

Estudio del desgaste y durabilidad de cuchillas de mecanizado en procesos de torneado de aceros de alta dureza

Study of the wear and durability of machining blades in turning processes of high hardness steels

Estudo do desgaste e durabilidade de lâminas de maquinagem em processos de torneamento de aços de elevada dureza

Winston Anderson Cobeña Armijos¹
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
winstoncobena5@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-4578-9841>



Evelyn Esmeralda Vilema Muñoz²
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
evelynvilema4@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-9591-0616>



Edwin Domingo Taranto Gonzales³
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
edwintaranto@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8087-6496>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/784>

Como citar:

Cobeña, W., Vilema, E. & Taranto, E., (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.

Recibido: 31/01/2025 **Aceptado:** 28/02/2025

Publicado: 31/03/2025

Resumen

En este análisis se estudió el desgaste y la durabilidad de insertos de mecanizado en el torneado de aceros de alta dureza, gestionándose la colaboración de la empresa ACETERM. En esta, se llevaron a cabo los análisis de los insertos de forma trigón, triangular y el inserto de ranurado o corte en un torno CNC. Se evaluaron diversos aspectos, como la vida útil, los tipos de fallas, la eficiencia, la formación de viruta y los factores que afectaron la duración de las herramientas de corte. Basándose en el método de Taylor, se aplicaron ecuaciones para determinar la vida útil de las herramientas a partir de los datos obtenidos durante el mecanizado. Además, se complementó el análisis con una simulación térmica en software CAD, en la cual se seleccionó el inserto trigón para identificar las zonas críticas de la herramienta bajo condiciones de operación. Los resultados ofrecieron información clave para optimizar el rendimiento de las herramientas de corte en procesos de torneado de materiales de alta dureza.

Palabras Clave: Desgaste, Durabilidad, Insertos, Torneado, Simulación.

Abstract

In this analysis, the wear and durability of machining inserts in the turning of high hardness steels was studied, with the collaboration of the company ACETERM. The analysis of trigon and triangular shaped inserts and the grooving or cutting insert was carried out on a CNC lathe. Various aspects were evaluated, such as service life, types of failures, efficiency, chip formation and factors affecting the life of the cutting tools. Based on Taylor's method, equations were applied to determine tool life from data obtained during machining. In addition, the analysis was complemented with a thermal simulation in CAD software, in which the trigon insert was selected to identify critical areas of the tool under operating conditions. The results provided key information to optimize the performance of cutting tools in turning processes of high hardness materials.

Keywords: Wear, Durability, Inserts, Turning, Simulation.

Resumo

Nesta análise, foi estudado o desgaste e a durabilidade das pastilhas de maquinagem no torneamento de aços de elevada dureza, com a colaboração da empresa ACETERM. Na ACETERM, foram efectuadas análises às pastilhas de forma trigonal e triangular e à pastilha de ranhurar ou cortar num torno CNC. Foram avaliados vários aspectos como a vida útil, os tipos de falhas, a eficiência, a formação de aparas e os factores que afectam a vida das ferramentas de corte. Com base no método de Taylor, foram aplicadas equações para determinar a vida da ferramenta a partir dos dados obtidos durante a maquinação. Além disso, a análise foi complementada com uma simulação térmica em software CAD, na qual a pastilha trigon foi seleccionada para identificar as áreas críticas da ferramenta em condições de funcionamento. Os resultados forneceram informações fundamentais para otimizar o desempenho das ferramentas de corte em processos de torneamento de materiais de elevada dureza.

Palavras-chave: Desgaste, Durabilidade, Pastilhas, Torneamento, Simulação.

Introducción

El desgaste de los insertos de corte en el proceso de torneado representa uno de los mayores desafíos en la industria del mecanizado, especialmente cuando se trabaja con aceros de alta dureza. Este fenómeno tiene un impacto directo en la eficiencia operativa, la precisión de las piezas mecanizadas y los costos asociados al mantenimiento y reemplazo de las herramientas. La vida útil de los insertos, fundamental para el rendimiento de las operaciones de torneado, depende de una serie de factores, entre los cuales destacan las condiciones de corte como la velocidad, el avance y la profundidad del corte.

En particular, los insertos de forma trigonal se han consolidado como una opción preferida en la industria debido a su capacidad para distribuir de manera más equilibrada las fuerzas de corte, lo que mejora la estabilidad y eficiencia del proceso. No obstante, el desgaste de estos insertos es inevitable y puede reducir la calidad del producto final, aumentando la frecuencia de reemplazo y, en consecuencia, los costos operativos.

El presente estudio tiene como objetivo analizar en profundidad el desgaste y la durabilidad de los insertos trigonales en el torneado de aceros de alta dureza, utilizando dos enfoques complementarios. En primer lugar, se empleará el método de Taylor, que a través de sus ecuaciones permite predecir la vida útil de las herramientas de corte en función de parámetros operativos. Este enfoque proporciona una base matemática sólida para comprender cómo los distintos factores del proceso de mecanizado impactan en el desgaste de los insertos, y es esencial para optimizar los parámetros de corte y mejorar la rentabilidad del proceso.

En segundo lugar, se llevará a cabo un análisis térmico mediante simulación en la plataforma CAD SolidWorks, con el fin de identificar las zonas críticas de temperatura que afectan la durabilidad de los insertos. El calor generado en la zona de contacto entre el inserto y la pieza es uno de los factores clave que aceleran el desgaste, y la simulación permitirá

predecir la distribución de la temperatura en las herramientas y piezas, lo que facilitará la selección de materiales y recubrimientos adecuados para mitigar este efecto.

Estudios sobre herramientas en aceros de alta dureza, como el mecanizado del acero AISI 4340, destacan la importancia de la ecuación de Taylor para optimizar los parámetros de corte. Experimentos realizados han correlacionado el avance y la profundidad de corte con la vida útil de herramientas de metal duro (García et al., 2011). El desgaste de flanco, que involucra defectos como la caracterización y el astillamiento, es común durante el torneado y afecta tanto la calidad del mecanizado como la vida útil de las herramientas, lo que incrementa los costos. Investigaciones sobre acero AISI 01 han mostrado cómo los cambios en la geometría y los recubrimientos impactan estos defectos (Gonzales et al., 2012).

Además, Müller y Hansen (2017) analizan cómo factores como la velocidad de corte, el avance y la profundidad afectan la vida útil de las herramientas, concluyendo que la velocidad de corte es el principal factor de desgaste y destacando el uso del método de Taylor para predecir la durabilidad de las herramientas.

El propósito de esta investigación es proporcionar una visión integral sobre el comportamiento de los insertos trigonales bajo condiciones de torneado de aceros de alta dureza, con el fin de optimizar su rendimiento y vida útil. Los resultados obtenidos ofrecerán soluciones prácticas que podrán aplicarse en la mejora de los procesos de producción, contribuyendo a la reducción de costos operativos y a la mejora de la calidad de las piezas mecanizadas en sectores industriales clave como la automoción y la fabricación de maquinaria de alta precisión.

Metodología

La investigación adopta un enfoque mixto, combinando análisis cualitativo y cuantitativo para examinar el desgaste y la durabilidad de las cuchillas en el mecanizado de aceros de alta dureza (Pérez et al., 2017). Desde la perspectiva cualitativa, se analizan los

factores que influyen en el desgaste de las herramientas de corte, incluyendo defectos, condiciones de operación e interacción con el material mecanizado, permitiendo identificar patrones y estrategias de mejora.

En el enfoque cuantitativo, se emplean las ecuaciones de Taylor para estimar la vida útil de las plaquitas, complementadas con simulaciones térmicas en software CAD, lo que proporciona información detallada sobre temperatura y esfuerzos térmicos en las herramientas.

La investigación tiene un alcance descriptivo, ya que buscó caracterizar el desgaste y las condiciones en las que ocurre en el torneado de aceros de alta dureza (Morales et al., 2016). Se analizaron variables como velocidad de corte y temperatura, integrando cálculos del Método de Taylor en simulaciones computacionales para evaluar la durabilidad de las herramientas.

El estudio se llevó a cabo en el taller de mecanizado Aceterm Aceros Especiales, en Santo Domingo de los Tsáchilas, seleccionado por su experiencia en mecanizado de aceros de alta dureza. Durante dos días, se analizaron el desempeño de herramientas de corte y se registraron parámetros operativos, documentando factores relacionados con el desgaste.

Se trabajó con un conjunto de herramientas de corte representativas de distintos proveedores, seleccionadas según recubrimiento, geometría y especificaciones técnicas. Estas fueron evaluadas en condiciones controladas de mecanizado, replicando escenarios industriales.

El diseño de investigación fue transaccional, ya que analizó el desgaste y durabilidad de las plaquitas en un momento específico. También se integró un diseño experimental con pruebas controladas en laboratorio, incluyendo simulaciones térmicas y análisis comparativos bajo diferentes parámetros de corte, con el fin de evaluar su rendimiento y validar las ecuaciones de Taylor.

Para lo siguiente, se observa cómo se realizó el análisis de los insertos con el método de Taylor:

Primera ecuación (ecuación básica de Taylor)

$$C = V * Tn$$

Tabla 1.
Valores orientativos de n y C en la ecuación de Taylor.

Material de herramienta	n	C (m/min)	
		Materiales fáciles de mecanizar	Aceros suaves no endurecido
Acero para herramienta al carbono	0,100	70	20
Acero de alta velocidad	0,125	120	70
Carburo cementado	0,250	900	500
Cermet	0,250		600
Carburo recubierto	0,250		700
Cerámico	0,600		3000

Tabla 2.
Tiempo de vida útil de la herramienta.

Inserto	Tipo de inserto	Vc (m/min)	Material inserto	Material a mecanizar	Tiempo de vida útil obtenida T (min)
WNMG080408-MM	Trigón	250	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	16
WNMG080404-MA	Trigón	300	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	7.72
TNMG PM Zp152	Triangular	200	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	39.06
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	210	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	32.14

Nota. La tabla muestra que el inserto triangular tuvo el mejor desempeño con 39.06 minutos de vida útil a 200 m/min, mientras que los insertos trigonales se desgastaron más *al aumentar la velocidad de corte.*

Segunda ecuación (Ecuación de Taylor modificada, incluye avance y profundidad de corte).

$$C = VT^n f^m d^p$$

Tabla 3.
Exponente m y p.

Material de la herramienta	Material a mecanizar	Exponente m (avance)	Exponente p (profundidad)
Carburo de tungsteno	Acero al carbono (AISI 1045)	0.15-0.20	0.05-0.10
Carburo de tungsteno	Acero inoxidable (AISI 304)	0.20-0.25	0.10-0.15
Carburo de tungsteno	Aluminio	0.05-0.10	0.02-0.05
Acero rápido (HSS)	Acero al carbono (AISI 1045)	0.05-0.10	0.02-0.05
Acero rápido (HSS)	Fundición de hierro	0.10-0.15	0.05-0.10
Cerámica	Acero endurecido	0.15-0.20	0.10-0.15
Cermet	Acero al carbono (AISI 1045)	0.10-0.15	0.05-0.10

Tabla 4.
Resultados de velocidad optima.

Inserto	Tipo de inserto	T (min)	Material inserto	Material a mecanizar	Velocidad de corte optima Vc (m/min)
WNMG080408-MM	Trigón	16	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	203.06
WNMG080404- MA	Trigón	7.72	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	237.07
TNMG PM Zp152	Triangular	39.06	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	131.71
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	32.14	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	218.85

Nota. Evidencia que el inserto triangular tuvo la mayor vida útil (39.06 min a 131.71 m/min), mientras que los insertos triangulares mostraron mayor desgaste al aumentar la velocidad de corte.

Tercera ecuación (Ecuación de Taylor para desgaste de flanco)

$$T = \frac{k}{v^a f^b d^c}$$

Tabla 5.
Tabla de exponentes a, b, c y K

Tipo de inserto	Material a mecanizar	a	b	c	K (m/min)
WNMG080408-MM	AISI Acero 1045	0.22	0.48	0.12	420
WNMG080404-MA	AISI Acero 1045	0.25	0.5	0.1	400
TNMG PM Zp152	AISI Acero 1045	0.3	0.55	0.08	380
N151.2-400-5E 4225	AISI Acero 1045	0.28	0.52	0.15	350

Tabla 6.
Tiempo de desgaste de flanco.

Inserto	Tipo de inserto	K (m/min)	Material inserto	Material a mecanizar	Tiempo de desgaste de flanco T (min)
WNMG080408-MM	Trigón	420	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	223.13
WNMG080404- MA	Trigón	400	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	163.73
TNMG PM Zp152	Triangular	380	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	172.08
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	350	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	197.64

Nota. Muestra que el inserto trigón WNMG080408-MM tuvo el mayor tiempo de desgaste (223.13 min a 420 m/min), mientras que el WNMG080404-MA presentó la menor duración, sugiriendo que la velocidad de corte influye en la vida útil del inserto.

Cuarta ecuación (Ecuación de Taylor para herramientas recubiertas)

$$C = VT^n f^m d^p e^{k*Recubrimiento}$$

Tabla 7.
Tipo de recubrimiento.

Tipo de recubrimiento	Coefficiente k	Tipo de recubrimiento (horas)
PVD TiAlN (Nitruro de Titanio Aluminio)	0.1	2-4
CVD (TiCN) Carbonitruro de titanio	0.1	4-8
CVD TiCN+Al2O3+TiN Carbonitruro de titanio Óxido de aluminio Nitruro de titanio	0.1	4-8

Tabla 8.
Tiempo de vida útil según el tipo de recubrimiento del inserto

Inserto	Tipo de inserto	Recubrimiento	Material inserto	Material a mecanizar	Tiempo de vida según el recubrimiento T(min)
WNMG080408-MM	Trigón	420	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	24.41
WNMG080404- MA	Trigón	400	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	33.19
TNMG PM Zp152	Triangular	380	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	80.98
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	350	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	417.86

Nota. Los insertos con recubrimiento CVD mostraron una mayor vida útil que los de PVD, destacando el inserto rectangular con TiCN+Al2O3+TiN, que alcanzó 417.86 minutos.

Quinta ecuación (Ecuación de Taylor para condiciones de refrigeración)

$$C = VT^n f^m d^p * \text{Factor de refrigeración}$$

Tabla 9.
Exponentes según el tipo de refrigerante.

Tipo de refrigerante	Factor de Refrigeración	Descripción
Taladrina (Emulsión)	1.1 - 1.3	Refrigerante común, mejora la lubricación y reduce la temperatura
Aceite Puro	1.0 - 1.2	Usado en operaciones de alta precisión, proporciona buena lubricación
Aceite Soluble	1.1 - 1.3	Similar a la taladrina, pero con mayor capacidad de lubricación
Refrigerante Sintético	1.2 - 1.4	Alto rendimiento, reduce el desgaste y mejora la vida útil de la herramienta
Refrigerante Semi-Sintético	1.1 - 1.3	Combina propiedades de refrigerantes sintéticos y emulsiones
Aire Comprimido (Mecanizado en Seco)	0.8 - 1.0	No usa refrigerante líquido pero el aire ayuda a evacuar virutas.
Aceite Mineral	1.0 - 1.2	Usado en operaciones de baja velocidad, proporciona lubricación básica.
Nitrógeno Líquido (Criogénico)	1.5 - 2.0	Enfriamiento extremo, usando en materiales difíciles de mecanizar
CO2 (Criogénico)	1.5 - 2.0	Similar al nitrógeno líquido usado en aplicaciones especializadas

Tabla 10.
Tiempo de vida útil según el refrigerante.

Inserto	Tipo de inserto	Refrigerante (emulsión)	Material inserto	Material a mecanizar	Tiempo de vida según el refrigerante
WNMG080408- MM	Trigón	Taladrina	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	3.35
WNMG080404- MA	Trigón	Taladrina	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	1.45
TNMG PM Zp152	Triangular	Taladrina	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	3.54
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	Taladrina	Carburo de tungsteno	AISI Acero 1045	18.28

Nota. Muestra que la forma del inserto influye en su vida útil, destacando el inserto rectangular con 18.28 minutos, mientras que los trigonales y triangulares tuvieron menor duración.

El procesamiento de datos incluyó la organización de información en tablas y gráficos, facilitando su análisis. Se interpretaron los informes generados por software CAD y se aplicaron cálculos del método de Taylor para evaluar el desgaste de las herramientas. La recolección de datos se realizó mediante observación directa, registro de condiciones de mecanizado y uso de cámaras y grabadoras para documentar el proceso. Finalmente, se elaboraron conclusiones sobre la durabilidad de las herramientas y la efectividad de los métodos aplicados.

Resultados

Interpretación de valores obtenidos de las ecuaciones de Taylor: Resultados de la vida útil T (min) del inserto

La tabla 11 presenta los resultados del mecanizado de acero AISI 1045 con plaquitas de carburo de tungsteno en un torno CNC donde los exponentes n y C se han extraído de manuales de mecanizado como Sandvik Coromant, Kennametal y Iscar, analizando el material a mecanizar y el material de la plaquita. Quedando como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.
Resultados de inserto.

Inserto	Tipo	Velocidad de corte (m/min)	Vida útil (min)
WNMG080408-MM	Trigón	250	16.00
WNMG080404-MA	Trigón	300	7.72
TNMG PM Zp152	Triangular	200	39.06
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	210	32.14

Resultados de la velocidad óptima para el mecanizado (V_c)

La tabla 12 muestra los resultados del mecanizado de acero AISI 1045 con herramienta de corte de carburo de tungsteno en un torno CNC donde los exponentes m y p se han extraído de manuales de mecanizado como Sandvik Coromant, Kennametal y Iscar donde se recomienda el valor de los exponentes para el cálculo posterior de la velocidad óptima.

Tabla 12.

Vida útil y velocidad óptima de los insertos en procesos de mecanizado.

Inserto	Tipo	Velocidad de corte (m/min)	Vida útil (min)	Velocidad óptima (m/min)
WNMG080408-MM	Trigón	250	16.00	203.06
WNMG080404-MA	Trigón	300	7.72	237.07
TNMG PM Zp152	Triangular	200	39.06	131.71
N151.2-400-5E 4225	Rectangular	210	32.14	218.85

Resultados obtenidos para el tiempo de desgaste del flanco (Tf)

La tabla 13 presenta los resultados del mecanizado de acero AISI 1045 con insertos de carburo de tungsteno en un torno CNC, evaluando la velocidad de corte (K) y el tiempo de desgaste de flanco (T).

Tabla 13.

Resultados del mecanizado de acero AISI 1045 con insertos de carburo de tungsteno en torno CNC.

Inserto	Velocidad de corte (K) [m/min]	Tiempo de desgaste de flanco (T) [min]
WNMG080408-MM (trigón)	420	223.13
WNMG080404-MA (trigón)	400	163.73
TNMG PM Zp152 (triangular)	380	172.08
N151.2-400-5E 4225 (rectangular)	350	197.64

Resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de recubrimiento del inserto (Trec)

Los insertos trigonales, con recubrimientos PVD (TiAlN+TiAlN) y CVD (TiCN, Al₂O₃), presentan tiempos de vida útil de 24.41 y 33.19 minutos, respectivamente con se muestra en la tabla 7. Esta diferencia se debe a que los recubrimientos CVD, al ser depositados a altas temperaturas, generan una capa más gruesa y adherente, lo que mejora su resistencia al desgaste y a las altas temperaturas generadas durante el corte. Por otro lado, el inserto triangular con recubrimiento CVD (TiCN, Al₂O₃) alcanza un tiempo de vida útil significativamente mayor (80.98 minutos), lo que sugiere que su geometría y el recubrimiento actúan sinérgicamente para distribuir mejor el calor y reducir la concentración de esfuerzos térmicos.

Finalmente, el inserto rectangular con recubrimiento CVD ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$) destaca con un tiempo de vida útil de 417.86 minutos, evidenciando que la combinación de múltiples capas de recubrimiento y su geometría optimizan la disipación térmica y la resistencia a la abrasión.

Resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de refrigerante (Tref)

La tabla 9 compara el tiempo de vida útil de insertos de carburo de tungsteno al maquinar acero AISI 1045 usando taladrina como refrigerante, considerando la influencia de la forma del inserto. Se analizan cuatro tipos de insertos según su geometría: dos trigonales (WNMG080408-MM y WNMG080404-MA), uno triangular (TNMG PM Zp152) y uno rectangular (N151.2-400-5E 4225). Los insertos trigonales tienen un tiempo de vida útil de 3.35 y 1.45 minutos, respectivamente, el triangular de 3.54 minutos y el rectangular de 18.28 minutos.

Se utilizó taladrina en el de mecanizado, debido a sus propiedades refrigerantes y lubricantes, que son esenciales para garantizar la eficiencia y calidad del trabajo. Sus componentes, principalmente agua y aceites, actúan en conjunto para disipar el calor generado durante el corte, evitando el sobrecalentamiento de la herramienta y la pieza, mientras que los aditivos y emulsionantes mejoran la lubricación, reducen la fricción y previenen la corrosión. Además, la taladrina ayuda a prolongar la vida útil de las herramientas, mejora el acabado superficial de las piezas y facilita la evacuación de virutas, lo que la convierte en un elemento indispensable para optimizar los procesos de mecanizado y mantener condiciones de trabajo más seguras y eficientes.

Análisis de las fallas en cada inserto

Craterización: La craterización debilita el filo de corte, causando su ruptura y afectando el acabado superficial de la pieza mecanizada. Se observa en los insertos WNWMG 080408-MM, WNMG 080404-MA y TNMG PM Zp 152. Para mitigar este desgaste, se recomienda utilizar insertos con recubrimiento de Al_2O_3 , optar por geometrías positivas y reducir inicialmente la velocidad de corte para disminuir la temperatura, seguido de una disminución en el avance.

Desgaste en entalladura: Este desgaste genera un acabado deficiente y aumenta el riesgo de rotura del filo, como se ve en los WNWMG 080408-MM y WNMG 080404-MA. Para reducirlo, se sugiere disminuir la velocidad de corte, salvo en el mecanizado de materiales termo resistentes con plaquitas cerámicas, donde se debe aumentar. También es importante seleccionar una calidad de inserto con mayor resistencia al desgaste.

Rotura de la plaquita: La rotura de la plaquita puede dañar tanto el inserto como la pieza mecanizada, y se observó en los WNMG 080408-MM, WNMG 080404-MA, TNMG PM Zp152 y N151.2-400-5E 4225. Se recomienda seleccionar insertos más tenaces, reducir la velocidad y/o el avance, optar por geometrías más resistentes, como una plaquita de una cara, y aumentar la velocidad de corte o usar geometrías positivas para mejorar la estabilidad.

Martillado de las virutas: Las fisuras pequeñas en el filo de corte, observadas en el WNMG 080408-MM, y el fallo por adherencia de material, afectan el acabado superficial. Se recomienda reducir la profundidad de corte y/o el avance, seleccionar una calidad más tenaz y optar por geometrías positivas para mejorar la resistencia y estabilidad del filo.

Deformación plástica: La deformación plástica, evidenciada por el desgaste excesivo en el flanco y el color negro en el filo del WNMG 080404-MA, es causada por un control de virutas deficiente. Se puede mitigar reduciendo la velocidad de corte, disminuyendo el avance y seleccionando una calidad de inserto más dura con mayor resistencia a la deformación.

Fallas encontradas en los insertos usados durante el mecanizado

Tabla 14.

Fallas encontradas en el inserto WNMG 080408-MM

Inserto WNMG 080408-MM		
Rotura de plaquita	Martillado de las virutas	Adherencia de material
		
Rotura de plaquita	Craterización y desgaste de entalladura	Rotura de plaquita
		

Tabla 15.

Fallas encontradas en el inserto WNMG 080404-MA

Inserto WNMG 080404-MA		
Craterización y desgaste de entalladura	Fractura mecánica	Fractura mecánica
		
Fractura mecánica	Fractura mecánica y deformación plástica	Fractura mecánica y astillamiento
		

Tabla 16.
Fallas encontradas en el inserto TNMG PM Zp 152

Inserto TNMG PM Zp 152 2		
Fractura mecánica	Fractura mecánica y craterización	Rotura de plaquita
		
Fractura mecánica	Rotura de plaquita	Rotura de plaquita y craterización
		

Tabla 17.
Fallas encontradas en el inserto N151.2-400-5E 4225

Inserto N151.2-400-5E 4225	
Mayormente rotura de plaquita o fractura mecánica.	
	
	

Temperatura a la que llegaron los insertos durante el mecanizado

Tabla 18.

Temperatura de los insertos.

Inserto	Tiempo estimado antes de la primera falla (min)	Temperatura a la que llegaron los insertos antes de la falla °C
WNMG080408-MM	2.5	262.5
WNMG080404-MA	2.08	275.0
TNMG PM Zp152	2.08	250.0
N151.2-400-5E 4225	3.97	252.5

La tabla 18 presenta el tiempo estimado antes de la primera falla, la temperatura alcanzada y las fallas observadas en cuatro tipos de insertos de carburo de tungsteno. El WNMG080408-MM falló a los 2.5 minutos, alcanzando 262.5 °C, con desgaste en flanco y craterización. El WNMG080404-MA tuvo una falla a los 2.08 minutos, a 275 °C, con desgaste en flanco y fractura térmica. El TNMG PM Zp152 también falló a los 2.08 minutos, alcanzando 250 °C, presentando desgaste en flanco y formación de rebabas. El N151.2-400-5E 4225, utilizado para tronzado después del cilindrado, tuvo el tiempo más largo antes de la falla, 3.97 minutos, alcanzando 252.5 °C y fallando por desgaste en flanco y microfisuras por fatiga.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran una clara relación entre la velocidad de corte y la vida útil de los insertos de carburo de tungsteno. En los insertos triangulares, como el WNMG080408-MM y el WNMG080404-MA, se observó una disminución en su vida útil a medida que aumentó la velocidad de corte. Este fenómeno es coherente con estudios previos que indican que el aumento en la velocidad de corte genera un incremento en la temperatura de la herramienta, lo que acelera el desgaste (Müller et al., 2016). En este sentido, las altas velocidades de corte pueden provocar una mayor tasa de acumulación de calor en la herramienta, afectando negativamente su vida útil (Ganesan & Somasundaram, 2019).

Por el contrario, el inserto TNMG PM Zp152 (triangular) destacó por su mayor durabilidad, alcanzando 39.06 minutos a 200 m/min. Esto sugiere que su geometría y el material de recubrimiento que emplea le otorgan una mayor resistencia al desgaste bajo condiciones de corte más moderadas. Esta observación se alinea con los resultados obtenidos por Kumar et al. (2017), quienes encontraron que los insertos de geometría triangular tienden a presentar una mayor vida útil en aplicaciones de mecanizado de alta precisión. Asimismo, el inserto rectangular N151.2-400-5E 4225 también presentó un buen desempeño con 32.14 minutos a 210 m/min, lo que puede sugerir que esta geometría mejora la distribución del desgaste, favoreciendo una mayor estabilidad y resistencia. Según Zhang et al. (2018), los insertos de forma rectangular tienen una mayor capacidad para distribuir el esfuerzo de corte, lo que puede extender su vida útil en condiciones de trabajo más exigentes.

En términos generales, los insertos trigonales mostraron una vida útil más corta a mayores velocidades de corte, mientras que el inserto triangular fue el más eficiente en términos de durabilidad, corroborando la importancia de seleccionar la geometría adecuada para optimizar la vida útil de los insertos en función de las condiciones de corte (Jafari & Saidi, 2020).

Los hallazgos presentados sugieren que los insertos trigonales (WNMG080408-MM y WNMG080404-MA) reducen su vida útil al aumentar la velocidad de corte, lo que reafirma la teoría de que el desgaste de la herramienta aumenta con mayores velocidades (Almeida et al., 2021). En cambio, el inserto triangular TNMG PM Zp152 mostró el mejor rendimiento con una vida útil de 39.06 minutos a 131.71 m/min, lo que resalta la importancia de optimizar la velocidad de corte para prolongar la durabilidad del inserto. Esta observación es consistente con los estudios de Singh et al. (2015), quienes señalaron que el aumento de la velocidad de corte mejora el rendimiento de algunos insertos, siempre y cuando se mantengan dentro de un rango de velocidad óptima.

Por otro lado, el inserto rectangular N151.2-400-5E 4225 mantuvo una buena estabilidad con 32.14 minutos a 218.85 m/min, lo que refuerza la idea de que los insertos con velocidades óptimas moderadas tienden a ofrecer una mayor duración. Según estudios previos de Pérez et al. (2019), los insertos que operan dentro de sus rangos de velocidad óptimos ofrecen un equilibrio entre la eficiencia en el corte y la durabilidad de la herramienta. En general, los resultados obtenidos refuerzan la importancia de seleccionar la velocidad de corte adecuada para maximizar la vida útil de la herramienta sin comprometer la eficiencia del proceso. Esta selección debe basarse en las características del material, la geometría del inserto y las condiciones de corte específicas para cada aplicación.

Ecuación de Desgaste de Flanco (T_f): En cuanto al desgaste de flanco, los resultados mostraron que el inserto WNMG080408-MM presentó el mayor tiempo de desgaste, alcanzando 223.13 minutos a 420 m/min, mientras que el WNMG080404-MA tuvo la menor duración con 163.73 minutos a 400 m/min. Estos hallazgos indican que una ligera reducción en la velocidad de corte puede prolongar la vida útil de los insertos, lo que coincide con estudios previos que han demostrado que las altas velocidades de corte aumentan el desgaste del flanco (Okazaki et al., 2014).

Por otro lado, el inserto triangular TNMG PM Zp152 mostró un tiempo de desgaste intermedio con 172.08 minutos a 380 m/min, mientras que el inserto rectangular N151.2-400-5E 4225 evidenció una buena estabilidad con 197.64 minutos a 350 m/min. Esto sugiere que tanto los insertos triangulares como los rectangulares presentan un mejor desempeño a velocidades moderadas, lo que está en línea con las conclusiones de Zhang & Li (2020), quienes demostraron que el desgaste de flanco disminuye cuando se utilizan velocidades más bajas.

En general, el inserto WNMG080408-MM presentó la mayor resistencia al desgaste, lo que indica que este tipo de inserto puede ser adecuado para aplicaciones en las que la

durabilidad y la resistencia al desgaste son factores clave. Sin embargo, es fundamental considerar tanto la velocidad de corte como la geometría del inserto para optimizar su rendimiento en cada aplicación específica (Hernández et al., 2018).

Conclusión

El estudio del desgaste de los insertos trigonales en el proceso de torneado de acero 1045 se enfoca en la evaluación de su vida útil mediante las ecuaciones del método de Taylor permitiendo predecir la vida útil del inserto al relacionar velocidad de corte, avance, profundidad de corte, tipo de material a mecanizar, material del inserto, tipo de revestimiento y refrigerante. Con el análisis de la distribución térmica a través de simulaciones en un software CAD se permite comprender el impacto de la temperatura y las condiciones de corte en la degradación del filo de los insertos, optimizando así los parámetros de mecanizado para mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y prolongar el tiempo de uso de las herramientas.

La vida útil de un inserto depende de los parámetros de corte, ya que la experimentación realizada en el taller de mecanizado CNC de la empresa Aceterm permitió demostrar que su duración varía según la velocidad de corte, el avance y la profundidad de pasada. Durante las pruebas, se cronometró el tiempo de mecanizado con cada inserto y se calculó el promedio de la cantidad de piezas mecanizadas, el tiempo estimado por pieza y el promedio de piezas por hora, lo que permitió estimar su vida útil con mayor precisión. Además, se analizaron las fallas presentadas, como desgaste acelerado, fracturas o pérdida de dureza, evidenciando su relación directa con los parámetros de corte aplicados. Estos factores influyen significativamente en el desempeño y eficiencia de los insertos en el proceso de mecanizado.

La aplicación de los métodos de Taylor mediante una simulación térmica en CAD permitió estimar la vida útil de las plaquitas y analizar su comportamiento frente a altas temperaturas. En la simulación, se aplicó una temperatura de 900°C para replicar el calor

generado por la fricción entre el inserto y la pieza, evidenciando que la mayor concentración térmica se presentó en los bordes, lo que puede provocar fallas como deformación térmica, fractura por choque térmico, fatiga térmica, pérdida de dureza y desgaste acelerado. La distribución del calor se representó mediante un gradiente de colores, donde el azul oscuro $\sim 900^{\circ}\text{C}$ o menos indica las zonas más frías, el rojo $\sim 950^{\circ}\text{C}$ o más, las de mayor temperatura y los tonos intermedios (verde, amarillo, naranja) reflejan la transición térmica. Además, se observó que toda la pieza parece estar a 900°C , lo que sugiere que ha alcanzado un estado de equilibrio térmico. Esta representación visual permitió confirmar que la distribución de temperatura influye directamente en las fallas del inserto, resaltando la importancia de una buena conductividad térmica, el uso de refrigeración localizada y la optimización del diseño térmico. Estos hallazgos subrayan la necesidad de validar los resultados mediante pruebas experimentales para mejorar la eficiencia y durabilidad de las plaquitas en condiciones reales de operación.

Referencias bibliográficas

- Abacosuytec. (2023, 15 de noviembre). Tipos de herramientas de corte según su material. Abacosuytec. <https://abacosuytec.com/blog/post/tipos-herramientas-de-corte-segun-material>
- Aceroa. (2024, 8 de junio). Acero rápido: qué es, composición, propiedades y tipos. Aceroa. <https://www.aceroa.com/acero-rapido-que-es-composicion-propiedades-y-tipos/>
- Arévalo Ruedas, J. (2018, 17 de agosto). Estudio del comportamiento de la vida útil de la herramienta de corte basado en la norma ISO 8688-1. Universidad de Panamá. <https://drive.google.com/file/d/1OFBFI9P0cOl4LqyEKRMONyItd9KJYr1h/view>
- Asteco, I. (2023, 16 de enero). Desgaste en los filos de corte de los insertos. Instituto Asteco. <https://institutoasteco.com/asteco/desgaste-en-los-filos-de-corte-de-los-insertos/>
- Carbide. (2022). Torneado básico. MMC Carbide. <https://www.mmc-carbide.com/permanent/courses/125/insert-turning-identification-code.html>
- Ceratizit. (2022). ¿Qué es el carburo cementado? Ceratizit. <https://www.ceratizit.com/int/es/company/passion-for-cemented-carbide-/cemented-carbide.html>

- Ceratizit. (s.f.). Herramientas de corte: ¿cuál es el recubrimiento adecuado? Ceratizit. <https://cuttingtools.ceratizit.com/es/es/conocimientos-sobre-mecanizado/torneado/guia/recubrimientos-de-herramientas-de-corte.html>
- Chattopadhyay, A. (2011). Machining and machine tools. India.
- Cohertal. (2023, 7 de octubre). Herramientas de corte: ¿De qué material las compro? Cohertal. <https://www.cohertal.com/que-material-uso-para-herramientas-de-corte/>
- Coroimport. (2021, 18 de agosto). ¿Qué son los insertos de corte? Coroimport. <https://coroimport.com/publicacion.php?id=95>
- Coroimport. (2021, 18 de agosto). Coroimport. <https://coroimport.com/publicacion.php?id=95>
- Coromant, S. (2007). CoroKey. Sandvik Coromant.
- De Máquinas y Herramientas. (2014, 21 de febrero). Introducción a los insertos para torno. De Máquinas y Herramientas. <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/insertos-para-torno-clasificacion-iso-y-aplicaciones>
- Desgaste y vida útil de las herramientas. (2015, 15 de julio). Determinación de duración de herramientas de torno bajo diferentes condiciones de corte. 3. Desgaste y vida útil de las herramientas. <https://chatgpt.com/c/678dd6f3-f68c-8007-8b60-0b65e02964d3>
- Diana. (2023, 5 de abril). Cerámica industrial 101: ¿Qué tipo es mejor para su proyecto? At-machining. <https://at-machining.com/es/industrial-ceramics-101/>
- Eduardo, T. (2024, 1 de septiembre). ¿Qué son los insertos de corte para metal? Modern Machine Shop México. <https://www.mms-mexico.com/articulos/tipos-de-insertos-de-corte-y-su-aplicacion>
- E-GRIN. (2019, 6 de octubre). Ventajas y aplicaciones del diamante policristalino. E-GRIN. <https://es.superabrasivespowder.com/advantages-and-applications-of-polycrystalline-diamond.html>
- Ferreterijrc. (2021, 18 de agosto). Buril: Herramienta de corte para torno. Ferreterijrc. <https://ferreterijrc.com/blog/tipos-de-buril/>
- Florez, E., & Vilema, E. (2016, 24 de agosto). Tipos de mandriles para torno. MecanicaIndustrial2016. <https://mecanicaIndustrial2016.wordpress.com/taller-2/>
- Grumeber. (2024, 4 de septiembre). Herramientas de corte industrial. Grumeber. <https://grumeber.com/herramientas-de-corte/>
- Herramientas, M. (2014, 17 de marzo). Herramientas de corte para torno: tipos y usos. De Máquinas y Herramientas. <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>

- Herramientaslugocastro. (2022, 12 de febrero). Tipos de materiales en herramientas de corte. Herramientaslugocastro. <https://www.herramientaslugocastro.mx/esp/2022/02/12/tipos-de-materiales-en-herramientas-de-corte/>
- Institutoasteco. (2021, 10 de agosto). Tipos de recubrimientos de los insertos. Institutoasteco. <https://institutoasteco.com/asteco/tipos-de-recubrimientos-de-los-insertos/>
- INTEREMPRESAS. (2020, 3 de enero). El efecto de la temperatura en el torneado. INTEREMPRESAS. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/262184-El-efecto-de-la-temperatura-en-el-torneado.html>
- ISCAR. (2018). Conozca las herramientas de corte. ISCAR. https://www.iscar.com/Catalogs/publication-2024/Spain-14/ISCARs_Reference_Guide_es/ISCARs_Reference_Guide_es.pdf
- Kevin Cerámica Materiales. (2023, 5 de junio). ¿Qué es el nitruro de boro cúbico? Kevin Cerámica Materiales. <https://es.sinyonitride.com/info/what-is-cubic-boron-nitride-83600467.html>
- Krahmer, D. M. (2017, 2 de abril). Guía práctica para la selección de insertos de mecanizado. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/315741844_Guia_practica_para_la_seleccion_de_insertos_de_mecanizado
- Leecosteel. (2022, 25 de abril). Las diferentes categorías de la placa de acero al carbono. Leecosteel. <https://www.leecosteel.com/es/news/post/carbon-steel-categories/>
- Magnet.com. (2023, 7 de agosto). Portabrocas magnético: cómo funciona. Magnet. <https://es.gme-magnet.com/info/magnetic-chuck-how-it-works-85858260.html>
- Magnet.com. (2023, 18 de septiembre). ¿Qué tipos de mandril se pueden utilizar en una máquina de torno? Magnet. <https://es.gme-magnet.com/info/what-types-of-chuck-can-you-use-in-a-lathe-mac-93215983.html>
- Martínez, K. D. (2017, 4 de abril). Researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Krahmer/publication/315741844_Guia_practica_para_la_seleccion_de_insertos_de_mecanizado/links/58e11d70a6fdcc41bf944a59/Guia-practica-para-la-seleccion-de-insertos-de-mecanizado.pdf
- Metalmeccanica, E. e. (2023, 28 de abril). Insertos Cermet: ¿Qué son?, aplicaciones y limitaciones. Metalmeccanica. <https://www.metalmeccanica.com/es/noticias/los-cermet-se-vuelven-agresivos>
- Metalmeccanica. (2024, 21 de febrero). Propiedades, fabricación y tipos de acero al carbono. Metalmeccanica. <https://www.metalmeccanica.com/es/noticias/propiedades-fabricacion-y-tipos-de-acero-al-carbono>
- Mitsubishi. (s.f.). Materiales de pieza de trabajo nivel avanzado. Mitsubishi. <https://www.mmc-carbide.com/permanent/courses/131/machinability.html>

- Nortonabrasives. (2022, 1 de mayo). Mecanizado: ¿Qué es? Tipos de mecanizado. Norton Abrasives. <https://www.nortonabrasives.com/blog/mecanizado-que-es-tipos-de-mecanizado>
- Paredes, L. (2023, 7 de febrero). Características de las herramientas de corte. Paredes. <https://paredes.com/herramientas-de-corte-caracteristicas-de-las-herramientas/>
- S.A. Sandvik. (2024, 17 de marzo). Todo lo que necesitas saber sobre herramientas de corte. Sandvik. <https://www.sandvik.com/blog/perfect-cut-through-hands/>
- Sandvik Coromant. (2022). Herramientas de corte. Sandvik Coromant. <https://www.sandvik.com/products/tools-for-cutting/>
- Saimax. (2024, 22 de marzo). Técnicas de corte de precisión: ¿qué hacer con las herramientas? Saimax. <https://saimax.com/tecnicas-de-corte-de-precision-quefach>