






Artículo de investigación



Análisis de correlación del tiempo de vida de taladrina usada en maquina CNC y productividad en industria metalmecánica de Mexicali

Correlation analysis of the life time of coolant used in CNC machines and productivity in the metallic industry of Mexicali

Mildrend Ivett Montoya-Reyes , Juan Ceballos-Corral , Ismael Mendoza-Muñoz , Olivia Yessenia Vargas-Bernal 

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard Benito Juárez S/N, Parcela, CP 21280, Mexicali, Baja California, México.

Autor por correspondencia: Mildrend Ivett Montoya Reyes, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard Benito Juárez S/N, Parcela, CP 21280, Mexicali, Baja California, México, E-mail: mldrend.montoya@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0001-5575-8060.

Recibido: 22 de Diciembre del 2021

Aceptado: 7 de Noviembre del 2022

Publicado: 13 de Noviembre del 2022

Resumen. - El uso de la taladrina en los procesos de maquinado en la industria metálica de Mexicali es de gran relevancia por su funcionalidad de reducir la fricción entre los metales de maquinado (material de maquinado a procesar y herramienta de maquinado). Este proceso de fabricación se genera en un material metálico del que se obtiene un óptimo acabado de una superficie metálica y ayuda en gran medida a alargar la vida útil de las herramientas de la cortadora CNC. En esta investigación se consideraron tres fases en su desarrollo, siendo la primera etapa, una evaluación detallada del uso de la taladrina (diaria, semanal, mensual, estacional y anual), utilizada en un proceso de maquinado de una máquina CNC de un 40% una industria metalmecánica ubicado en la ciudad de Mexicali. En esta fase, se observó un uso considerable de taladrina, de hasta un 40% de mas, ocasionando una gran preocupación del personal gerencial, administrativo y de supervisión por un 25% de gastos extra de gastos económicos; cuyo objetivo de esta investigación, fue la de reducir tanto el uso de taladrina como gastos económicos. La segunda etapa consistió en un análisis de las propiedades fisicoquímicas de la taladrina (viscosidad, y pH), en periodos de cada ocho horas y comparadas con las especificaciones del fabricante para determinar su funcionalidad óptima en el proceso de maquinado. Los análisis fisicoquímicos mostraron que la taladrina con un proceso de recuperación de manera eficiente, podría ser reutilizada, logrando hasta un 80% de recuperación con el proceso propuesto en esta investigación, para su reúso con un funcionamiento óptimo, para lograr un ahorro uso de taladrina y gastos económicos. La tercera etapa fue un análisis de simulación con el software MatLab utilizando el proceso con Simulink y el algoritmo PID (P-Proporcional, I-Integral, D-Derivativo), para determinar las características fisicoquímicas óptimas de la taladrina, evaluando su viscosidad, pH y temperatura en periodos diarios. Esta fase fue relevante para determinar a futuro el uso adecuado de taladrina con el proceso de recuperación y lograr los ahorros propuestos en los objetivos al inicio de este estudio científico. La investigación se desarrolló de 2019 a 2020.

Palabras clave: Industria metalmecánica; Taladrina; Procesos de manufactura; Análisis de simulación

Abstract. - The use of taladrina in cutting processes in the metallic industry of Mexicali is of great relevance due to its functionality of reducing friction between cutting metals (cutting material to be processed and cutting tool). This manufacturing process is generated in a metallic material that an optimal finish of a metallic surface is obtained and helps to a great extent to extend the life of the tools of the CNC cutting machine. In this research, three phases were considered in its development, being the first stage, a detailed evaluation of the use of taladrina (daily, weekly, monthly, seasonally and yearly), utilized in a cutting process of a CNC machine of a metallic industry located in the city of Mexicali. In this phase, a considerable use of coolant was observed, of up to 40% more, causing a great concern of the managerial, administrative and supervisory personnel for a 25% of extra expenses of economic expenses; whose objective of this investigation was to reduce both the use of coolant and economic expenses. The second stage was an analysis of the physicochemical properties of taladrina (viscosity and pH), in periods of every eight hours and compared with the manufacturer's specifications to determine its optimal functionality in the cutting process. The physicochemical analyzes showed that the coolant with an efficient recovery process could be reused, achieving up to 80% recovery with the process proposed in this research, for its reuse with optimal functioning, to achieve savings in the use of coolant and economic expenses. The third stage was a simulation analysis with the MatLab software with the use of the Simulink process and the PID algorithm (P-Proportional, I-Integral, D-Derivative), to determine the optimal physicochemical characteristics of taladrina, evaluating its viscosity, pH and temperature in daily periods. This phase was relevant to determine in the future the appropriate use of coolant with the recovery process and achieve the savings proposed in the objectives at the beginning of this scientific study. The investigation was developed from 2019 to 2020.

Keywords: Metallic industry; Taladrina; Manufacturing processes; Simulation analysis.



1. Introducción

El objetivo principal de esta investigación fue el evaluar el rendimiento funcional de la taladrina usada en una maquina CNC de una industria metalmeccánica ubicada en la ciudad de Mexicali. Esto se desarrolló debido a que, en la mayoría de las industrias de este ramo, es lograr un uso óptimo de aceites y lubricantes en este tipo de máquinas industriales. Uno de estos aceites es la taladrina utilizada en operaciones de maquinado en máquinas CNC, que es usada para disminuir la temperatura mientras se elabora el maquinado o pulido de metales [1, 2]. Debido a las estrictas regulaciones ambientales, se han desarrollado estrategias para evaluar el ciclo de vida de la taladrina en base a propiedades fisicoquímicas como pH y viscosidad. Con este estudio científico, se logró determinar en base a sus propiedades fisicoquímicas, la cantidad de veces que se podía reutilizar taladrina en una maquina CNC, donde se elaboró el análisis, para un proceso de maquinado [3]. Esto fue necesario para disminuir gastos económicos y generar un ahorro por compra de material en periodos más largos. El proceso de reúso de taladrina se muestra en la figura 1. La figura 1 muestra la manera en que se utiliza la taladrina en los procesos de maquinado en una maquina CNC en la industria metalmeccánica donde se realizó la investigación. En este tipo de empresa industrial, se fabrican correderas metálicas para muebles de oficina y de casas-habitación, siendo un producto de muy demandado. En dicha figura, se observan cuatro fases, siendo la primera, cuando se coloca en un deposito taladrina nueva que será utilizada en el proceso de maquinado de la maquina CNC [4, 5]. La segunda fase representa la acción de obtener taladrina usada en un primer proceso de maquinado, y pasar a la fase tres que es donde se evalúa la viscosidad con un viscosímetro Mitutoyo y el pH con un pHmetro Metter Toledo [6, 7]. Una vez evaluadas las dos características fisicoquímicas mencionadas en la fase tres, se determina si es posible utilizar la taladrina para un segundo proceso de maquinado y así

sucesivamente se repite el proceso de la fase dos a la cuatro; pudiendo lograr ahorros significativos por no estar comprando constantemente taladrina y con ello disminuir gastos económicos en la industria evaluada. Esto es de acuerdo a los análisis de la fase tres.

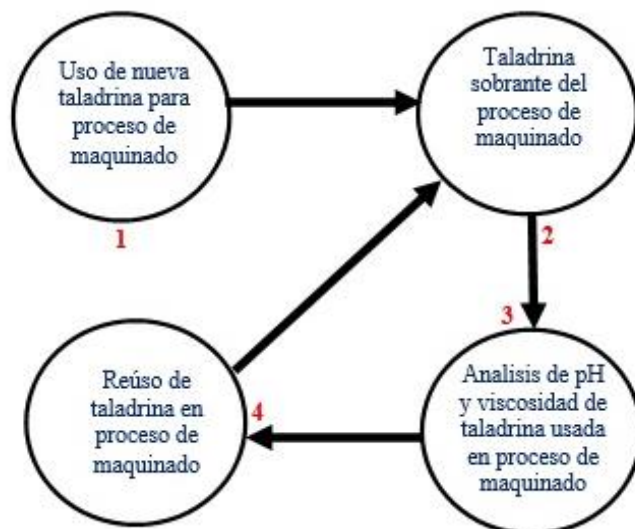


Figura 1. Etapas de uso de taladrina en maquina CNC para proceso de maquinado. Fuente. Información de la investigación.

1.1 Industria metalmeccánica

Este tipo de industria es de gran relevancia en el desarrollo de cualquier region del mundo, generando importante porcentaje del PIB en los países donde se tienen empresas de este sector industrial [8]. La ciudad de Mexicali donde esta localizada la empresa industrial de metalmeccánica donde se realizó la investigación, tiene más de 150 industrias manufacturera, de diferentes sectores como el ramo electrónico, biomédico, metalmeccánico, textil y manufactura de plásticos, esencialmente [9], como se observa en la figura 2, donde la industria metalmeccánica de esta ciudad es de gran importancia en la economía de esta region.



Figura 2. Principales industrias establecidas en Mexicali. Fuente. Información de la investigación.

El ramo metalmeccánico es muy importante en esta región de la República Mexicana, ubicada en el noroeste del país, y considerada como una zona fronteriza con el estado de California de estados Unidos, donde se tiene un gran potencial de intercambio comercial, por el nuevo Tratado de Libre Comercio (TLC), entre Estados Unidos, Canadá y Mexico [10]. De las 150 industrias ubicadas en Mexicali, el 35% son del ramo metalmeccánico [9], y algunas otras industrias son otro tipo de empresas industriales que tienen al menos una maquina CNC, donde se usa la taladrina. Este tipo de industria utiliza materiales de acero, aluminio, cobre, cromo y níquel; entre los principales, manufacturando desde correderas metálicas para muebles, estructuras para equipos electrónicos, automóviles, aviones, trenes e infraestructura vial, como se ilustran en la figura 3.



Figura 3. Materia prima para la fabricación de correderas para muebles en una industria metalmeccánica de la ciudad de Mexicali. Fuente. Información de la industria donde se desarrolló la investigación.

La figura 3 ilustra la materia prima utilizada para fabricar las correderas metálicas para muebles en una industria metalmeccánica ubicada en Mexicali, siendo muy utilizadas en una gran diversidad de actividades en oficinas, casas-habitación, oficinas e industrias. El material como materia prima es de aluminio. Este tipo de productos es muy requerido en esta zona de la República Mexicana, Esto indica que este tipo de industria es muy importante en el mercado de la region y a nivel global.

1.2 Propiedades fisicoquímicas de taladrina

Este tipo de características es de gran importancia en todos los materiales y sustancias utilizadas en cualquier tipo de industria, debido a que, en base a sus especificaciones, se puede determinar el funcionamiento de la taladrina en los equipos y maquinaria industrial del ramo metalmeccánico [11]. El uso de taladrina en procesos de maquinado es para actuar como refrigerante y así poder disminuir la temperatura. Además, la taladrina actúa como lubricante para minimizar el rozamiento entre la herramienta de maquinado y la pieza que se está transformando con el proceso de maquinado para que sea más rápido. También elabora la función de limpieza eliminando virutas



generadas en el proceso de maquinado. Existen dos principales tipos de taladrina, donde la primera son emulsiones que usan aceite y agua, y la otra usan aceite, siendo llamadas sintéticas. En esta investigación se utilizó la primera (taladrina), donde se evaluaron dos propiedades fisicoquímicas: pH y viscosidad [12]. Este proceso de análisis fue para determinar si se podía reutilizar este tipo de sustancia líquida conocida como taladrina, y una vez usada en los procesos de maquinado de una CNC, se elaboró un proceso de recuperación para no usar taladrina nueva y así evitar generar nuevos costos. En este estudio científico, se observó que al usar herramientas de la metodología 5S y el mantenimiento preventivo de manera óptima en los periodos requeridos, se pudo mantener a la máquina CNC de análisis, con un rendimiento óptimo. Además, se elaboró un orden adecuado de las herramientas de CNC y en buen estado para su eficiente operación. En base a esto se elaboraron como lo especifica en la fase tres de la figura 1, un análisis de los niveles de pH y viscosidad de taladrina utilizada por primera vez y veces posteriores a esta, indicando en la tabla 1 las especificaciones estándares de pH y viscosidad. La taladrina evaluada fue de color blanca por tener mayor capacidad de disminuir la temperatura en los procesos de maquinado, que los otros tipos de taladrina [13]. El gasto de taladrina usada fue del 60% por lo que el 40% restante, se procedió a reutilizarla con un método especializado, utilizando imanes para retirar virutas o materiales metálicos, que originen alguna situación problemática al momento de reutilizar la taladrina. Los valores de pH y viscosidad fueron representativos de los niveles promedio de cuatro veces al día, en que se suministró taladrina al recipiente instalado en la CNC, para su operación [14, 15]. Con estos dos meses de análisis, se concluyó que el proceso de reciclado es de gran utilidad para reducir costos por uso de taladrina en la industria evaluada. Cabe señalar que una vez que la taladrina no se puede utilizar se le llama taladrina agotada. Según información técnica de aceites, existen dos tipos de viscosidad, siendo la viscosidad dinámica (también llamada viscosidad

absoluta, con una resistencia interna del fluido antes de ser cortado o generar una acción en donde las moléculas se deslicen entre ellas), y la otra es la viscosidad cinemática (la que se relaciona con la densidad de la taladrina) [15]. La densidad de la taladrina blanca 15° C Kg/l es 0.90 kg/m³ y pH de 9, y conforme se incrementa la temperatura, la densidad disminuye, y si la temperatura disminuye, la densidad aumenta. De acuerdo al estándar ASTM-D-445, la viscosidad estándar a 40 °C es de 16 a 18 cSt (centiStoke, que es la unidad de medición de la viscosidad cinemática). El torno de control numérico (Torno-CNC) donde se realizó el proceso de investigación, contiene un recipiente de 20 litros para la taladrina, que era suficiente para un día de trabajo y utiliza el código G para ser programado y así elaborar sus funciones [16]. En la figura 4 se muestra un torno CNC utilizado en la industria donde se realizó el estudio científico.



Figura 4. Torno de control numérico similar usado en proceso industrial de industria metalmeccánica. Fuente: <https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/tornos-cnc/>

La figura 4 muestra un torno de control numérico donde se observa el uso de taladrina color blanca para el enfriamiento de la zona donde se realiza el maquinado. Este torno de control numérico es similar al utilizado en la



industria metalmecánica donde se realizó investigación.

1.3 Maquinas CNC

La máquina CNC es también considerada como una maquina automatizada con herramientas de control numérico por computadora [17, 18], que elabora diversas funciones como las que se mencionan en la tabla 1.

Tabla 1. Principales herramientas de máquinas CNC

Operación	Concepto
Amoladora	Es una herramienta eléctrica usada con un motor para cortar, lijar y pulir metales
Cortadora de plasma	Es utilizada para cortar materiales metálicos con un proceso de fundido usando una antorcha de plasma
Fresadora	Desarrolla un proceso de corte generando virutas de manera rotativa
Taladradora	Es una herramienta usada para elaborar orificios en piezas metálicas
Torno	Es un conjunto de herramientas que elaboran diversas operaciones como agujerear, cortar, cilindrar, desbastar, ranurar y roscar en piezas metálicas

En la tabla 3 se muestran los principales tipos de herramientas usadas en máquinas CNC, para los diversos tipos de maquinado, donde se observa que cada herramienta presenta su concepto para ser considerada de acuerdo a los tipos de productos a manufacturar en las industrias metalmecánica. Los más utilizados en este tipo de industria ubicada en la ciudad de Mexicali, son la fresadora, taladradora y torno.

1.4 Procesos de maquinado

Se realizan de acuerdo a las necesidades de los productos a fabricar, donde se representan en la

tabla 2, los de mayor utilidad en la industria metalmecánica [19, 20].

Tabla 2. Operaciones con máquinas CNC

Operación	Concepto
Fresado	Fabrica piezas metálicas con diversos tipos de figuras con algunas zonas a profundidad, usando herramienta de punta
Lapeado	Es un proceso que ayuda a mejorar el acabado de una pieza buscando eliminar la rugosidad. Se elabora cuando se frotan dos superficies con un abrasivo de grano muy fino
Mandrinado	Se desarrolla para ampliar o mejorar la calidad de un agujero de una pieza fabricada
Rectificado	Se realiza en piezas metálicas que requieren acabados muy especializados para productos específicos
Roscado	Se lleva a cabo en piezas fabricadas donde una parte de estas se elabora el maquinado para generar roscar externas.
Taladrado	Se desarrolla con una herramienta en forma de taladro para fabricar orificios o acabados circulares en piezas
Torneado	Fabrica piezas cilíndricas con una herramienta de corte opera de manera lineal, mientras la pieza gira en su proceso de maquinado
Tronzado	Se realiza cuando una pieza cilíndrica debe ser cortada o separada de una conexión metálica

La tabla anterior muestra de manera específica los ocho principales tipos de operación elaboradas por máquinas CNC observándose cada proceso para cada forma de manufacturar materiales metálicos. Las de mayor aplicación en la industria metalmecánica ubicada en Mexicali, son operación de fresado, rectificado,



roscado, taladrado y torneado. Cabe señalar que, en esta ciudad, se tienen grandes empresas industriales que fabrican productos metálicos, así como medianas, pequeñas y microempresas; que tienen algún tipo de operación con CNC.

1.5 Analisis de simulación con PID

El desarrollo de simulaciones matemáticas, ha sido de gran relevancia en cualquier tipo de actividad y en especial en procesos industriales de diversos tipos de industrias. En esta investigación se desarrollaron simulaciones matemáticas para estimar el comportamiento de ciertos parámetros involucrados en el procesamiento de materiales metálicos, esencialmente en máquinas CNC. Para la evaluación de este estudio científico, se utilizó el algoritmo PID con el cual se pudo analizar parámetros de temperatura en el proceso de maquinado, además de la dureza del agua, pH y viscosidad que conforman la taladrina usada en máquinas CNC. En la figura 5, se muestran los tres tipos de funciones del algoritmo PID [21].

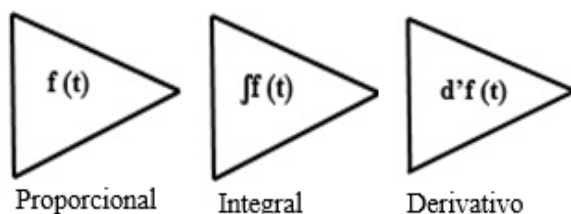


Figura 5. Algoritmo de simulación PID (Proporcional, Integral y Derivativo). Fuente. Información de la investigación

La figura anterior representa los tres de funciones del controlador PID, ilustrando el algoritmo en función proporcional como una función normal $f(t)$ que no genera ningún cambio en la operación que representa a función. Además, se tiene la función integral $\int f(t)$ representando un cambio con un decremento en un intervalo de análisis de a y b en un gráfico de dos ejes (X, Y). Por último, se tiene la función derivativa $f'(t)$, que representa un cambio con un **incremento** en un intervalo de análisis de a y b en un gráfico de dos ejes (X, Y). Estas tres funciones pueden ser utilizadas por

separado con una acción de retroalimentación, o pueden ser dos o las tres, dependiendo el tipo de análisis y variables participantes en un estudio científico.

2. Metodología

El proceso de la investigación se realizó en tres etapas, como explica enseguida:

Etapa 1. Se elaboró una evaluación de la cantidad de uso de taladrina en un torno de control numérico de una industria metalmecánica ubicada en la ciudad de Mexicali, para con ello conocer si se estaba utilizando de manera adecuada la taladrina. Esta evaluación fue en periodos horarios, diarios y semanales durante dos meses, para determinar la cantidad de taladrina usada principalmente de manera diaria. En esta etapa se desarrolló un sistema de recuperación de taladrina.

Etapa 2. Se realizaron análisis de dos propiedades fisicoquímicas de la taladrina, siendo el pH y la viscosidad cinemática, para determinar la posibilidad de que se pudiera reciclar el resto de la cantidad de taladrina usada en el proceso de maquinado, siendo el 40%. En esta fase se propuso un sistema con imanes, que está en proceso de desarrollo para una publicación posterior.

Etapa 3. Se desarrolló una simulación matemática con el controlador PID, para evaluar las posibles variables que pueden generar el uso óptimo de la taladrina en un torno de control numérico perteneciente a la empresa industrial donde se realizó el estudio científico. El proceso de la metodología se muestra en la figura representado como diagrama de flujo de la secuencia de etapas elaboradas en esta investigación.

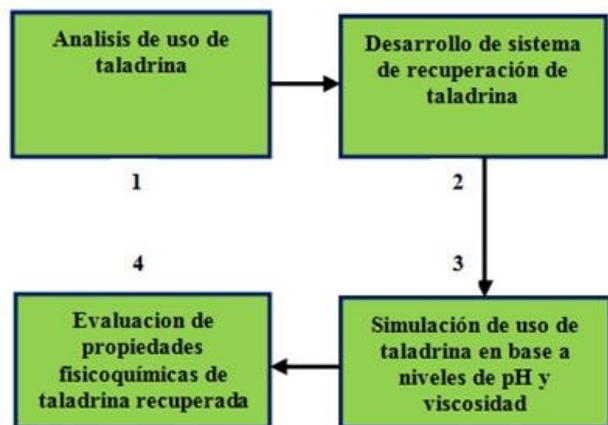


Figura 6. Etapas del proceso de investigación.

La figura 6 muestra las etapas desarrolladas en esta investigación, donde se observa en cada etapa (de la 1 a la 4). Lo novedoso de este estudio científico es determinar en base a el pH y viscosidad, que tanta taladrina se puede recuperar y aplicar el sistema de recuperación en procesos industriales de la industria metalmeccánica de la ciudad de Mexicali. Las etapas de la investigación, fueron desarrolladas por separado para obtener la máxima funcionalidad de la taladrina y se explican a detalle en la sección de resultados.

2.1 Caso de estudio

Esta investigación se llevó a cabo al detectarse en una empresa del ramo metalmeccánico ubicada en la ciudad de Mexicali, de la generación de altos costos por el uso de taladrina, donde se desconocía en ocasiones, si la taladrina tenía funcionalidad para el proceso de maquinado en una máquina CNC con torno. Se tenía un proceso en el cual se realizaba el cambio de taladrina del recipiente de la maquina CNC, sin saber si todavía podía servir como lubricante para el proceso de maquinado. Además, no se verificaban sus propiedades fisicoquímicas como pH y viscosidad, que son relevantes en la funcionalidad de la taladrina. Con esta situación, se procedió a desarrollar el estudio científico en la empresa ubicada en esta ciudad del noroeste de la República Mexicana.

2.2 Herramientas estadísticas

En el proceso de la investigación, se utilizaron las herramientas de Six Sigma y se desarrollaron análisis con herramientas estadísticas como regresión y correlación con una distribución normal; además de análisis de varianza (ANOVA).

2.3 Instrumentación utilizada

En estudio científico fue necesario usar un dispositivo medidor de pH (Medidor de pH y temperatura de mesa Laboratorio Milwaukee) y el viscosímetro de Ostwald para medir viscosidad (Viscosímetro Cannon Fenske No. 100 Opaco Sin Calibrar Dc Sci).

2.4 Variables del estudio

Se evaluaron las variables de niveles de pH (ácides de 0 a 6 o básico de 8 a 14) y viscosidad cinemática, para obtener los valores requeridos para analizar la funcionalidad de la taladrina.

3. Resultados

El uso inadecuado de taladrina en torno de control numérico de industria metalmeccánica, preocupaba al personal gerencial y de supervisión en la empresa industrial donde se realizó la investigación. En base a eso se realizaron las tres etapas descritas anteriormente.

3.1 Analisis del uso de taladrina

Se desarrolló en el periodo inicial de la investigación hasta los dos meses del análisis, para determinar la cantidad de uso de taladrina en un torno control numérico de la empresa evaluada. Esta información se representa en la tabla 3. El costo de la taladrina de color blanca es de 1000 pesos mexicanos en garrafones de 20 litros, siendo 50 pesos mexicanos por litro. Al principio de la investigación, no se recuperaba nada de taladrina usada y no se



generaba ningún ahorro de los costos iniciales de los costos de producción planeados,

Tabla 3. Uso de taladrina en torno de control numérico

Taladrina	A	B	C
Semanas			
1	20	0	0
2	14	6	18
3	13	7	22
4	13	7	25
5	12	8	27
6	12	8	30
7	12	8	34
8	12	8	38

A. Cantidad nueva de litros usados en el proceso de maquinado

B. Cantidad de litros recuperados (40% por cada 20 litros)

C. Ahorro porcentual de litros recuperados

La tabla anterior muestra el análisis del uso de taladrina en el proceso de maquinado con el torno de control numérico. Se observa que a medida que la investigación se está desarrollando, se va reutilizando la taladrina y con ello se van recuperando mayor cantidad de litros y generando un ahorro significativo de que disminuía la preocupación gerentes de costos y manufactura y personal de supervisión de procesos industriales. Del 40% que quedaba como resto de taladrina al final del proceso de maquinado por día, se recuperaba un porcentaje por eliminar virutas y otras sustancias derivadas del proceso de maquinado. En esta sección se obtuvo una ecuación matemática en base al análisis de regresión y correlación, mostrándose enseguida:

$$F(x) = 2/3 X^3 - 5/9 X^2 + 1/5 X + 5/6$$

Esta ecuación matemática fue obtenida con una serie de datos del uso de taladrina que la empresa tenía desde un periodo de un año antes de iniciar la investigación, y con esta función matemática, se logró obtener un valor estimado a un futuro de un año del uso de taladrina, que era muy considerable e incrementaría los costos de fabricación. Conforme transcurrió la investigación, se observó

que los porcentajes de recuperación y el uso inicial de taladrina el ahorro porcentual mostrados en la tabla 3, indican que este proceso de recuperación de taladrina, es relevante en la maquinaria utilizada en la industria metalmeccánica. Con esto se comprueba de manera cuantitativa, la importancia de este estudio científico que puede ser aplicado no solo en la industria local, sino regional, nacional y mundial.

3.2 Desarrollo del sistema de recuperación de taladrina

La segunda etapa consistió del diseño y fabricación del sistema que reciclaba el líquido cortante, para realizar la propuesta a la empresa que permitió realizar el análisis. El diseño se representa en un diagrama de flujo con sus respectivas etapas y fotografías, ilustrando solo lo de mayor importancia en la operación del sistema de reciclaje, mostrado en la figura 7, ilustrándose las cuatro etapas y dos fotografías, siendo la primera foto ubicada en la parte inferior del diagrama, mostrando un sistema de imanes (con un electroimán), que conectado a una fuente de voltaje de 12 voltios, genera un efecto electromagnético y con ello los residuos metálicos del proceso de corte de los metales, y se unen a los extremos de una tubería, iniciando la función de recuperación del agua. La segunda foto ubicada en la parte superior del diagrama, ilustrando una bolsa de carbón activado que elabora el proceso de filtrado de los residuos restantes.

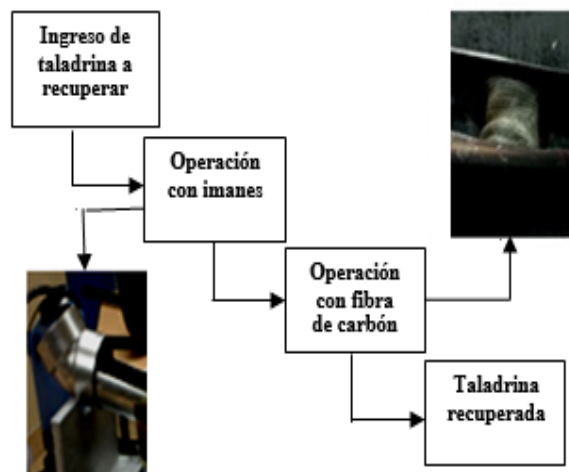


Figura 7. Proceso de recuperación de taladrina. Fuente: Información de la investigación

3.3 Evaluación de propiedades fisicoquímicas

El análisis realizado de propiedades fisicoquímicas (pH y viscosidad) fue en el mismo periodo del uso de taladrina blanca con las ocho semanas para determinar si la taladrina era óptima para ser usada de nuevo en el proceso de maquinado. Además, se examinó a simple vista, si los productos fabricados presentaban manchas de algún color después de elaborar el proceso de maquinado en una CNC, con taladrina reutilizada. La información obtenida de los análisis de pH y viscosidad, se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Relación de pH y temperatura de taladrina (2019)

Día	A		B	
	T, °C	pH	T, °C	pH
1	40	8	42	6
2	41	8	41	6
3	40	8	41	7
4	42	8	43	7
5	40	9	44	7
6	40	9	41	7
7	41	9	40	7
8	40	9	42	8

A. No Generó Manchas en Superficie Metálica de Productos Fabricados

B. Genero Manchas en Superficies Metálicas de Productos Fabricados

La tabla 4 representa los niveles de pH a una temperatura estuvo oscilando entre los 40 °C a 42 °C en las ocho semanas evaluadas, cuando no se presentaron manchas en los productos metálicos fabricados. En cambio, cuando la temperatura osciló entre los 41 °C y 44 °C, los productos metálicos manufacturados presentaron manchas como principios de presencia de fenómeno de corrosion. La información numérica obtenida indicó que, al inicio de la investigación, el pH fue de 8 en las primeras cuatro semanas y en las siguientes cuatro semanas fue de 9. En esta fase de este análisis con el pH descrito no se generaron manchas en los productos manufacturados. Para la siguiente fase de este análisis, el pH presentado fue 6 en las primeras dos semanas, de 7 en las siguientes cinco semanas y de 8 en la última semana, generando manchas en los productos fabricados, debido al pH con tendencia a nivel acido. Posteriormente se realizó la evaluación de la viscosidad cinemática, expresando la información en la tabla 5.

Tabla 5. Relación de viscosidad y temperatura de taladrina (2019)

Día	A		B	
	T, °C	Viscosidad, cSt	T, °C	Viscosidad, cSt
1	40	15	42	17
2	41	15	41	17
3	40	16	41	18
4	42	16	43	19
5	40	17	44	19
6	40	17	41	20
7	41	18	40	20
8	40	18	42	20

A. No Generó Manchas en Superficie Metálica de Productos Fabricados

B. Genero Manchas en Superficies Metálicas de Productos Fabricados

La tabla 5 representa los niveles de viscosidad cinemática, ilustrando a diversos índices de temperatura, presentándose acciones similares al análisis del pH, con respecto a la presencia



sin manchas en los productos metálicos fabricados, con temperaturas de oscilando desde los 40 °C a los 42 °C; y con manchas con temperaturas y entre los 41 °C y 44 °C. Los valores de viscosidad cinemática del análisis sin la generación de manchas fueron de 15 a 18, en el rango normal, exceptuando el primer valor de 15. En el análisis donde se generaron manchas, los valores fueron de 17 a 20, estando los valores 17 y 18 en el rango y fuera del rango Esto fue de acuerdo a como estuvo oscilando la temperatura. Respecto a los niveles de viscosidad cinemática, se observó que, si la temperatura se incrementa, la viscosidad cinemática disminuye y con ello la taladrina blanca recuperada fluye con mayor rapidez, solo que no actuó al 100% como refrigerante al momento de elaborar el proceso de maquinado. Es por esto que se incrementaba la temperatura. Aun con los niveles variantes de pH y viscosidad cinemática, el porcentaje de productos con manchas era bajo, por lo que este tipo de análisis muestra que la recuperación de taladrina puede ser una opción para el ahorro de costos por la compra de este material usado en tornos de control numérico con sus procesos de maquinado.

3.4 Simulación matemática de recuperación de taladrina

Esta evaluación se realizó con el controlador PID en el software MatLab con la aplicación de Simulink. El análisis niveles de correlación de las variables involucradas en la simulación matemáticas, siendo la temperatura dentro del torno con control numérico en el proceso de maquinado, como variable de entrada y el pH y la viscosidad cinemática como variables de salida, representados por la figura 8 como el proceso de simulación. El porcentaje de error fue medido un índice de comparación de niveles de pH y viscosidad con cantidad de piezas fabricadas, para determinar los periodos de tiempo en los cuales la taladrina era funcional para los procesos de maquinado en la maquina CNC. Los datos para los análisis estadísticos fueron obtenidos con los

dispositivos medidores de pH y viscosidad, así como de la cantidad de piezas con contadores electrónicos.

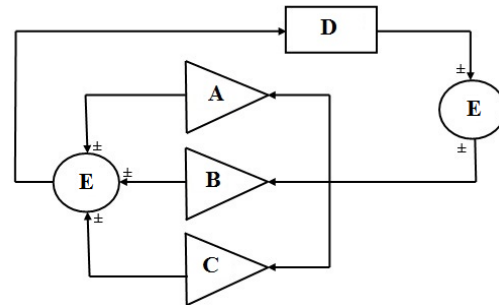


Figura 8. Representación de la simulación matemática del proceso de maquinado. Fuente. Información de la investigación

A- $f(t)$, B- $\int f(t)$, C- $f'(t)$, D-Industrial process, E-Error

La figura 8 muestra la manera de cómo se utilizó el PID en el proceso de maquinado con las variables mencionadas y descritas en la tabla 6, como lo indica su análisis. Las funciones del PID, fueron explicadas anteriores, ilustrando el cuadro con el proceso industrial y el proceso de retroalimentación con los márgenes de error en cada evaluación de correlación. Se elaboró una simulación con los periodos similares a los análisis del inicio de la investigación de ocho semanas, para determinar en periodos cortos la posibilidad de tener un proceso de recuperación de taladrina lo más óptimo posible y de ahorro de costos, que fue la meta principal de la industria donde se realizó el estudio científico.

Tabla 6. Analisis de correlación con la simulación matemática

Factores Semanas	Temperatura,	pH	Viscosidad cinemática,
1	0.86	0.89	0.87
2	0.83	0.86	0.84
3	0.80	0.84	0.81
4	0.79	0.81	0.78
5	0.76	0.78	0.75
6	0.74	0.74	0.72
7	0.73	0.73	0.71
8	0.72	0.70	0.70



La tabla anterior ilustra los niveles de correlación de las tres variables principales involucradas en el proceso industrial de maquinado, indicando que, a mayor índice de correlación, se relacionan las variables evaluadas. El tener valores iniciales cercanos a 0.9 en las tres variables, representa que la temperatura tiene un efecto considerable y la taladrina funcionaba correctamente como refrigerante. Conforme transcurrió el periodo de análisis, el índice de correlación, fue disminuyendo hasta el nivel de 0.7 o cercano a este, indicando que la taladrina funcionaba como refrigerante, pero con un efecto menor, por lo que debía cambiarse por taladrina nueva. Esto fue, para que no se dañaran los productos fabricados, ni se generaran manchas en estos, así como proteger la herramienta del taladro de control numérico. Para estimar a futuro de corto plazo por periodos de cada dos meses, se elaboró una simulación matemática con el controlador PID, obteniendo las funciones matemáticas óptimas para cada algoritmo en la figura 9, representando una estimación con un nivel de error del 0.05%.

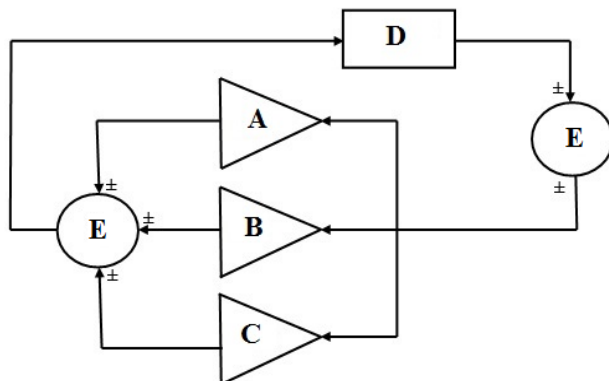


Figura 9. Simulación matemática del proceso de maquinado. Fuente. Información de la investigación.

$$A- f(t) = 4s / (9s + 4)$$

$$B-f(t) = (3s^2 + 5s - 7) / (2s - 8)$$

$$C-f(t) = (4s + 6) / (6s^2 - 3s - 9)$$

D-Industrial process

E-Margen de Error en Retroalimentación

Como se observa en la figura anterior, con las funciones óptimas obtenidas, se determinaron los periodos adecuados de uso de taladrina reusada y la nueva.

Con estas funciones matemáticas se obtuvo una estimación de la relación de valores de pH y viscosidad a futuro para determinar los periodos de cambio de la taladrina y de mantenimiento preventivo de la maquina CNC evaluada.

4. Conclusiones

La investigación mostró la posibilidad de reutilizar taladrina de un torno de control numérico de una industria metalmeccánica ubicada en la ciudad de Mexicali. Este tipo de industria en esta ciudad es de gran importancia en el desarrollo económico de la region, por lo que existe una gran cantidad de estas empresas industriales desde grandes industrias hasta microempresas con diversos tipos de maquinado. Los índices de correlación confirmaron la posibilidad del reúso de la taladrina, para generar ahorro en costos, en base al sistema de recuperación con imanes y la fibra de carbono. Este es un prototipo de análisis para con el proceso de mejora continua, disminuir los costos y con ello generar máximas ganancias económicas. Las evaluaciones en cada etapa fueron relevantes para obtener la máxima eficiencia del uso de taladrina en el torno de control numérico analizado. Esta investigación fue para determinar en una maquina CNC en especial de torno del uso óptimo de taladrina, y con este mismo proceso pueden ser evaluados otros tipos de sistemas mencionados en la tabla 2, que pueden operar en conjunto con la maquina CNC. Este estudio científico será relevante para obtener un óptimo ahorro del uso de taladrina, y con ello reducir los costos de manufactura de la industria metalmeccánica local, regional, nacional e internacional.

5.- Reconocimiento de autoría

Mildrend Ivett Montoya Reyes:
 Conceptualización; Recursos; Ideas;
 Metodología; Análisis formal; Investigación;



Recursos; Análisis de datos; *Juan Ceballos Corral: Ideas*; Investigación; Análisis de datos; Escritura. *Ismael Mendoza Muñoz: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Análisis de datos; Revisión y edición; Administración de proyecto. Olivia Yessenia Vargas Bernal: Metodología; Análisis formal; Investigación; Recursos; Análisis de datos.*

Referencias

[1] Albertí M, Ciurana J, Rodríguez C, Özel, T "Design of a decision support system for machine tool selection based on machine characteristics and performance tests", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer Ed., Volume 22, Número 1, pp 263-277, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0286-6>.

[2] Kurt A. "Modeling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks", *Expert Systems with Applications Journal*, Elsevier Ed., Volume 36, Numero 6, pp 9645-9657, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.054>.

[3] Montero G. Laura (2010) "Estudio del mecanizado de materiales compuestos", Proyecto de Fin de Carrera, Departamento de Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, pp 114, 2010, [Estudio del mecanizado de materiales compuestos \(uc3m.es\)](http://www.uc3m.es).

[4] González F, Rosado P "Control Numérico. Marco y Fundamentos", Segunda Edición, Editorial Universitat Politècnica de Valencia, pp 150, 2015, [CONTROL NUMÉRICO. MARCO Y FUNDAMENTOS. 2ª EDICIÓN \(upv.es\)](http://www.upv.es).

[5] Cruz F "Control Numérico y Programación II: Curso Practico", Editorial S. A. Marcombo, pp 426, 2010, [CONTROL NUMERICO Y PROGRAMACION II: CURSO PRACTICO \(2ª ED.\) | FRANCISCO CRUZ TERUEL | Casa del Libro México](http://www.cruztel.com).

[6] Travieso A "Ingeniería de los Procesos de Fabricación Mediante el Arranque de Virutas", Editorial Delta Publicaciones, pp 201, 2014, [INGENIERIA DE LOS PROCESOS DE FABRICACION MEDIANTE EL ARRANQUE DE VIRUTAS. TRAVIESO RODRIGUEZ ANTONIO J.. Libro en papel. 9788492954032 Librería El Sótano \(elsotano.com\)](http://www.elsotano.com).

[7] Jiménez A "Diseño, programación, simulación y fabricación en CNC con programas de CAD/CAM", Tesis de Maestría, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 225, 2018, [Repositorio Institucional de la UNAM](http://repositorio.institucional.unam.mx).

[8] López G, Sánchez C, Paz J, Ling J "Análisis de corrosión en aceros con recubrimientos impacta en la competitividad en la industria metalmeccánica de Mexicali", *Revista Investigación y Ciencia*, Volume 24, Numero 69, pp 39-46, 2016. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2016691868>.

[9] INDEX, "Reporte de la Industria Maquiladora-Mexicali", pp 25, 2020, <http://www.itmexicali.edu.mx>

[10] Chelminsky A "La implementación del T-MEC: una prueba para América del Norte", Centro de Estudios Internacionales Gilberto Bosques, pp 269, 2021, [La implementación del TMEC, una prueba para América del Norte | T-MEC | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx).

[11] Samatham M, Shravan A, Vidyanand Sai P, Reddy S "A Critical review on Minimum Quantity Lubrication (MQL) Coolant, Hyderabad, T.S., India", *International Journal of Current Advanced Research*, Vol 6, Numero 5, pp 1745-1751, 2016, [PDF\) A Critical review on Minimum Quantity Lubrication \(MQL\) Coolant System for Machining Operations \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net).

[12] Sharma V, Singh G, Sorby K "A Review on Minimum Quantity Lubrication for Machining Processes", *Materials and Manufacturing Processes Journal*, Volume 30, Número 8, pp 935-953, 2015. <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.994759>.

[13] Dureja J, Singh R, Singh T, Singh P, Dogra M Bhatti M (2015) "Performance Evaluation of Coated Carbide Tool in Machining of Stainless Steel (AISI 202) under Minimum Quantity Lubrication (MQL)", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, Editorial Kispé and Springer, Volume. 2, Numero. 2, pp. 123-129. <https://doi.org/10.1007/s40684-015-0016-9>.



[14] Gaurav G, Atish G, Atulya S, Rohit P, Shubham K (2018) "Influence of Coolant in CNC machining", International Journal of Advance Engineering and Research Development Volume 5, Issue 03, March 2018, pp 604-607, [Influence of Coolant in CNC machining | International Journal of Advance Engineering and Research Development \(IJAERD\)](#).

[15] Gaurav G, Atulya S, Rohit P, Kunal I, Himanshu K (2018) "Study of Parameters Affecting Tool Life", International Journal of Advance Engineering and Research Development Volume 5, Issue 03, March 2018, pp 252-256, [Study of Parameters Affecting Tool Life | International Journal of Advance Engineering and Research Development \(IJAERD\)](#).

[16] Thakur, D, Ramamoorthy B, Vijayaraghavan, L "Investigation and Optimization of Lubrication Parameters in High-Speed Turning of Superalloy Inconel 718", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 50, Numero 5-8, pp. 471- 478, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2538-1>.

[17] Wang, C, Chen M, An Q, Wang M, Zhu Y, "Tool Wear Performance in Face Milling Inconel 182 using Minimum Quantity Lubrication with Different Nozzle Positions," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Volumen 15, Numero 3, Issue 1, pp 557-565, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0371-4>.

[18] Prashant W, Nitin A, Satish Ch, (2016) "A Review on Tool Wear Monitoring System", Journal of Mechanical Engineering and Automation, Volume 6, Issue 5A, pp 49- 53, [A Review on Tool Wear Monitoring System \(sapub.org\)](#).

[19] Chandrashekar B, Ashwin G, Udaykumar A, (2014) "Study on Cutting Tool Life", Conference: NATIONAL Conference on Recent Trends in Mechanical Engineering August 13th 2014, pp 79-88, [\(PDF\) Study on Cutting Tool Life \(researchgate.net\)](#).

[20] Turgay K, Gurcan S, Adem C (2012) "Taguchi Method Based Optimization of Drilling Parameters in Drilling of AISI 316 Steel with PVD Monolayer and Multilayer Coated HSS Drills", Measurement Journal, Volume 45, Issue 1, pp 547- 557. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.02.022>.

[21] Sulaymon E "Beginning MATLAB and Simulink: From Novice to Professional", Editorial APress, pp 100, 2019, [Beginning MATLAB and Simulink: From Novice to Professional - Sulaymon Eshkabilov - Google Libros](#).

Derechos de Autor (c) 2022 Mildrend Ivett Montoya-Reyes, Juan Ceballos-Corral, Ismael Mendoza-Muñoz, Olivia Yessenia Vargas-Bernal



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)