

**DOI:** <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0235>

## **GAS CRIOGÉNICO: UN ENFOQUE INNOVADOR PARA OPTIMIZAR LA VIDA ÚTIL DE LAS HERRAMIENTAS Y EL ACABADO SUPERFICIAL EN PROCESOS DE TORNEADO**

### **CRYOGENIC GAS: AN INNOVATIVE APPROACH TO OPTIMIZE TOOL LIFE AND SURFACE FINISH IN TURNING PROCESSES**

Marcillo-Vinueza Sandy Yajaira <sup>1</sup>; Sornoza-Rodríguez Jimmy Eduardo <sup>2</sup>;  
Mendoza-Macías Douglas Adrián <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, con condición de Superior Universitario. Manta, Ecuador. Correo: marcillo.s.1390@istlam.edu.ec.

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, con condición de Superior Universitario. Manta, Ecuador. Correo: sornoza.j.9895@istlam.edu.ec.

<sup>3</sup> Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, con condición de Superior Universitario. Manta, Ecuador. Correo: d.mendoza@istlam.edu.ec.

#### **Resumen**

En el siguiente artículo se realizó una exhaustiva investigación sobre los efectos del tratamiento térmico con gas criogénico para determinar la vida útil de la herramienta y su acabado superficial en procesos de torneado. Las propiedades térmicas de estos gases es lo que permite reducir la temperatura de operación, lo que a su vez disminuye el desgaste de las herramientas y mejora su microestructura, así como el de los materiales mecanizados. El objetivo principal del estudio es evaluar el impacto de la refrigeración criogénica en la durabilidad de las herramientas de corte y en la calidad superficial de las piezas fabricadas. Los resultados más relevantes determinaron que al utilizar el gas criogénico duplicaron la vida útil de las herramientas de corte en comparación con los métodos convencionales tales como el aceite y taladrina. Además, se observó una mejora significativa en el acabado superficial de las piezas mecanizadas, manifestando una notable reducción de la rugosidad y de defectos superficiales. En conclusión, el uso de gas criogénico se presenta como una estrategia innovadora y efectiva para optimizar tanto la durabilidad de las herramientas como la calidad del acabado superficial en procesos de torneado. Los hallazgos sugieren que su implementación podría transformar las prácticas en la industria del mecanizado, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y eficiencia en los procesos productivos.

**Palabras clave:** Refrigeración criogénica, reducción de la rugosidad, defectos superficiales, Nitrógeno Líquido.

#### **Abstract**

The following article presents an extensive investigation into the effects of cryogenic gas heat treatment to determine tool life and surface finish in turning processes. The thermal properties of these gases allow for a reduction in operating temperature, which in turn decreases tool wear and improves both the tool's microstructure and the machined materials. The main objective of the study is to evaluate the impact of cryogenic cooling on the durability of cutting tools and the surface quality of the manufactured parts. The most relevant results showed that using cryogenic gas doubled the tool life compared to conventional methods such as oil and coolant. In addition, a significant improvement was observed in the surface finish of the machined parts, with a noticeable reduction in roughness and surface defects. In conclusion, the use of cryogenic gas emerges as an innovative and effective strategy to optimize both tool durability and surface finish quality in turning processes. The findings suggest that its implementation could transform

#### **Información del manuscrito:**

**Fecha de recepción:** 03 de octubre de 2024.

**Fecha de aceptación:** 19 de diciembre de 2024.

**Fecha de publicación:** 10 de enero de 2025.



practices in the machining industry, contributing to greater sustainability and efficiency in production processes.

**Keywords:** Cryogenic cooling, roughness reduction, surface defects, Liquid Nitrogen.

## 1. Introducción

En busca de protección al medio ambiente, mejoras tecnológicas y optimización de recursos en la industria del mecanizado es necesario encontrar alternativas que ayuden a innovar los procesos. La siguiente investigación se centrará en realizar un análisis sobre los beneficios del uso del gas criogénico en procesos de torneado, mejorando así significativamente el acabado superficial de los materiales mecanizados y la vida útil de la herramienta de corte.

La criogenia es la ciencia de crear e investigar condiciones a baja temperatura. La palabra criogenia se deriva de las palabras griegas kryos, que significa "escarcha" o "frío", y génico, que significa "producir" (Esteban, 2022). En el sector del mecanizado, los tratamientos criogénicos se han destacado como una técnica avanzada que busca optimizar la durabilidad de las herramientas y mejorar el acabado superficial en los procesos de

torneado. El tratamiento criogénico consiste en exponer los materiales y la herramienta de corte a temperaturas extremadamente bajas cercanas al punto de ebullición del nitrógeno,  $-196^{\circ}\text{C}$  (Gabriel, 2021).

Este método emplea gases a temperaturas muy bajas, tales como el nitrógeno líquido para enfriar las herramientas de corte mientras se realiza el mecanizado. A diferencia de las técnicas tradicionales de refrigeración, el enfriamiento criogénico disminuye significativamente el desgaste por fricción y deformaciones causadas por el calor, lo que permite una mayor precisión en el proceso y extiende la vida útil de las herramientas. Una vez culminado el trabajo se debe tener en cuenta que el proceso de calentamiento de la pieza mecanizada, después de aplicar el gas criogénico, es a temperatura ambiente, debe ser lento y controlado para evitar apariciones de tensiones en el material que puedan generar grietas o fisuras.

Para torneado de materiales difíciles, como el acero inoxidable, presenta grandes desafíos debido a su elevada dureza y la tendencia a deformarse bajo las altas temperaturas generadas durante el proceso de corte. Es aquí donde interviene el mecanizado criogénico, mismo que contribuirá en asistir al proceso de conformado de materiales mecánicos con la proyección de gases licuados. El uso de esta tecnología disminuye drásticamente la temperatura de corte y se obtienen piezas totalmente limpias (Fermín, 2020).

Los métodos de refrigeración convencionales tales como el aceite y la taladrina, que utilizan fluidos destinados a operaciones de mecanizado, no siempre logran mantener la estabilidad térmica requerida, lo que resulta en un desgaste acelerado de la herramienta de corte. La aplicación de gases criogénicos ofrece un enfriamiento más rápido y eficiente, lo que disminuye la fatiga de las herramientas y mejora la precisión en los acabados superficiales de las piezas mecanizadas.

Los crio enfriadores son dispositivos utilizados para producir refrigeración a temperaturas muy bajas, que normalmente son inferiores a -77 K. (Milind D, 2020). No obstante, la aplicación de esta tecnología aún presenta retos importantes, entre los cuales se destacan los elevados costos vinculados a los sistemas criogénicos y la necesidad de adaptar dichos sistemas a las diversas herramientas y materiales empleados en la industria. Este estudio tiene como objetivo analizar las ventajas y las limitaciones del uso de gas criogénico en el torneado, valorando su efecto en la durabilidad de las herramientas y la calidad del acabado superficial en comparación con los métodos tradicionales de enfriamiento.

Los refrigerantes criogénicos utilizados como fluidos de corte están ganando popularidad en la industria del mecanizado, ya que son ecológicos, reciclables y no presentan riesgos para los operadores. Su versatilidad radica en su capacidad para sublimarse directamente de sólido a un gas sin dejar residuos líquidos, lo que lo hace útil en aplicaciones donde se requiere un agente de enfriamiento

no tóxico y no inflamable (Hernán, 2024)

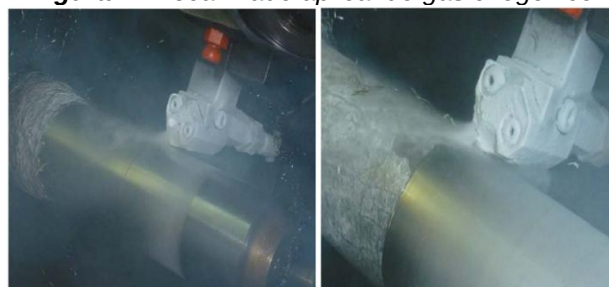
En el mecanizado criogénico, se emplea nitrógeno líquido (LN<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y aire comprimido para suministrar refrigeración a la interfaz herramienta-viruta a temperaturas de hasta -196°C o -77K. El nitrógeno líquido reduce eficazmente la generación de calor en la interfaz herramienta-pieza de trabajo y actúa como lubricante en la zona de corte. Durante el proceso, el nitrógeno se evapora rápidamente, lo que evita la acumulación de residuos de fluidos de corte. Las virutas metálicas resultantes del mecanizado criogénico no contienen estos fluidos contaminantes, lo que facilita el reciclaje, recuperación y su reutilización del material. Además, este método de enfriamiento mejora la maquinabilidad al minimizar el desgaste por difusión a bajas temperaturas, lo que permite mejorar la calidad del mecanizado y reducir

los costos de fabricación cuando se implementa correctamente. (Kui, 2021)

El enfriamiento criogénico permite a los usuarios finales aumentar la productividad entre un 50 y un 200 por ciento, combinando velocidades de corte más altas y el uso de materiales frágiles para herramientas de corte, como la cerámica de alúmina, en aplicaciones donde estas herramientas no se pueden emplear con refrigeración por inundación o mecanizado en seco. No obstante, se pueden lograr incrementos aún mayores.

Un ejemplo claro es la aplicación de cobalto-cromo forjado, que al cambiar de refrigerante por inundación y herramientas de carburo a mecanizado criogénico con herramientas de cerámica, la velocidad de corte aumentó de 125 m/min a 213,4 m/min según (Alan, 2015).

**Figura 1:** Mecanizado aplicando gas criogénico.



Fuente: (IK4-IDEKO, 2016).

Tradicionalmente, el acabado de aceros y fundición blanca tras el temple se realizaba mediante rectificado, un método costoso y poco versátil. Actualmente, las operaciones de mecanizado de aceros logran altas tasas de remoción de material con efectividad razonable y una aceptable vida útil de herramienta. Sin embargo, un gran desafío es el calor intenso generado durante el corte, que produce un rápido desgaste de las herramientas y acorta su vida útil, además de causar dilatación.

La refrigeración criogénica permite reducir la temperatura en la herramienta y crea una atmósfera inerte que disminuye significativamente el desgaste por difusión, adhesión y abrasión. Esto puede aumentar la vida útil de la herramienta entre un 20% y un 400%, dependiendo de las condiciones de corte, además de reducir los esfuerzos de corte y mejorar la precisión dimensional y el acabado superficial de la pieza de trabajo.

## 2. Materiales y métodos

El análisis del uso del gas criogénico se realizó como una investigación no experimental, es decir, no se realizaron experimentos controlados ni pruebas directas en laboratorio. Se utilizaron varios métodos para la recolección de información que se basaron en la revisión exhaustiva de literatura encontrada en revistas, artículos, tesis y videos relacionadas con el tema.

Este enfoque permitió recopilar datos sobre los efectos del gas criogénico y su análisis en la vida útil de las herramientas y la calidad del acabado superficial en procesos de torneado sin necesidad de realizar experimentos prácticos. La comprensión integral de las ventajas y los desafíos asociados con el uso de estos refrigerantes fue posible gracias a la extracción de datos cuantitativos y cualitativos mediante la revisión de estudios anteriores.

Esto ayudó en la obtención de información inmediata sobre cómo realmente se utiliza esta tecnología en la industria. La presente tiene un enfoque basado en el análisis crítico de los datos disponibles y la

validación de los hallazgos a través de la experiencia de profesionales en esta rama.

## **Diseño del Estudio de la Investigación**

El diseño de este estudio fue basado en un enfoque descriptivo y correlacional. Se realizaron revisiones bibliográficas y análisis de casos previos en los que se documentó el uso de gas criogénico en procesos de mecanizado. Se revisaron revistas, artículos, tesis y videos relevantes los cuales sirvieron como punto de apoyo para analizar sus hallazgos y resultados.

## **Características de la Serie Estudiada**

La serie estudiada consistió en investigaciones previas que exploraron los efectos del gas criogénico en la vida útil de herramientas y la calidad del acabado superficial. Se incluyeron estudios que abarcaron diversas aplicaciones en procesos de mecanizado, centrándose en los siguientes aspectos:

- **Materiales:** Principalmente aceros inoxidables y aleaciones de alta resistencia.

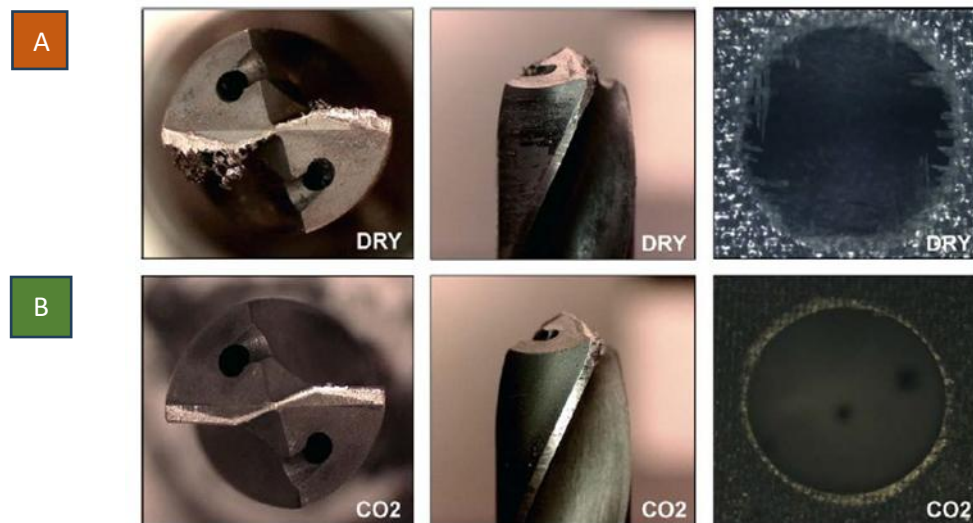
- **Condiciones de corte:** Las diferentes variaciones en velocidad, avance y profundidad de corte.

## **Instrumentos y Técnicas Utilizadas**

Para la recolección de datos, se emplearon las siguientes técnicas:

- **Revisión Bibliográfica:** Se utilizaron bases de datos académicas como Google Académico, para identificar y seleccionar artículos pertinentes.
- **Análisis Comparativo:** Se realizó un análisis comparativo en los resultados de diferentes estudios, extrayendo datos sobre la vida útil de herramientas y la calidad del acabado superficial de la pieza mecanizada como se logra observar en la Figura 2.

**Figura 2.** Comparativa del estado de una herramienta de corte al usar refrigerante convencional y su diferencia usando el gas criogénico



Fuente: (Bañón, 2020)

En la imagen A, podemos observar una herramienta de perforado mientras se usaba el refrigerante convencional (aceite o taladrina). Sin embargo, esta herramienta muestra signos de un desgaste significativo, especialmente en las zonas de contacto directo con el material de trabajo. Este desgaste se visualiza como zonas oscuras o irregulares en el filo de la herramienta, lo cual es el resultado de la fricción y altas temperaturas que se generan en el proceso de perforado. A pesar de usar aceite o taladrina, estos refrigerantes no son muy eficaces para disipar el calor generado en estos procesos debido a la alta exigencia térmica, lo que lleva a la reducción de la vida útil de la

herramienta y a su vez una menor calidad superficial en la pieza de trabajo.

En la imagen B podemos apreciar el mismo tipo de herramienta de perforado aplicando el gas criogénico como refrigerante para su enfriamiento y control de la temperatura óptima de trabajo, visualizamos que la herramienta presenta un estado prácticamente intacto, sin signos de desgaste. El gas criogénico ha mantenido la herramienta a temperatura muy baja minimizando la fricción y el desgaste térmico. No solo mejora la durabilidad de la herramienta, sino que también ayuda a obtener un mejor acabado superficial en la pieza de trabajo.

Al comparar ambas imágenes, podemos observar que el uso de gas criogénico como refrigerante, en lugar de los métodos tradicionales, resulta más eficaz para disminuir el desgaste y la fricción en las herramientas de mecanizado.

### 3. Resultados y discusión

En un estudio realizado por (IK4-IDEKO, 2016) revelaron que el uso de gas criogénico podría extender la vida útil de las herramientas hasta un 34% en comparación con refrigerantes convencionales. Además, se encontró una mejora en la calidad del acabado superficial, con reducciones en la rugosidad de hasta el 25%. Estos hallazgos fueron consistentes, lo que sugiere que el gas criogénico es una opción viable y beneficiosa para optimizar los procesos de torneado.

Durante el proceso de torneado en piezas metálicas al finalizar la operación, una de las principales condiciones que debemos cuidar es el acabado superficial que presenta. Al utilizar refrigerantes convencionales, se logra obtener un acabado aceptable, pero debe estar acompañado de otros métodos de

limpieza y pulido en el material para darle una mejor presentación.

La defectología superficial en los procesos de torneado es un punto clave y de vital importancia en la fabricación de piezas de trabajo, este se relaciona con defectos en la superficie de las piezas mecanizadas, estos pueden surgir debido a factores como el desgaste de la herramienta de corte, las condiciones de corte y la naturaleza del material de la pieza de trabajo. Estos defectos afectan la precisión y la durabilidad de las piezas, por lo que es crucial minimizarlos para obtener acabados de alta calidad.

Basado en la publicación de (Carlos, 2019) se puede mencionar los diferentes defectos superficiales en el torneado, los mismos que se detalla a continuación:

1. **Desgaste de la herramienta de corte:** El desgaste de la herramienta afecta directamente la calidad superficial. A medida que la herramienta se deteriora, pierde precisión y genera una superficie rugosa e irregular. Los tipos de desgaste más comunes que se presentan en la herramienta de corte son el desgaste en el flanco, desgaste

en la punta y cara principal. Esto se debe principalmente a la fricción elevada y a las altas temperaturas durante el proceso de corte.

**2. Material de la pieza de trabajo:**

La composición y dureza del material afectan la tendencia a generar defectos superficiales. Materiales duros y abrasivos provocan mayor desgaste en la herramienta y más posibilidades de generar superficies irregulares.

**3. Micro fisuras y zonas de quemado:** La generación de calor durante el torneado puede causar micro fisuras en la superficie de la pieza. Cuando la temperatura es muy alta, también se pueden generar zonas quemadas, que afectan la resistencia y el acabado de la pieza.

Estos son unos de los principales defectos que se presentan al usar refrigerantes tradicionales tales como el aceite y la taladrina, no obstante, se revisará la manera de cómo se puede corregir estos defectos con el uso del gas criogénico.

También (IK4-IDEKO, 2016) asegura que los tratamientos térmicos tales como el gas criogénico es una técnica que se utiliza para enfriar la zona de corte durante el proceso de mecanizado. Este enfriamiento puede traer varios beneficios al proceso de torneado:

**1. Reducción del desgaste de la herramienta corte:**

La aplicación de gas criogénico en la zona de corte reduce significativamente la temperatura, lo que disminuye el desgaste térmico y mecánico de la herramienta. Esto permite que la herramienta mantenga su filo y geometría por más tiempo, generando superficies más suaves y precisas.

**2. Mejor control de la temperatura en el material:**

El enfriamiento criogénico previene el calentamiento excesivo del material de trabajo, lo cual evita problemas de quemado y la aparición de micro fisuras en la superficie. Esto es especialmente útil en materiales difíciles de mecanizar, como aleaciones de titanio y aceros endurecidos.

3. **Mayor calidad superficial y menor rugosidad:** Al reducirse el desgaste y las temperaturas, la superficie de la pieza resultante es más uniforme y con menor rugosidad. Esto mejora el acabado de la pieza y puede reducir la necesidad de operaciones de acabado adicionales.
4. **Prevención de deformaciones térmicas:** El enfriamiento criogénico permite mantener tanto la herramienta como la pieza de trabajo a temperaturas más bajas y controladas. Esto evita deformaciones térmicas que podrían afectar las tolerancias dimensionales de la pieza final.

### Consideraciones Finales

En la aplicación del tratamiento criogénico logramos un gran cambio interno en las piezas ya que ocurre una liberación de tensiones

residuales debido a los cambios de fase que sufre el metal en su proceso de transformación, logrando una gran reducción en la tendencia a fallas por fatiga (Rodolfo, 2010). El uso de gas criogénico en el mecanizado puede ser una solución eficaz para mejorar la defectología superficial, especialmente en materiales que generan altas temperaturas y desgaste elevado. Sin embargo, su aplicación implica consideraciones económicas y técnicas adicionales, como el equipo necesario para el almacenamiento y la dosificación del gas criogénico. A pesar de esto, sus beneficios en términos de calidad son los mejores.

En este contexto, vale señalar que existen una variedad de gases criogénicos que pueden servir para reducir la temperatura térmica de cualquier tipo de material u objeto, así como se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1:** Principales Gases Criogénicos

| Gas       | Punto de Ebullición en °C | Principales Aplicaciones                   | Características                                           |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Helio     | -269                      | Superconductores, Investigación científica | Muy baja temperatura, no inflamable.                      |
| Nitrógeno | -196                      | Medicina, almacenamiento de alimentos      | Inerte, incoloro, inodoro, seguro en ambientes controlado |
| Argón     | -186                      | Metalurgia, Soldadura                      | Inerte, evita la Oxidación                                |
| Oxígeno   | -183                      | Medicina, Cohetes                          | Altamente reactivo, potencia combustión                   |
| Hidrógeno | -253                      | Industria aeroespacial, combustible        | Muy inflamable, requiere contención cuidadosa             |

|        |      |                            |                                     |
|--------|------|----------------------------|-------------------------------------|
| Metano | -161 | Energía, transporte de GLP | Inflamable, fuente de energía densa |
|--------|------|----------------------------|-------------------------------------|

*Fuente: Elaboración propia, 2024*

En esta ocasión centramos el estudio en el nitrógeno líquido como refrigerante para procesos de mecanizado. Según (Hector, 2024) este líquido es obtenido a través de la licuefacción del gas nitrógeno a muy bajas temperaturas. Es incoloro, inodoro e inerte, y se encuentra a una temperatura de  $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-77^{\circ}\text{K}$  o  $-320^{\circ}\text{F}$ ). Debido a sus características, tiene una amplia variedad de aplicaciones en la industria, la medicina e investigaciones científicas, pero en este caso lo estudiaremos para el uso en los procesos de mecanizado.

El nitrógeno líquido se destaca como uno de los gases criogénicos más utilizados, debido a su capacidad para alcanzar temperaturas extremadamente bajas de manera eficiente y segura. Su uso en el control de temperatura ayuda a mejorar la calidad del mecanizado y la integridad dimensional de las piezas, reduciendo el riesgo de expansión o contracción indeseada. Además, al ser un gas inerte, el nitrógeno líquido evita reacciones no deseadas con otros materiales, lo que lo convierte en una opción ideal

en la fabricación de componentes de alta precisión en industria del torneado.

### Producción del Nitrógeno Líquido

Los pasos básicos para la obtención de este líquido incluyen los siguientes:

1. **Compresión del aire:** Se comprime el aire a altas presiones.
2. **Enfriamiento:** El aire comprimido se enfría mediante intercambiadores de calor.
3. **Separación:** El nitrógeno, el oxígeno y otros componentes del aire se separan en función de sus puntos de ebullición en una torre de destilación.
4. **Licuefacción:** El nitrógeno se extrae y se convierte en estado líquido, obteniendo un gas casi puro (99.99% de pureza).

Según (IDIPAZ, 2013), detalla los riesgos más comunes que se puede esperar en la manipulación de los gases criogénicos:

- **Quemaduras por congelación:** Las quemaduras por congelación, o quemaduras por

frío, ocurren cuando la piel se expone a temperaturas extremadamente bajas, lo que ocasiona lesiones tales como: congelación de las células, reducción de flujo sanguíneo, necrosis tisular y daño en los tejidos. Cuando se trata de gases criogénicos, como el nitrógeno líquido, helio, oxígeno líquido, argón y otros almacenados a temperaturas extremadamente frías, el contacto directo con la piel puede provocar quemaduras graves por congelación, ya que estos gases generalmente están por debajo de los  $-150^{\circ}\text{C}$ . La recomendación para evitar este tipo de lesiones físicas sería con el uso de equipos de protección personal, por ejemplo, guantes de protección térmica, caretas transparentes para protección ocular o facial, delantal y mangas largas y por último calzado de seguridad. En ninguna circunstancia se debe manipular el gas criogénico ni los recipientes que lo almacenan sin la protección adecuada, ya que pueden causar quemaduras por congelación de manera instantánea.

- **Asfixia:** La asfixia causada por estos gases criogénicos es constante en ambientes dedicados a la investigación, donde se manipulan estos gases de manera recurrente. Los gases criogénicos se encuentran almacenados en estado líquido a temperaturas extremadamente bajas y estos se evaporizan rápidamente al calentarse. El riesgo principal de estos gases es que, al pasar de líquido a gaseoso, se expanden significativamente provocando que se desplace el oxígeno del ambiente en espacios cerrados o con poca ventilación causando hipoxia (falta de oxígeno) y en casos extremos, asfixia. Por ello, el área de trabajo debe estar bien ventilada, y preferible equipada con detectores de oxígeno para evitar incidentes al momento de manipular estos gases.
- **Fragilidad de materiales:** Las condiciones de los materiales bajo temperaturas criogénicas es un tema de gran importancia sobre todo en las industrias que utilizan estos gases. Algunos materiales pueden volverse frágiles o quebradizos

reduciendo su ductilidad y aumentando la fragilidad, esto puede comprometer la integridad de las personas que manipulen los tanques de almacenamiento. La compresión de como los materiales reaccionan a estas condiciones es esencial para evitar fallas en los equipos y garantizar la seguridad en operaciones con gases criogénicos. Para evitar inconvenientes o futuras fallas en los materiales la recomendación es que los recipientes deben colocarse en áreas designadas, alejadas de fuentes de calor y de materiales inflamables, mover los recipientes con cuidado, evitando golpes y caídas que puedan dañar los sistemas de válvulas o producir fisuras en el material, nunca cierre completamente los recipientes, ya que el gas evaporado puede aumentar la presión interna y por ultimo contar con un sistema de monitoreo de oxígeno en el área de trabajo para detectar niveles bajos de oxígeno en caso de fugas. Esto es importante, especialmente en espacios

cerrados o parcialmente confinados.

### **Análisis e Interpretación de los Resultados.**

La investigación sobre el uso de gas criogénico como refrigerante en procesos de torneado produjo hallazgos significativos, demostrando que este gas puede prolongar considerablemente la vida útil de las herramientas debido a las propiedades físicas del nitrógeno líquido como se detalla en la tabla 2 en comparación con refrigerantes convencionales tales como el aceite y la taladrina. Además, se observó una notable mejora en la calidad del acabado superficial, con una reducción en la rugosidad que da como resultado superficies más lisas y precisas. Estos resultados se confirmaron a través de varios estudios revisados, lo que indica que el gas criogénico es una opción viable y ventajosa para optimizar procesos y recursos en el mecanizado. A continuación, se presentan los resultados más relevantes, organizados de manera que faciliten la comprensión.

## 1. Vida Útil de las Herramientas de corte

Se recopiló información de estudios previos que documentaron el uso de gas criogénico. Los resultados fueron consistentes y mostraron que el uso de gas criogénico incrementó la vida útil de las herramientas significativamente en comparación con los refrigerantes convencionales.

## 2. Calidad del Acabado Superficial de la pieza torneada

Las investigaciones revisadas nos indicaron una mejoría considerable en la calidad del acabado superficial al utilizar el gas criogénico en

procesos de torneado. Se logró evidenciar una disminución de rugosidad promedio ( $R_a$ ), lo cual resultó en una superficie más lisa y homogénea. Este beneficio se debe a las propiedades únicas del nitrógeno líquido como se detalla en la tabla 2, al enfriar la superficie, minimiza las irregularidades y optimiza la textura del material. Al reducir las imperfecciones y asperezas, el nitrógeno líquido contribuye a obtener una mejoría en su calidad y acabado superficial de las piezas mecanizadas, lo que es particularmente útil en aplicaciones donde la precisión es importante.

**Tabla 2.** Propiedades físicas del nitrógeno líquido.

|                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|
| Número atómico: 7                                                            |
| Peso atómico: 14,008                                                         |
| Radio atómico covalente: 0,70 Å                                              |
| Radio del ion $N^{3-}$ : 1,71 Å                                              |
| Abundancia de los isótopos: $N^{14}$ , 99,62%; $N^{15}$ , 0,38%              |
| Notación espectral: $1S^2$ ; $2S^2$ , $2P^3$                                 |
| Estado físico: Gas incoloro, inodoro e insípido                              |
| Fórmula molecular: $N_2$                                                     |
| Densidad absoluta: 1,2506 g/L                                                |
| Densidad relativa: (aire = 0,9672 kg/m <sup>3</sup> )                        |
| Densidad del Nitrógeno líquido: 8,8071 g/cm <sup>3</sup>                     |
| Solubilidad en agua (cm <sup>3</sup> por litro): a 0 °C. 23,54 a 25 °C 14,34 |
| Punto de ebullición: -196 °C (77 K o -320 °F)                                |
| Punto de congelación: -209,86 °C                                             |
| Temperatura crítica: -147,1 °C                                               |
| Presión crítica: 33,5 atm                                                    |

Fuente: (Hector, 2024)

Al utilizar el nitrógeno líquido en los procesos de torneado, es imperativo mencionar las principales propiedades físicas que ayudan a

mantener un proceso térmico controlado mejorando el rendimiento del acabado superficial de las piezas mecanizadas, tales como:

- **Bajo Punto de Ebullición (-196 °C):** Este se convierte rápidamente en gas a temperatura ambiente, permitiendo una refrigeración intensa y rápida en la zona de corte.
- **Alta Capacidad de Enfriamiento:** Absorbe grandes cantidades de calor al evaporarse, reduciendo la temperatura de la herramienta y la pieza mecanizada.
- **Inercia Química:** Es inerte, lo que evita reacciones indeseadas y corrosión.
- **Baja Viscosidad:** Facilita una distribución uniforme en las superficies de corte.
- **Densidad y Conductividad Térmica:** Permite un enfriamiento rápido y directo.

### **3. Efectos en la Temperatura de Corte**

El análisis de temperaturas alcanzadas en la herramienta durante el proceso de mecanizado fue extraído de (BeCold, 2021), corresponde a un video explicativo que detalla las condiciones de operación con gas criogénico en comparación con refrigerantes

convencionales. En este estudio, se recopilaron datos que muestran cómo el gas criogénico logra mantener la herramienta a una temperatura promedio de 19.2°C, mucho más baja que los 32.1°C registrados al usar métodos tradicionales de enfriamiento. Estos resultados reflejan una diferencia significativa en el control térmico de ambos métodos, destacando la capacidad del gas criogénico para reducir el calor generado en la herramienta durante el corte. Esta reducción de temperatura es un factor clave para la preservación de la herramienta y el acabado superficial, temas que son ilustrados y analizados en profundidad en el video, proporcionando una visualización clara de los efectos y beneficios de cada tipo de refrigeración sobre el proceso de mecanizado.

### **4. Conclusiones**

En conclusión, el análisis del uso de gas criogénico en el proceso de torneado revela una serie de ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales de refrigeración,

aunque también existen limitaciones que deben ser consideradas. Entre las principales ventajas, se observa una mejora en la durabilidad de las herramientas y en la calidad del acabado superficial, aspectos que resultan beneficiosos para la productividad y la calidad general de las piezas mecanizadas. Estas ventajas se deben principalmente a la capacidad del gas criogénico para reducir la fricción y el desgaste térmico de manera más eficiente que los refrigerantes convencionales, permitiendo un mejor control de la temperatura y un ambiente de trabajo más limpio y seguro.

No obstante, el uso de gas criogénico presenta limitaciones importantes, como los costos asociados a su implementación y los requerimientos de equipos especializados, factores que pueden dificultar su adopción en ciertas industrias.

Además, en la literatura especializada se observan tanto coincidencias como divergencias en cuanto a la efectividad del gas criogénico en distintos tipos de materiales y condiciones de trabajo. En comparación con estudios similares, este análisis destaca

aspectos novedosos en términos de técnicas de aplicación y evaluación de los efectos sobre la vida útil de las herramientas y la calidad del producto final, lo que aporta nuevas perspectivas a la investigación en esta área.

De cara a futuras investigaciones, se recomienda estudiar más a fondo la optimización de los parámetros de aplicación del gas criogénico, así como evaluar su efectividad en una gama más amplia de materiales y configuraciones de mecanizado. Asimismo, sería conveniente explorar la viabilidad económica a largo plazo y la sostenibilidad ambiental de esta tecnología frente a las alternativas convencionales, estableciendo pautas que puedan guiar su implementación efectiva en la industria manufacturera.

## Bibliografía

- Alan, R. (2015). Cutting Tool Engineering. Obtenido de <https://www.ctemag.com/articles/cryogenic-machining-systems-can-extend-tool-life-and-reduce-cycle-times>
- BeCold, T. &. (2021). Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=5Xu9aWRFIJs&t=104s>

- Carlos, N. G. (2019). Caracterización de la calidad superficial del mecanizado en proceso de cilindrado en el torno. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19973/1/CD-9342.pdf>
- Esteban, M. B. (2022). Automatización de un Sistema Criogénico de Preservación de Semen Bovino por medio de un control RST. Durango, México.
- Fermín, M. A. (2020). Optimización del proceso de taladrado dentro del contexto de la industria 4.0. Vasco.
- Gabriel, P. C. (2021). Incidencia de los tratamientos térmicos criogénicos en la dureza y conductividad del aluminio 1350-H 19. Cúcuta, Bogotá.
- Hector, R. (2024). National Geographic España. Obtenido de [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-nitrogeno-n\\_18217](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-nitrogeno-n_18217)
- Hernán, L. C. (2024). Estudio de aceites de corte alternativos para procesos de mecanizado criogénico. Ambato, Ecuador.
- IDIPAZ. (2013). Instituto de investigación Hospital Universitario la Paz. Obtenido de [https://www.idipaz.es/ficheros/files/Que%20es/2015/RIESGOS%20POR%20MANIPULACION%20DE%20NITROGENO%20LIQUIDO\(1\).pdf](https://www.idipaz.es/ficheros/files/Que%20es/2015/RIESGOS%20POR%20MANIPULACION%20DE%20NITROGENO%20LIQUIDO(1).pdf)
- IK4-IDEKO. (2016). Mecanizado criogénico análisis de las ventajas de ese proceso con ejemplos de experiencias reales. Obtenido de [https://www.izaro.com/files/contenidos/1455708245\\_12.pdf](https://www.izaro.com/files/contenidos/1455708245_12.pdf)
- Kui, G. W. (2021). Springer link. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-08182-0#rightslink>
- Milind D, A. (2020). Cryocoolers Theory and Applications. Suiza: Springer.
- Rodolfo, G. C. (2010). Tratamientos criogénicos y la propuesta de su ensayo como práctica del laboratorio de metalurgia y metalografía. Guatemala.