



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i4.4660>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

Comparative evaluation of surface treatment and coating on cutting tools: Impact on performance and operational durability

Avaliação comparativa do tratamento de superfícies e revestimento em ferramentas de corte: impacto no desempenho e durabilidade operacional

Sabrina Belén Piloso Quiroz ^I
piloso.s.0587@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-1700-8924>

Ronald Roberto Rivera Pincay ^{II}
rivera.r.3129@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-1875-3739>

Duglas Adrián Mendoza Macías ^{III}
d.mendoza@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-9751-443X>

Correspondencia: piloso.s.0587@istlam.edu.ec

***Recibido:** 23 de octubre de 2025 ***Aceptado:** 14 de noviembre de 2025 *** Publicado:** 30 de diciembre de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

Resumen

El presente artículo de revisión bibliográfica analiza la influencia de los tratamientos superficiales y recubrimientos aplicados a herramientas de corte en su rendimiento y durabilidad operativa, a partir de literatura científica publicada entre 2020 y 2025. La investigación se desarrolló bajo un enfoque documental, no experimental, de carácter descriptivo-comparativo, utilizando como fuentes principales artículos indexados, actas de congresos y documentos técnicos de acceso abierto. Se seleccionaron estudios que reportan datos cuantitativos y cualitativos sobre desgaste de herramienta, vida útil, fuerzas de corte, temperatura en la zona de corte, rugosidad superficial y comportamiento tribocorrosivo en procesos de torneado, fresado, micro-mecanizado y aplicaciones relacionadas. Los resultados muestran que los recubrimientos duros y sistemas multicapa, en especial aquellos basados en TiAlN, AlCrN, combinaciones TiAlN/AlCrN, recubrimientos híbridos TiAlN/DLC y capas de carburo de tungsteno, mejoran de manera significativa el desempeño de las herramientas frente a herramientas sin recubrimiento o con capas simples, al reducir el desgaste y estabilizar la calidad superficial, con impactos positivos en el costo por pieza. Asimismo, se evidencia que no existe un recubrimiento universalmente óptimo, sino que su eficacia depende de la combinación material de herramienta-recubrimiento-material de pieza-régimen de corte y de las condiciones del entorno tribológico. Finalmente, se identifican oportunidades para la industria metalmecánica ecuatoriana, donde la adopción de criterios técnicos de selección de recubrimientos, sustentados en la evidencia reciente, puede contribuir a disminuir el desgaste prematuro de herramientas y a mejorar la productividad, siempre que estos desarrollos se validen mediante pruebas piloto en condiciones reales de operación.

Palabras Claves: Recubrimientos para herramientas de corte; Tratamientos superficiales; Desgaste de herramienta; Tribología; Mecanizado de aleaciones difíciles.

Abstract

This literature review analyzes the influence of surface treatments and coatings applied to cutting tools on their performance and operational durability, based on scientific literature published between 2020 and 2025. The research was conducted using a non-experimental, descriptive-comparative, documentary approach, primarily using indexed articles, conference proceedings, and open-access technical documents. Studies were selected that report quantitative and qualitative data on tool wear, tool life, cutting forces, temperature in the cutting zone, surface roughness, and tribocorrosive

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el
rendimiento y la durabilidad operativa

behavior in turning, milling, micromachining, and related applications. The results show that hard coatings and multilayer systems, especially those based on TiAlN, AlCrN, TiAlN/AlCrN combinations, TiAlN/DLC hybrid coatings, and tungsten carbide layers, significantly improve tool performance compared to uncoated or single-layered tools by reducing wear and stabilizing surface quality, with positive impacts on cost per part. Furthermore, it is evident that there is no universally optimal coating; rather, its effectiveness depends on the combination of tool material, coating, workpiece material, cutting regime, and tribological environment conditions. Finally, opportunities are identified for the Ecuadorian metalworking industry, where the adoption of technical criteria for coating selection, based on recent evidence, can contribute to reducing premature tool wear and improving productivity, provided that these developments are validated through pilot tests under real operating conditions.

Keywords: Coatings for cutting tools; Surface treatments; Tool wear; Tribology; Machining of difficult alloys.

Resumo

Esta revisão bibliográfica analisa a influência dos tratamentos superficiais e dos revestimentos aplicados às ferramentas de corte no seu desempenho e durabilidade operacional, com base na literatura científica publicada entre 2020 e 2025. A investigação foi conduzida com recurso a uma abordagem documental, descritiva-comparativa e não experimental, principalmente através de artigos indexados, atas de congressos e documentos técnicos de acesso aberto. Foram selecionados estudos que apresentam dados quantitativos e qualitativos sobre o desgaste da ferramenta, vida útil da ferramenta, forças de corte, temperatura na zona de corte, rugosidade superficial e comportamento tribocorrosivo em torneamento, fresagem, micro-usinagem e aplicações relacionadas. Os resultados mostram que os revestimentos duros e os sistemas multicamadas, especialmente os baseados em TiAlN, AlCrN, combinações de TiAlN/AlCrN, revestimentos híbridos de TiAlN/DLC e camadas de carboneto de tungsténio, melhoram significativamente o desempenho da ferramenta em comparação com ferramentas sem revestimento ou de camada única, reduzindo o desgaste e estabilizando a qualidade da superfície, com impactos positivos no custo por peça. Além disso, é evidente que não existe um revestimento universalmente ideal; Na verdade, a sua eficácia depende da combinação do material da ferramenta, do revestimento, do material da peça, do regime de corte e das condições do ambiente tribológico. Por fim, são identificadas oportunidades para a indústria metalúrgica

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

equatoriana, onde a adoção de critérios técnicos para a seleção de revestimentos, com base em evidências recentes, pode contribuir para a redução do desgaste prematuro da ferramenta e para o aumento da produtividade, desde que estes desenvolvimentos sejam validados através de testes piloto em condições reais de operação.

Palavras-chave: Revestimentos para ferramentas de corte; Tratamentos de superfície; Desgaste das ferramentas; Tribologia; Usinagem de ligas difíceis.

Introducción

La industria metalmecánica ecuatoriana se enfrenta al desafío permanente de aumentar su productividad y competitividad en un contexto en el que los requisitos de precisión, calidad superficial y reducción de costos son cada vez más exigentes. En los procesos de mecanizado, las herramientas de corte constituyen un elemento crítico, porque su desgaste prematuro se traduce en paradas frecuentes de máquina, desperdicio de material, pérdidas de tiempo por cambios de inserto y, en consecuencia, encarecimiento del producto final. Como señalan (Peña-Ballesteros, 2021) y (Martínez Pérez & García Toll, 2024), la combinación de fricción, elevadas temperaturas en la zona de corte y fenómenos como la adhesión, la abrasión y la tribocorrosión acelera el desgaste de los filos y de los recubrimientos, sobre todo cuando no se eligen de forma adecuada la herramienta, el tratamiento aplicado y las condiciones de trabajo.

En los estudios más recientes se evidencia un interés creciente por diseñar y perfeccionar tratamientos superficiales y recubrimientos avanzados que permitan mejorar la vida útil y el desempeño de las herramientas de corte. (Ali et al., 2025), por ejemplo, comparan el rendimiento de herramientas de carburo con recubrimientos monocapa y multicapa durante el torneado de la aleación Ti6Al4V, y muestran que los sistemas multicapa logran mejor resistencia al desgaste, menor fricción y mayor estabilidad térmica que recubrimientos simples o herramientas sin recubrimiento. De forma coherente con estos hallazgos, (Das et al., 2025) reportan que las herramientas recubiertas con sistemas TiAlN + AlCrN superan significativamente a los carburos sin recubrimiento en el torneado de aceros de alta dureza, tanto en vida útil como en calidad superficial. En el fresado de aleaciones de cobre-berilio, (Freitas et al., 2024) evidencian que recubrimientos híbridos TiAlN/DLC reducen el desgaste adhesivo y estabilizan la rugosidad superficial en condiciones severas de corte.

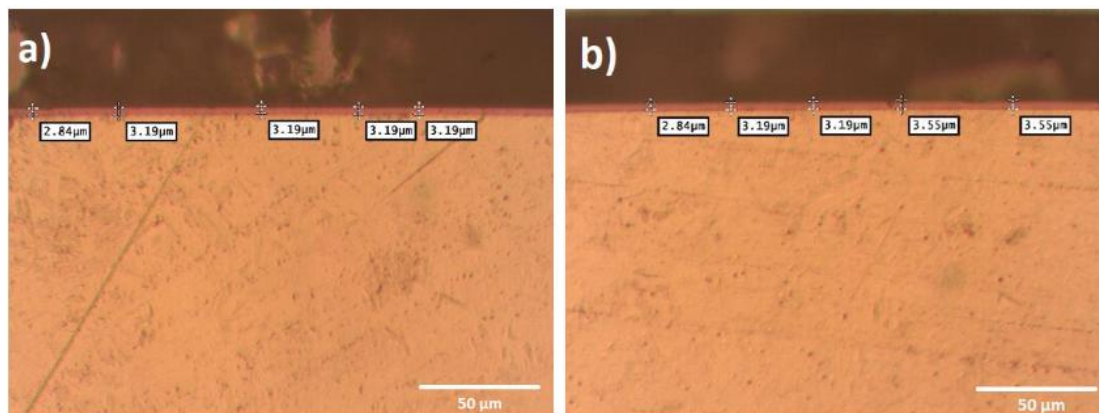
Varios proyectos se han centrado en el diseño de microherramientas y en la mejora del comportamiento tribológico mediante tecnologías avanzadas de fabricación. (Liang et al., 2022) en

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

su estudio desarrollan microfresas de diamante policristalino para el mecanizado combinado de fresado y rectificado de carburo cementado, y demuestran que la selección del material de herramienta y su preparación superficial es determinante para evitar fallas catastróficas y garantizar la integridad dimensional de la pieza. De manera complementaria, en una publicación de (Ma et al., 2022) analizan la influencia de la calidad de la herramienta en el mecanizado de aleaciones de titanio obtenidas por manufactura aditiva y pulvimetalurgia, encontrando diferencias significativas en la respuesta al desgaste según el proceso de obtención del material y el acabado superficial de los filos de corte.

En Latinoamérica también se han generado aportes relevantes que ayudan a contextualizar la problemática. (Källsten & Dalibón, 2023), así como (Pesce & Maskavizan, 2023), comparan el comportamiento al desgaste de recubrimientos PVD de AlCrN y TiAlN depositados sobre aceros endurecidos, utilizando ensayos tribológicos y de corte para cuantificar su respuesta frente a cargas y temperaturas elevadas evalúan recubrimientos de carburo de tungsteno aplicados por rociado térmico sobre aceros rápidos y reportan incrementos significativos en la resistencia al desgaste abrasivo. Por su parte, (Armijos et al., 2025) estudian el desgaste y la durabilidad de cuchillas de mecanizado en procesos de torneado de aceros de alta dureza, proponiendo ajustes en recubrimientos y parámetros de operación para extender la vida útil de las herramientas en entornos productivos de la región.

Figura 1. micrografías ópticas transversales de recubrimientos AlCrN(a) y TiAlN(b)



Fuente: Comparación de las propiedades tribológicas de los recubrimientos AlCrN y TiAlN depositados sobre acero AISI 420 (<https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1528>)

Nota: (Källsten & Dalibón, 2023) realizaron micrografías ópticas de los recubrimientos donde se demuestra los espesores promedio obtenidos fueron de $(2,9 \pm 0,4) \mu\text{m}$ y $(3,1 \pm 0,2) \mu\text{m}$ en AlCrN y TiAlN, respectivamente.

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

(Wood, 2024) destaca que la tribocorrosión se ha convertido en un marco de análisis clave para comprender el comportamiento de recubrimientos en ambientes agresivos, donde coexisten cargas mecánicas, deslizamiento, medios corrosivos y variaciones térmicas. (Martínez Pérez & García Toll, 2024) coinciden en que la combinación de recubrimientos duros (como TiAlN, AlCrN o sistemas basados en carburo de tungsteno) con capas autolubrificantes o estructuras multicapa puede mejorar de forma importante la resistencia tribocorrosiva de las aleaciones metálicas, siempre que exista compatibilidad entre el recubrimiento, el sustrato y el entorno de servicio. Sin embargo, la transferencia de estos resultados al contexto productivo ecuatoriano no siempre es directa, debido a limitaciones de infraestructura, costos, disponibilidad de tecnología PVD/CVD y brechas de conocimiento técnico en talleres y empresas metalmecánicas.

Muchas pequeñas y medianas empresas del sector continúan utilizando herramientas sin recubrimiento o con recubrimientos genéricos en Ecuador, seleccionados más por criterio empírico o por precio que por una evaluación técnica sistemática. Esto genera una brecha entre el estado del arte reportado en la literatura científica y las decisiones que se toman en planta al elegir herramientas, recubrimientos y condiciones de corte. La ausencia de guías claras y de criterios comparativos dificulta que el personal técnico identifique qué combinación de tratamiento superficial y recubrimiento resulta más adecuada para cada material, operación y régimen de mecanizado, especialmente en el trabajo con aleaciones difíciles de mecanizar o en condiciones severas de carga y temperatura.

El presente trabajo se plantea como un artículo de revisión orientado a sistematizar y comparar la evidencia reciente (2020–2025) sobre tratamientos de superficie y recubrimientos aplicados a herramientas de corte, analizando su influencia en indicadores clave de desempeño como el desgaste, las fuerzas de corte, la temperatura, la calidad superficial y la vida útil. A partir de la integración crítica de estudios experimentales y revisiones especializadas, se pretende establecer criterios técnicos que orienten la selección e implementación de recubrimientos en la industria metalmecánica, con énfasis en realidades productivas similares a la ecuatoriana. De este modo, se busca aportar una base de conocimiento aplicada que contribuya a reducir el desgaste prematuro de herramientas, optimizar los costos de operación y favorecer prácticas de mecanizado más eficientes y sostenibles.

Metodología

La presente investigación se enmarca en un enfoque de tipo documental, con diseño no experimental, transversal y de carácter descriptivo–comparativo. No se realizaron ensayos de laboratorio ni pruebas

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

directas sobre herramientas de corte; en su lugar, se trabajó exclusivamente con información secundaria proveniente de artículos científicos, tesis, normas técnicas y documentos especializados relacionados con tratamientos superficiales y recubrimientos aplicados a herramientas de corte. El propósito metodológico central es identificar, organizar y comparar la evidencia reciente sobre el desempeño de distintos recubrimientos, para establecer criterios técnicos que orienten su selección en la industria metalmecánica.

Se adopta una perspectiva cualitativa con apoyo cuantitativo. La dimensión cualitativa se refleja en el análisis de contenidos, la identificación de categorías temáticas (tipos de recubrimientos, materiales de herramienta, materiales a mecanizar, procesos y condiciones de corte, mecanismos de desgaste, criterios de selección, entre otros) y la interpretación comparativa de los resultados reportados en la literatura. La dimensión cuantitativa se limita a la extracción y organización de datos numéricos relevantes que se encuentran en los estudios revisados, tales como vida de herramienta, tasa de desgaste, coeficiente de fricción, rugosidad superficial, fuerzas de corte o temperatura en la zona de corte, sin realizar pruebas estadísticas avanzadas, sino más bien contrastes descriptivos entre investigaciones.

Las fuentes de información consideradas incluyen principalmente artículos publicados entre 2020 y 2025 en revistas científicas indexadas en bases de datos como ScienceDirect, Scopus, Web of Science y SciELO, así como actas de congresos y algunas fuentes técnicas de libre acceso proporcionadas por fabricantes de herramientas y empresas de recubrimientos. Se priorizó la consulta de trabajos en inglés y español, siempre que aportaran resultados experimentales sobre el comportamiento de herramientas recubiertas en procesos de torneado, fresado u operaciones afines, o bien revisiones especializadas sobre recubrimientos PVD/CVD, tribología y tribocorrosión en aplicaciones de corte. Como criterio general, se dio preferencia a estudios que reportaran de forma clara el tipo de recubrimiento (por ejemplo, TiAlN, AlCrN, TiAlN/DLC, recubrimientos a base de carburo de tungsteno), el material de herramienta (carburo, PCD, etc.), el material de pieza (Ti6Al4V, aceros de alta dureza, aleaciones de cobre-berilio, entre otros) y al menos una variable de desempeño relacionada con desgaste o vida útil.

La estrategia de búsqueda se organizó en varias etapas. En primer lugar, se definieron palabras clave y combinaciones en español e inglés relacionadas con el tema, tales como “recubrimientos para herramientas de corte”, “PVD tool coatings”, “TiAlN”, “AlCrN”, “DLC”, “hard turning”, “Ti6Al4V machining”, “tool wear”, “tribology” y “tribocorrosion”. Estas expresiones se emplearon en

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

búsquedas booleanas (AND, OR) dentro de las bases de datos seleccionadas y en motores académicos. En segundo lugar, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos más relevantes para identificar trabajos adicionales mediante la técnica de “búsqueda en cadena”. En tercer lugar, se incorporaron algunas fuentes técnicas de fabricantes cuando aportaban información específica sobre recubrimientos y recomendaciones de aplicación que complementaban los datos de la literatura científica.

Una vez identificados los documentos pertinentes, se procedió a la organización y análisis de la información. Para ello se diseñó una matriz de registro en la que se consignaron, para cada estudio: autor(es), año, tipo de recubrimiento, material de herramienta, material a mecanizar, tipo de proceso (torneado, fresado u otro), condiciones principales de corte o de ensayo, variables evaluadas, resultados clave y conclusiones. Esta matriz permitió agrupar los estudios por familias de recubrimientos y por tipo de aplicación, facilitando la comparación de tendencias en términos de resistencia al desgaste, fuerzas de corte, calidad superficial y vida de herramienta. Sobre la base de esta sistematización, se desarrolló un análisis descriptivo y comparativo que se presenta en el apartado de resultados y discusión, destacando coincidencias y diferencias entre los estudios y señalando las implicaciones prácticas para la selección de recubrimientos en contextos productivos similares al ecuatoriano.

Resultados

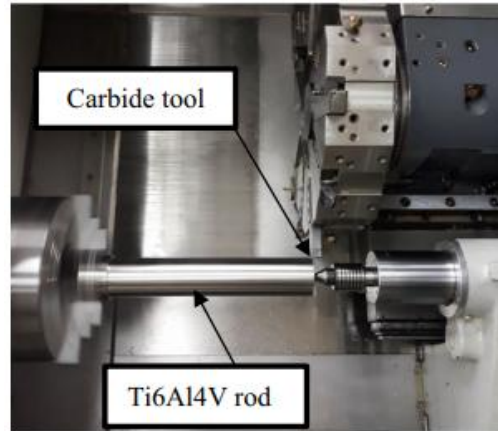
Los resultados de la revisión bibliográfica muestran de forma bastante consistente que los recubrimientos duros (especialmente los multicapa tipo TiAlN + AlCrN/TiAlN + CrAlN, así como sistemas híbridos TiAlN/DLC y capas de carburo de tungsteno) mejoran de manera significativa el desempeño de las herramientas de corte y de las superficies funcionales sometidas a desgaste y tribocorrosión.

En el torneado de aleaciones difíciles de mecanizar, (Ali et al., 2025) evaluaron herramientas de carburo sin recubrimiento, recubiertas con TiAlN y con multicapas TiAlN + CrAlN al torneear Ti6Al4V en seco. Los autores encontraron que, para una velocidad de corte de 150 m/min, el uso de herramientas multicapa permitió reducir el desgaste de flanco hasta en un 12 % respecto a herramientas sin recubrimiento y de capa simple, mientras que la rugosidad superficial Ra mejoró entre un 31 y un 47 % según la combinación de velocidad y recubrimiento empleada. Además, el análisis SEM-EDX mostró que el titanio adherido en la cara de incidencia fue aproximadamente cinco veces mayor en las herramientas sin recubrimiento que en las multicapas, indicando que la

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

menor afinidad adhesiva del sistema TiAlN + CrAlN es el principal responsable de la mejora en vida de herramienta y acabado superficial, lo cual lo demuestran la figura 2.

Figura 2. Configuración operativa para torneado en seco



Fuente: Machinability Performance of Single Coated and Multicoated Carbide

Tools During Turning Ti6Al4V Alloy (<https://doi.org/10.1007/s12541-024-01147-9>)

Nota: (Ali et al., 2025) realizaron la prueba de endurecimiento Brinell para comprobar la indentación del material. La dureza de la pieza de trabajo fue de 105 HRB. El corte se realizó en una máquina CNC YIDA y la configuración experimental para el torneado se muestra en la Figura. Tomado de (Ali et al., 2025)

Resultados similares se reportan en el torneado de aceros aleados. (Das et al., 2025) en su estudio, compararon herramientas de carburo sin recubrimiento con insertos multicapa TiAlN + AlCrN en el torneado duro en seco de acero AISI H11, analizando vida de herramienta, desgaste de flanco, temperatura de corte, fuerzas y calidad superficial. A partir de 16 ensayos diseñados con un arreglo L16, concluyeron que las herramientas TiAlN + AlCrN presentaron un desempeño superior en todos los atributos de maquinabilidad, con menor desgaste, menores fuerzas y mejor integridad superficial, lo que se tradujo en una reducción aproximada del 9 % en el costo de producción por pieza en comparación con el uso de insertos sin recubrimiento.

La evidencia sobre recubrimientos multicapa en aceros endurecidos se refuerza con otros estudios. (Şahinoğlu & Rafighi, 2021) analizaron el torneado de AISI 4140 (63 HRC) con insertos de carburo recubiertos con multicapas TiCN/Al₂O₃/TiN, encontrando que se alcanzó un desgaste de cráter de 0,3 mm tras 90 min de mecanizado, lo que confirma una vida de herramienta elevada bajo condiciones secas exigentes y con mecanismos de desgaste dominados por abrasión y micro-astillado.

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

De forma complementaria, (Szcotkarz et al., 2021) estudiaron la topografía superficial al torneear AISI 1045 con herramientas de carburo recubiertas con TiN, TiAlN y TiC, observando que el recubrimiento TiAlN produjo menores parámetros de rugosidad 3D a bajas velocidades y altos avances, mientras que TiC fue más favorable a velocidades elevadas, evidenciando que la selección del recubrimiento debe vincularse al régimen de corte y al criterio dominante (acabado o productividad).

En operaciones de fresado, (Freitas et al., 2024) evaluaron el comportamiento de desgaste de un recubrimiento TiAlN/DLC aplicado sobre herramientas de fresado de una aleación Cu–Be, comparándolo con herramientas no recubiertas. Los resultados indicaron que el uso del recubrimiento híbrido redujo aproximadamente a la mitad el desgaste medido respecto a la herramienta base, manteniendo además un acabado superficial más estable a lo largo del tiempo de corte. Los autores atribuyen este comportamiento a la combinación de alta dureza (TiAlN) y bajo coeficiente de fricción (DLC), que limita la adhesión y la abrasión en la interfase viruta–herramienta.

En el ámbito de micro-mecanizado de materiales ultraduros, (Liang et al., 2022) desarrollaron y ensayaron una microfresa de diamante policristalino (PCD) diseñada para mecanizado combinado fresado–rectificado de carburo cementado. En los ensayos comparativos frente a una microfresa estándar, la nueva herramienta PCD con ángulo de alivio circunferencial de 0° mostró una mejor calidad superficial y una mayor resistencia al desgaste, validando que la estrategia de “milling-grinding” con herramientas PCD especializadas puede emplearse para obtener superficies de alta calidad y elevada eficiencia en materiales de muy alta dureza.

Los estudios sobre recubrimientos en contextos biomédicos y de tribocorrosión apuntan en la misma dirección. (Corredor et al., 2022) depositaron capas de hidroxiapatita mediante láser pulsado sobre sustratos Ti-6Al-4V fabricados por manufactura aditiva, observando capas homogéneas, fuertemente adheridas y sin grietas, con propiedades que favorecen la bioactividad y la integración ósea. Estos resultados indican que, además de mejorar la resistencia al desgaste, ciertos recubrimientos funcionales permiten adaptar la respuesta superficial de aleaciones de titanio a requerimientos específicos (por ejemplo, osteointegración). Adicionalmente, (Ramírez et al., 2023) estudiaron el comportamiento biotribológico de prototipos de implantes Ti6Al4V fabricados por fusión de lecho de polvo por haz de electrones (EBM) y posteriormente anodizados, reportando coeficientes de fricción y tasas de desgaste inferiores en las superficies anodizadas frente a las sin tratamiento, lo que

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

sugiere una mejora simultánea en resistencia al desgaste y compatibilidad tribológica con el medio biológico.

En aplicaciones industriales más generales, la literatura en español sobre recubrimientos de carburo de tungsteno aplicados por rociado térmico e HVOF confirma su eficacia para incrementar la resistencia al desgaste de componentes y herramientas. En investigaciones depositaron recubrimientos de carburo de tungsteno sobre aceros rápidos mediante rociado térmico oxiacetilénico y demostraron que los recubrimientos mejoran de forma notable la resistencia al desgaste frente al sustrato sin recubrir, a partir de ensayos tribológicos de deslizamiento.

A nivel más aplicado, reportes técnicos y notas de ingeniería sobre recubrimientos HVOF indican que las capas de carburo de tungsteno–cobalto–cromo presentan estructuras densas, alta cohesión interna y una resistencia superior a desgaste abrasivo y erosivo respecto a recubrimientos por plasma convencionales, lo que se traduce en una mayor vida útil de componentes sujetos a condiciones severas de desgaste (TTT Group Tratamientos Térmicos | Recubrimientos en Gipuzkoa, s. f.)

Los fabricantes y suministradores de recubrimientos PVD coinciden en que estas capas contribuyen a reducir el desgaste y la fricción, aumentan la dureza superficial y mejoran la fiabilidad de producción en matrices y herramientas de corte. (Oerlikon, 2025) destacan que los recubrimientos PVD de nitruros (TiN, TiAlN, CrAlN, entre otros) permiten prolongar la vida útil de las herramientas, estabilizar el acabado superficial y disminuir el consumo de lubricante y energía por pieza mecanizada, especialmente cuando se combinan con estrategias de lubricación mínima (MQL) o mecanizado en seco.

Desde una perspectiva más amplia de tribocorrosión, (Wood, 2024) revisa distintos recubrimientos y modificaciones superficiales aplicados a aleaciones metálicas y concluye que las arquitecturas multicapa, los recubrimientos con gradientes funcionales y las superficies texturizadas ofrecen una mejor sinergia frente a la combinación de desgaste y corrosión, reduciendo la pérdida de material y la degradación prematura de componentes en ambientes agresivos.

En conjunto, estos resultados muestran que, en diversos contextos de mecanizado (torneado, fresado, micro-mecanizado) y en aplicaciones tribológicas avanzadas (implantes, componentes sometidos a erosión o tribocorrosión), los recubrimientos duros y funcionales permiten: (i) reducir el desgaste de herramienta entre ~10 % y 50 % según el sistema de recubrimiento y el material de trabajo, (ii) mejorar la rugosidad superficial de las piezas, y (iii) disminuir el consumo energético y los costos de producción por pieza. Estas tendencias cuantitativas y cualitativas constituyen la base sobre la cual,

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

en la discusión, se analizarán las implicaciones tecnológicas y económicas de la selección de recubrimientos en herramientas de corte y superficies sometidas a esfuerzos tribológicos severos.

Tabla 1. Hallazgos de resultados encontrados en la revisión

Autor(es), año	Sistema estudiado (material proceso)	Herramienta recubrimiento / tratamiento	Variables o evaluadas	Principales resultados reportados
Ali et al., 2025	Torneado en seco de aleación Ti- 6Al-4V	Inserto de carburo sin recubrimiento vs recubrimientos TiAlN (monocapa) y multicapa TiAlN/AlCrN	Desgaste de herramienta (flanco), rugosidad superficial, formación de viruta, estabilidad del proceso	El uso de recubrimientos TiAlN y, especialmente, multicapa TiAlN/AlCrN redujo el desgaste de herramienta en torno a 7–12 % y disminuyó la rugosidad superficial entre ~31–47 % respecto a la herramienta sin recubrimiento a velocidades de corte medias–altas, manteniendo una morfología de viruta más estable.
Das et al., 2022	Torneado duro en seco de acero AISI H11 endurecido	Inserto de carburo sin recubrimiento vs inserto recubierto TiAlN + AlCrN	Vida de herramienta, desgaste de flanco, temperatura de corte, fuerzas de corte, integridad	El recubrimiento TiAlN + AlCrN mostró mayor vida útil y menor desgaste de flanco, redujo las fuerzas y la

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

				superficial, costo de producción	temperatura de corte y mejoró la integridad superficial frente al carburo sin recubrimiento. El análisis económico indicó una reducción aproximada del 9 % en el costo de producción por pieza utilizando herramientas recubiertas frente a las no recubiertas.
Freitas et al., 2024	Fresado de aleación cobre-berilio AMPCOLOY® 83	Herramientas de carburo cementado sin recubrimiento multicapa TiAlN/DLC (PVD)	Desgaste de herramienta, calidad superficial (rugosidad), mecanismos de desgaste	El recubrimiento multicapa TiAlN/DLC permitió obtener superficies mecanizadas de mejor calidad y una reducción del desgaste de herramienta cuantificada aproximadamente a la mitad respecto a las herramientas sin recubrimiento, bajo las mismas condiciones de corte, debido al menor coeficiente de fricción y a la mayor resistencia	

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

					a la oxidación del recubrimiento.
Liang et al., 2022	Micro-mecanizado combinado (micro-fresado y rectificado) de carburo cementado	Microfresa de diamante policristalino (PCD) especialmente diseñada para mecanizado combinado	Fuerzas de corte, rugosidad superficial, modo de formación de viruta, desgaste de herramienta	La microfresa PCD diseñada para el proceso combinado fresado-rectificado mejoró la calidad de superficie y redujo el desgaste de herramienta frente a herramientas convencionales, al optimizar la geometría de filo y la trayectoria de rectificado en una máquina CNC de seis ejes.	
Ramírez et al., 2023	Prototipos de implantes de Ti6Al4V fabricados por EBM y por forja, con y sin anodizado	Aleación de Ti6Al4V: muestras forjadas, fabricadas por EBM, y EBM + anodizado	Dureza, coeficiente de fricción, tasa de desgaste en fluido corporal simulado, mecanismos de desgaste	El proceso EBM incrementó la dureza de Ti6Al4V respecto a la forja. Las muestras EBM + anodizado presentaron los coeficientes de fricción más altos pero la menor tasa de desgaste, seguidas de las muestras solo EBM, mientras que las forjadas mostraron el mayor desgaste. La	

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

abrasión fue el mecanismo de desgaste predominante y la menor tasa de desgaste para la aleación se obtuvo a 30 rpm en todos los pares biotribológicos.

Wood & Lu, 2024	Revisión de diversos recubrimientos y modificaciones superficiales de aleaciones sometidas a tribocorrosión (aleaciones para aplicaciones biomédicas, marinas e industriales)	Diversos recubrimientos duros (nitruros, carburos, óxidos), recubrimientos tipo DLC y tratamientos superficiales (texturizado e láser, nitruración, etc.)	Comportamiento frente a desgaste + corrosión, estabilidad de las capas, adhesión, mecanismos de fallo	El artículo compila evidencias de que los recubrimientos duros aplicados por PVD/CVD y las soluciones híbridas (por ejemplo, capas duras con capas superiores tipo DLC) pueden reducir simultáneamente el desgaste mecánico y la corrosión en aleaciones base, siempre que se optimicen la adhesión, la microestructura y la compatibilidad química con el medio tribocorrosivo. Destaca la importancia de diseñar sistemas multicapa y tratamientos previos de
----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

superficie para maximizar la vida útil en tribocorrosión.

Discusión

Los resultados de la revisión muestran una tendencia clara y consistente a favor de los recubrimientos duros y sistemas multicapa frente a herramientas sin recubrimiento o de capa simple. En los diferentes escenarios de mecanizado, se puede notar la reducción en el desgaste de flanco, estabilizan la rugosidad superficial y, en algunos casos, disminuyen el costo por pieza. Estos datos indican que la combinación de alta dureza, estabilidad térmica y bajo coeficiente de fricción se convierte en un requisito fundamental para mantener la integridad del filo en condiciones de corte severas, propias del entorno productivo actual, caracterizado por exigencias crecientes de precisión, productividad y competitividad. Al mismo tiempo, la revisión pone en evidencia que no existe un recubrimiento universalmente óptimo, sino que el desempeño depende de la relación específica entre material de herramienta, recubrimiento, material de pieza y régimen de corte, lo que obliga a abandonar decisiones empíricas y avanzar hacia criterios de selección más racionales.

Cuando se contrastan estos hallazgos con aplicaciones en campos como los implantes biomédicos o la tribocorrosión en ambientes agresivos, se observa una coherencia conceptual: los recubrimientos ya no actúan solo como capas endurecedoras, sino como sistemas capaces de gestionar de manera integrada fricción, desgaste y, en muchos casos, interacción con el medio (biológico, corrosivo o lubricado). La evidencia disponible sugiere que las arquitecturas multicapa, los gradientes funcionales y la combinación de capas duras con capas autolubrificantes ofrecen respuestas más robustas frente a la complejidad de los contactos tribológicos actuales. Estos resultados se insertan en un contexto tecnológico donde las cadenas productivas son cada vez más sensibles a la eficiencia energética, a la reducción de residuos y a la calidad del servicio ofrecido a clientes y sectores que dependen de la industria metalmecánica, por lo que la mejora del comportamiento tribológico tiene repercusiones no solo técnicas, sino también económicas y sociales.

Trasladar estas evidencias dentro de la industria metalmecánica ecuatoriana plantea retos que no pueden ignorarse. Muchos de los estudios revisados se realizan bajo condiciones de laboratorio altamente controladas, con máquinas, sistemas de sujeción y protocolos que no siempre representan la realidad de los talleres pequeños y medianos, donde existen limitaciones de infraestructura, acceso restringido a tecnologías de recubrimiento avanzadas y brechas de capacitación técnica. Por tanto, los

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

resultados de esta revisión deben entenderse como una base de referencia que orienta la toma de decisiones, pero que requiere validación mediante pruebas piloto en condiciones reales de operación, análisis de costo–beneficio y adaptación a las capacidades locales. En este escenario, se consideran oportunas recomendaciones como: promover proyectos colaborativos entre institutos, universidades y empresas para ensayar recubrimientos en piezas y lotes reales; incorporar contenidos de tribología y recubrimientos en la formación técnica; y fomentar líneas de investigación aplicada que permitan ajustar, priorizar y seleccionar recubrimientos en función de las necesidades concretas de la industria nacional.

Conclusiones

La evaluación de la influencia de los tratamientos superficiales y recubrimientos sobre el rendimiento y la durabilidad de las herramientas de corte permitió concluir que la incorporación de recubrimientos adecuados es una alternativa técnicamente viable para mitigar el desgaste prematuro y optimizar el mecanizado en la industria metalmecánica. La relevancia plena de estos hallazgos para el la industria ecuatoriana queda condicionada a su verificación mediante pruebas piloto y análisis costo–beneficio en talleres y empresas, lo que señala tanto la validez interna de los resultados como la necesidad de estudios complementarios para consolidar su aplicabilidad práctica.

El análisis de la documentación literaria permitió identificar y caracterizar los principales tratamientos superficiales y recubrimientos usados en herramientas de corte (nitruros tipo TiAlN y AlCrN, sistemas multicapa, recubrimientos híbridos con DLC y capas a base de carburo de tungsteno). En estos sistemas pudimos notar que comparten rasgos dominantes como una mayor dureza, estabilidad térmica y capacidad de reducir la fricción, lo que confirma su que es ideal frente al problema inicial de desgaste prematuro y limitada vida útil de las herramientas en procesos de mecanizado exigentes.

La comparación del comportamiento de herramientas con distintos recubrimientos mostró que los recubrimientos duros y multicapa mejoran de forma consistente el desempeño frente a herramientas sin recubrimiento o de capa simple, al reducir el desgaste, prolongar la vida útil y estabilizar la rugosidad superficial en operaciones de torneado, fresado y micro-mecanizado. Al mismo tiempo, los resultados indican que no existe un recubrimiento universalmente óptimo, sino que su eficacia depende de la combinación concreta de material de herramienta, material de pieza y condiciones de corte, lo que valida parcialmente la hipótesis de mejora pero la condiciona a una selección adecuada del sistema recubrimiento–proceso.

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el
rendimiento y la durabilidad operativa

El estudio permitió formular lineamientos técnicos para la selección de recubrimientos, destacando como criterios clave la dureza y estabilidad térmica del sistema, su coeficiente de fricción, la compatibilidad con el marco tribológico incluida la posible tribocorrosión y las exigencias de calidad superficial y productividad del proceso. En base a esto se establece una relación adecuada entre el tipo de recubrimiento y las condiciones de operación, aportando una base de decisión que puede contribuir a mejorar la productividad y la sostenibilidad industrial cuando se aplica de manera sistemática.

Referencias

- Ali, A., Younas, M., Khan, M., Jaffery, S. H. I., & Khan, Z. (2025). Machinability Performance of Single Coated and Multicoated Carbide Tools During Turning Ti6Al4V Alloy. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 26(1), 43-58. <https://doi.org/10.1007/s12541-024-01147-9>
- Armijos, W. A. C., Muñoz, E. E. V., & Gonzales, E. D. T. (2025). Estudio del desgaste y durabilidad de cuchillas de mecanizado en procesos de torneado de aceros de alta dureza. *Código Científico Revista de Investigación*, 6(E1), 1507-1529. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/784>
- Corredor, E., González-Estrada, O. A., & Ospina-Ospina, R. (2022). Deposición de láser pulsado de hidroxiapatita en Ti-6Al-4V producido por manufactura aditiva. *Revista UIS ingenierías*, 21(4), 107-121.
- Das, A., Gautam, A., Panda, A., Das, S. R., Debnath, K., Ramakrishna, Ch., & Patel, S. K. (2025). Comparative performance evaluation between uncoated and TiAlN + AlCrN coated carbide tools in hard turning of AISI H11 steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 239(3), 1029-1041. <https://doi.org/10.1177/09544089221110430>
- Freitas, F. R. S., Casais, R. C. B., Silva, F. J. G., Sebbe, N. P. V., Martinho, R. P., Sousa, V. F. C., Sales-Contini, R. C. M., & Fernandes, F. (2024). Wear Behavior of TiAlN/DLC Coating on Tools in Milling Copper-Beryllium Alloy AMPCOLOY® 83. *Coatings*, 14(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/coatings14111354>
- Källsten, T., & Dalibón, E. (2023). Comparación de las propiedades tribológicas de los recubrimientos AlCrN y TiAlN depositados sobre acero AISI 420. *AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)*, AJEA 25. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1528>
- Liang, Z., Du, Y., Ma, Y., Su, Z., Chen, R., Yuan, H., Zhou, T., & Wang, X. (2022). Development of polycrystalline diamond micro end mill for milling-grinding combined machining of cemented carbide. *Journal of Manufacturing Processes*, 79, 844-853. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.05.020>
- Lu, A. (2022). Microfabricación de aleaciones de titanio: fabricación aditiva versus fabricación sustractiva. . *Artículos de investigación* .

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el rendimiento y la durabilidad operativa

- Ma, J., Tran, T., Gali, O. A., & Riahi, R. A. (2022). The influence of tool quality on the machining of additive manufactured and powder metallurgy titanium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 236(13), 1716-1725. <https://doi.org/10.1177/09544054221080033>
- Martínez Pérez, F., & García Toll, A. E. (2024). La Ciencia Tribológica: Su importancia en la industria, los servicios y en la educación tecnológica y universitaria > Translated title: Tribological Science: Its importance in industry, services and technological and university education . *Revista Cubana de Educación Superior*. <https://www.scienceopen.com/document?vid=32cb7c53-dae8-45bd-9e18-94c8ee50708a>
- Oerlikon, G. (2025, noviembre 13). Oerlikon Balzers le da la bienvenida. <https://www.oerlikon.com/balzers/es/es/>
- Peña-Ballesteros, D. Y. (2021). Tribocorrosión: Historia, propiedades, aplicaciones y modelamiento. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 239-244. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021020>
- Pesce, S. A., & Maskavizan, A. J. (2023). Comparación del comportamiento al desgaste de recubrimientos de AlCrN y TiAlN depositados por PVD sobre acero AISI 4140. *AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)*, AJEA 25. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1529>
- Ramírez, A., Zapata, C., Vargas, C., Tamayo, A., Baena, L., Castaño, J. G., Botero, C., Zuleta, A., Ochoa, N. B., Quiceno, E., & Gómez, M. (2023). Comportamiento biotribológico de prototipos de implantes de la aleación Ti6Al4V fabricados por EBM y posteriormente anodizados. *TecnoLógicas*, 26(57), e2642-e2642. <https://doi.org/10.22430/22565337.2642>
- Şahinoğlu, A., & Rafighi, M. (2021). Investigation of tool wear, surface roughness, sound intensity, and power consumption during hard turning of AISI 4140 steel using multilayer-coated carbide inserts. *Journal of Engineering Research*, 9(4, Part B), 377-395. <https://doi.org/10.36909/jer.8783>
- Spray Welding | Thermal Spray | Machining & Grinding. (2025, noviembre 20). HTS Coatings. <https://htscoatings.com/>
- Szczotkarz, N., Maruda, R., Dębowski, D., Leksycki, K., Wojciechowski, S., Khanna, N., & Królczyk, G. (2021). Formation of Surface Topography During Turning of AISI 1045 Steel

Evaluación comparativa de tratamiento de superficie y recubrimiento en herramientas de cortes: Impacto en el
rendimiento y la durabilidad operativa

Considering the Type of Cutting Edge Coating. Advances in Science and Technology Research Journal, 15(4), 253-266. <https://doi.org/10.12913/22998624/141991>

Wood, R. &. (2024). Recubrimientos y modificación de superficies de aleaciones para aplicaciones de tribocorrosión. Coatings.

TTT Group Tratamientos Térmicos | Recubrimientos en Gipuzkoa. (s. f.). TTT Group. Recuperado 2 de diciembre de 2025, de <https://grupottt.com/>

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|