

Implementación de sistema de mínima cantidad de lubricación en torno CNC para trayectorias exteriores

Implementation of a minimum quantity lubrication system on a CNC lathe for external trajectories

Dr. Martínez Ramírez Israel¹
Ariza Juárez Jocelyn²
Rodríguez Hernández Edwin Darío³
Gutiérrez Capetillo Víctor Yahir⁴
Gutiérrez López Laura Samara⁵
Hernández Amador Fernando Nikolai⁶
Rico Ayala Diego Roberto⁷

¹Ingeniería Mecatrónica
²Ingeniería Mecánica
³Ingeniería Mecánica
⁴Ingeniería Mecatrónica
⁵Ingeniería Mecánica
⁶Ingeniería Mecatrónica
⁷Ingeniería Mecatrónica
⁸Ingeniería Mecatrónica

israel.martinez@ugto.mx¹
j.arizajuarez@ugto.mx²
ed.rodriguezhernandez@ugto.mx³
vy.gutierrezcapetillo@ugto.mx⁴
ls.gutierrezlopez@ugto.mx⁵
fn.hernandezamador@ugto.mx⁶
dr.ricoayala@ugto.mx⁷
ja.ortizmartinez@ugto.mx⁸

Resumen

Para poder obtener una pieza con un acabado satisfactorio de acuerdo a los requerimientos primeramente el estado de la máquina debe ser el adecuado, además de contar con la herramienta en condiciones de operación, dichas condiciones se ven afectadas por el uso de las mismas ya que durante los procesos de maquinado presentan un desgaste además de que pueden sufrir exceso de calentamiento y así acortar su vida de trabajo. Los sistemas MQL por sus siglas en inglés permiten tener una refrigeración óptima tanto en las piezas para evitar algún tipo de tratamiento térmico no deseado como en la herramienta para mantener las condiciones de filo óptimas, este tipo de sistemas además de reducir el uso de refrigerantes tóxicos para el medio ambiente, también permite una reducción significativa en los costes de producción comparado con otros sistemas de refrigeración para maquinado ya que este sistema puede tener un uso de lubricante de 3 ml/h a 25 ml/h dependiendo la operación. La base del funcionamiento de este sistema consta de generar un flujo del lubricante comprimido en pequeñas cantidades para garantizar una correcta dosificación en el filo de la herramienta. Para la etapa de la implementación del sistema MQL primeramente se estudió el funcionamiento del sistema ayudándose de los manuales del fabricante para conocer los parámetros necesarios para la instalación y el funcionamiento del sistema.

Palabras clave: MQL; herramienta; desgaste; CNC; programación; lubricante.

Introducción.

Actualmente las tecnologías de manufactura CNC son las más funcionales y usadas dentro de una gran variedad de industrias, este tipo de tecnologías representaron en su momento una gran innovación para los procesos de manufactura debido a que permiten realizar operaciones que las máquinas convencionales no, por ejemplo, trayectorias curvas, maquinado de piezas más complejas, además de minimizar los tiempos de maquinado para las producciones en serie.

El funcionamiento de este tipo de máquinas se basa en la programación en donde el personal encargado realiza un diseño de la pieza a maquinar mediante algún software de diseño, posteriormente el formato de programación se realiza con ayuda de otro software que permite la creación de trayectorias para la herramienta y generar posteriormente el código en el lenguaje en el cual la máquina podrá leer para realizar las operaciones indicadas.

Dentro de los programas CAM que son los encargados de producir los códigos para las máquinas el operador puede simular y analizar el proceso de maquinado, algunas máquinas también permiten dicha simulación antes de comenzar con las operaciones, este análisis da como ventaja prevenir colisiones entre la pieza y la herramienta, esto con el propósito principal de salvaguardar la integridad de los operadores y de la máquina. El cuidado tanto de la máquina como de la herramienta es responsabilidad del operador y dicho cuidado va encaminado para garantizar un correcto funcionamiento de los dispositivos.

El correcto funcionamiento de una máquina con este tipo de tecnología está regido por diferentes factores en los cuales uno de los principales son los requerimientos del cliente o del usuario final de la pieza a maquinar, el dimensionamiento, así como el tipo de acabado van relacionados con estos requerimientos, dichas máquinas nos entregan dimensiones con tolerancias mucho más pequeñas y esto, así como el acabado puede ir cambiando de acuerdo a cumplir con los correctos factores de trabajo.

Para poder obtener una pieza con un acabado satisfactorio de acuerdo a los requerimientos primeramente el estado de la máquina debe ser el adecuado, además de contar con la herramienta en condiciones de operación, dichas condiciones se ven afectadas por el uso de las mismas ya que durante los procesos de maquinado presentan un desgaste además de que pueden sufrir exceso de calentamiento y así acortar su vida de trabajo.

Actualmente el poder mantener las herramientas en óptimas condiciones para las máquinas CNC está encaminado a buscar maneras de mantener o extender la vida para la que fueron diseñadas sin poner en riesgo los acabados de las piezas, como se mencionó el exceso de calentamiento es uno de los problemas que presentan estos procesos y se ve más amenazado debido a que actualmente los métodos de refrigeración usados a nivel industrial como el método por inundación realiza un sobreconsumo de líquido refrigerante que a su vez es altamente dañino para el ambiente.

Los sistemas MQL (Minimum Quantity Lubrication) por sus siglas en inglés permiten tener una refrigeración óptima tanto en las piezas para evitar algún tipo de tratamiento térmico no deseado como en la herramienta para mantener las condiciones de filo óptimas, este tipo de sistemas además de reducir el uso de refrigerantes tóxicos para el medio ambiente, también permite una reducción significativa en los costes de producción comparado con otros sistemas de refrigeración para maquinado ya que este sistema puede tener un uso de lubricante de 3 ml/h a 25 ml/h dependiendo la operación. La base del funcionamiento de este sistema consta de generar un un flujo del lubricante comprimido en pequeñas cantidades para garantizar una correcta dosificación en el filo de la herramienta.



Figura 1. Sistema MQL

En los sistemas MQL se pueden obtener partículas de lubricante con dimensiones entre 0.7 y 1.0 μm .

Desarrollo

Para la etapa de la implementación del sistema MQL primeramente se estudió el funcionamiento del sistema ayudándose de los manuales del fabricante para conocer los parámetros necesarios para la instalación y el funcionamiento del sistema, buscando un espacio libre que no restrinja el movimiento de nuestro torno e instalaremos nuestro MQL guiándonos con los 3 esquemas presentados a continuación:

No.	Nombre de la pieza
1	Imán del RFL
2	Sistema de mantenimiento RFL
3	Válvula 3/2
4	Depósito de Aceite
5	Generador de pulsos
6	Bomba estándar de caída
7	Imán del MQL
8	Rociador
9	Imán del rociador

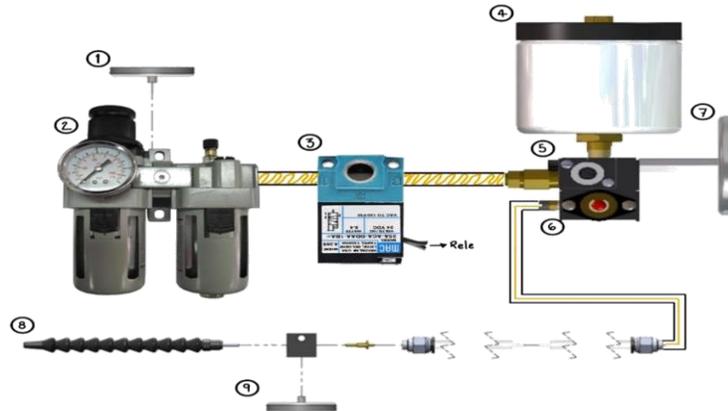


Figura 2. Diagrama del MQL

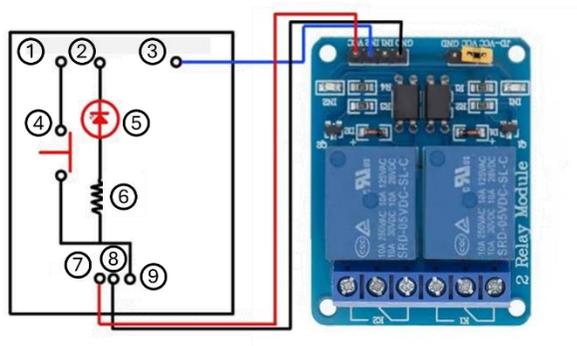


Figura 3. Conexiones con el Arduino y su shield

No.	Nombre de la pieza
1	Pin 13 del Arduino
2	Pin 12 del Arduino
3	Pin 5 del Arduino
4	Botón normalmente abierto
5	Diodo LED
6	Resistencia de 220 ohm
7	5V
8	GND2
9	GND

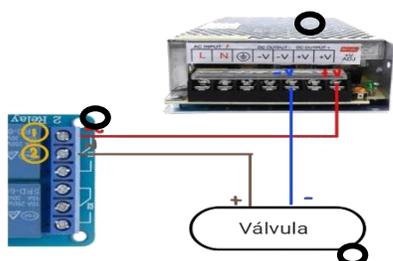


Figura 4. Conexiones entre el Relé, la válvula 3/2 y fuente de alimentación

No.	Nombre de la pieza
1	Relé
2	Fuente de poder
3	Válvula 3/2

- **Implementación y diseño de un programa para el sistema MQL**

Inicialmente, se llevó a cabo la integración del sistema MQL utilizando un Arduino conectado a un relé y un botón pulsador, alimentados por una fuente de alimentación. El objetivo es implementar un código que permitiera activar y desactivar el suministro de lubricante de manera eficiente, optimizando así el proceso de corte y reduciendo el desperdicio de lubricante al presionar el botón pulsador y luego cerrarla automáticamente.

Código:

El código está escrito en C + +. A continuación, se describen las secciones del código más importantes.

```
void setup() {
  // Configuración de los pines
  pinMode(botonPin, INPUT_PULLUP); // Configura el pin del botón como entrada con resistencia pull-up
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Configura el pin del LED como salida
  pinMode(relePin, OUTPUT); // Configura el pin del relé como salida

  // Inicializa el LED y el relé apagados
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  digitalWrite(relePin, LOW); // Asumiendo que HIGH apaga el relé
}
```

Figura 5. Configuración Inicial (Setup)

La función setup se ejecuta una vez al inicio. Aquí se configuran los pines: el pin del botón como entrada con resistencia pull-up, y los pines del LED y el relé como salidas. Además, se inicializan el LED y el relé en estado apagado.

```
void loop() {
  // Lee el estado del botón
  int estadoBoton = digitalRead(botonPin);

  // Si el estado del botón ha cambiado y se ha estabilizado, cambia el estado del sistema
  if (estadoBoton == LOW && estadoBotonAnterior == HIGH) {
    estadoActual = !estadoActual; // Cambia el estado del sistema
  }

  // Actualiza el estado anterior del botón
  estadoBotonAnterior = estadoBoton;

  // Controla el LED y el relé según el estado actual del sistema
  if (estadoActual) {
    // Si el estado actual es verdadero, enciende el LED y activa el relé
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    digitalWrite(relePin, HIGH); // Asumiendo que LOW activa el relé
  } else {
    // Si el estado actual es falso, apaga el LED y desactiva el relé
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    digitalWrite(relePin, LOW); // Asumiendo que HIGH desactiva el relé
  }
}
```

Figura 6. Bucle Principal (Loop)

La función loop se ejecuta continuamente. En este bucle principal, se lee el estado del botón. Si se detecta un cambio de estado del botón (de no presionado a presionado), se invierte el estado actual del sistema (estado actual). Luego, se actualiza el estado anterior del botón.

Dependiendo del valor de estado actual, el LED y el relé se encienden o apagan. Esto permite un control simple pero efectivo del sistema de MQL en la CNC.

- **Diseño de una carcasa para la implementación del sistema dentro del torno**

Para poder implementar el sistema encargado de controlar el dispositivo MQL se optó por diseñar una carcasa en donde se pudieran colocar los botones para el encendido y apagado además del circuito responsable de controlar el funcionamiento de la válvula para controlar el flujo de lubricante, esto mediante una caja protectora para alojar los componentes que están en una zona expuesta, utilizando como soporte la tuerca superior del torno, creado por el software SolidWorks, y se construyó mediante impresión 3D.

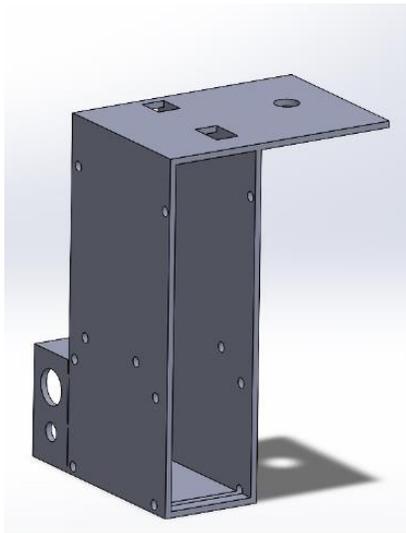


Figura 7. Vista frontal de la carcasa ya instalada

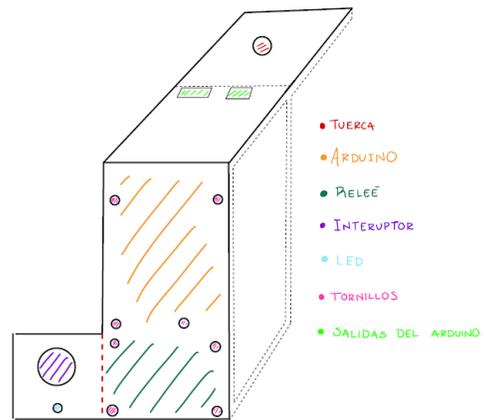


Figura 8. Planos de la carcasa

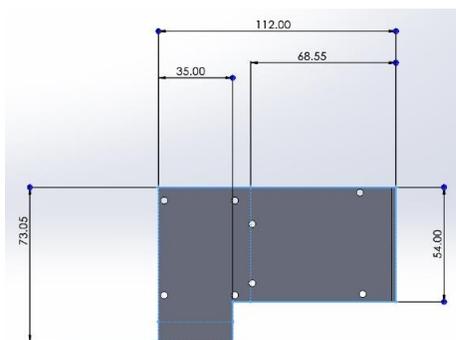


Figura 9. Vista posterior

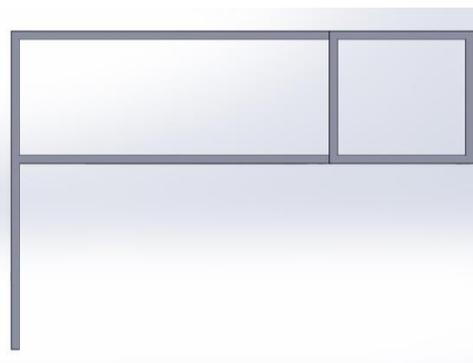


Figura 10. Vista derecha

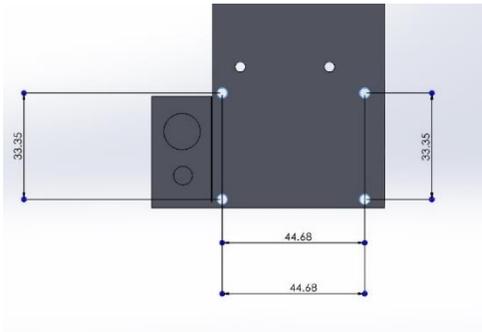


Figura 11. Detalle de Agujeros para tornillos

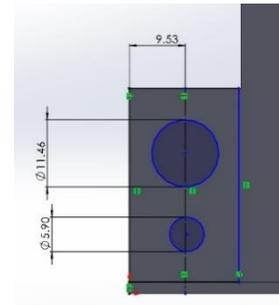


Figura 12. Detalle de Agujeros para Botón y LED

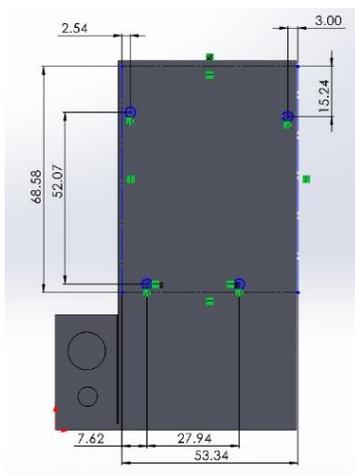


Figura 13. Vista Frontal

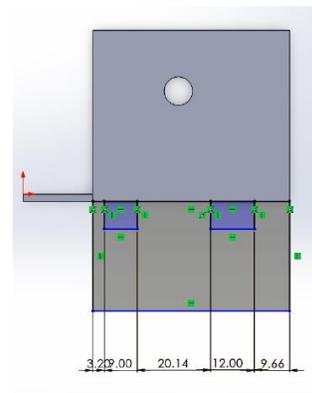


Figura 14. Detalles de puertos de Arduino

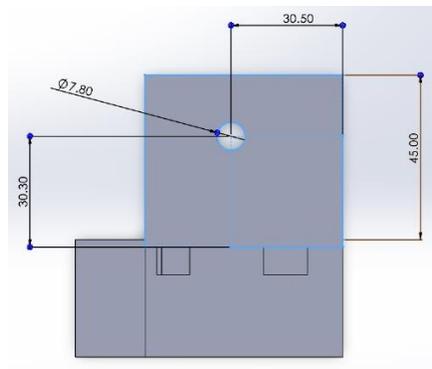


Figura 15. Vista Superior 2

- **Habilitación del sistema dentro de la máquina**

La instalación del sistema MQL se realizó derivando una conexión de aire comprimido de la línea principal del taller de Manufactura, la cual se encargaría de alimentar todo el sistema y se colocó dentro de la máquina donde se consiguió una posición óptima para el funcionamiento del sistema.

Además de esto se colocaron las conexiones eléctricas necesarias para la fuente que alimenta el sistema y los circuitos diseñados para el control.



Figura 16. Instalación del MQL dentro del torno



Figura 17. Conexión de aire comprimido del MQL a la línea principal

- **Pruebas de desgaste de la herramienta.**

En la etapa de pruebas se pone a prueba el correcto funcionamiento del sistema además de que se analiza el efecto que tiene sobre las herramientas y las repercusiones que pueden implicar, este análisis se presenta detalladamente en la parte de los resultados para obtener una comparación entre la utilización o no utilización de un dispositivo MQL.

El sistema se activa mediante un botón situado en la carcasa; al presionarlo, se inicia un ciclo de rociado de lubricante y se enciende un LED indicador. El sistema dispensa una cantidad controlada de lubricante sobre la herramienta y la pieza de trabajo, reduciendo la fricción y el desgaste, lo que mejora la eficiencia y calidad del maquinado.

Si se requiere más lubricación, simplemente presione el botón nuevamente para iniciar otro ciclo.



Figura 18. Instalación final antes de las pruebas



Figura 19. Realización de Pruebas con el MQL

Resultados

Se preparó una pieza de trabajo de acero inoxidable AISI 304 el cual para herramientas no recubiertas es difícil de maquinar, pero para herramientas recubiertas es relativamente fácil. Las dimensiones de la pieza de trabajo fueron inicialmente de 76.2 mm de diámetro y 300 mm de longitud siendo la longitud maquinada igual a 259 mm de longitud.

Las condiciones de corte se muestran en la tabla.

Tabla 1. Condiciones de Corte

Parámetro	valor	Unidades
Velocidad de corte, V_c	250	m/min
Profundidad de corte, a	0.5	mm
Avance, f_r	0.1	mm/rev

Las revoluciones por minuto se ajustan para mantener la velocidad de corte constante de acuerdo con el diámetro actual de la pieza de trabajo mediante la siguiente ecuación.

$$N = \frac{1000V_c}{\pi D}$$

Donde N son las revoluciones por minutos a las cuales gira la pieza de trabajo por medio del husillo y D es el diámetro de la pieza de trabajo en milímetros. Al finalizar cada corte, la pieza de trabajo fue medida con un micrómetro Mitutoyo con precisión de hasta 0.001 mm. El torno de control numérico utilizado fue un EMCO 65 con control FADAL y con precisión de hasta 0.001 mm.

El inserto utilizado se muestra en la figura y su nomenclatura en sistema ISO es VNMG 16 04 08-PF 4415 marca Sandvik.

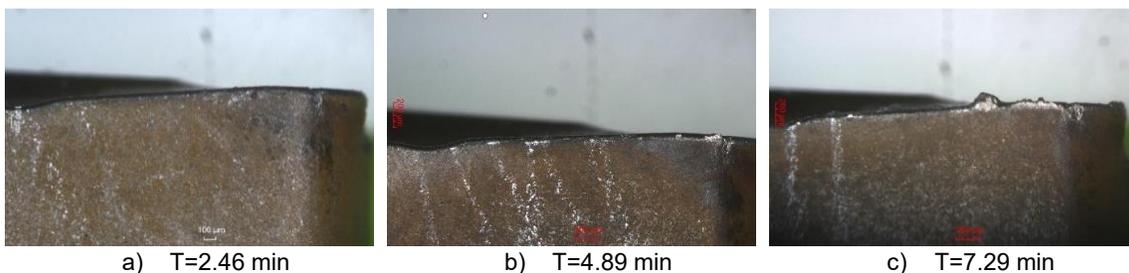


Figura 20. Inserto indexable VNMG 16 04 08-PF 4415 marca Sandvik usado en las pruebas.

La herramienta usada es de carburo de tungsteno recubierta por medio del método de deposición química (siglas en inglés CVD) con $TiCN+Al_2O_3+TiN$. Por el tipo de recubrimiento, el inserto no es recomendado para cortar inoxidable. Sin embargo, se eligió este inserto porque tiene rompe viruta, es recubierto y el desgaste no implica el gasto excesivo de piezas de trabajo. Ya que el costo por herramienta y material es alto, se buscó causar desgaste en bajo tiempo de corte, esto con la finalidad de demostrar que el sistema MQL puede reducir significativamente el desgaste.

PRUEBAS DE DESGASTE EN SECO.

En la figura se muestra la evolución del desgaste en seco con sus tiempos de corte.



a) T=2.46 min

b) T=4.89 min

c) T=7.29 min

Figura 21. Desgaste en el flanco de la herramienta en condiciones de corte en seco.

En la figura con vista en dirección perpendicular al flanco se observa la evolución del desgaste. En la figura c) se observa adhesión en el borde de corte y desgaste por picadura. El desgaste de flanco fue mínimo.



Figura 22. Desgaste la cara de arrastre de la herramienta en condiciones de corte en seco.

En la figura correspondiente a la cara de arrastre se observa un daño severo en la parte superior derecha de la figura lo que apunta a un desgaste crítico en la cara posterior. Esta afirmación se pudo corroborar mediante la fotografía mostrado en la siguiente figura.



Figura 23. Desgaste en la cara posterior del inserto.

El desgaste en la cara posterior es crítico y por el desprendimiento de material se puede considerar como una ruptura entre la nariz de la herramienta y la cara posterior al flanco.

DESGASTE DE LA HERRAMIENTA USANDO MQL.

En la figura se puede observar la evolución del desgaste en el flanco. Solamente es visible un poco de picadura y adhesión. Comparado con el proceso en seco, es evidente que el sistema MQL resultó ser efectivo en prácticamente eliminar el desgaste en la herramienta.

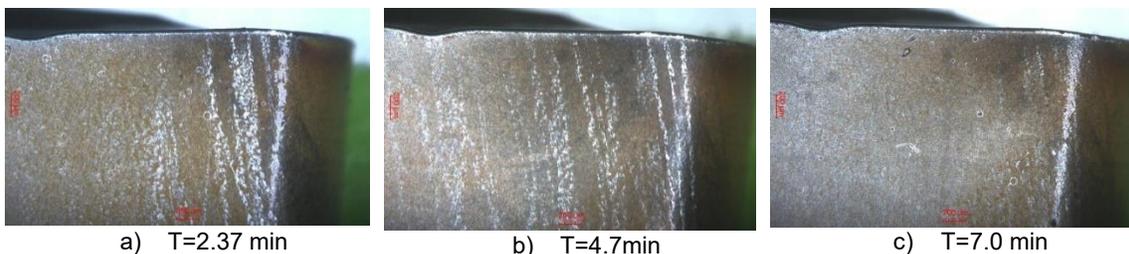


Figura 24. Desgaste en el flanco de la herramienta en condiciones de corte con MQL.

En la Figura se observa el desgaste en la cara de arrastre. Se puede apreciar que la cara de arrastre está prácticamente intacta, solamente se nota una ligera picadura en la transición de la nariz y el borde de corte. El desprendimiento de material ya no es apreciable cuando se usa el sistema MQL.

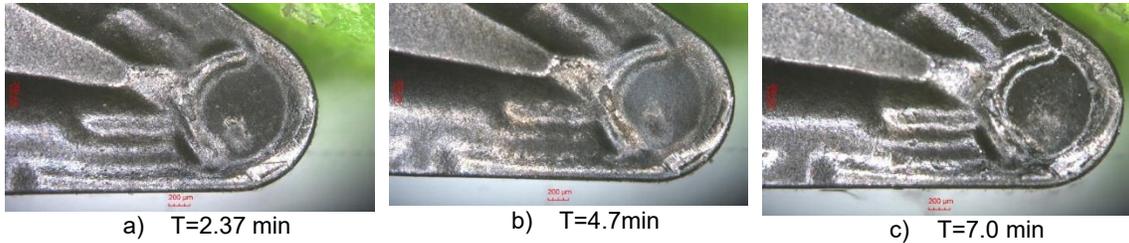


Figura 25. Desgaste en la cara de arrastre de la herramienta en condiciones de corte con MQL.

Conclusiones

El sistema de lubricación desempeña un papel fundamental en el funcionamiento eficiente y duradero de un torno. Proporciona una lubricación adecuada para reducir el desgaste de las piezas móviles, mejorar la precisión del mecanizado y reducir el riesgo de fallas mecánicas. Además, los operarios de las máquinas pueden reducir significativamente los costos de producción mediante el uso de sistemas MQL ya que estos sistemas proporcionan una mayor vida útil a las herramientas y una mejor calidad de producción gracias al mecanizado superficial más preciso.

El MQL puede aplicarse en situaciones donde hay problemas medioambientales, resolviendo estos aspectos al mismo tiempo que ofrece un proceso de mecanizado económico y de alta calidad; en proyectos de tallado por generación, la aplicación del lubricador MQL reduce la fricción entre la herramienta de corte y la pieza a mecanizar, lo que contribuye a un mejor rendimiento y eficiencia. En resumen, el uso adecuado del sistema de lubricación MQL en tornos CNC puede mejorar la eficiencia, prolongar la vida útil de las herramientas y reducir el impacto ambiental.

Bibliografía/Referencias

SKF. (s. f.). <https://www.skf.com/mx/products/lubrication-management/system-components/supply-units/minimal-quantity-lubrication>

Cómo funciona el sistema de lubricación en un torno. (2024, 18 febrero). Microscopio.pro. <https://www.microscopio.pro/sistema-de-lubricacion-del-torno/>

Optimización del proceso de tallado por generación mediante sistema MQL. (Junio, 2010) <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/089304b1-1f7f-46c2-aa9a-2c66064f87d0/content>

Anexos

Anexo A Manual MQL



Manual_de_Uso_del_Sistema_de_MQL_en_Torno_CNC_EMCO_TURN_E65_V2[1].pdf

Anexo B Carcasa en 3D



CASE-000-001.zip

Anexo C Código de Arduino



CONTROL_Enclavamiento.ino