hilo mediante diseño de experimentos para el incremento de la productividad y la precisión dimensional en la industria metalmecánica

AUTOR:

Miguel Ángel Pisco Jurado

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE: INGENIERO ELÉCTRICO MECANICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL**

TUTOR:

ING. Celso Bayardo Bohorquez Escobar, Ph.D.

Guayaquil, Ecuador

22 de agosto del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA INGENIERÍA ELECTRICO MECANICO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **MIGUEL ANGEL PISCO JURADO**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico mecánico con mención en gestión empresarial.

TUTOR (A)

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph.D
Guayaquil, 22 de Agosto del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECANICO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Miguel Ángel Pisco Jurado

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Optimización de los parámetros operativos de una máquina de corte por electroerosión por hilo mediante diseño de experimentos para el incremento de la productividad y la precisión dimensional en la industria metalmecánica** previo a la obtención del título de Ingeniero eléctrico, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 22 de agosto del 2026

EL AUTOR (A)

f. _____

Miguel Ángel Pisco Jurado



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECANICO

AUTORIZACIÓN

Yo, Miguel Pisco

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Optimización de los parámetros operativos de una máquina de corte por electroerosión por hilo mediante diseño de experimentos para el incremento de la productividad y la precisión dimensional en la industria metalmecánica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 22 de agosto del 2026

EL AUTOR(A):

f. _____

Miguel Ángel Pisco Jurado



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELECTRICO MECANICO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D.

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Ricardo Xavier Ubilla González. Ph.D.

COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Econ. Erika Paola Arzube Mendoza. Ph.D.

OPONENTE

REPORTE COMPILATIO



Certificado de análisis

Compilatio Magister+ | UCSG-EC- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

TRABAJO TITULACION PISCO 1.4 docx

ID : 0083ca113cb2701492e58dee85b8c85726d714f0



2%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TRABAJO TITULACION PISCO 1.4 docx.txt

Tamaño del archivo original : 5,51 MB

Número de palabras : 24.392

Depositante : Ronnie Alexander Bonilla Sánchez

Fecha de depósito : 6 de septiembre de 2026

Tipo de carga : interface

fecha de fin de análisis : 6 de septiembre de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

2%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

10%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D.

TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su amor inquebrantable sembraron en mí los valores del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermana por el apoyo brindado durante la realización de la carrera y la tesis. Cada sacrificio que hicieron por verme crecer se encuentra reflejado en cada página de este trabajo.

Les debo no solo este logro, sino la persona que soy.

A mi pareja, compañera fiel de vida y de sueños.

Por estar presente en los momentos de duda y celebrar conmigo cada pequeño avance. Tu amor ha sido el refugio que necesité para no rendirme.

A mis hijos, razón primera y última de todo cuanto emprendo. Que este logro les recuerde siempre que los sueños se alcanzan con dedicación, fe y amor.

Todo lo que hago, lo hago pensando en ustedes.

Miguel Pisco

AGREDECIMIENTO

A Dios, por ser la guía y fortaleza que sostiene cada paso de este camino. Su providencia ha sido el fundamento sobre el cual se ha edificado este esfuerzo, y es a Él a quien primeramente se eleva esta gratitud.

A mi familia, por su incondicional apoyo a lo largo de este proceso. Su sacrificio, paciencia y palabras de aliento en los momentos de mayor exigencia fueron el motor que impulsó la culminación de este trabajo. Este logro es, en gran medida, el resultado de su amor y dedicación.

Al director de esta tesis, por su orientación académica, su rigor científico y la disposición permanente para compartir su conocimiento. Su guía experta fue indispensable para dar forma y solidez a esta investigación.

Miguel Pisco

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1	2
ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	2
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Tipo de investigación.....	4
1.6. Metodología.....	5
2. 2.1 Fundamentación del objeto de estudio.....	6
2.1.1 La optimización como problema de ingeniería.....	6
2.1.2 Alcance del marco teórico.....	6
2.2.1 Procesos alternativos	7
2.2.2 Desarrollo industrial de la electroerosión	8
2.3. Principios de la electroerosión	8
2.3.1 Descarga eléctrica controlada	8
2.3.2 Conversión de energía y remoción.....	9
2.4 Fundamentos del corte por hilo.....	10
2.4.1 Configuración del proceso WEDM.....	10
2.4.2 Diferencias frente a otras variantes	10
2.5 Formación del canal de plasma	11
2.5.1 Ionización del espacio de trabajo	11
2.5.2 Colapso de la descarga	12
2.6 Mecanismos térmicos de remoción.....	12
2.6.1 Fusión y vaporización localizada.....	12
2.6.2 Cráteres y capa superficial	13
2.7 El fluido dieléctrico.....	14
2.7.1 Funciones eléctricas y térmicas.....	14

2.7.2 Conductividad y estabilidad.....	15
2.8 El electrodo de hilo	15
2.8.1 Material y diámetro	15
2.8.2 Desgaste y renovación continua.....	16
2.9 Arquitectura de la máquina WEDM	17
2.9.1 Estructura y ejes de movimiento	17
2.9.2 Subsistemas coordinados	18
2.10 Control numérico y trayectoria	18
2.10.1 Interpolación geométrica.....	18
2.10.2 Estrategia de pasadas.....	19
2.11 Separación interelectródica	20
2.11.1 Concepto de gap	20
2.11.2 Efectos sobre el contorno	21
2.12 Parámetros eléctricos fundamentales	21
2.12.1 Tiempo de pulso activo	21
2.12.2 Tiempo de pausa	22
2.13 Corriente, tensión y energía de pulso	23
2.13.1 Intensidad de descarga	23
2.13.2 Tensión y condición del espacio	24
2.14 Parámetros mecánicos del hilo.....	25
2.14.1 Tensión del electrodo	25
2.14.2 Velocidad de alimentación.....	26
2.15 Lavado y evacuación de residuos.....	26
2.15.1 Presión del fluido	26
2.15.2 Condiciones de boquillas	27
2.16 Propiedades del material de trabajo	28
2.16.1 Conductividad y comportamiento térmico.....	28
2.16.2 Microestructura y estado inicial	29
2.17 Espesor y geometría de la pieza	29
2.17.1 Longitud efectiva de corte.....	29
2.17.2 Esquinas y cambios de dirección	30
2.18 Productividad en WEDM.....	31
2.18.1 Tasa de arranque de material.....	31
2.18.2 Velocidad de corte y tiempo de ciclo	31
2.19 Precisión dimensional	32

2.19.1 Error de medida y desviación nominal.....	32
2.19.2 Fuentes de variación.....	32
2.20 Ancho de corte y compensación	33
2.20.1 Formación del kerf	33
2.20.2 Ajuste de offset	34
2.21 Rugosidad e integridad superficial.....	34
2.21.1 Topografía generada.....	34
2.21.2 Capa refundida y microfisuras	35
2.22 Conicidad, rectitud y precisión de forma	36
2.22.1 Desviación del hilo.....	36
2.22.2 Control de la geometría.....	36
2.23 Estabilidad del proceso	37
2.23.1 Descargas normales y anormales	37
2.23.2 Rotura del hilo.....	38
2.24 Metrología aplicada.....	38
2.24.1 Sistema de medición	38
2.24.2 Repetibilidad y reproducibilidad.....	39
2.25 Bases del diseño de experimentos.....	40
2.25.1 Experimentación planificada.....	40
2.25.2 Unidad experimental y aleatorización.....	40
2.26 Factores, niveles y respuestas	41
2.26.1 Selección de variables controlables	41
2.26.2 Definición operacional de respuestas.....	42
2.27 Diseños factoriales	42
2.27.1 Efectos principales	42
2.27.2 Interacciones	43
2.28 Metodología de Taguchi	44
2.28.1 Arreglos ortogonales	44
2.28.2 Relación señal ruido	44
2.29 Análisis de varianza	45
2.29.1 Descomposición de la variabilidad	45
2.29.2 Significancia y contribución	45
2.30 Modelos de regresión	46
2.30.1 Relación entre factores y respuestas	46
2.30.2 Diagnóstico de residuos	47

2.31 Metodología de superficies de respuesta.....	47
2.31.1 Curvatura y términos cuadráticos.....	47
2.31.2 Diseños de segundo orden.....	48
2.32 Optimización multiobjetivo	49
2.32.1 Conflicto entre productividad y precisión.....	49
2.32.2 Función de deseabilidad.....	49
2.33 Confirmación y robustez	50
2.33.1 Corridas de validación.....	50
2.33.2 Sensibilidad operativa	50
2.34 Aplicación en la industria metalmecánica.....	51
2.34.1 Moldes, troqueles y componentes de precisión	51
2.34.2 Productividad con enfoque industrial.....	52
2.35.2 Proposición teórica de mejora	53
CAPITULO III	54
3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIAGNOSTICO ACTUAL	54
CAPITULO IV	59
4. PROPUESTA	59
4.1. Mantenimiento correctivo basado en análisis de observación del equipo.....	59
4.2.1. Análisis de señales	59
4.2.2. Cambio de piezas consumibles y modificación del sistema de poleas	60
CAPITULO V	79
5. ESTUDIO ECONÓMICO Y POSIBLES IMPACTOS	79
5.1. Estudio económico	79
5.1.1. Gastos por mantenimientos.....	81
5.1.2. Mejoras en la eficiencia de la maquina.....	81
5.1.3. Disminución de riesgos	82
5.1.4. Alternativas del servicio	82
5.1.5. Posibles repercusiones	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.2. Conclusiones.....	88
5.3. Recomendaciones	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proforma de repuestos 2026.....	81
Tabla 2. Comparativa antes / después de optimización 2026	84
Tabla 3. Comparación de tipos de máquinas de electroerosión por hilo 2026	85
Tabla 4. Tabla comparativa de mejoras 2026	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. maquina cortadora laser	13
Figura 2. máquina de hilo.....	16
Figura 3. Arco eléctrico.....	20
Figura 4. tiempo de chispa encendida	22
Figura 5. tiempo de chispa apagada	23
Figura 6. corriente pico	24
Figura 7. herramienta de tensión de hilo 2026.....	25
Figura 8. fluido dieléctrico	27
Figura 9. ilustración de rugosidad	35
Figura 10. ubicación del predio 2026.....	54
Figura 11. marca y modelo de la maquina 2026	55
Figura 12. placa de datos e identificación 2026.....	56
Figura 13. unidad de potencia hx-w6 2026.....	57
Figura 14. Polea para cable de carburo de tungsteno 2026.....	60
Figura 15. Piezas consumibles de máquina de corte por hilo wedm 2025	61
Figura 16. Polea para cable de carburo de tungsteno a prueba de agua 2026.....	62
Figura 17. Limitador de carrera 2026	62
Figura 18. Bloque conductivo 2026	63
Figura 19. Banda de tambor 2026	64
Figura 20. rodamiento de polea 2026.....	64
Figura 21. Polea tensora modificación 2026.....	65
Figura 22. Brazo antivibración 2026.....	66
Figura 23. Polea posterior auxiliar 2026	67
Figura 24. Imanes de neodimio 2026.....	68
Figura 25. Servomotor de fase de 6 cables 2025	69
Figura 26. Tonillo principal de mesa 2026	70
Figura 27. Bloque de guía de agua 2025.....	71
Figura 28. limpieza de la unidad de potencia 2026.....	72
Figura 29. Cambio de tuberías de lubricación manual 2026.....	73
Figura 30. Fabricación de carcasa de bornera de tierra 2026.....	74
Figura 31. Cambio de socket y fusibles en unidad de control 2026	75
Figura 32. limpieza y mantenimiento de computadora maquina wedm 2026	76
Figura 33. limpieza total del reservorio 2026	77
Figura 34. Reservorio y los imanes limpios 2026.....	78
Figura 35. Costo óptimo por mantenimiento predictivo 2014	79
Figura 36. Esquema no favorable 2022.....	80

RESUMEN

El trabajo a realizar tiene como objetivo principal hacer el respectivo levantamiento de información y diagnostico actuales del equipo de corte por electroerosión por hilo. Optimizando el mantenimiento predictivo para conocer e identificar las fallas más comunes en los sistemas mecánicos rotatorios ocasionados por, malos alineamientos, golpeteos por desgaste, temperaturas inadecuadas, poleas desgastadas, bandas gastadas, desgaste en las guías de la mesa. Así mismo es necesario tener claro los conceptos básicos de tensión y vibraciones, las secuencias de torque y medición en cada parte para recabar información del comportamiento de la maquina y analizar las posibles fallas.

Desde otro ángulo realizar también un debido estudio económico y posibles impactos que encierran los márgenes de conveniencia y viabilidad del proyecto donde se plantea la modificación del mismo o la adquisición de un equipo nuevo, personal calificado para la evaluación y manejo del equipo también su mantenimiento.

Los diferentes tipos de normas y la forma en las que se las implementa influyen en la productividad de la máquina, se considera una revisión de los beneficios y probabilidades de manera desfavorables. Como último punto se contempla la aplicación de un mantenimiento predictivo especializado en los sistemas modificados para una mejora de la productividad.

Palabras clave: equipos, análisis, diagnostico, predictivo, productividad, medición

ABSTRACT

The primary objective of this project is to gather data and assess the current condition of the wire-cut EDM (Electrical Discharge Machining) equipment. This involves optimizing predictive maintenance to identify common failures in rotating mechanical systems—such as those caused by misalignment, impact due to wear, improper temperatures, worn pulleys, worn belts, and wear on table guides. It's also essential to understand the fundamentals of tension and vibration, as well as torque and measurement sequences for each component, in order to collect data on the machine behavior to analyze potential flaws.

Furthermore, the project entails an economic analysis and an assessment of the viability and cost-benefit implications of either modifying the existing equipment or acquiring a new unit, while also considering the need for qualified personnel to evaluate, operate, and maintain the machinery.

Since various standards and their implementation methods impact machine productivity, the project includes a review of potential benefits and risks. Finally, the implementation of specialized predictive maintenance for the modified systems is proposed to enhance productivity.

Keywords: equipment, analysis, diagnostics, predictive, productivity, measurement.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

El proceso de Mecanizado por Electroerosión por Hilo (WEDM, por sus siglas en inglés) es una tecnología crucial en la manufactura avanzada, especialmente para la fabricación de matrices, moldes y piezas de alta precisión geométrica en materiales de alta dureza que sean conductores eléctricos. Sin embargo, el ciclo de vida útil de la maquinaria industrial expone a los sistemas electrónicos, de control y mecánicos a la obsolescencia tecnológica programada. Una maquina WEDM con sistemas de control desactualizados o componentes mecánicos desgastados se traduce en paradas no programadas, pérdida de precisión y tasas de remoción de material deficientes.

El presente proyecto de tesis aborda la optimización de una maquina WEDM de corte por hilo. A través de la sustitución de sistemas obsoletos o desgastados por encima de lo permitido por nuevas arquitecturas, la actualización de la etapa de potencia y la restauración de los elementos de transmisión de movimiento, se busca extender la vida útil, garantizando un incremento medible en la productividad el acabado superficial y la precisión dimensional de las piezas mecanizadas.

1.2. Planteamiento del Problema

En el entorno industrial actual, la competitividad exige altos índices de eficiencia y tolerancias geométricas estrictas. La máquina EDM objeto de este estudio presenta una serie de limitaciones operativas debido a su obsolescencia:

Inestabilidad en el proceso de descarga: El generador de pulsos antiguo no permite una modulación fina de la frecuencia y el voltaje, provocando roturas frecuentes del hilo y un acabado superficial deficiente.

Pérdida de precisión dimensional: el desgaste en los husillos y guías, sumado a la baja resolución de los servomotores de paso a paso originales, generando errores de posicionamiento y holguras fuera de tolerancias (backlash)

Limitaciones de conectividad y control: la interfaz de usuario obsoleta impide la carga de archivos G-code modernos además de la integración de sistemas CAD/CAM usado ampliamente en la actualidad.

Reemplazar el equipo por uno nuevo: es una inversión de capital de alto riesgo, Por lo tanto, el problema radica en: ¿Cómo incrementar la productividad y precisión de una máquina WEDM de corte por hilo obsoleta mediante una estrategia de optimización paramétrica que resulte técnica y económicamente viable?

1.3. Justificación

Justificación Técnica: La repotenciación permite integrar algoritmos de control de lazo cerrado modernos y fuentes de poder de pulsos más eficientes. Esto optimiza variables críticas como el tiempo de encendido y apagado, estabilizando la chispa y reduciendo los tiempos de ciclo.

Justificación Económica: el costo de un retrofit integral representa típicamente entre 20% y el 35% del valor de una maquina nueva equivalente, permitiendo a la empresa recuperar capacidades de manufactura de alta precisión con una fracción de la inversión.

Justificación Académica/Científica: este trabajo de tesis aporta una metodología documentada sobre la sincronización entre el control de movimiento y la respuesta dieléctrica en el proceso de electroerosión de corte por hilo, sirviendo como base para futuras investigaciones en manufactura avanzada.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Optimizar una máquina de electroerosión (EDM) de corte por hilo mediante la actualización de sus sistemas de control, potencia y transmisión mecánica, para incrementar su productividad y precisión dimensional en procesos de manufactura.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado mecánico, eléctrico y de control inicial de la máquina EDM para establecer la línea base de precisión y tasa de remoción de material.
- Seleccionar e implementar servomotores de paso a paso y sistemas de transmisión de alta resolución para mitigar errores de posicionamiento y holguras mecánicas.
- Validar los resultados mediante pruebas de corte estándar, comparando las rugosidades superficiales, precisión geométrica y tiempos de ejecución antes y después de la intervención.

1.5. Tipo de investigación.

Este estudio combina enfoques cualitativos y cuantitativos. Su propósito va más allá de presentar el mantenimiento predictivo como la solución central para mejorar la producción y la calidad: busca ofrecer una visión amplia de las distintas alternativas de métodos y ajustes disponibles para detectar problemas. Para ello, se recurre a técnicas de investigación de campo, bibliográfica, exploratoria y descriptiva.

1.6. Metodología

El trabajo se centra en una revisión de la literatura, a través de la cual se adquiere un conocimiento teórico y analítico. Esto se logra recopilando datos sobre los parámetros relevantes para definir un procedimiento adecuado y aplicable en la práctica, siguiendo pasos concretos como el mantenimiento predictivo y su correspondiente documentación actualizada respecto a su implementación. El objetivo es organizar la información recogida de diversas fuentes bibliográficas, sintetizarla en un texto resumido y evaluar los resultados obtenidos con este tipo de mantenimiento.

Se consideran todos los principios, ilustraciones y mediciones relacionados con el mantenimiento predictivo, entendido como un estudio equilibrado y de carácter experimental, ya que su finalidad es plantear un problema que permita desarrollar una investigación más precisa.

De este modo, se recopilan primero los documentos más recientes disponibles sobre los nuevos métodos y tecnologías de mantenimiento predictivo. A partir de dicho análisis se construye una base de datos, consultando índices, catálogos virtuales, libros, listados de referencias, bibliotecas virtuales, repositorios y búsquedas en internet.

Posteriormente, se filtra la información obtenida, se identifican los datos recurrentes y los elementos que distinguen a cada escrito, y finalmente se clasifican los documentos según las técnicas empleadas y los métodos de mantenimiento predictivo desarrollados en los últimos cinco años hasta la actualidad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. 2.1 Fundamentación del objeto de estudio

2.1.1 La optimización como problema de ingeniería

La optimización de una máquina de corte por electroerosión por hilo se entiende como la búsqueda sistemática de una combinación operativa capaz de elevar el rendimiento sin deteriorar la geometría obtenida. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.1.1 la optimización como problema de ingeniería constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.1.2 Alcance del marco teórico

El análisis integra la física de la descarga eléctrica, el comportamiento de la máquina, la medición de las respuestas y los métodos estadísticos que permiten relacionar causas con resultados. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.1.2 alcance del marco teórico constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.2 Evolución del mecanizado no convencional

2.2.1 Procesos alternativos

La expansión de aleaciones endurecidas, carburos y materiales de difícil corte impulsó procesos que no dependen de una arista mecánica para separar material. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.2.1 necesidad de procesos alternativos constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.2.2 Desarrollo industrial de la electroerosión

La incorporación del control numérico, generadores de pulsos más estables y sistemas de enhebrado automático convirtió la electroerosión por hilo en una tecnología de producción y no solamente de acabado. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.2.2 desarrollo industrial de la electroerosión constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.3. Principios de la electroerosión

2.3.1 Descarga eléctrica controlada

El arranque se produce mediante descargas transitorias entre dos conductores separados por un fluido dieléctrico, sin que exista contacto mecánico permanente entre herramienta y pieza. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.3.1 descarga eléctrica controlada constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.3.2 Conversión de energía y remoción

La energía eléctrica concentrada genera calentamiento localizado, fusión, vaporización y expulsión de una fracción del material dentro de un intervalo extremadamente breve. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.3.2 conversión de energía y remoción constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.4 Fundamentos del corte por hilo

2.4.1 Configuración del proceso WEDM

En el corte por electroerosión por hilo, un electrodo continuo y tensionado recorre una trayectoria programada mientras la pieza permanece sumergida o sometida a lavado dieléctrico. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.4.1 configuración del proceso wedm constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.4.2 Diferencias frente a otras variantes

A diferencia de la electroerosión por penetración, el hilo no reproduce una cavidad tridimensional completa, sino que define un contorno mediante el desplazamiento coordinado de los ejes. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.4.2 diferencias frente a otras variantes constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.5 Formación del canal de plasma

2.5.1 Ionización del espacio de trabajo

Cuando la diferencia de potencial supera la resistencia dieléctrica del espacio interelectródico, se forma un canal ionizado que permite el paso de corriente. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.5.1 ionización del espacio de trabajo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.5.2 Colapso de la descarga

Al finalizar el pulso, el canal pierde estabilidad, el fluido recupera gradualmente su capacidad aislante y los residuos deben ser retirados antes de la siguiente descarga. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.5.2 colapso de la descarga constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

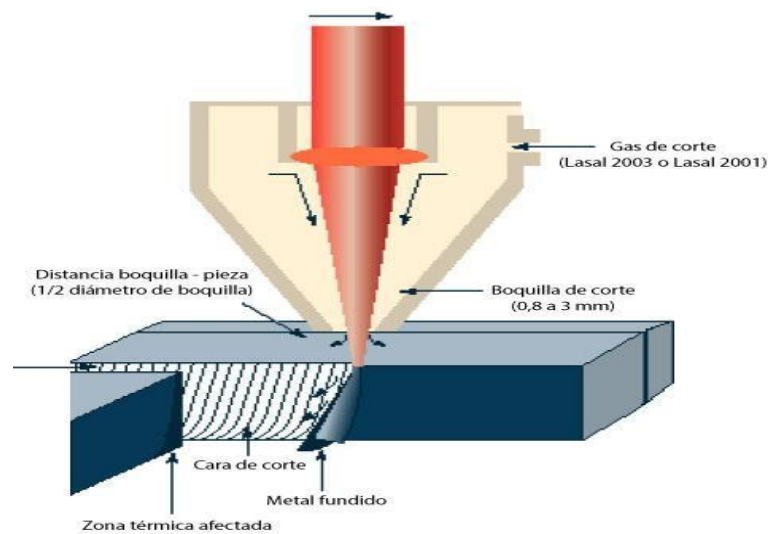
2.6 Mecanismos térmicos de remoción

2.6.1 Fusión y vaporización localizada

La superficie sometida a la descarga alcanza temperaturas elevadas en una zona microscópica, por lo que el volumen removido depende de la energía suministrada y del tiempo de interacción. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.6.1 fusión y vaporización localizada constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

*Figura 1.
maquina cortadora laser*



Adaptada de gráficos de air liquide 2026 (corte por laser)

2.6.2 Cráteres y capa superficial

Cada descarga deja un cráter cuya superposición determina la topografía final, mientras una parte del material fundido puede resolidificarse y formar una capa alterada. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.6.2 cráteres y capa superficial constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.7 El fluido dieléctrico

2.7.1 Funciones eléctricas y térmicas

El agua desionizada actúa como aislante temporal, medio de enfriamiento y vehículo para transportar partículas fuera de la separación de trabajo. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.7.1 funciones eléctricas y térmicas constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.7.2 Conductividad y estabilidad

Una conductividad fuera del intervalo apropiado modifica la facilidad de ionización, aumenta la dispersión de las descargas y puede favorecer cortocircuitos o mecanizado inestable. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.7.2 conductividad y estabilidad constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

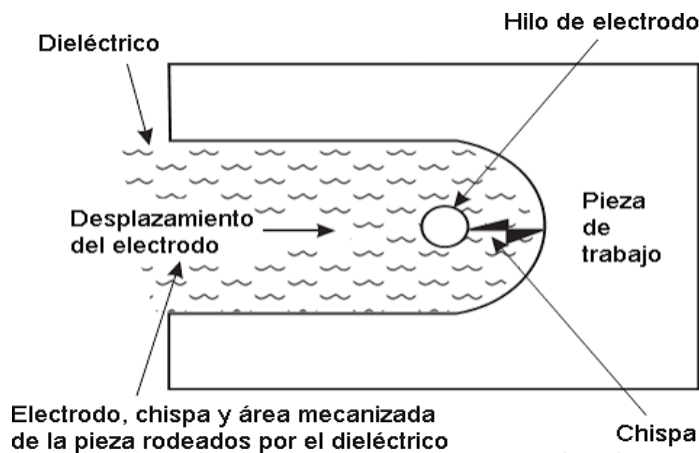
2.8 El electrodo de hilo

2.8.1 Material y diámetro

Los hilos de latón, cobre recubierto y otras composiciones combinan conductividad, resistencia mecánica y capacidad de evacuación térmica con diámetros seleccionados según el detalle requerido. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.8.1 material y diámetro constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

*Figura 2.
máquina de hilo*



Adaptada de tipos de mecanismo por electroerosión 2018(demequinasyherramientas.com)

2.8.2 Desgaste y renovación continua

El avance continuo del hilo distribuye el daño térmico y conserva una zona activa relativamente uniforme, aunque incrementa el consumo y exige control del sistema de alimentación. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.8.2 desgaste y renovación continua constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.9 Arquitectura de la máquina WEDM

2.9.1 Estructura y ejes de movimiento

La rigidez del bastidor, la precisión de las guías y la respuesta de los accionamientos determinan la capacidad de seguir contornos con errores reducidos. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.9.1 estructura y ejes de movimiento constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.9.2 Subsistemas coordinados

El generador, las guías del hilo, el control numérico, el tanque, la filtración y los sensores operan como un sistema integrado cuya interacción afecta el resultado final. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.9.2 subsistemas coordinados constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.10 Control numérico y trayectoria

2.10.1 Interpolación geométrica

El control numérico transforma la geometría programada en movimientos sincronizados y compensa el radio efectivo de corte mediante el desplazamiento lateral del hilo. Esta relación se debe relacionar como parte del sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avances, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ellos, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor, sino por la forma en la que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte de selección.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.10.1 interpolación geométrica constituye un vehículo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantemente las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.10.2 Estrategia de pasadas

La combinación de una pasada de desbaste y varias pasadas de repaso permite separar el objetivo de remoción rápida del objetivo de corrección geométrica y superficial. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.10.2 estrategia de pasadas constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

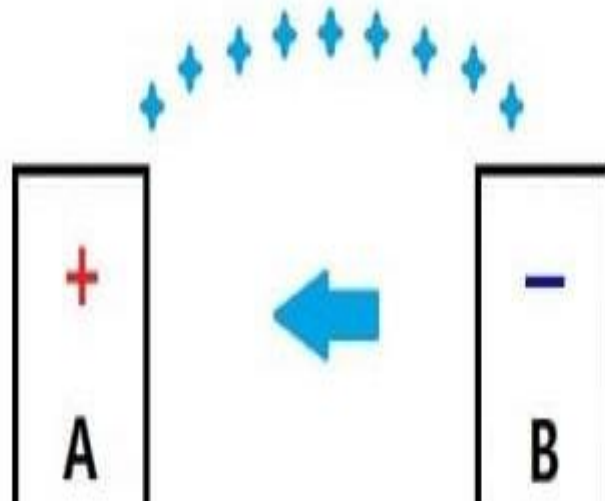
2.11 Separación interelectrónica

2.11.1 Concepto de gap

La separación entre hilo y pieza es una variable dinámica regulada por el servosistema a partir del estado eléctrico observado en cada intervalo. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.11.1 concepto de gap constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

Figura 3.
Arco eléctrico



Adaptada de sector electricidad 2021 (sectorelectricidad.com)

2.11.2 Efectos sobre el contorno

Una separación inestable produce variaciones en el ancho de corte, altera la compensación programada y se manifiesta como dispersión dimensional en la pieza. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.11.2 efectos sobre el contorno constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

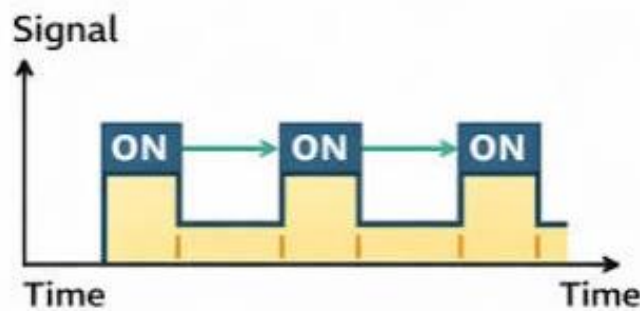
2.12 Parámetros eléctricos fundamentales

2.12.1 Tiempo de pulso activo

El tiempo durante el cual se aplica energía influye en el tamaño del cráter, la velocidad de remoción y la magnitud del daño térmico superficial. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.12.1 tiempo de pulso activo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

*Figura 4.
tiempo de chispa encendida*



Adaptada de technology ariat 2026 (ariat-tech.es)

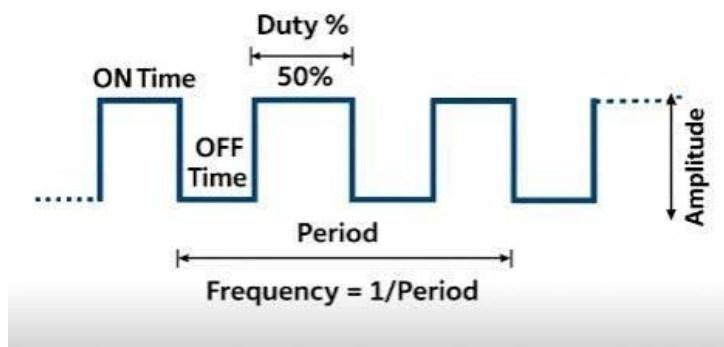
2.12.2 Tiempo de pausa

El intervalo sin descarga facilita la deionización y la evacuación de residuos, aunque una pausa excesiva reduce la frecuencia efectiva de mecanizado. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.12.2 tiempo de pausa constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

Figura 5.
tiempo de chispa apagada



Adaptada de tecnologia ariat 2026 (ariat-tech.es)

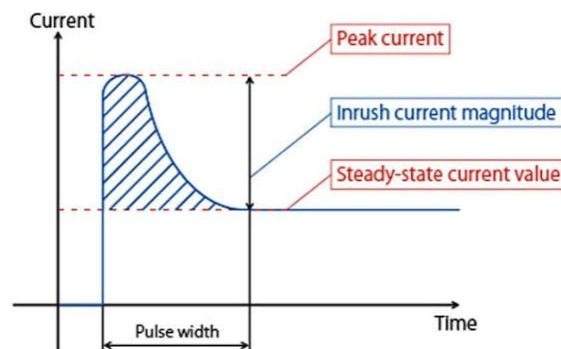
2.13 Corriente, tensión y energía de pulso

2.13.1 Intensidad de descarga

La corriente de pico se relaciona con la potencia instantánea que alcanza el canal de plasma y, por ello, con el volumen removido en cada evento. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Barrera, 2023).

Desde una perspectiva tecnológica, 2.13.1 intensidad de descarga constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

Figura 6.
corriente pico



Adaptada de que es la corriente de interrupción 2026 (sincede.com)

2.1. 2.13.2 Tensión y condición del espacio

La tensión aplicada interviene en la iniciación de la descarga y ofrece información indirecta sobre la limpieza y la distancia del espacio interelectródico. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (OIT, 2022).

Dentro de una investigación experimental, 2.13.2 tensión y condición del espacio constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial (OIT, 2022).

2. 14 Parámetros mecánicos del hilo

2.14.1 Tensión del electrodo

Una tensión adecuada limita la desviación lateral del hilo y mejora la reproducción del perfil, pero valores excesivos elevan el riesgo de rotura. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema donde una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avances, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no quiere significado únicamente por su valor dominar, sino por la forma que interactúa con el material, el espesor del estado del dieléctrico y la estrategia de corte seccionada.

En términos operativos, 2.14.1 tensión del electrodo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constante las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducida. Esta preocupación resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

*Figura 7.
herramienta de tensión de hilo 2026*



Adaptada de aparato de medición de tensión de hilo 2026 (directindustry.es)

2.14.2 Velocidad de alimentación

La renovación del electrodo modifica la distribución térmica, el consumo de hilo y la estabilidad con la que se sostienen las descargas durante el corte. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.14.2 velocidad de alimentación constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.15 Lavado y evacuación de residuos

2.15.1 Presión del fluido

La presión de lavado debe remover partículas sin inducir una fuerza hidráulica que desvíe el hilo o perturbe la zona de corte. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.15.1 presión del fluido constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

Figura 8.
fluido dieléctrico



Adaptada de made in china 2026 (made-in china.com)

2.15.2 Condiciones de boquillas

La distancia entre boquillas, la alineación y el grado de confinamiento del chorro alteran la eficacia de limpieza, en especial cuando aumenta el espesor de la pieza. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.15.2 condiciones de boquillas constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.16 Propiedades del material de trabajo

2.16.1 Conductividad y comportamiento térmico

La resistividad, la conductividad térmica, el punto de fusión y la capacidad calorífica modifican la manera en que el material recibe y disipa la energía. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.16.1 conductividad y comportamiento térmico constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.16.2 Microestructura y estado inicial

La dureza no gobierna el proceso del mismo modo que en el corte convencional, pero la microestructura, las inclusiones y los tratamientos previos influyen en la respuesta local. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.16.2 microestructura y estado inicial constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.17 Espesor y geometría de la pieza

2.17.1 Longitud efectiva de corte

Al aumentar el espesor, el hilo permanece expuesto a descargas y fuerzas de lavado en una mayor longitud, lo que incrementa su posibilidad de curvatura. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

La interpretación de este aspecto muestra que 2.17.1 longitud efectiva de corte constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.17.2 Esquinas y cambios de dirección

En trayectorias con radios pequeños, la inercia del sistema y la flexión del hilo pueden provocar sobre cortes, redondeo o pérdida de fidelidad geométrica. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.17.2 esquinas y cambios de dirección constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.18 Productividad en WEDM

2.18.1 Tasa de arranque de material

La tasa de arranque expresa la cantidad de material eliminada por unidad de tiempo y constituye una respuesta central al comparar configuraciones de mecanizado. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.18.1 tasa de arranque de material constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.18.2 Velocidad de corte y tiempo de ciclo

En producción, la utilidad de una condición depende también de la velocidad lineal alcanzada, las pausas, los reintentos y las pasadas adicionales necesarias. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.18.2 velocidad de corte y tiempo de ciclo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.19 Precisión dimensional

2.19.1 Error de medida y desviación nominal

La precisión dimensional se evalúa comparando la dimensión obtenida con la especificación, bajo un procedimiento de medición trazable y repetible. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Blacio & Esparza, 2022).

Desde una perspectiva tecnológica, 2.19.1 error de medida y desviación nominal constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.19.2 Fuentes de variación

La compensación del hilo, el gap, la desviación térmica, el estado de las guías y la estrategia de trayectoria forman una cadena de contribuciones al error final. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.19.2 fuentes de variación constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.20 Ancho de corte y compensación

2.20.1 Formación del kerf

El ancho de corte resulta de la suma del diámetro del hilo y las separaciones laterales generadas por las descargas, por lo que no permanece constante ante cambios energéticos. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Cartagena, 2021).

En términos operativos, 2.20.1 formación del kerf constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.20.2 Ajuste de offset

La compensación debe corresponder al estado real del proceso; de lo contrario, una mejora aparente de velocidad puede trasladarse a una desviación sistemática del contorno. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.20.2 ajuste de offset constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

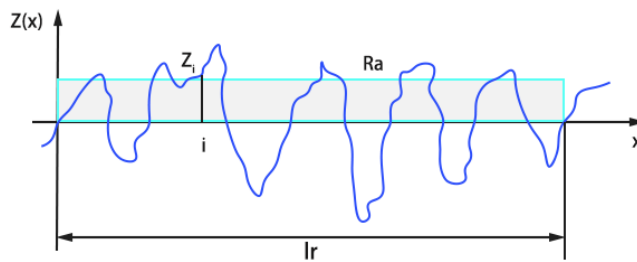
2.21 Rugosidad e integridad superficial

2.21.1 Topografía generada

La rugosidad depende de la profundidad y distribución de los cráteres, aspectos vinculados con la energía por pulso y la estabilidad de las descargas. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Sanchez, 2021).

Dentro de una investigación experimental, 2.21.1 topografía generada constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

Figura 9.
ilustración de rugosidad



Adaptada de rugosidad superficial 2025 (sogaworks.com)

2.21.2 Capa refundida y microfisuras

Las condiciones térmicas severas pueden dejar material resolidificado, tensiones residuales y discontinuidades microscópicas que afectan el desempeño posterior del componente. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Ortega, 2024).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.21.2 capa refundida y microfisuras constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.22 Conicidad, rectitud y precisión de forma

2.22.1 Desviación del hilo

La diferencia entre la posición de las guías y la posición efectiva del hilo dentro de la pieza explica parte de la conicidad y de los errores de rectitud. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.22.1 desviación del hilo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.22.2 Control de la geometría

La tensión, el lavado, la velocidad y las pasadas de acabado deben coordinarse para evitar que la productividad se obtenga a costa de la forma especificada. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Para el análisis de la máquina, 2.22.2 control de la geometría constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Ortega, 2024).

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.23 Estabilidad del proceso

2.23.1 Descargas normales y anormales

Una condición estable mantiene una proporción elevada de descargas útiles, mientras los arcos y cortocircuitos consumen tiempo y concentran energía de manera perjudicial. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Jami, 2023).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.23.1 descargas normales y anormales constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Bolaños & Macías, 2024).

2.23.2 Rotura del hilo

La rotura representa una interrupción crítica asociada con acumulación térmica, tensión mecánica, lavado deficiente o selección inadecuada de los parámetros. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Acosta, 2026).

Desde una perspectiva tecnológica, 2.23.2 rotura del hilo constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial (Acosta, 2026).

2.24 Metrología aplicada

2.24.1 Sistema de medición

La evaluación de dimensiones exige instrumentos calibrados, resolución compatible con las tolerancias y condiciones ambientales que reduzcan la expansión térmica. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Bricio, 2026).

Para el análisis de la máquina, 2.24.1 sistema de medición constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Guzman & Lopez, 2023).

2.24.2 Repetibilidad y reproducibilidad

Antes de atribuir diferencias a los parámetros de corte, debe comprobarse que la variación del sistema de medición sea pequeña frente a la variación observada entre tratamientos. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.24.2 repetibilidad y reproducibilidad constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.25 Bases del diseño de experimentos

2.25.1 Experimentación planificada

El diseño de experimentos organiza cambios deliberados en los factores para estimar sus efectos sobre una o varias respuestas con eficiencia estadística. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Fernández, 2022).

Desde una perspectiva tecnológica, 2.25.1 experimentación planificada constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrando las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Espinoza, 2022).

2.25.2 Unidad experimental y aleatorización

La definición de la unidad experimental, el orden aleatorio y la constancia de condiciones auxiliares reducen sesgos que podrían confundirse con los efectos de interés. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Becerra, 2023).

Dentro de una investigación experimental, 2.25.2 unidad experimental y aleatorización constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.26 Factores, niveles y respuestas

2.26.1 Selección de variables controlables

Los factores deben representar ajustes disponibles en la máquina y poseer intervalos técnicamente seguros, suficientemente amplios para revelar cambios relevantes. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Acosta, 2026).

En términos operativos, 2.26.1 selección de variables controlables constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.26.2 Definición operacional de respuestas

La productividad y la precisión requieren fórmulas, instrumentos y criterios de registro establecidos antes de ejecutar las pruebas para evitar interpretaciones posteriores acomodadas. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Miranda, 2024).

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.26.2 definición operacional de respuestas constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.27 Diseños factoriales

2.27.1 Efectos principales

Un diseño factorial permite estudiar simultáneamente varios parámetros y cuantificar el cambio promedio asociado con cada factor dentro de los niveles analizados. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Puma, 2023).

Dentro de una investigación experimental, 2.27.1 efectos principales constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Puma, 2023).

2.27.2 Interacciones

La interacción aparece cuando el efecto de un parámetro depende del nivel de otro, situación frecuente entre energía de pulso, pausa, lavado y tensión del hilo. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Heredia, 2022).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.27.2 interacciones constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial (Acosta, 2026).

2.28 Metodología de Taguchi

2.28.1 Arreglos ortogonales

Los arreglos ortogonales reducen el número de corridas respecto de un factorial completo y conservan equilibrio para estimar los efectos asignados a sus columnas. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.28.1 arreglos ortogonales constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Altamirano, 2023).

2.28.2 Relación señal ruido

La relación señal ruido sintetiza desempeño y variabilidad según el propósito de la respuesta, ya sea maximizar productividad, minimizar error o aproximarse a un valor objetivo. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Chipe & Lucio, 2023).

Para el análisis de la máquina, 2.28.2 relación señal ruido constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.29 Análisis de varianza

2.29.1 Descomposición de la variabilidad

El análisis de varianza separa la variación atribuible a los factores de la variación residual y permite valorar la evidencia de efectos sistemáticos. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Garcia, 2024).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.29.1 descomposición de la variabilidad constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.29.2 Significancia y contribución

El valor de probabilidad, los grados de libertad y la contribución porcentual deben interpretarse junto con la magnitud técnica del efecto y no como decisiones aisladas. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.29.2 significancia y contribución constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.30 Modelos de regresión

2.30.1 Relación entre factores y respuestas

La regresión representa matemáticamente el comportamiento observado y permite predecir resultados dentro de la región experimental estudiada. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Barros & Saltos, 2022).

Para el análisis de la máquina, 2.30.1 relación entre factores y respuestas constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Barros & Saltos, 2022) o.

2.30.2 Diagnóstico de residuos

La validez del modelo depende de revisar normalidad aproximada, independencia, varianza constante, observaciones influyentes y falta de ajuste. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Jumbo, 2021).

En términos operativos, 2.30.2 diagnóstico de residuos constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.31 Metodología de superficies de respuesta

2.31.1 Curvatura y términos cuadráticos

Las superficies de respuesta amplían el análisis lineal mediante términos cuadráticos y de interacción capaces de describir máximos, mínimos y zonas de compromiso. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.31.1 curvatura y términos cuadráticos constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.31.2 Diseños de segundo orden

Los diseños centrales compuestos y Box Behnken exploran la región con puntos distribuidos para estimar curvatura sin recurrir a todas las combinaciones posibles. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Garcia, 2023).

Dentro de una investigación experimental, 2.31.2 diseños de segundo orden constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro (Garcia, 2023).

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.32 Optimización multiobjetivo

2.32.1 Conflicto entre productividad y precisión

El aumento de energía puede acelerar la remoción, pero también ampliar el gap, elevar la rugosidad y agravar la desviación dimensional. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En términos operativos, 2.32.1 conflicto entre productividad y precisión constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.32.2 Función de deseabilidad

La deseabilidad transforma respuestas con escalas distintas en indicadores comparables y permite localizar una solución de compromiso según prioridades explícitas. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.32.2 función de deseabilidad constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.33 Confirmación y robustez

2.33.1 Corridas de validación

La combinación óptima propuesta por el modelo debe comprobarse mediante corridas independientes y compararse con intervalos de predicción y condiciones de referencia. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Dentro de una investigación experimental, 2.33.1 corridas de validación constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.33.2 Sensibilidad operativa

Una solución robusta conserva un desempeño aceptable ante pequeñas variaciones de conductividad, temperatura, material y ajuste cotidiano de la máquina. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Lema, 2022).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.33.2 sensibilidad operativa constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.34 Aplicación en la industria metalmecánica

2.34.1 Moldes, troqueles y componentes de precisión

La tecnología resulta valiosa cuando se requieren contornos complejos en materiales endurecidos, ranuras estrechas y perfiles que serían costosos por métodos convencionales. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

En el contexto de la manufactura de precisión, 2.34.1 moldes, troqueles y componentes de precisión constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.34.2 Productividad con enfoque industrial

La decisión de parámetros debe considerar consumo de hilo, energía, mantenimiento, rechazos, tiempos de preparación y capacidad efectiva del equipo. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada (Villacis, 2025).

Para el análisis de la máquina, 2.34.2 productividad con enfoque industrial constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

2.35 Articulación conceptual de la investigación

2.35.1 Relación entre las variables.

Los parámetros eléctricos, mecánicos y de lavado conforman las variables independientes; la productividad y la precisión dimensional representan respuestas vinculadas mediante mecanismos físicos y estadísticos. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez e avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seccionada (Salazar, 2023).

La interpretación de este aspecto muestra que 2.35.1 relación entre variables constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

2.35.2 Proposición teórica de mejora

La experimentación planificada permite identificar una región operativa que reduce la variación dimensional y eleva el rendimiento respecto de la configuración inicial, siempre que la solución sea validada en condiciones reales. Esta relación debe interpretarse como parte de un sistema en el que una modificación local puede alterar simultáneamente la rapidez de avance, la estabilidad eléctrica y la calidad geométrica. Por ello, el parámetro no adquiere significado únicamente por su valor nominal, sino por la forma en que interactúa con el material, el espesor, el estado del dieléctrico y la estrategia de corte seleccionada.

Desde una perspectiva tecnológica, 2.35.2 proposición teórica de mejora constituye un vínculo entre la teoría del proceso y la evidencia que se obtiene en planta. Su estudio exige mantener constantes las condiciones ajenas al ensayo, registrar las incidencias de cada corrida y diferenciar una fluctuación aleatoria de una tendencia reproducible. Esta precaución resulta decisiva cuando las diferencias dimensionales se encuentran en el orden de centésimas o milésimas de milímetro.

La consideración conjunta de estos elementos permite formular una lectura coherente del proceso. El interés de la optimización no se limita a encontrar el ajuste que produzca el mayor valor instantáneo, sino a establecer una condición repetible, medible y compatible con las tolerancias de fabricación. Bajo esta lógica, la productividad se interpreta junto con la precisión dimensional, debido a que ambas respuestas representan dimensiones complementarias del desempeño industrial.

CAPITULO III

3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIAGNOSTICO ACTUAL

3.1. Levantamiento de información

La empresa en la cual se desarrolló el presente estudio, orientado a la optimización y mantenimiento de una máquina de corte por hilo, es una organización especializada en el diseño, producción y mantenimiento de sistemas, equipos y piezas mecánicas destinados a diversos sectores productivos, entre los que se destacan la industria alimenticia, la industria agropecuaria y el sector metalmecánico en general. Gracias a su amplia trayectoria y experiencia técnica, la empresa ha logrado consolidarse como un referente en la fabricación de soluciones mecánicas de alta precisión, adaptadas a las necesidades específicas de cada cliente. Su enfoque integral abarca desde el desarrollo de proyectos personalizados hasta la implementación de procesos de mantenimiento preventivo y correctivo, lo que le permite garantizar la eficiencia, durabilidad y correcto funcionamiento de los equipos que produce y comercializa.

3.2. Ubicación

Las instalaciones de la empresa se encuentran ubicadas en la Avenida 36, entre la Calle 19A y el Pasaje 35, en el Cantón Guayaquil, Provincia del Guayas, Ecuador. Esta ubicación estratégica le permite a la empresa mantener una operación logística eficiente, facilitando tanto la recepción de materia prima como la distribución de sus productos y servicios hacia los distintos sectores industriales a los que atiende.

*Figura 10,
ubicación del predio 2026*



3.3. Levantamiento de equipo crítico de planta.

Con la ayuda del jefe de mantenimiento se procede a la verificación física del equipo de proceso productivo catalogados como crítico, el impacto es moderado en caso de averías ya que disminuye la confiabilidad y la continuidad para producir de manera normal y segura.

Esta máquina de corte por hilo es de fabricación china de velocidad media es de un fabricante que se llama TG tiene diferentes modelos y configuraciones, pero por lo limitado del mercado en esa época se adquirió lo mas sencillo y barato

por esa razón ciertas funciones fueron eliminadas del paquete además de no contar con manuales de operación ni de mantenimiento mucho menos de repuestos consumibles o preventivos

*Figura 11.
marca y modelo de la maquina 2026*



La DK7732 es una máquina de electroerosión por corte de hilo (WEDM) de velocidad media, de origen chino, perteneciente a la serie DK77 y ampliamente utilizada en la industria de moldes y componentes de precisión. Utiliza hilo de molibdeno como electrodo, en lugar de latón, lo que reduce considerablemente los costos operativos manteniendo una buena capacidad de corte en materiales conductores de alta dureza. Cuenta con una carrera de mesa de 320×400 mm y una precisión de mecanizado de $\pm 0,003$ mm, lo que la hace apta para piezas pequeñas y medianas que requieren exactitud dimensional. Su bancada principal está fabricada en fundición de alta rigidez HT250, con diseño de estructura integrada y doble tratamiento térmico para mantener la precisión a largo plazo y evitar deformaciones, mientras que el marco en voladizo simétrico tensiona adecuadamente el hilo de molibdeno para reducir la tasa de rotura durante el corte. Su controlador CNC, basado en software especializado para WEDM, permite programar trayectorias de corte y gestionar los parámetros del proceso de manera automatizada, ofreciendo una alternativa económica frente a las máquinas de corte por hilo de latón de alta velocidad

Figura 12.
placa de datos e identificación 2026



La unidad de potencia, también conocida como generador de pulsos, es el componente encargado de producir y controlar las descargas eléctricas que erosionan el material durante el proceso de corte por hilo WEDM. Esta unidad regula parámetros clave como la intensidad de corriente, la frecuencia, el voltaje y el tiempo de encendido y apagado de cada pulso, ajustándolos según el espesor de la pieza, el tipo de material y la velocidad de corte deseada. Internamente, integra componentes electrónicos de potencia como transistores, condensadores y disipadores de calor, los cuales están expuestos a esfuerzos térmicos y eléctricos constantes debido a la naturaleza intermitente y de alta frecuencia de las descargas. Un funcionamiento óptimo de la unidad de potencia es determinante para lograr un corte estable, evitar la rotura del hilo y garantizar un acabado superficial uniforme en la pieza mecanizada. Por ello, requiere mantenimiento periódico incluyendo limpieza, revisión de conexiones y control de temperatura para prevenir fallas que puedan afectar la productividad y precisión del proceso.

Figura 13.
unidad de potencia hx-w6 2026



3.4. Descripción del proceso productivo

Si bien los tornos y las fresadoras suelen ser los equipos más vinculados al mecanizado, el corte por hilo mediante electroerosión (WEDM) resulta especialmente ventajoso en ciertas aplicaciones específicas.

Este proceso, de naturaleza electrotérmica, utiliza descargas eléctricas para moldear materiales conductores, lo cual hace posible fabricar geometrías complejas debido a su versatilidad para trabajar con diversos materiales, esta tecnología se ha convertido en una herramienta ampliamente empleada en la fabricación de componentes, con aplicaciones extendidas en múltiples sectores industriales.

La mejor aplicación de esta tecnología es con intrincadas formas en 2d donde la remoción de material de forma convencional tomaría demasiado recursos hora-hombre y energía.

El primer paso es el diseño de la pieza a fabricar en el programa de AutoCAD, de allí se lo pasa al programa de la máquina para que lo reconozca comúnmente autoCUT o similares en la computadora de la máquina y se setea los parámetros de corte teniendo en cuenta espesor, complejidad del diseño y tipo de material a cortar, una vez terminado se pasa el hilo y se busca el centro se da marcha al corte se activa el fluido y se verifica que la presión sea la correcta, luego se verifica que todo este correctamente en el funcionamiento del corte, se ajusta la velocidad en caso de requerirlo

CAPITULO IV

4. PROPUESTA

4.1. Mantenimiento correctivo basado en análisis de observación del equipo.

La presente propuesta tiene como objetivo satisfacer criterios técnicos fundamentados tanto en la experiencia del operador como en normativas de carácter internacional, procurando generar sinergia para brindar un servicio de calidad orientado a garantizar resultados óptimos que permitan la continuidad del trabajo.

Cuando las máquinas cuentan con un diseño adecuado, la mayoría de ellas presenta niveles bajos de vibración. Sin embargo, a lo largo de su funcionamiento, estos equipos se ven sometidos a fenómenos como fatiga, desgaste, deformación y asentamiento de sus cimientos.

Estos factores contribuyen a incrementar las holguras entre las piezas en contacto, provocan desalineaciones en las flechas de los ejes, dan origen a fisuras incipientes en distintos componentes y generan desbalances en rotores o partes móviles; todo ello eleva el nivel de vibración y, en consecuencia, genera cargas dinámicas adicionales sobre los rodamientos.

Con el paso del tiempo, estos niveles de vibración continúan en aumento, hasta desencadenar fallas o averías en la máquina. De esta manera, entre las condiciones de operación y fallas más comunes que derivan en niveles de vibración fuera de los parámetros normales se encuentran las flechas flexionadas o excéntricas, los componentes desalineados o desbalanceados, los rodamientos o engranajes defectuosos, las aspas de propulsores en mal estado, la generación de ruidos excesivos y la presencia de partes mecánicas sueltas.

4.2. Propuesta técnica

4.2.1. Análisis de señales

Mediante el análisis de señales, se busca establecer cómo responde un

sistema ante una excitación previamente conocida, presentando dicha respuesta de una manera adecuada para su interpretación. Con frecuencia ocurre que la respuesta del sistema, vista únicamente en función del tiempo, no aporta información realmente útil.

No obstante, gracias a la experiencia del operador, la respuesta en frecuencia permite identificar una o varias fallas puntuales, en torno a las cuales tiende a concentrarse la energía. Dado que, por lo general, se conocen las características dinámicas de cada componente del sistema de forma individual, resulta posible vincular los distintos componentes de frecuencia presentes en dicha respuesta y los sonidos generados con elementos específicos del sistema.

4.2.2. Cambio de piezas consumibles y modificación del sistema de poleas

la polea con cabezales de bronce que tenía la maquina eran tipo abiertas es decir no tenía ninguna protección contra el agua o la suciedad que produce la maquina resultando el rápido deterioro de los rodamientos ocasionando ruidos y vibraciones que afectan al hilo y a la propia polea ya que genera mayor desgaste de la misma, este mecanismo de polea es un diseño antiguo que se dejó de fabricar hace ya bastante tiempo

*Figura 14.
Polea para cable de carburo de tungsteno 2026*



Las piezas consumibles de recambio generalmente son vendidas por el fabricante o el servicio de postventas de la misma, esta se encarga que el cliente adquiera un kit de accesorios para futuros mantenimientos preventivos y correctivos de ser necesarios, pero en este caso se requiere una exhaustiva investigación de códigos de partes necesarias para encontrar en el mercado y reemplazar el repuesto.

No obstante, es indispensable contar con un stock de piezas disponibles para facilitar los mantenimientos y mejorar el rendimiento operativo de la industria. Esto da como resultado la optimización de los procesos operativos y un reducción significativa e perdidas.

*Figura 15.
Piezas consumibles de máquina de corte por hilo wedm 2025*



Figura 16.
Polea para cable de carburo de tungsteno a prueba de agua
2026



Los limitadores de carrera tienen una función básica pero muy importante este aparato detiene y cambia el sentido de giro del tambor para el enhebrado automático del hilo se realiza el cambio por deterioro más allá de su vida útil presentado daños estructurales (los rodillos están deformados) y daños esporádicos en su funcionamiento (a veces no hace el cambio de sentido) esto provoca rupturas tempranas del hilo produciendo paradas innecesarias además de desperdiciar herramienta en este caso el hilo.

Figura 17.
Limitador de carrera 2026



Los bloques conductivos son el soporte eléctrico y mecánico del hilo para tener estabilidad mecánica y eléctrica manteniendo estable el hilo hacia las poleas evitando vibraciones por la longitud del mismo además de hacer más conexiones del mismo polo para evitar sobrecargas en una parte del hilo evitando así interrupciones de corriente, distorsiones en los pulso y posibles rupturas del hilo por un mal manejo de los pulso de descarga eléctrica también evita vibraciones armónicas en el propio hilo por la dinámica mismo del hilo corriendo entre el tambor y las poleas, el material del que están hechos es de carburo de tungsteno el mismo que el hilo para soportar la fricción y el desgaste.

Figura 18.
Bloque conductivo 2026



La banda del tambor es elemento de transmisión de fibra y caucho entretejido que conecta el movimiento de traslación con la rotación del tambor mediante poleas dentadas creando un movimiento de hamaqueo que enrolla y desarrolla el hilo usando el mismo mecanismo usa un tornillo que traslada el carro de izquierda a derecha de forma automática sin enredarse ni superponerse.

*Figura 19.
Banda de tambor 2026*



Los rodamientos son elementos esenciales en los sistemas mecánicos que reducen la fricción, soportan cargas y limitan el movimiento a la dirección deseada por la misma razón se debe elegir el rodamiento correcto para la tarea correcta, se encuentran en casi todas las maquinarias desde las más pequeñas como relojes, automóviles y equipos industriales funcionan convirtiendo el movimiento deslizante en movimiento giratorio mediante elementos rodantes como bolas o rodillos, lo que permite un desplazamiento más suave y eficiente

*Figura 20.
rodamiento de polea 2026*



la polea tensora con lo dice su nombre, tensa y suaviza el ángulo en el que se posiciona el hilo con respecto al tambor evitando posibles vibraciones armónicas en el hilo que puedan causar enrollamientos o superposiciones del hilo desembocando en rupturas del mismo, dada la imposibilidad de encontrar la polea correcta para el trabajo se procedió a modificar un soporte a medida para poder utilizar poleas de repuesto de los cabezales de bronce. Desde el punto de vista técnico, la función principal de una polea tensora en un sistema de hilo para EDM es mantener una tensión constante y controlada a lo largo de todo el recorrido del hilo, compensando las variaciones que se producen por el des bobinado progresivo del carrete, las diferencias de diámetro a medida que este se vacía y las fluctuaciones propias del avance del hilo durante el mecanizado.

Figura 21.
Polea tensora modificación 2026



Este pequeño bracito antivibración hace uso de un perno de fijación, es para fijar de forma más firme el brazo principal además de usar este pin de guía para no perder la calibración de la misma y siempre encontrar el punto exacto donde debe quedar seteada, teniendo una función de alineación para una más rápida respuesta a un mantenimiento preventivo o correctivo dependiendo del evento que ocurra en la parada obligatoria

Figura 22.
Brazo antivibración 2026



Esta polea posterior auxiliar fue fabricada a partir de unos repuestos mal ordenados los cuales no tenían ningún uso aparente en la maquina en cuestión ya que las dimensiones eran incorrectas, pero fabricando un soporte a medida usando retazos de aluminio de otros trabajos, sirvieron como una cuarta polea dándole más soporte y guía al hilo dándole mayor estabilidad en la parte inferior que no contiene ningún bloque conductivo generando vibraciones armónicas en el hilo y dificultando pero no eliminando la posibilidad de una superposición y el enrollamiento del mismo. Desde el punto de vista técnico, la incorporación de esta cuarta polea responde a un problema característico de las máquinas de corte por hilo (EDM de hilo): la aparición de vibraciones armónicas o modos de resonancia en el tramo de hilo que queda sin soporte entre dos puntos de guía. Cuando la longitud libre del hilo (vano) es excesiva, este actúa como una cuerda tensada que, al vibrar, puede generar oscilaciones transversales cuya amplitud aumenta si la frecuencia de excitación (proveniente del avance del hilo, del desbobinado o de irregularidades mecánicas) se aproxima a alguno de los modos naturales de vibración del sistema

Figura 23.
Polea posterior auxiliar 2026



Los imanes de neodimio son imanes permanentes de alta potencia hechos de una aleación de neodimio, hierro y boro (NdFeB), estos son ampliamente usados en aplicaciones industriales, comerciales, científicas y recreativas, para nuestro caso lo usaremos para crear un filtro magnético absorbiendo las partículas metálicas en el fluido dieléctrico que se desprenden del proceso de mecanizado por corte por hilo por la limitante del tamaño se procede a usar una cantidad mayor de imanes distribuidos en las cars del reservorio.

Un aspecto crítico en esta aplicación es la clasificación térmica del imán (grados N, M, H, SH, UH, EH), ya que el fluido dieléctrico y el proceso de corte por hilo pueden generar incrementos de temperatura que, de superar el punto de Curie o incluso la temperatura máxima de trabajo del grado seleccionado, provocarían una desmagnetización irreversible parcial o total. Por ello, se recomienda seleccionar imanes de grados con mayor resistencia térmica (H o SH en adelante) cuando la temperatura de operación supere los 80 a 100 °C.

Figura 24.
Imanes de neodimio 2026



Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

El servomotor es un motor eléctrico que lleva incorporado un sistema de regulación que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición despachando una mejor fiabilidad y precisión en la posición de las mesas que controlan la posición de corte viene en diferentes configuraciones y sensibilidades por eso la cantidad de cables determina el rango en el que pueden operar.

Figura 25.
Servomotor de fase de 6 cables 2025



Un husillo de bolas es un actuador lineal mecánico de acero inoxidable que utiliza un eje roscado y rodamientos de bolas que se recirculan dentro del propio mecanismo para transformar el movimiento rotatorio en movimiento lineal muy suave y con muy poco rozamiento. Este mecanismo se caracteriza por su eficiencia y precisión, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere un control milimétrico del movimiento.

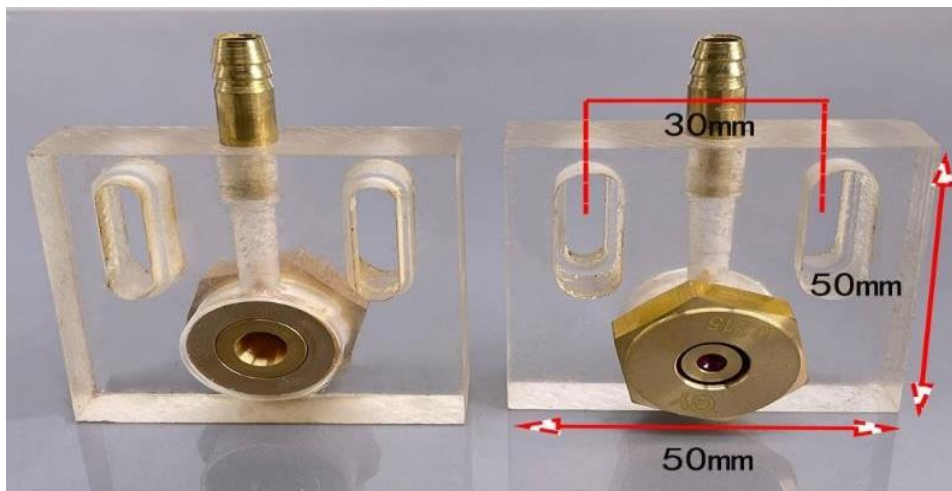
Desde el punto de vista técnico, el conjunto está formado por tres elementos principales: el eje roscado (con un perfil helicoidal mecanizado con alta precisión), la tuerca o carro, y las bolas de acero templado que circulan entre ambos a través de canales de retorno internos o externos. Gracias a este sistema de recirculación, las bolas nunca abandonan el circuito cerrado, lo que permite mantener un contacto de rodadura en lugar de deslizamiento, reduciendo el coeficiente de fricción a valores típicamente inferiores a 0,003, frente al 0,1-0,2 de un husillo trapezoidal convencional. Esta baja fricción se traduce en menor generación de calor, menor desgaste y una vida útil considerablemente mayor.

Figura 26.
Tonillo principal de mesa 2026



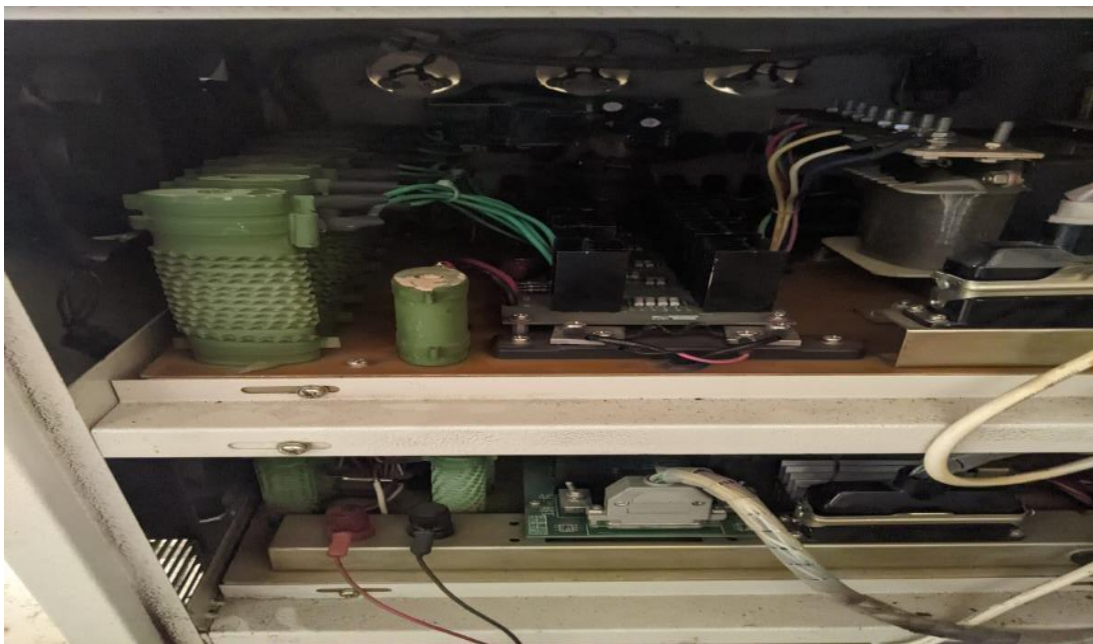
El bloque de guía de agua (o guía de hilo con flujo de dieléctrico) es un componente esencial en las máquinas de corte por hilo WEDM, ya que cumple una doble función: dirigir con precisión el hilo de corte mientras este avanza a través de la pieza, y suministrar de forma continua el líquido dieléctrico (generalmente agua desionizada) directamente sobre la zona de erosión. Este flujo de agua cumple varios propósitos críticos: enfría el hilo y la pieza para evitar su ruptura por sobrecalentamiento, evacúa las partículas erosionadas (residuos metálicos) generadas durante el proceso de descarga eléctrica, y ayuda a mantener el aislamiento eléctrico necesario entre el hilo y la pieza. Las guías suelen fabricarse con materiales de alta dureza y resistencia al desgaste, como zafiro, diamante o carburo de tungsteno, para soportar la fricción constante del hilo a alta velocidad sin perder precisión dimensional. Un desgaste excesivo en estas guías puede provocar desviaciones en la trayectoria del hilo, afectando directamente el acabado superficial y la exactitud dimensional de la pieza cortada. Por ello, su mantenimiento y reemplazo periódico son fundamentales para garantizar la calidad y repetibilidad del proceso de corte.

Figura 27.
Bloque de guía de agua 2025



La limpieza de la unidad de potencia (generador de pulsos) en una máquina de corte por hilo WEDM es una tarea de mantenimiento fundamental para garantizar la estabilidad y eficiencia del proceso de electroerosión. Esta unidad, encargada de generar los pulsos eléctricos que producen las descargas de corte, acumula con el tiempo polvo, partículas metálicas conductoras y residuos del líquido dieléctrico, especialmente en los componentes internos como transistores de potencia, disipadores de calor y tarjetas de circuito. La acumulación de estos contaminantes puede provocar sobrecalentamiento, cortocircuitos, pérdida de precisión en los pulsos generados e incluso fallos prematuros de los componentes electrónicos. Por ello, se recomienda realizar una limpieza periódica con aire comprimido seco y libre de aceite, evitando el uso de líquidos o solventes que puedan dañar los circuitos, además de revisar y limpiar los filtros de ventilación para asegurar una correcta disipación térmica. Un mantenimiento adecuado de la unidad de potencia prolonga su vida útil y contribuye a mantener la calidad y consistencia del corte a lo largo del tiempo.

*Figura 28.
limpieza de la unidad de potencia 2026*



El cambio de cañerías de lubricación manual en una máquina de corte por hilo WEDM es una labor de mantenimiento preventivo orientada a garantizar que los puntos de engrase de los ejes, guías lineales, husillos a bolas y demás componentes móviles reciban un flujo constante y adecuado de lubricante. Con el uso continuo, estas cañerías, generalmente fabricadas en tubo de nylon o poliuretano, pueden deteriorarse por endurecimiento, fisuras, obstrucciones internas causadas por impurezas del lubricante, o daños mecánicos derivados de la vibración y el roce con otras piezas de la máquina. Cuando esto ocurre, se genera una lubricación deficiente que puede derivar en desgaste prematuro de guías y rodamientos, aumento de fricción y pérdida de precisión en los desplazamientos de los ejes. El procedimiento de cambio implica identificar y despresurizar el circuito de lubricación, retirar las cañerías dañadas, cortar y conectar las nuevas mangueras según las longitudes y trayectorias originales, y purgar el sistema para eliminar el aire antes de verificar el correcto flujo de lubricante en cada punto de engrase. Realizar este reemplazo de forma oportuna evita fallas mayores en el sistema de movimiento y asegura la precisión constante de la máquina.

Figura 29.
Cambio de tuberías de lubricación manual 2026



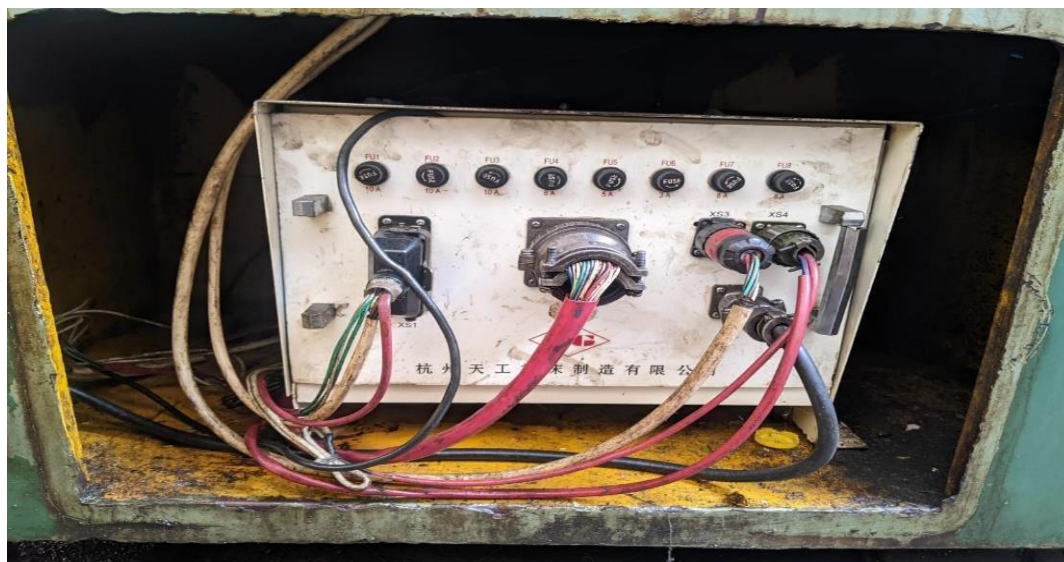
La fabricación de una carcasa para escobilla de carbón en una máquina de corte por hilo WEDM es una tarea habitual de mantenimiento correctivo cuando la pieza original se desgasta, se fractura o ya no se encuentra disponible como repuesto del fabricante. Esta carcasa cumple la función de alojar y sujetar firmemente la escobilla de carbón, asegurando el contacto eléctrico constante y de baja resistencia con el colector o anillo rozante del motor o cabezal de transmisión de corriente, además de permitir el desplazamiento libre de la escobilla a medida que esta se desgasta por fricción. Para su fabricación se suele emplear un material aislante y mecanizable, como resina fenólica, nylon o baquelita, dado que debe soportar temperatura, vibración y desgaste sin comprometer el aislamiento eléctrico ni deformarse con el uso. El proceso típicamente incluye el mecanizado en torno o fresadora según las medidas originales de la pieza a reemplazar, respetando tolerancias ajustadas para el alojamiento del resorte de presión y la escobilla, así como los orificios de fijación a la estructura del cabezal. Contar con una carcasa correctamente fabricada garantiza una transmisión de corriente estable durante el proceso de corte por hilo, evitando arcos eléctricos, chispeo excesivo o pérdidas de continuidad que afecten la calidad del maquinado.

Figura 30.
Fabricación de carcasa de bornera de tierra 2026



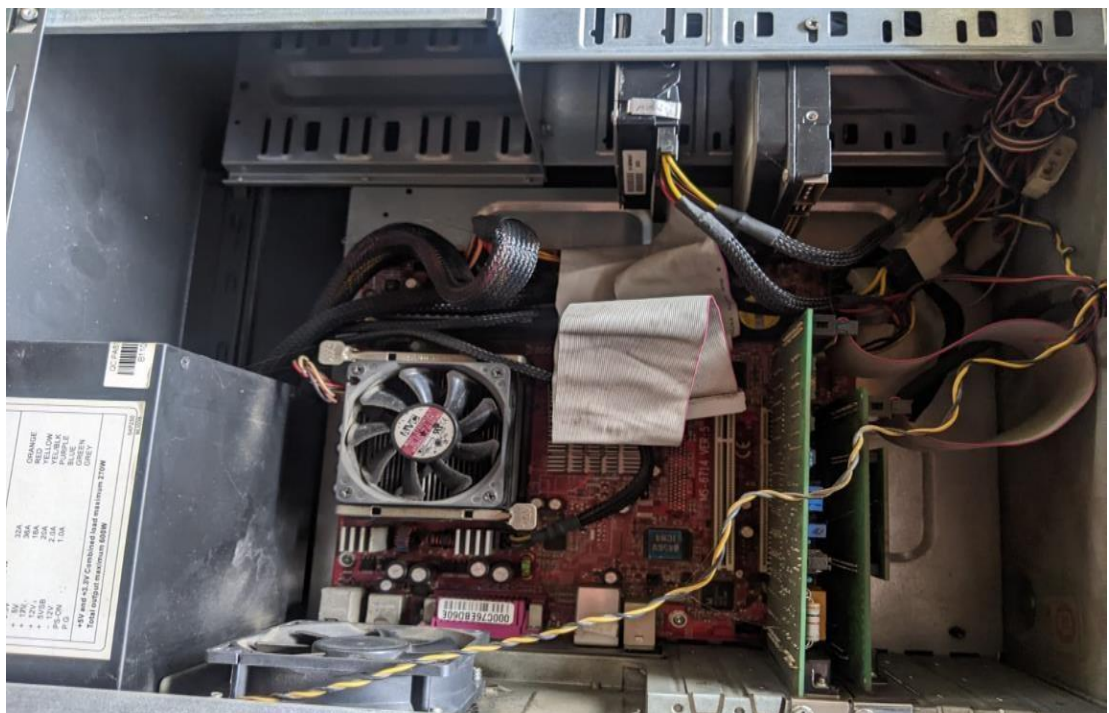
El cambio de socket y fusibles en la unidad de control de una máquina de corte por hilo WEDM es una intervención de mantenimiento eléctrico necesaria cuando se detectan fallas de continuidad, sobrecalentamiento en los contactos o disparos frecuentes debido a sobrecorrientes en las tarjetas de control. El socket, que sirve de base de conexión para los fusibles, puede deteriorarse con el tiempo por oxidación, aflojamiento de sus terminales o desgaste del material aislante, lo que genera falsos contactos y caídas de tensión que afectan el funcionamiento estable de la unidad. Antes de realizar el cambio, es indispensable desenergizar completamente el equipo y verificar la ausencia de tensión, para luego retirar el socket dañado, instalar el nuevo asegurando terminales firmes y bien ajustados, y reemplazar los fusibles por otros de idéntico amperaje y tipo (rápido o lento según especificación del fabricante) para no comprometer la protección del circuito. Utilizar fusibles de valor incorrecto puede ocasionar daños graves a las tarjetas electrónicas de control o, en el peor caso, no proteger adecuadamente el sistema ante una falla real. Finalizado el reemplazo, se recomienda energizar la máquina y verificar el correcto funcionamiento de la unidad de control antes de retomar la producción.

*Figura 31.
Cambio de socket y fusibles en unidad de control 2026*



La limpieza y el mantenimiento de la computadora (unidad de control CNC) de una máquina de corte por hilo WEDM son fundamentales para garantizar la estabilidad del sistema y evitar fallas que puedan interrumpir la producción. Debido a su ubicación cercana al área de trabajo, esta unidad está expuesta a polvo, humedad ambiental y vapores del líquido dieléctrico, los cuales pueden acumularse en el interior del gabinete, en las tarjetas electrónicas, ventiladores de refrigeración y puertos de conexión, provocando sobrecalentamiento, falsos contactos o daños en los componentes. El mantenimiento preventivo incluye la limpieza externa con paños secos y productos no corrosivos, así como la limpieza interna con aire comprimido seco para remover polvo acumulado en disipadores, fuentes de alimentación y ventiladores, evitando siempre el uso de líquidos directamente sobre los circuitos. Asimismo, es recomendable verificar periódicamente el estado de los cables de conexión, revisar que los ventiladores funcionen correctamente y realizar respaldos del software y parámetros de corte para prevenir pérdidas de información ante posibles fallas. Un mantenimiento adecuado de la computadora prolonga su vida útil y asegura la continuidad y precisión del proceso de mecanizado.

Figura 32.
limpieza y mantenimiento de computadora maquina wedm 2026



La limpieza del reservorio de fluido dieléctrico en una máquina de corte por hilo WEDM es una labor de mantenimiento preventivo esencial para conservar la calidad del agua desionizada utilizada durante el proceso de electroerosión. Con el uso continuo, el tanque acumula en su fondo partículas metálicas erosionadas, lodos, residuos de resina de los filtros desionizadores y sedimentos que, si no se retiran periódicamente, pueden recircular hacia la zona de corte y afectar la conductividad del dieléctrico, el acabado superficial de la pieza y la vida útil de bombas y filtros. El procedimiento de limpieza implica drenar por completo el fluido del reservorio, retirar los lodos y sedimentos acumulados en el fondo y las paredes internas del tanque, y realizar un lavado con agua limpia para eliminar residuos antes de rellenar el sistema con dieléctrico nuevo o previamente filtrado. Es importante aprovechar esta intervención para inspeccionar el estado de las bombas de circulación, mangueras y sensores de nivel, verificando que no presenten obstrucciones ni desgaste. Mantener el reservorio limpio garantiza una resistividad estable del dieléctrico, prolonga la vida útil de los componentes hidráulicos y asegura la calidad constante del proceso de corte.

*Figura 33.
limpieza total del reservorio 2026*



La limpieza de los imanes del reservorio de fluido dieléctrico en una máquina de corte por hilo WEDM es una tarea de mantenimiento preventivo clave, ya que estos imanes cumplen la función de captar y retener las partículas metálicas ferrosas generadas durante el proceso de electroerosión, evitando que recirculen hacia la zona de corte y contaminen el dieléctrico. Con el uso continuo, los imanes acumulan una capa densa de limaduras y lodo metálico que reduce su capacidad de atracción y, si no se retira a tiempo, puede desprenderse y volver a mezclarse con el fluido, afectando la calidad del corte y acelerando el desgaste de bombas y filtros. El procedimiento de limpieza consiste en retirar los imanes de su alojamiento en el reservorio, raspar o desprender manualmente la acumulación de residuos metálicos adheridos, y enjuagarlos con agua limpia antes de volver a instalarlos correctamente en su posición original. Es recomendable realizar esta limpieza con una frecuencia semanal o quincenal, dependiendo de la intensidad de uso de la máquina y el tipo de material mecanizado. Mantener los imanes limpios optimiza la filtración de partículas, prolonga la vida útil de los componentes hidráulicos y contribuye a preservar la resistividad y calidad del fluido dieléctrico.

*Figura 34.
Reservorio y los imanes limpios 2026*



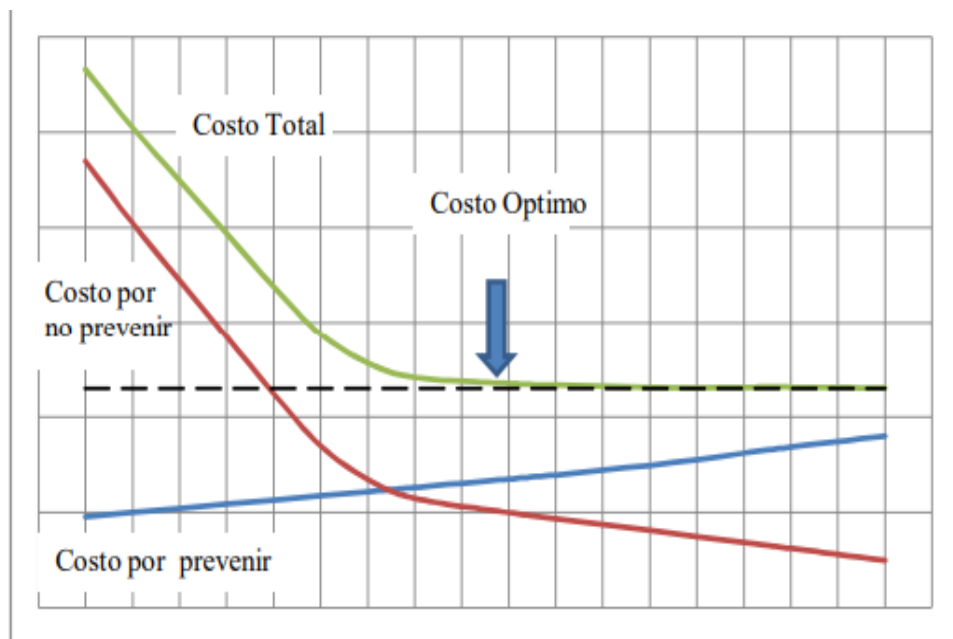
CAPITULO V

5. ESTUDIO ECONÓMICO Y POSIBLES IMPACTOS

5.1. Estudio económico

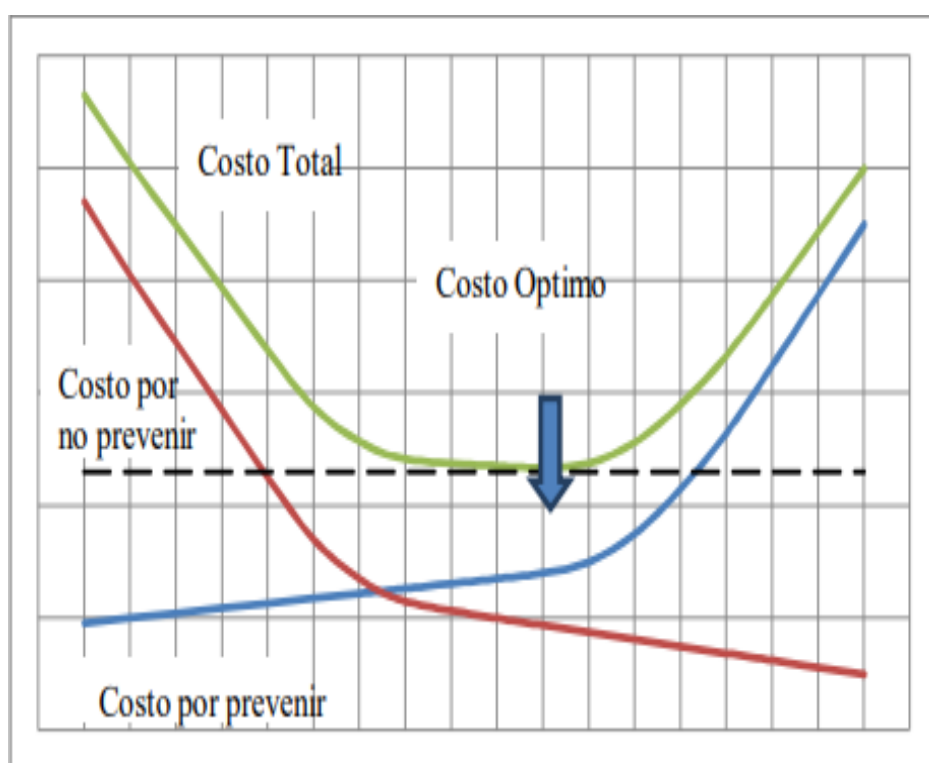
Al lograr una reducción en los costos de mantenimiento derivados de pérdidas, se abre la posibilidad de ampliar el margen de ganancia potencial, considerando que la incidencia de dichos costos dentro del precio final del producto suele mantenerse en un rango de entre el 10% y el 20%. En este sentido, resulta conveniente que las industrias adopten una perspectiva distinta frente al mantenimiento, entendiéndolo no como un gasto adicional que disminuye la rentabilidad, sino como una verdadera oportunidad para mejorar sus márgenes de ganancia.

Figura 35.
Costo óptimo por mantenimiento predictivo 2014



En esta figura se puede apreciar cómo el costo total de mantenimiento se ve determinado tanto por el costo asociado a la prevención como por el costo derivado de no prevenir. De este modo, la estrategia de mantenimiento óptima será aquella capaz de reducir dicho costo total, es decir, la que logra identificar el punto en el que el costo total resulta más elevado, con el fin de mejorar así la rentabilidad de la industria (Garcés, 2022).

Figura 36.
Esquema no favorable 2022



Es posible incurrir en un costo mayor si se mantienen las pendientes de los costos por prevenir y por no prevenir en igual magnitud, aunque con signo opuesto. Para llegar a este punto, resulta necesario evaluar cuidadosamente aquellas herramientas de gestión que aportan un valor significativo, implementándolas de manera mesurada, ya que, si bien los costos por mantenimiento correctivo deben orientarse a acercarse a cero, esto no debe hacerse a cualquier costo, pues podría terminar elevando el gasto general (Garcés, 2014)

5.1.1. Gastos por mantenimientos

Tabla 1.
Proforma de repuestos 2026

proforma de repuestos	
Item	costo
brass pulley	60
Pulleys	74.65
Limitador de recorrido	63
Bloque conductivo	20
Rodamientos	25
Banda de tambor	45
Fluido dieléctrico	120
Imanes	15
Bloque guía de agua	45
Filtro de agua desionizada	215
Carcasa	42
Limpieza	50
Total	774.65

5.1.2. Mejoras en la eficiencia de la maquina

Como resultado de la repotenciación aplicada al sistema de mantenimiento predictivo, se logrará extender de manera significativa la vida útil de los equipos actualmente instalados, permitiendo que estos operen en condiciones óptimas durante un periodo de tiempo más prolongado. Esta mejora no solo contribuye a preservar el estado físico y funcional de la maquinaria, sino que también favorece su desempeño continuo, reduciendo la probabilidad de paradas imprevistas ocasionadas por fallas o desgaste excesivo. De este modo, se resalta la importancia del trabajo constante de los equipos como pilar fundamental para sostener una producción estable, eficiente y sin interrupciones, lo cual repercute directamente en la productividad general del proceso y en la optimización de los recursos destinados

al mantenimiento.

5.1.3. Disminución de riesgos

Teniendo siempre como prioridad la seguridad del personal que opera estos equipos de manera frecuente, la implementación del mantenimiento predictivo cumple un papel fundamental en la prevención de posibles eventualidades durante la jornada laboral. Al permitir detectar de forma anticipada fallas, desgastes o condiciones anómalas en la maquinaria, este tipo de mantenimiento reduce considerablemente el riesgo de que se presenten situaciones imprevistas que puedan poner en peligro la integridad física de los trabajadores. De esta manera, se busca resguardar la salud y bienestar del personal, evitando que puedan sufrir lesiones, daños graves e incluso accidentes que lamentablemente lleguen a comprometer su vida, reforzando así un entorno de trabajo más seguro, responsable y confiable para todos los involucrados en la operación de los equipos.

5.1.4. Alternativas del servicio

De forma opcional, y sustentando en los análisis previamente realizados, se puede considerar la contratación de consultorías externas o contratistas especializados, quienes cuentan con el personal capacitado y los recursos adecuados para llevar a cabo labores de mantenimiento preventivo. A través de estos servicios, sería posible establecer una programación adecuada que permita, mediante el mantenimiento correspondiente, prolongar la vida útil de los sistemas instalados.

5.1.5. Posibles repercusiones

Entre las posibles repercusiones derivadas de la implementación del sistema de optimización dentro del mantenimiento predictivo, cabe destacar en primer lugar que la inversión inicial requerida para adquirir equipos de alta fiabilidad y tecnología avanzada resulta considerablemente elevada, lo cual representa un desafío importante al momento de justificar el proyecto ante la dirección de la empresa. Esta inversión no solo abarca el costo directo de la

maquinaria y los instrumentos de medición de última generación, sino también los gastos asociados a su instalación, calibración inicial y puesta en marcha dentro de las instalaciones.

A esto se suma la necesidad de contratar y capacitar al personal adecuado para su correcto manejo, un proceso que, además de implicar un desembolso económico adicional, demandará un tiempo considerable, ya que dicha capacitación deberá abarcar de manera integral tanto las innovaciones tecnológicas incorporadas en los nuevos equipos como los distintos métodos de medición que estos requieren para funcionar de forma óptima. Este periodo de formación, lejos de ser un trámite breve, exige un acompañamiento constante y una curva de aprendizaje que incrementa aún más la inversión total que la empresa deberá asumir.

De igual manera, no basta con capacitar únicamente al personal especializado que operará directamente los equipos, sino que también resulta necesario formar al personal interno encargado de labores de manejo secundario o de apoyo, quienes deberán familiarizarse con los procedimientos básicos de operación y las medidas de seguridad correspondientes. Esta capacitación complementaria contribuye a garantizar que, ante cualquier eventualidad o ausencia del personal principal, el funcionamiento del sistema no se vea interrumpido, asegurando así la continuidad operativa y el correcto aprovechamiento de la inversión tecnológica realizada.

Tabla 2.
Comparativa antes / después de optimización 2026

N°	Parámetro	Antes de la Optimización	Después de la Optimización	Variación / Beneficio
1	Precisión de mecanizado	± 0,02 mm (husillo trapezoidal y guías desgastadas)	± 0,005 mm (husillo de bolas + guías renovadas)	Mejora de hasta 75% en precisión
2	Rugosidad superficial (Ra)	2,0 – 2,5 µm	0,8 – 1,0 µm	Reducción de aprox. 60-65%
3	Velocidad de corte	≈ 100 mm ² /min	150 – 170 mm ² /min	Incremento de 50-70%
4	Tasa de rotura de hilo	Frecuente (guías desgastadas, tensado irregular)	Reducida (guía de agua y tensado optimizados)	Menor desperdicio de hilo
5	Nivel de vibración (tambor / servomotores)	Elevado (desalineación, holguras, desbalance)	Dentro de rango normal (monitoreo predictivo)	Menor carga dinámica en rodamientos
6	Paradas no programadas	Frecuentes por fallas correctivas	Reducidas mediante mantenimiento predictivo	Mayor continuidad operativa
7	Vida útil de consumibles (guías, imanes, filtros)	Corta, por limpieza y reemplazo tardío	Prolongada, con mantenimiento periódico programado	Menor frecuencia de recambio
8	Estabilidad del dieléctrico	Inestable (reservorio con lodos y sedimentos)	Estable (limpieza de reservorio e imanes, filtro nuevo)	Mejor calidad y repetibilidad de corte
9	Temperatura de la unidad de potencia	Elevada, por acumulación de polvo y residuos	Controlada, con limpieza periódica y ventilación	Menor riesgo de falla electrónica
10	Costo de mantenimiento correctivo	Alto (fallas imprevistas y repuestos de emergencia)	Reducido (programación preventiva/predictiva)	Optimización del gasto de mantenimiento
11	Disponibilidad de la máquina	Baja (interrupciones frecuentes)	Alta (operación estable y continua)	Incremento de la productividad general

Nota: los valores «Antes» corresponden al diagnóstico inicial del equipo; los valores «Después» son los resultados esperados tras aplicar las mejoras e intervenciones de mantenimiento propuestas (corrección, prevención y mantenimiento predictivo).

Tabla 3.
Comparación de tipos de máquinas de electroerosión por hilo 2026

Característica / Parámetro	Gama Baja / Corte Rápido (Tradicional / Cobre-Molibdeno)	Gama Media / Estándar CNC (Latón)	Gama Alta / Ultra-Precisión CNC (Motores Lineales)
Tipo de Hilo	Hilo de molibdeno reutilizable (0.18 - 0.20 mm)	Hilo de latón de un solo uso (0.15 - 0.25 mm)	Hilo revestido de zinc/cobre, alta resistencia
Fluido Dieléctrico	Emulsión a base de agua y aceite	Agua desionizada (sistema de filtrado estándar)	Agua desionizada de alta pureza con control térmico
Tolerancia de Corte	± 0.015 mm a ± 0.02 mm	± 0.005 mm	± 0.001 mm (micrómetros)
Acabado Superficial (Ra)	1.2 - 2.5 μ m	0.5 - 1.0 μ m	Menor a 0.2 μ m (espejo)
Ejes Controlados	4 ejes básicos (X, Y, U, V)	4 a 5 ejes simultáneos con conicidad avanzada	5 ejes o más con control térmico y compensación en tiempo real
Enhebrado de Hilo	Generalmente manual o semiautomático	Automático por chorro de agua estándar	Automático inteligente de alta velocidad (bajo el agua)
Velocidad de Corte	Media-alta (desbaste rápido por pasada única)	Media-alta con control adaptativo de pulsos	Muy alta y optimizada mediante control numérico avanzado
Aplicaciones Típicas	Piezas generales, matrices sencillas y prototipos	Moldes de inyección, troqueles y engranajes	Aeroespacial, médica (implantes), microelectrónica y moldes complejos
Marcas de Referencia	Fabricantes locales / económicos asiáticos	CHMER, Excetek, AccuteX	Sodick, Mitsubishi Electric, Makino

Tabla 4.
Tabla comparativa de mejoras 2026

N°	Componente / Sistema	Estado Actual / Diagnóstico	Mejora Propuesta / Intervención	Beneficio Esperado	Costo (USD)	Tipo de Mantenimiento
1	Husillo de bolas y servomotores (sistema de posicionamiento de mesas)	Movimiento con fricción elevada y menor precisión en el posicionamiento de las mesas de corte.	Incorporación de husillo de bolas y servomotores regulables en velocidad y posición.	Fricción reducida ($<0,003$ vs $0,1-0,2$ del husillo trapezoidal), mayor precisión y vida útil del sistema de avance.	170.13	Predictivo
2	Bloque guía de agua / guía del hilo	Desgaste de las guías (zafiro, diamante o carburo de tungsteno) que provoca desviación del hilo y pérdida de precisión dimensional.	Reemplazo periódico del bloque guía de agua.	Corte más preciso, mejor acabado superficial y menor riesgo de rotura de hilo.	45,00	Preventivo
3	Unidad de potencia (generador de pulsos)	Acumulación de polvo, partículas conductoras y residuos de dieléctrico en transistores, disipadores y tarjetas.	Limpieza periódica con aire comprimido seco y revisión de filtros de ventilación.	Evita sobrecalentamiento, cortocircuitos y pérdida de precisión en los pulsos de corte.	50,00	Preventivo
4	Cañerías de lubricación manual	Endurecimiento, fisuras y obstrucciones en las mangueras de nylon/poliuretano; lubricación deficiente.	Cambio de cañerías y purgado del sistema de lubricación.	Reduce desgaste prematuro de guías y rodamientos, y pérdida de precisión en los ejes.	20	Preventivo
5	Carcasa de escobilla de carbón	Pieza original desgastada, fracturada o no disponible como repuesto del fabricante.	Fabricación de carcasa (resina fenólica, nylon o baquelita) según medidas originales.	Transmisión de corriente estable; evita arcos eléctricos y chispeo excesivo.	42,00	Correctivo
6	Socket y fusibles de la	Falsos contactos y caídas de tensión por oxidación o	Reemplazo del socket y fusibles por componentes	Restablece la continuidad eléctrica y protege	15.29	Correctivo

Nº	Componente / Sistema	Estado Actual / Diagnóstico	Mejora Propuesta / Intervención	Beneficio Esperado	Costo (USD)	Tipo de Mantenimiento
	unidad de control	aflojamiento de terminales.	del amperaje/tipo correcto.	las tarjetas de control.		
7	Computadora / unidad de control CNC	Exposición a polvo, humedad y vapores de dieléctrico que afectan tarjetas y ventiladores.	Limpieza externa e interna con aire comprimido, revisión de cables y respaldo del software.	Prolonga la vida útil del CNC y asegura continuidad del proceso de mecanizado.	25	Preventivo
8	Reservorio de fluido dieléctrico	Acumulación de lodos, partículas metálicas y residuos de resina en el tanque.	Drenado, limpieza total del reservorio y recambio del dieléctrico / filtro de agua desionizada.	Conductividad estable del dieléctrico y mejor acabado superficial de la pieza.	120,00 + 215,00	Preventivo
9	Imanes del reservorio	Saturación de limaduras y lodo metálico que reduce la capacidad de captación de partículas.	Limpieza semanal/quincenal de los imanes del reservorio.	Optimiza la filtración de partículas y preserva la resistividad del dieléctrico.	15,00	Preventivo
10	Programa general de mantenimiento (vibraciones y termografía)	Ausencia de manuales de operación, mantenimiento y repuestos; sin programa formal de mantenimiento predictivo.	Implementación de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía) en tambor de alimentación y servomotores.	Anticipa fallas, reduce paros no programados y extiende la vida útil del equipo.	—	Predictivo

Nota: los costos marcados con «—» corresponden a mano de obra / procedimiento sin repuesto directo asociado en la proforma. Valores de costo tomados de la proforma de repuestos del estudio económico (Tabla 1).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. Conclusiones

A través del análisis por observación y de pruebas realizadas con equipos de medición aplicados a la máquina de electroerosión por hilo, se determinó que, en la etapa actual, resulta conveniente aplicar un mantenimiento correctivo. Una vez concluido este, se procede a implementar un mantenimiento predictivo, el cual puede aplicarse tanto durante como después de cada proceso de corte, con el propósito de anticipar y prevenir fallas, por más mínimas o imprevistas que estas puedan parecer.

En el proceso de análisis de los componentes rotatorios de la máquina de hilo como el tambor de alimentación y los servomotores se optó por evaluar distintas técnicas de mantenimiento fundamentadas en la metodología del mantenimiento predictivo, explorando además tecnologías innovadoras. De estas, se priorizaron aquellas de más fácil acceso y manejo cuidadoso, en función de las necesidades específicas del equipo de electroerosión, obteniéndose así los resultados esperados en dichos análisis.

Cabe destacar que este tipo de mantenimiento predictivo, particularmente en lo referente al análisis de vibraciones, debe ser ejecutado exclusivamente por personal capacitado en las tecnologías aplicables y en el manejo de los instrumentos de precisión requeridos para evaluar los componentes rotatorios de la máquina de hilo. Solo de esta manera es posible garantizar resultados certificados, confiables y consistentes, lo cual se traduce, en última instancia, en una mayor vida útil del equipo.

5.3. Recomendaciones

Resulta de gran relevancia contemplar, como opción prioritaria, la implementación de una programación de mantenimientos, ya sean eventuales o de carácter primordial, combinando el mantenimiento predictivo con un mantenimiento preventivo de alcance general dentro de la máquina de electroerosión por hilo.

Esto permitirá que el equipo funcione de manera eficiente y óptima, anticipándose a posibles paros de producción provocados por fallas imprevistas, las cuales pueden analizarse en función del trabajo continuo del sistema, sin necesidad de detener el proceso de corte, sea cual sea su naturaleza.

Como resultado, se logra optimizar los costos asociados al mantenimiento y reducir los paros de producción, evitando así el margen de pérdidas que la empresa podría enfrentar a mediano o largo plazo.

Para llevar a cabo los análisis de vibración y de posibles golpeteos en el hilo o en el tambor de alimentación, el uso de la termografía resulta de gran utilidad, además de contar con equipos tecnológicos de alto nivel que permitan detectar cualquier anomalía con la mayor precisión posible.

En este sentido, y en beneficio tanto del personal como de la empresa en general, es fundamental capacitar a los técnicos del área de mantenimiento, de modo que puedan realizar dichos análisis con mayor facilidad y, a su vez, complementarlos con otros estudios relacionados con distintos parámetros vinculados a los efectos vibratorios propios del proceso de corte por hilo.

Con el fin de prevenir averías de gran magnitud y asegurar que el equipo se mantenga en condiciones óptimas, garantizando así su correcto funcionamiento según fue diseñado, se recomienda efectuar de manera periódica una revisión general y completa de la máquina, lo cual contribuye a extender considerablemente su vida útil.

Asimismo, resulta necesario mantener una bitácora o historial detallado de los análisis realizados, con el propósito de identificar la frecuencia con la que se presentan los daños más comunes en las distintas partes del equipo. Esto permite generar una especie de pre alarma frente a posibles fallas, basada en un registro estadístico construido a partir del historial de vibraciones, sonidos y demás análisis asociados al funcionamiento de la máquina de corte por hilo.

6. Bibliografía

- Acosta. (2026). *Diseño y construcción de una máquina para la obtención de hilo a partir de botellas recicladas de plástico PET*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Acosta, E. (2024). *Seguridad en el internet de las cosas industrial (IIOT) en la industria 4.0*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Altamirano, V. (2023). *Propuesta de mejora en el sistema de seguridad industrial para una empresa de producción de alimentos*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Avila, J. (2025). *Impacto de la industria 4.0 en las PYMES manufactureras del Azuay*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Barrera, W. (2023). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la línea de producción de la empresa Welding & Vayacons CIA. Ltda. aplicando el método de mantenimiento productivo total (TPM)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Barros, P., & Saltos, M. (2022). *Proyecto de desarrollo para la optimización de procesos de manufactura mediante el uso de las tecnologías de la industria 4.0 en el área de extrusión en la empresa Plastigama*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Becerra, A. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo de máquina controlada por un sistema automatizado para la reutilización de desechos en las madereras*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Blacio, W., & Esparza, D. (2022). *Plan de mantenimiento preventivo asistido por ordenador (GMAO) para maquinaria pesada de la Compañía de Extracción de Cuarzo Romero Loaiza José Miguel*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Bolaños, J., & Macías, E. (2024). *Propuesta de un plan de mantenimiento para la envasadora de productos en cartón en industria lactea de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- Bricio, T. (2026). *Análisis De La Calidad De La Energía Eléctrica Para Mejorar La Eficiencia Energética En Las Instalaciones Industriales De EPMAPAQ*. Ecuador: Universidad Técnica de Quevedo.
- Cartagena, A. (2021). *Repotenciación de la máquina de electroerosión de corte por*

- hilo NC Wire Cut Machine J0780 de la empresa SIMYM Cía. Ltda. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.*
- Chipe, W., & Lucio, O. (2023). *Desarrollo y simulación de HMI'S industriales basado en la plataforma 4.0 control de señales digitales y analógicas, envío de variables a la nube, registro mediante base de datos.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Espinoza, A. (2022). *Arquitectura colaborativa de datos para monitoreo de equipos industriales basada en Internet of things.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesian.
- Fernández, D. (2022). *Desarrollo plan de mantenimiento correctivo y preventivo aplicado a la maquinaria de la empresa JH.* Colombia: Universidad de Pamplona.
- Garcia. (2024). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento 4.0 aplicado a estaciones de servicio.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Garcia, J. R. (2023). *Propuesta para la optimización de tiempo en talleres mecanizado industriales en la ciudad de Guayaquil.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Guzman, A., & Lopez, J. (2023). *Modelo computacional para el seguimiento de la producción en una industria ecuatoriana basado en Big Data y Business Intelligence.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesian.
- Heredia, W. (2022). *Implementación de un plan de mantenimiento de equipos y maquinaria para la empresa ADROSES.* Ambato: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- IESS. (2024). *C.D.-390 - Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo.* Quito: Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.
- Jami, M. (2023). *Estudio para el mejoramiento y optimización en el uso de los laboratorios de máquinas herramientas en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la U.P.S.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Jumbo, W. (2021). *Filosofía, tecnociencia e industria 4.0: una mirada desde el medioambiente.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Lema, J. (2022). *Desarrollo de una plataforma web basada en industria 4.0 para el control y monitoreo remoto de variables dentro del proceso de empaque de camarón.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Miranda, L. (2024). *Diseño de una máquina termoformadora para la elaboración de*

- piezas plásticas*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- MTD. (2024). *255 - Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Quito: Ministerio de trabajo.
- OIT. (2022). *Seguridad y salud en el uso de maquinaria y equipos de trabajo*. Suiza: Organización Internacional del Trabajo.
- Ortega, F. (2024). *Automatización de una máquina madejadora de hilos de construcción nacional para la empresa Imbatex*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Puma, E. (2023). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM para optimizar el rendimiento de la excavadora 350G LC Jhon Deere de la empresa CGM Rental*. Perú: Universidad Continental.
- Salazar, D. (2023). *Propuesta de implementación de Industria 4.0 como estrategia de internacionalización en las empresas manufactureras de la ciudad de Ambato provincia Tungurahua Año 2022*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Sanchez, J. (2021). *Propuesta de diseño de una máquina semi industrial de apertura para la etapa de preproducción para la obtención de hilo a partir de fibra de alpaca*. Peru: Universidad de Lima.
- Tapia, J. (2021). *Propuesta de un modelo de optimización de los procesos operativos mediante Lean Manufacturing en un taller metalmecanico*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Villacis, Y. (2025). *Análisis de la implementación de tecnologías 4.0 en los procesos productivos de las empresas industriales de Guayaquil*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Miguel Ángel Pisco Jurado** con C.C: # 0930390349 autor/a del trabajo de titulación: **Optimización de los parámetros operativos de una máquina de corte por electroerosión por hilo mediante diseño de experimentos para el incremento de la productividad y la precisión dimensional en la industria metalmecánica**, previo a la obtención del título de **Ingeniero eléctrico mecánico con mención en gestión empresarial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **29 de agosto de 2026**

f. _____

Pisco Jurado Miguel Ángel

C.C: 0930390349



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Optimización de los parámetros operativos de una máquina de corte por electroerosión por hilo mediante diseño de experimentos para el incremento de la productividad y la precisión dimensional en la industria metalmecánica		
AUTOR(ES)	Pisco Jurado Miguel Ángel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánico con mención en Gestión Empresarial		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero eléctrico mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	29 de agosto de 2026	No. DE PÁGINAS:	92
ÁREAS TEMÁTICAS:	Optimización del proceso, Control dimensional		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	equipos, análisis, diagnostico, predictivo, productividad, medición.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El trabajo a realizar tiene como objetivo principal hacer el respectivo levantamiento de información y diagnóstico actuales del equipo de corte por electroerosión por hilo. Optimizando el mantenimiento predictivo para conocer e identificar las fallas más comunes en los sistemas mecánicos rotatorios ocasionados por, malos alineamientos, golpeteos por desgaste, temperaturas inadecuadas, poleas desgastadas, bandas gastadas, desgaste en las guías de la mesa. Así mismo es necesario tener claro los conceptos básicos de tensión y vibraciones, las secuencias de torque y medición en cada parte para recabar información del comportamiento de la máquina y analizar las posibles fallas. Desde otro ángulo realizar también un debido estudio económico y posibles impactos que encierran los márgenes de conveniencia y viabilidad del proyecto donde se plantea la modificación del mismo o la adquisición de un equipo nuevo, personal calificado para la evaluación y manejo del equipo también su mantenimiento. Los diferentes tipos de normas y la forma en las que se las implementa influyen en la productividad de la máquina, se considera una revisión de los beneficios y probabilidades de manera desfavorables. Como último punto se contempla la aplicación de un mantenimiento predictivo especializado en los sistemas modificados para una mejora de la productividad.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4- (registrar teléfonos)	E-mail: miguel.pisco@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D		
	Teléfono: +593990705653		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			