

Alternativas para la reducción del impacto ambiental de los fluidos de corte en máquinas CNC

Sergio Ramiro Elizondo Herrera¹, Víctor Hugo Rentería Palomares², Roberto Fabian de la Cruz³, Juan Bernaldino Martínez Isabeles⁴, Luis Gabriel González Vázquez⁵, Ramsés Adonai García Medina⁶
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, Depto. De Metal Mecánica¹, Depto. De Ciencias Básicas², Depto. De Ciencias de la Tierra³, Depto. de Sistemas Computacionales⁴, Depto. De Ingeniería Industrial^{5,6}

Resumen - El objetivo de esta investigación es identificar alternativas sostenibles para disminuir el impacto ambiental de los fluidos de corte utilizados en máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC). Para ello, se realizó un análisis documental de fuentes académicas y técnicas publicadas entre 2019 y 2023, enfocándose en cinco soluciones tecnológicas: fluidos biodegradables, sistemas de lubricación mínima (MQL), mecanizado criogénico, enfriamiento por tubo Vortex y reciclaje de taladrinas. Los resultados muestran que, aunque cada alternativa presenta ventajas técnicas y ambientales, su aplicabilidad depende de factores como el tipo de mecanizado, los costos de implementación y la adaptabilidad de los equipos. Se destacan el sistema MQL por su alta eficiencia y rápida adopción en la industria, y los aceites biodegradables por su bajo impacto ambiental. La investigación concluye que la transición hacia métodos más sostenibles de refrigeración en el mecanizado CNC es viable, pero requiere inversiones en tecnología y capacitación. Este estudio contribuye a la promoción de prácticas industriales más responsables con el medio ambiente.

Índice de Términos - Mecanizado CNC, Fluidos de corte, Impacto ambiental, Lubricación mínima (MQL), Refrigeración sostenible.

Abstract - The objective of this research is to identify sustainable alternatives to reduce the environmental impact of cutting fluids used in Computer Numerical Control (CNC) machines. A documentary analysis of academic and technical sources published between 2019 and 2023 was conducted, focusing on five technological solutions: biodegradable fluids, minimum quantity lubrication (MQL) systems, cryogenic machining, Vortex tube cooling, and coolant recycling. Results show that although each alternative presents technical and environmental advantages, their applicability depends on factors such as machining type, implementation costs, and equipment adaptability. The MQL system stands out for its high efficiency and rapid industrial adoption, while biodegradable oils are notable for their low environmental impact. The research concludes that transitioning to more sustainable cooling methods in CNC machining is feasible but requires investment in technology and workforce training. This study

contributes to promoting more environmentally responsible industrial practices.

Keywords: CNC machining, Cutting fluids, Environmental impact, Minimum quantity lubrication (MQL), Sustainable cooling.

I. INTRODUCCIÓN

Alguna de las ventajas que ofrece una fresadora o torno CNC, es su capacidad para producir una mayor cantidad de piezas en un menor tiempo, piezas de alta precisión y repetibilidad, reducción de errores, mayor seguridad para los operarios y disminución de costos [1]. Sin embargo, para llegar a este punto se han requerido desarrollar herramientas de corte, con recubrimientos especiales que evitan que se adhiera a la superficie de la herramienta de corte las rebabas [2]. Otro elemento importante es el uso de software para Dibujo y Manufactura Asistida por Computadora, lo que reduce el tiempo de modelado en dos o tres dimensiones y optimiza las trayectorias de maquinado [3]. Es importante mencionar que durante el corte se genera calor, producto de la fricción entre el material y las herramientas de corte y con la intención de disiparlo, lubricar la máquina y obtener un mejor maquinado se utiliza un refrigerante [4], [5].

Entre los principales refrigerantes utilizados en las máquinas CNC se encuentran: a) Fluidos sintéticos, b) Fluidos semisintéticos, c) aceites solubles y d) aceites puros [6]. Cada uno de estos refrigerantes tienen una composición química diferente y su función principal consiste en reducir la temperatura, el desgaste prematuro de la herramienta de corte y mejorar el acabado superficial de la pieza. Al momento de programar se tienen las siguientes opciones en SURFCAM: I) Refrigerante, II) Neblina, III) Refrigerante bajo, IV) Refrigerante alto, V) A través bajo y VI) A través alto. Cuando

¹ M.A. Sergio Ramiro Elizondo Herrera, Docente del departamento de Metal Mecánica. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. sergio.eh@cdguzman.tecnm.mx

² Víctor Hugo Rentería Palomares, Docente del departamento de Ciencias Básicas. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. victor.rp@cdguzman.tecnm.mx

³ Roberto Fabian de la Cruz, Docente del departamento de Ciencias de la Tierra. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Guzmán. roberto.fd@cdguzman.tecnm.mx (autor corresponsal)

⁴ M.C. Juan Bernaldino Martínez Isabeles Docente y coordinador de Centro de Cómputo del Departamento de Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México / IT de Cd. Guzmán, México. juan.mi@cdguzman.tecnm.mx

⁵ Luis Gabriel González Vázquez, Docente del departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. luis.gv@cdguzman.tecnm.mx

⁶ Estudiante Ramsés Adonai García Medina, Estudiante de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Guzmán.

se maquina acrílico se utiliza como fluido refrigerante, ya que no deja residuos sobre la superficie.

Dependiendo del material que se vaya a maquinar es muy importante identificar el mejor refrigerante, considerando las desventajas y los efectos secundarios. En el caso de los refrigerantes cuando se utiliza aceite en cualquiera de sus versiones y no se da un buen tratamiento cuando es desechado de una máquina de Control Numérico Computarizado, puede contaminar el agua y la tierra donde se vierte).

II. METODOLOGÍA

Introducción a las máquinas CNC

Las máquinas de control numérico computarizado tienen su origen en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en la década de los años 50, donde se buscaba diseñar las palas de rotor para la industria aeroespacial [7]. En la Figura 1 se muestra el prototipo de la máquina CNC de la empresa "Parsons Corp" [8]

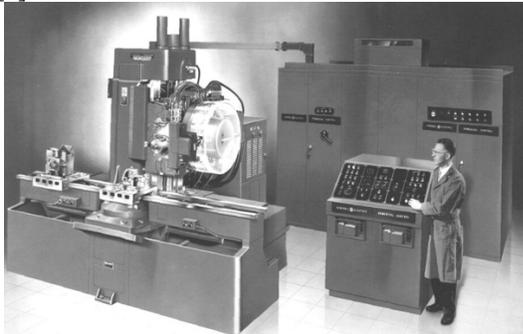


Fig. 1. Primer prototipo de máquina CNC [8].

Torno CNC

Entre las máquinas de control numérico computarizado se encuentran el torno y la fresadora CNC. El torno CNC (Control Numérico Computarizado) es una máquina herramienta que utiliza software para controlar el movimiento de la herramienta de corte sobre una pieza giratoria, permitiendo la creación de piezas de revolución con gran precisión. Es un proceso automatizado que permite la fabricación de piezas cilíndricas, ejes, tornillos, entre otros, con alta repetibilidad y exactitud [9]. En la Figura 2 se presenta un torno CNC de 2 ejes.

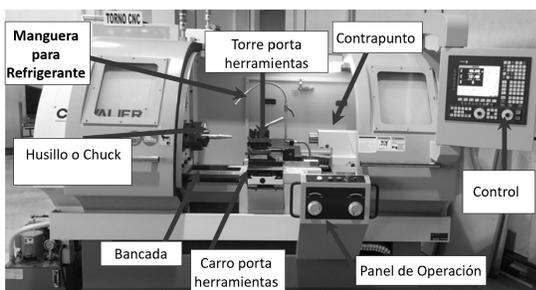


Fig. 2. Partes de un torno CNC.

Partes del Torno CNC

Husillo o mandril (chuck): Es el componente encargado de sujetar firmemente la pieza de trabajo. Al contar con tres mordazas, está especialmente diseñado para sostener formas cilíndricas.

Bancada: Fabricada en hierro fundido, actúa como la base del torno, ofreciendo soporte estructural y garantizando su estabilidad durante el funcionamiento.

Carro portaherramientas: Parte móvil que permite el desplazamiento controlado de las herramientas de corte, que van fijadas en la torre, para dar forma a la pieza.

Torre portaherramientas: Es donde se colocan los buriles y barras de torneado interior, facilitando el cambio de herramientas según lo requiera cada operación.

Contrapunto: Elemento ajustable con punta cónica que proporciona soporte adicional a piezas largas, especialmente cuando su longitud supera tres veces su diámetro.

Control (CNC): Sistema automatizado que utiliza códigos G y M para programar las acciones del torno, permitiendo ejecutar instrucciones con alta precisión.

Panel de operación: Incluye botones de encendido y apagado, así como controles manuales para mover el carro y gestionar funciones básicas del equipo.

Manguera de refrigerante: Conduce el líquido refrigerante hacia la zona de corte, ayudando a disipar el calor y protegiendo tanto la herramienta como la pieza.

Fresadora CNC

Una fresadora CNC es una máquina herramienta de alta precisión y automatización, diseñada para realizar múltiples operaciones de mecanizado (como fresado, taladrado, escariado y roscado) en una sola configuración. A diferencia de las fresadoras CNC convencionales, cuenta con un cambiador automático de herramientas y un sistema de control numérico computarizado (CNC) avanzado para mayor eficiencia [10]. En la Figura 3, se presenta con sus partes:

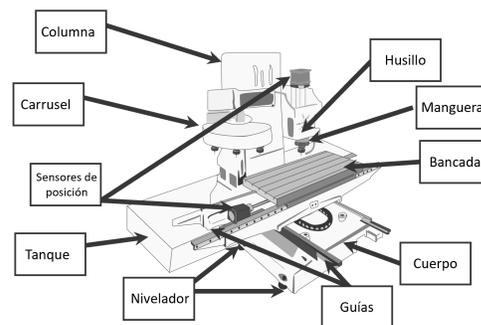


Fig. 3. Partes de una fresadora CNC.

Husillo: Componente esencial encargado de sostener la herramienta de corte durante el mecanizado. Su estabilidad y precisión influyen directamente en la calidad del acabado final.

Columna: Estructura sólida que sostiene el cabezal, aportando estabilidad al corte y reduciendo vibraciones que comprometerían la exactitud.

Carrusel Portaherramientas: Mecanismo automático que almacena y cambia herramientas de forma ágil, reduciendo tiempos muertos y mejorando la eficiencia operativa.

Bancada de Trabajo: Superficie firme donde se sujeta la pieza a trabajar, utilizando prensas o fijaciones mecánicas según lo requiera el diseño.

Estructura Principal: Chasis que une y soporta todos los elementos de la máquina, garantizando su correcta alineación y resistencia durante el trabajo.

Sensores de Posición: Sistemas electrónicos que controlan los límites de desplazamiento en los ejes X, Y y Z, previniendo errores y elevando la seguridad del proceso.

Niveladores: Dispositivos de ajuste que aseguran el correcto nivelado de la máquina, evitando errores derivados de una instalación desigual.

Guías Lineales: Rieles de precisión que guían el movimiento de herramienta y pieza a lo largo de los tres ejes, garantizando exactitud y repetibilidad.

Unidad de Control: Sistema informático que gestiona todas las funciones de la máquina, desde la ejecución de programas hasta el control en tiempo real. Permite ingresar datos, configurar parámetros y supervisar el proceso.

Tanque de Recuperación de Refrigerante: Contenedor donde se almacena y recircula el refrigerante, disipando el calor generado durante el mecanizado y protegiendo la herramienta y la pieza.

Manguera de Refrigerante: Tubo flexible que transporta el refrigerante desde el tanque hasta el área de corte. Cumple funciones como: Enfriamiento, lubricación y limpieza.

Refrigerantes

Fluidos sintéticos

Estos refrigerantes, libres de aceite, se componen de ingredientes tanto orgánicos como inorgánicos. Destacan por su capacidad para prevenir la corrosión, aunque presentan una lubricación limitada [11].

Fluidos Semisintéticos

Mezclan polímeros sintéticos con una proporción reducida de aceite (entre el 5 % y el 35 %). Brindan una disipación térmica eficiente y una lubricación aceptable, lo que se traduce en un mejor acabado y mayor durabilidad de las herramientas [11].

Aceites solubles

Con un alto contenido de aceite (50 % o más), se diluyen en agua para formar emulsiones. Ofrecen una excelente lubricidad y control de la corrosión, aunque son vulnerables al crecimiento bacteriano [12].

Aceites puros

No se mezclan con agua y están compuestos principalmente por petróleo o aceites minerales. Proporcionan una lubricación superior, aunque su capacidad de refrigeración es limitada [11]. En la Tabla comparativa 1 se muestran algunas características de los refrigerantes.

Tabla 1. Comparativa de los fluidos refrigerantes más comunes.

Tipo de Refrigerante	Composición	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones Típicas	Rentabilidad
Aceites solubles	Mezcla de aceite (30-85%) + agua	- Buen lubricante y refrigerante. - Ideal para acero inoxidable y titanio. - Costo moderado.	- Propenso a bacterias (mal olor, vida útil corta). - Requiere mantenimiento frecuente.	Mecanizado de materiales duros.	Media
Refrigerantes sintéticos	Agua + aditivos químicos (sin aceite)	- Enfriamiento superior. - Resistente a bacterias. - Baja nebulización y residuos.	- Lubricación limitada. - No apto para corte pesado.	Operaciones de alta velocidad en aluminio.	Media-Alta
Refrigerantes semisintéticos	Aceite (5-30%) + agua + aditivos	- Balance lubricación/refrigeración. - Menos bacterias que aceites solubles. - Versátil.	- Costo mayor que aceites solubles. - Control estricto de concentración.	Mecanizado general (metales no ferrosos).	Alta
Aceites puros	Aceites minerales/sintéticos sin diluir	- Máxima lubricación. - Acabados superficiales finos. - No requiere mezcla.	- Pobre enfriamiento. - Riesgo de incendio. - Costo elevado.	Torneado de alta precisión o metales pesados.	Baja-Alto costo inicial

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, descriptivo y documental. Se recopilaron y analizaron cinco fuentes académicas y técnicas publicadas en español entre 2019 y 2023, seleccionadas por su relevancia temática y aplicabilidad en el ámbito del mecanizado CNC. Los documentos incluyeron tesis universitarias, artículos científicos y reportes técnicos centrados en métodos para reducir el impacto ambiental de los fluidos de corte. El análisis se centró en cinco alternativas: (1) fluidos biodegradables, (2) sistemas de mínima cantidad de lubricación (MQL), (3) mecanizado criogénico, (4) enfriamiento mediante tubo Vortex y (5) reciclaje de taladrinas. Se evaluaron aspectos como eficiencia térmica, reducción de residuos, impacto ambiental, costos de implementación y grado de adopción industrial. Los hallazgos se organizaron en una

matriz comparativa que facilitó la identificación de fortalezas y limitaciones de cada opción.

Cabe mencionar que, aunque el uso de aire comprimido como refrigerante en mecanizado casero es común, no se incluyó en el análisis debido a la falta de evidencia técnica que respalde su efectividad ambiental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron cinco alternativas que se pueden emplear en la refrigeración de las máquinas CNC y se concentra la información a través de la Tabla 2, con las características más importantes.

Tabla 2. Alternativas de fluidos empleadas en las máquinas CNC.

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad Industrial	Nivel de Implementación Actual
Aceites biodegradables de piñón [13]	- 100% de origen vegetal (Jatropha curcas). - Reducción de toxicidad y biodegradabilidad >90% (según prueba CEC-L-33-A-93).	- Poca estabilidad térmica comparado con aceites minerales. - Requiere adaptación de máquinas.	Fresado de materiales no ferrosos, procesos de baja carga.	Medio
MQL (Lubricación mínima) [14]	- Reduce hasta 90% el uso de fluido comparado con sistemas por inundación. - Mejora del acabado superficial y reducción de residuos.	- Mayor desgaste de herramienta en ciertos materiales. - Requiere boquillas y sistemas especializados.	Tallado y torneado de aceros y aluminio.	Alto
Criogénico (N₂ líquido, CO₂) [15]	- Temperatura de corte 30-50% menor. - Mejora significativa en la vida útil de herramientas (>60%).	- Alto costo operativo y de equipos criogénicos. - Manejo especializado del gas.	Torneado de titanio, Inconel, aleaciones duras.	Bajo
Refrigeración con tubo Vortex [16]	- Elimina el uso de líquidos. - Baja la temperatura local hasta 25 °C. - Sistema compacto y sin residuos.	- Eficiencia reducida en cortes profundos o de larga duración.	Torneado seco y procesos con poca generación de calor.	Bajo
Separación y reciclaje de taladrina [17]	- Recupera hasta 80% del fluido usado. - Disminuye la contaminación ambiental y los costos de disposición.	- Costo de implementación del sistema separador. - Requiere mantenimiento frecuente.	Talleres con alto uso de refrigerante, CNC por inmersión.	Medio

El análisis comparativo de las cinco alternativas evaluadas muestra que, aunque todas ofrecen mejoras ambientales frente a los fluidos de corte convencionales, su viabilidad técnica y económica depende en gran medida del contexto industrial. Entre ellas, el sistema de lubricación mínima (MQL) destaca como la opción más equilibrada: permite reducir hasta en un 90 % el uso de refrigerantes, mejora el acabado superficial y requiere una inversión inicial moderada. Su amplia adopción en el sector metalmeccánico se debe a su compatibilidad con equipos existentes y a la facilidad de integración en líneas de producción continua.

En contraste, los aceites biodegradables representan una alternativa con fuerte respaldo ecológico, gracias a su biodegradabilidad superior al 90 %. No obstante, su menor estabilidad térmica frente a los aceites minerales puede afectar

el rendimiento en procesos de alta exigencia, lo que restringe su aplicación a operaciones ligeras o en materiales no ferrosos. Esto implica la necesidad de ajustes técnicos y una gestión de suministro que garantice su disponibilidad.

Las tecnologías más innovadoras —el mecanizado criogénico y el uso de tubos Vortex— ofrecen beneficios como la reducción drástica de la temperatura y la eliminación de residuos líquidos. Sin embargo, presentan obstáculos notables: la criogenia conlleva altos costos operativos y exige personal capacitado, mientras que el tubo Vortex, aunque fácil de instalar, resulta poco eficaz en operaciones prolongadas o con elevadas cargas térmicas.

Por su parte, la recuperación y reciclaje de taladrinas surge como una solución intermedia atractiva, especialmente en

talleres con alto consumo de refrigerantes. Los sistemas separadores permiten recuperar hasta el 80 % del fluido, lo que se traduce en ahorro económico y menor generación de desechos. Aun así, su implementación requiere infraestructura adicional y mantenimiento regular, lo cual puede limitar su adopción.

En conjunto, los hallazgos dejan claro que no existe una alternativa única aplicable a todos los entornos de mecanizado CNC. La selección debe hacerse con base en un análisis integral que contemple el tipo de operación, los materiales a maquinar, los objetivos ambientales de la empresa y su capacidad de inversión. Se hace patente la necesidad de estrategias de transición tecnológica progresiva, combinando soluciones de fácil implementación —como MQL o reciclaje de taladrinas— con tecnologías de mayor impacto conforme evolucionen las condiciones operativas e industriales.

V. CONCLUSIONES

El análisis documental permitió identificar diversas alternativas viables para mitigar el impacto ambiental de los fluidos de corte en el mecanizado CNC. Cada opción presenta beneficios específicos: los aceites biodegradables destacan por su baja toxicidad y alta biodegradabilidad, mientras que el sistema MQL sobresale por su eficiencia en la reducción del consumo de lubricantes sin comprometer la calidad del mecanizado. Las tecnologías criogénicas y los tubos Vortex, aunque efectivas, enfrentan retos técnicos y económicos que limitan su adopción masiva. Por otro lado, los sistemas de reciclaje de taladrinas ofrecen tanto beneficios ecológicos como económicos, especialmente en industrias con alto consumo de refrigerantes.

En conclusión, la adopción de tecnologías más limpias en el mecanizado CNC es técnica y económicamente viable, aunque requiere inversiones en equipos especializados, adecuación de procesos y formación del personal. Una limitación del estudio fue la falta de experimentación práctica, lo cual sugiere la necesidad de futuras investigaciones que evalúen el rendimiento comparativo de estas alternativas en condiciones reales de operación. El impulso hacia un mecanizado más sostenible debe integrarse en una estrategia ambiental global para la industria manufacturera.

REFERENCIAS

[1] «▷ Ventajas y Desventajas del CNC [Pros y Contras] ». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ventajas.org/cnc/>

- [2] «Importancia de los recubrimientos en las herramientas de corte – Sierras y Equipos». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sierrasyequipos.com/uncategorized/importancia-de-los-recubrimientos-en-las-herramientas-de-corte/>
- [3] «Software CAD/CAM para diseño y manufactura | Autodesk». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/latam/solutions/cad-cam>
- [4] «Refrigerantes para máquinas CNC: tipos, aplicaciones y selección - China VMT». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.machining-custom.com/es/blog/cnc-machine-coolants.html>
- [5] «Contact us via LiveChat!» Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://secure.livechatinc.com/customer/action/open_chat?license_id=18861021&group=0&embedded=1&widget_version=3&unique_groups=0&organizationId=fa99bc5e-55db-48cd-9ca5-35c1774a8ae1&use_parent_storage=1&x-region=dal
- [6] «Tipos de refrigerante utilizados en el mecanizado CNC». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.corteenpantografoenc.com/tipos-de-refrigerante-utilizados-en-el-mecanizado-cnc>
- [7] «Mecanizado CNC», Dassault Systèmes. Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/cnc-machining>
- [8] «Historia del mecanizado CNC: cómo nació el concepto CNC». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cms.it/en/news-events/news/history-of-cnc-machining-how-the-cnc-concept-was-born.n68710.html>
- [9] C. Carranza, «¿Qué es y Qué se Puede Hacer con un Torno CNC? | Gemak Maquinados», Gemak. Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://maquinadocnc.com.mx/torno-cnc/>
- [10] F. Techno, «¿Qué es una fresadora CNC y para qué sirve?». Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.framuntechno.com/que-es-una-fresadora-cnc-y-para-que-sirve/>
- [11] O. Uriarte, «¿Qué tipo de refrigerante CNC debe usar? | Maestros CNC». Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cncmasters.com/cool-down-with-the-right-coolant/>
- [12] «Understanding Coolants in CNC Machines». Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.quadfluidynamics.com/understanding-coolants-in-cnc-machines>
- [13] B. A. Carrasco Viteri, «“Desarrollo y producción de un aceite biodegradable mediante la utilización del aceite natural de piñón (jatropha curcas).”», jul. 2019, Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7121>
- [14] «Cantidad mínima de lubricación: resumen | Temas de ScienceDirect». Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/minimum-quantity-lubrication>
- [15] K. Zheng Yang et al., «Application of coolants during tool-based machining – A review», *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, n.o 1, p. 101830, feb. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101830.
- [16] A. F. Rosales Rosales, J. D. Valeth Jiménez, J. D. Vásquez Vargas, J. I. Peña Ahumada, A. D. Charris Pertuz, y J. C. Torres Rodríguez, «Modelado de un tubo vortex para refrigeración en el proceso de torneado», 2024, Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12442/15537>
- [17] Quivacolor, «Reciclado de taladrinas», Quivacolor. Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://quivacolor.com/reciclado-de-taladrinas/>

Biografía de Autores

M.A. Sergio Ramiro Elizondo Herrera, Docente del departamento de Metal Mecánica. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. sergio.ch@cdguzman.tecnm.mx

Víctor Hugo Rentería Palomares, Docente del departamento de Ciencias Básicas. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. victor.rp@cdguzman.tecnm.mx

Roberto Fabian de la Cruz, Docente del departamento de Ciencias de la Tierra. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Guzmán. roberto.fd@cdguzman.tecnm.mx (autor corresponsal)

M.C. Juan Bernaldino Martínez Isabeles Docente y coordinador de Centro de Cómputo del Departamento de Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México / IT de Cd. Guzmán, México. juan.mi@cdguzman.tecnm.mx

Luis Gabriel González Vázquez, Docente del departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán. luis.gv@cdguzman.tecnm.mx

Estudiante Ramsés Adonai García Medina, Estudiante de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Guzmán