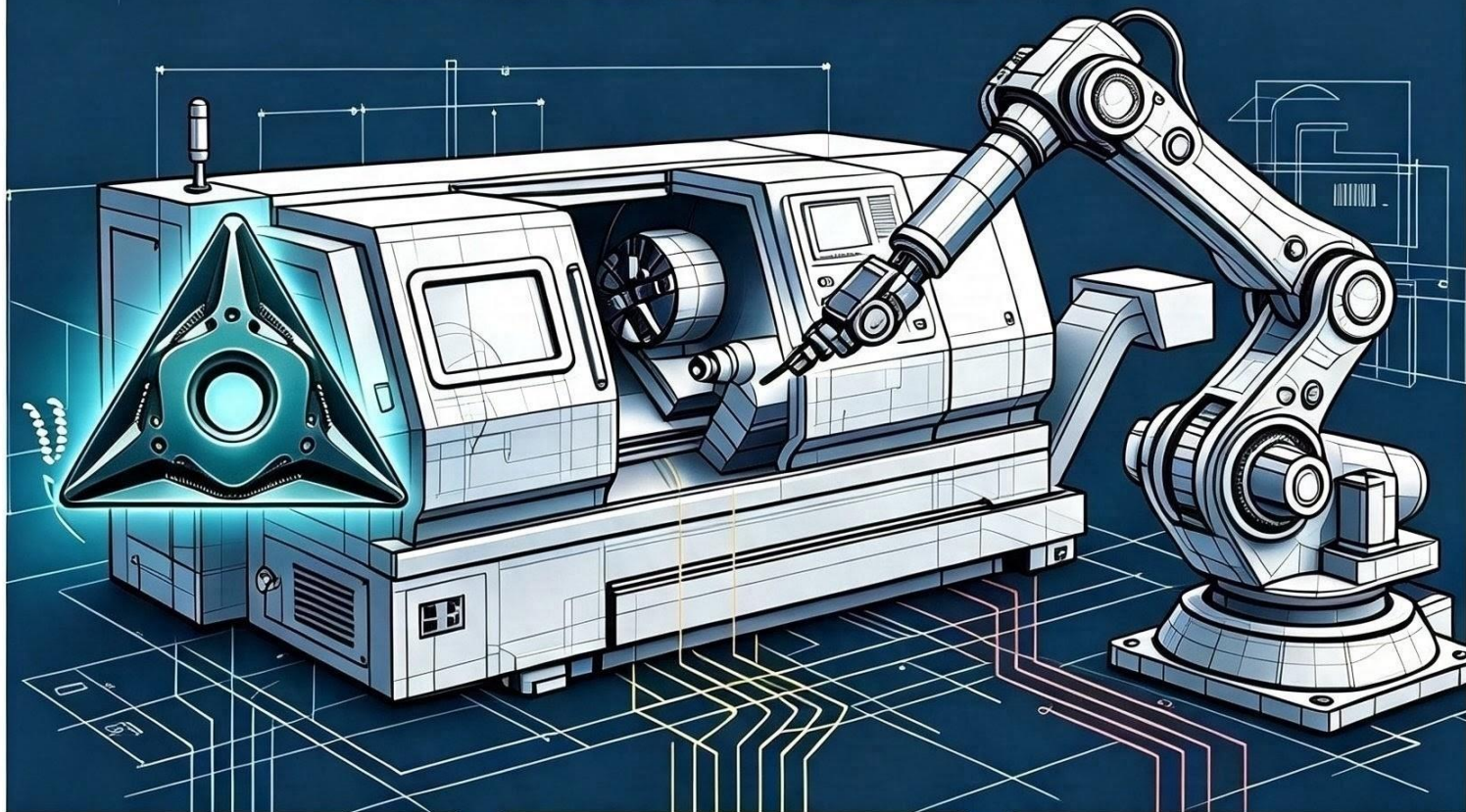




MANUAL GUÍA

GUÍA PARA SELECCIÓN DE INSERTOS TNMG



Datos Técnicos



Datos Técnicos

**Aplicación: Optimización
de Corte de Precisión**

Inserto: TMMG



Material: Acero / Acero Aleado

**Velocidad de Corte:
Según material y máquina**

[Desbaste Pesado - GH]



Avance:

**Avance: Consultar tabla
de recomendaciones**



HEIN HERRAMIENTAS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MANUFACTURA Y TRIBOLOGÍA

MANUAL TÉCNICO INFORMATIVO DE SELECCIÓN DE INSERTOS TNMG

***CRITERIOS TERMOMECAÑICOS, REOLOGÍA DE RECUBRIMIENTOS,
MICROGEOMETRÍAS Y LÍMITES DE ESTABILIDAD MECÁNICA DE LA ARISTA***

**ÁREA TÉCNICA: PROCESOS DE MECANIZADO AVANZADO Y
CARACTERIZACIÓN TRIBOLÓGICA**

**ESTANDARIZACIÓN INDUSTRIAL: MAGNITUDES FÍSICAS SEGÚN ISO 80000-4 E
ISO 1832**

DOCUMENTO CORPORATIVO: MT-TNMG-2026-REV03

**DERECHOS RESERVADOS: © 2026 HEIN. PROPIEDAD INTELECTUAL
INDUSTRIAL. COPIA CONTROLADA.**

PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL

El Departamento de Ingeniería de Manufactura y Tribología de **HEIN Herramientas Industriales** somete a disposición de la comunidad de manufactura, ingenieros de procesos, programadores CNC y directores de operaciones de la alta industria, el presente cuerpo de conocimiento normalizado para la toma de decisiones críticas en el taller de maquinado.

En un entorno altamente competitivo, la optimización de los recursos mecánicos y la supresión de fallas imprevistas en la arista de corte definen la rentabilidad de las líneas de producción. Este documento no constituye un catálogo comercial genérico, sino un compendio científico que formaliza la física del corte por arranque de viruta, asociando las constantes de resistencia de materiales con la cinemática de las herramientas de geometría negativa de la serie TNMG. A través de esta entrega, HEIN ratifica su compromiso con la transferencia tecnológica de precisión y la seguridad operativa de la industria metalmecánica global.



ÍNDICE

HEIN HERRAMIENTAS INDUSTRIALES	2
Departamento de Ingeniería de Manufactura y Tribología Manual Técnico Informativo de Selección de Insertos TNMG.....	2
<i>Criterios Termomecánicos, Reología de Recubrimientos, Microgeometrías y Límites de Estabilidad Mecánica de la Arista</i>	<i>2</i>
ÁREA TÉCNICA: Procesos de Mecanizado Avanzado y Caracterización Tribológica	2
ESTANDARIZACIÓN INDUSTRIAL: Magnitudes Físicas según ISO 80000-4 e ISO 1832.....	2
DOCUMENTO CORPORATIVO: MT-TNMG-2026-REV03.....	2
DERECHOS RESERVADOS: © 2026 HEIN. Propiedad Intelectual Industrial. Copia Controlada.....	2
Presentación Institucional	2
Introducción.....	5
1. Clasificación Científica de Sustratos, Recubrimientos y Parámetros Operativos	5
1.1 Carburos Cementados Recubiertos por CVD (HC-CVD - ISO P, M, K)	6
1.2 Carburos Cementados Recubiertos por PVD (HC-PVD - ISO M, S, H)	6
1.3 Cermets (HT - ISO P, M)	7
1.4 Nitruro de Boro Cúbico Policristalino (PCBN / CBN - ISO H, K)	8
1.5 Diamante Policristalino (PCD - ISO N)	8
2. El Factor Geométrico de los Rompevirutas en la Norma ISO	9
2.1 Geometrías de Acabado Fino (Clasificación ISO: FA / SF / FF)	10
2.2 Geometrías de Uso Medio / General (Clasificación ISO: PM / DM / MM) .	10
2.3 Geometrías de Desbaste Pesado (Clasificación ISO: GH / HZ / HR)	11
3. Modelado Matemático del Acabado Superficial y Ecuaciones Cinemáticas de Maquinado.....	11
3.1 Rugosidad Superficial Teórica Aritmética (R_a)	11
3.2 Velocidad de Rotación del Husillo (n)	12
3.3 Tasa de Remoción de Material Volumétrica (Q)	12
3.4 Potencia Neta de Corte Requerida (P_c)	12
4. Matriz Integral de Propiedades Mecánicas y Adaptabilidad Tribológica.....	13
5. Modelado de Comportamiento Mecánico y Regímenes Térmicos	15
5.1 Relación de Compromiso Inverso: Dureza vs. Tenacidad.....	15



5.2 Retención de Dureza Relativa en Función de la Temperatura de Corte	16
6. Análisis Cinético: Momentos Flectores, Ángulos de Posición y Límites de Cedencia	16
6.1 Influencia del Ángulo de Posición de la Arista (κ_r).....	16
6.2 El Fenómeno del Desplazamiento Elástico de la Arista	17
6.3 Criterios Estructurales de la Interfaz para Insertos TNMG	17
7. Matriz de Diagnóstico Visual de Modos de Falla y Resolución de Problemas (Troubleshooting).....	17
8. Guía Sistemática de Selección Operativa (Método de Descarte)	19
8.1 Paso 1: Análisis de Compatibilidad Química (Por el Material de la Pieza)	19
8.2 Paso 2: Configuración de la Microgeometría (Por el Tipo de Trabajo y Rugosidad)	19
8.3 Paso 3: Evaluación de la Continuidad Dinámica (Por la Trayectoria de Corte)	20
9. Apéndice Técnico: Valores Normalizados de Fuerza Específica de Corte (k_c) .	20
10. Exclusión de Responsabilidad y Términos.....	¡Error! Marcador no definido.
Legales de Operación	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

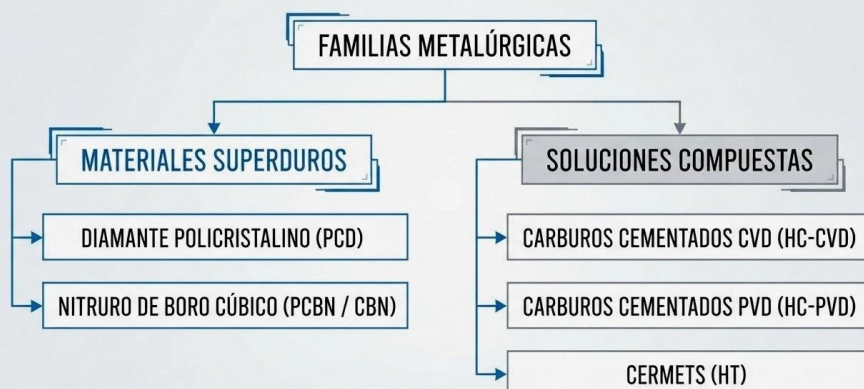
En el mecanizado industrial moderno, la interacción en la interfaz de corte constituye un sistema termodinámico cerrado de alta severidad. La selección de la combinación precisa entre el sustrato metalúrgico, las nanoestructuras de recubrimiento, la geometría del rompevirutas y la microgeometría del radio de punta en una forma estandarizada TNMG define de manera directa la eficiencia volumétrica de remoción, el control de la rugosidad superficial y la prevención de fallas catastróficas imprevistas. La codificación geométrica del inserto y las tolerancias dimensionales asociadas se rigen estrictamente por lo estipulado en la norma internacional **ISO 1832**, garantizando la intercambiabilidad global del herramental en los sistemas de sujeción rígidos.

Este manual técnico ha sido desarrollado por el equipo de ingeniería de HEIN Herramientas Industriales como una guía científica de descarte y selección. Su objetivo es detallar las variables físicas, las magnitudes dinámicas y los límites elásticos que gobiernan el comportamiento de los materiales de corte actuales frente a las operaciones de cilindrado, refrentado, careado y corte intermitente severo. La caracterización matemática de las fuerzas, potencias y regímenes térmicos se fundamenta de manera rigurosa en los principios físicos de la norma **ISO 80000-4 (Mecánica)**, asegurando que el proceso productivo opere dentro de los márgenes de seguridad estructural antes de alcanzar los límites de cedencia del sistema.

1. CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE SUSTRATOS, RECUBRIMIENTOS Y PARÁMETROS OPERATIVOS

Cada familia de insertos TNMG responde a mecanismos de desgaste gobernados por la temperatura homóloga, las fuerzas específicas de corte y las interacciones químicas en la zona de cizallamiento primario y secundario. La selección del sustrato y su recubrimiento debe realizarse en estricta concordancia con la clasificación de grupos de aplicación de la norma **ISO 513**.

[ESPECTRO METALÚRGICO DE INSERTOS TNMG]





1.1 CARBUROS CEMENTADOS RECUBIERTOS POR CVD (HC-CVD - ISO P, M, K)

Sustrato y Cohesión: Matriz cementada bifásica de Carburo de Wolframio (WC) con una fase aglutinante de Cobalto (Co) dotada de un gradiente funcional enriquecido en fase cúbica gamma (γ) en la periferia de la arista, optimizando la resistencia a la deformación plástica bajo severas cargas de compresión.

Reología del Recubrimiento: Multicapa columnar de espesor grueso de 8.0 μm a 20.0 μm compuesta por Carbonitruro de Titanio (TiCN) + Óxido de Aluminio (Al_2O_3) Nitruro de Titanio (TiN), aplicada por Deposición Química de Vapor (CVD) a alta temperatura de aproximadamente 1000 °C.

Mecánica de Protección y Transferencia Térmica: El recubrimiento intermedio de Al_2O_3 ; actúa como un escudo térmico debido a su baja conductividad térmica, la cual es menor a 5 W/(m·K). Bloquea la migración de calor hacia la fase aglutinante, forzando a la energía térmica mayor a 1000 °C a disiparse a través de la viruta. El TiCN confiere la resistencia primaria contra el desgaste por abrasión en el flanco (V_B).

Campos Operativos y Aplicación: Desbaste Pesado (TNMG 160412): Avance (f) de 0.40 mm/rev a 0.75 mm/rev; Profundidad de corte (a_p) de 1.50 mm a 6.00 mm; Velocidad de corte (V_c) de 180 m/min a 320 m/min. Diseñado para cilindrado longitudinal profundo y refrentado basto de piezas brutas forjadas o fundidas.

- **Sistemas de Enfriamiento y Lubricación:** Refrigeración líquida por inundación masiva (Emulsión soluble al 8% - 12%). Estabiliza el gradiente térmico y asiste en la evacuación forzada de virutas de gran volumen en operaciones de careado exterior.
- **Respuesta a Dinámicas Complejas:** Aptitud baja en corte intermitente fuerte debido a que los recubrimientos CVD gruesos son propensos a la microfisuración por fatiga térmica cíclica. En configuraciones de voladizo, su tolerancia a la flexión es moderada; requiere un acoplamiento rígido para evitar el astillado de la arista.
-

1.2 CARBUROS CEMENTADOS RECUBIERTOS POR PVD (HC-PVD - ISO M, S, H)

Sustrato y Cohesión: Estructura de grano submicrónico menor a 0.5 μm con un elevado contenido de fronteras de grano, lo que maximiza la tenacidad elástica y la resistencia a la propagación de grietas mecánicas.

Reología del Recubrimiento: Capa nanoestructurada hiperdensa de grosor ultradelgado de 1.5 μm a 4.5 μm de Nitruro de Aluminio y Titanio (AlTiN) o Nitruro de Titanio y Silicio (TiSiN), depositada mediante arco catódico (PVD) a baja temperatura menor a 500 °C.



Mecánica de Protección y Transferencia Térmica: Al aplicarse a baja temperatura, el recubrimiento previene las tensiones residuales de tracción en la arista de corte, manteniendo un filo extremadamente agudo con un radio de aportación de arista de 10 μm a 15 μm . Bajo severidad térmica, el aluminio reacciona superficialmente formando una fase pasiva de óxido de aluminio, confiriendo una elevada dureza a alta temperatura y protegiendo contra el desgaste por cráter.

Campos Operativos y Aplicación: Acabado e Intermitencia (TNMG 160404): Avance (f) de 0.05 mm/rev a 0.20 mm/rev; Profundidad (a_p) de 0.20 mm a 1.50 mm; Velocidad de corte (V_c) de 60 m/min a 160 m/min en aleaciones termo-resistentes. Diseñado para cilindrado de precisión y careado de secciones delgadas.

- **Sistemas de Enfriamiento y Lubricación:** Inundación masiva o chorro de alta presión dirigido al punto de corte en materiales pastosos (Inoxidables y Superalloys) para suprimir el endurecimiento por deformación. Aire seco presurizado en el torneado de aceros endurecidos.
- **Respuesta a Dinámicas Complejas:** Aptitud excelente en corte intermitente severo. La tenacidad del sustrato y la delgadez del recubrimiento absorben de forma óptima los impactos mecánicos y térmicos repetitivos. En situaciones de voladizo prolongado, su microgeometría reduce las fuerzas radiales, minimizando el riesgo de vibración elástica armónica (chatter).
-

1.3 CERMETS (HT - ISO P, M)

Sustrato y Cohesión: Material compuesto cerámico-metálico donde la fase dura de Carbonitruro de Titanio (TiCN) se encuentra cohesionada por una matriz aglutinante de Níquel-Cobalto (Ni-Co).

Reología del Recubrimiento: Comúnmente empleados sin recubrimiento (grados rectificadores nativos) o asistidos por una película PVD micro-delgada menor a 1.5 μm de TiN para control de fricción superficial.

Mecánica de Protección y Transferencia Térmica: Presenta una baja solubilidad de la fase TiCN en el hierro (Fe) a temperaturas operativas inferiores a 900 °C. Su alta resistencia a la difusión suprime por completo el Filo de Aportación (BUE). Esto asegura que la geometría de la punta no sufra alteraciones micro-dimensionales, transfiriendo una rugosidad superficial de nivel micrométrico directa a la pieza.

Campos Operativos y Aplicación: Súper-Acabado (TNMG 160402 / 160404): Avance (f) de 0.03 mm/rev a 0.12 mm/rev; Profundidad (a_p) de 0.05 mm a 1.00 mm; Velocidad de corte (V_c) de 250 m/min a 450 m/min. Diseñado estrictamente para cilindrado final estético y refrentado fino en sustitución de operaciones de rectificado mecanizado.

- **Sistemas de Enfriamiento y Lubricación:** Solo Aire Seco o MQL (Mínima Cantidad de Lubricación). El choque térmico causado por fluidos hidráulicos convencionales fractura la matriz cerámico-metálica de forma inmediata.



- **Respuesta a Dinámicas Complejas:** Aptitud inadmisible para corte intermitente; la baja tenacidad a la fractura del cermet genera astillamiento instantáneo ante impactos. En voladizos, es altamente susceptible a las flexiones armónicas; requiere máxima rigidez estática.

1.4 NITRURO DE BORO CÚBICO POLICRISTALINO (PCBN / CBN - ISO H, K)

Sustrato y Cohesión: Cristales compactos de CBN enlazados mediante una fase aglutinante cerámica (TiN, TiC) o metálica, soldados como un inserto de punta activa en los vértices de la geometría TNMG.

Mecánica de Protección y Transferencia Térmica: Mantiene su dureza e integridad estructural por encima de los 1100 °C. Al carecer de átomos de carbono, es químicamente inerte ante aleaciones ferrosas. Durante el corte, aprovecha el calor extremo generado para inducir un ablandamiento térmico localizado (plastificación) en la zona de corte de la pieza, removiendo el metal endurecido con una fuerza de corte específica controlada.

Campos Operativos y Aplicación: Torneado en Duro (TNMG 160408): Avance (f) de 0.08 mm/rev a 0.25 mm/rev; Profundidad (a_p) de 0.10 mm a 0.50 mm; Velocidad de corte (V_c) de 100 m/min a 220 m/min. Diseñado para cilindrado y refrentado de componentes templados.

- **Sistemas de Enfriamiento y Lubricación:** Maquinado en seco absoluto. Cualquier introducción de refrigerante líquido genera choques térmicos cíclicos microscópicos que destruyen los cristales de CBN en pocos segundos.
- **Respuesta a Dinámicas Complejas:** Los grados de bajo CBN (matriz cerámica) son inadmisibles en corte intermitente. Los grados de Alto CBN (matriz metálica) poseen una excelente absorción de impacto, siendo óptimos para corte intermitente severo en piezas tratadas. Ante voladizos, exige una rigidez de fijación absoluta debido a las elevadas fuerzas radiales implícitas en el torneado en duro.

1.5 DIAMANTE POLICRISTALINO (PCD - ISO N)

Sustrato, Cohesión y Microestructura: Red tridimensional interconectada de cristales de diamante sintético con un tamaño de grano rígidamente controlado (clasificación micrométrica de 2 micrómetros a 25 micrómetros). Estos cristales son sinterizados a presiones ultra-altas (*ultra-high pressures*) mayores a 6 GigaPascuales (GPa) y temperaturas superiores a los 1400 grados Celsius, empleando una fase líquida de Cobalto como agente catalizador y ligante de cohesión intersticial en los vértices geométricos de la punta TNMG, en total conformidad con la especificación de diseño de la norma **ISO 1832**.

Mecánica de Protección y Transferencia Térmica: Su conductividad térmica superior, la cual es mayor a 500 Watts por metro-Kelvin, combinada con el menor coeficiente de fricción estática y dinámica de la ingeniería de superficies actual (0.05 a 0.1), le permite evacuar la energía térmica de fricción de manera casi instantánea a través del flujo cinemático de la viruta. Esta propiedad suprime por completo el fenómeno tribológico de adherencia molecular conocido como Filo de Aportación o



rebaba de soldadura en frío en metales altamente dúctiles, deteniendo de forma absoluta el desgaste por abrasión severa provocado por las cargas minerales o partículas duras del material base.

Fenómeno de Degradación Química por Grafitización: Presenta una inestabilidad química crítica al interactuar con elementos que poseen afinidad por el carbono a alta temperatura. Al superar la barrera de los 700 grados Celsius en presencia de metales ferrosos (aceros al carbono, aceros aleados y fundiciones de hierro), los átomos de carbono del diamante se difunden rápidamente hacia la pieza. Esta reacción transforma la estructura cristalina cúbica del diamante en grafito blando, provocando un desgaste por difusión molecular acelerado. Por lo tanto, su aplicación está estrictamente prohibida en el mecanizado de metales ferrosos.

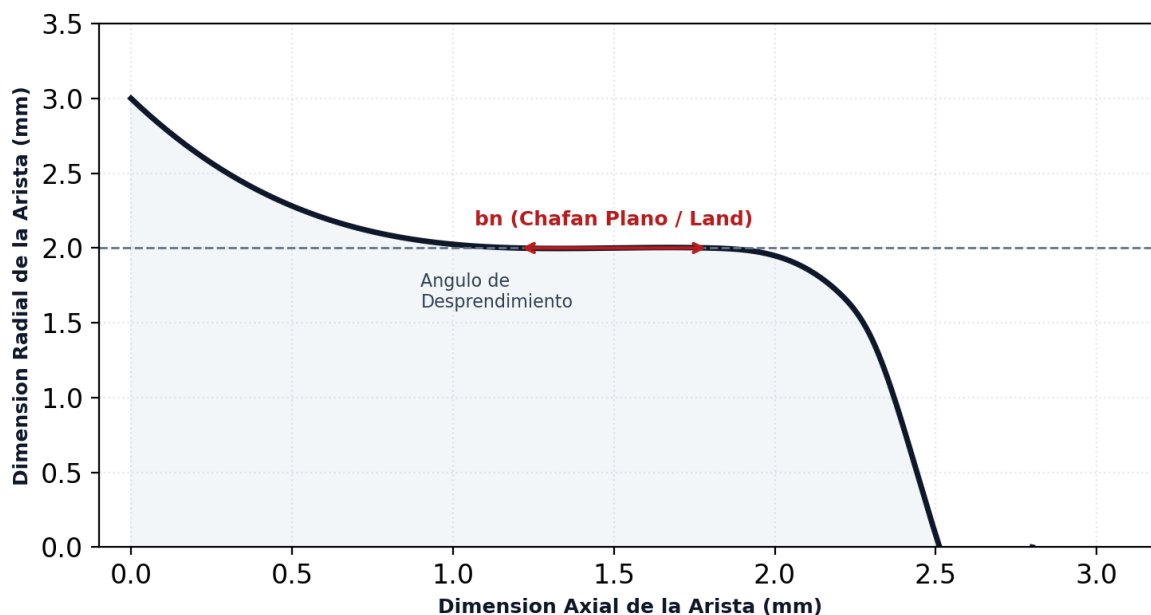
Campos Operativos y Aplicación: Diseñado de forma exclusiva bajo la clasificación de grupos de la norma **ISO 513** para operaciones de Mecanizado de Alta Velocidad. Los parámetros nominales tolerados por la arista implican un Avance (f) de 0.05 milímetros por revolución a 0.30 milímetros por revolución; una Profundidad de corte radial (ap) de 0.10 milímetros a 2.50 milímetros; y una Velocidad de corte lineal (Vc) que va desde los 400 metros por minuto hasta un límite dinámico seguro de 2500 metros por minuto. Está indicado estrictamente para el cilindrado, careado y refrentado de aleaciones de aluminio con alto contenido de Silicio (Silicio mayor al 12%), bronce abrasivos, cobre puro, materiales compuestos de matriz polimérica (fibra de carbono y fibra de vidrio) y grafito industrial.

- **Sistemas de Enfriamiento y Lubricación:** Emulsión líquida tradicional soluble (con una concentración rica del 10% al 15%) o sistemas de Mínima Cantidad de Lubricación aplicados a alta presión dirigida. Su función termodinámica principal no es proteger el filo del inserto, sino estabilizar dimensionalmente las secciones delgadas de la pieza frente a la expansión térmica residual y mitigar la dispersión ambiental de polvos abrasivos.
- **Respuesta a Dinámicas Complejas:** Muestra una aptitud buena a moderada frente a la intermitencia uniforme gracias al soporte elástico de la matriz de cobalto remanente. En configuraciones propensas a la flexión, se muestra altamente sensible a las variaciones del ángulo de incidencia real debido a su nula deformación plástica elástica. Exige un centrado microscópico y una alineación geométrica axial absoluta respecto al centro del husillo para evitar el astillamiento intergranular prematuro de la esquina de corte.

2. EL FACTOR GEOMÉTRICO DE LOS ROMPEVIRUTAS EN LA NORMA ISO

En un inserto negativo como el TNMG, la macrogeometría impresa en la cara de desprendimiento (el rompevirutas) actúa directamente sobre el radio de curvatura de la viruta, el área de contacto herramental-pieza y el consumo de potencia. La norma internacional **ISO 1832** clasifica estas configuraciones para la forma geométrica TNMG en tres grandes categorías operativas:

HEIN HERRAMIENTAS INDUSTRIALES
FIGURA 2.1: CARACTERIZACIÓN MICROGEOMÉTRICA DE LA ARISTA DE CORTE



2.1 GEOMETRÍAS DE ACABADO FINO (CLASIFICACIÓN ISO: FA / SF / FF)

Diseñadas con un ángulo de desprendimiento altamente positivo y un canal rompevirutas estrecho y profundo. Su objetivo principal es forzar la fractura de la viruta incluso a profundidades de corte (a_p) inferiores al radio de punta, minimizando las fuerzas radiales y el calentamiento por fricción secundaria.

Mecánica de Control: Incrementa la tasa de deformación plástica local de la viruta para asegurar que las secciones delgadas y esbeltas se fracturen por flexión contra el hombro del rompevirutas en pasadas superficiales de cilindrado o careado de precisión.

2.2 GEOMETRÍAS DE USO MEDIO / GENERAL (CLASIFICACIÓN ISO: PM / DM / MM)

Presentan un equilibrio elástico entre la resistencia de la arista y la capacidad de control de la viruta en una amplia ventana de avances por revolución. Es la geometría estándar para operaciones consecutivas y multipropósito de cilindrado y refrentado.

Mecánica de Control: Proporciona un radio de curvatura de la viruta intermedio. Diseñado para optimizar las fuerzas de empuje axial en el mecanizado de aceros al carbono, controlando la evacuación en un rango seguro de operación.

2.3 GEOMETRÍAS DE DESBASTE PESADO (CLASIFICACIÓN ISO: GH / HZ / HR)

Diseñadas con un chaflán protector plano (*land*) y una arista de corte reforzada o roma. Soportan fuerzas específicas de corte masivas y están optimizadas para la evacuación continua de virutas gruesas sin deformar plásticamente el sustrato subyacente.

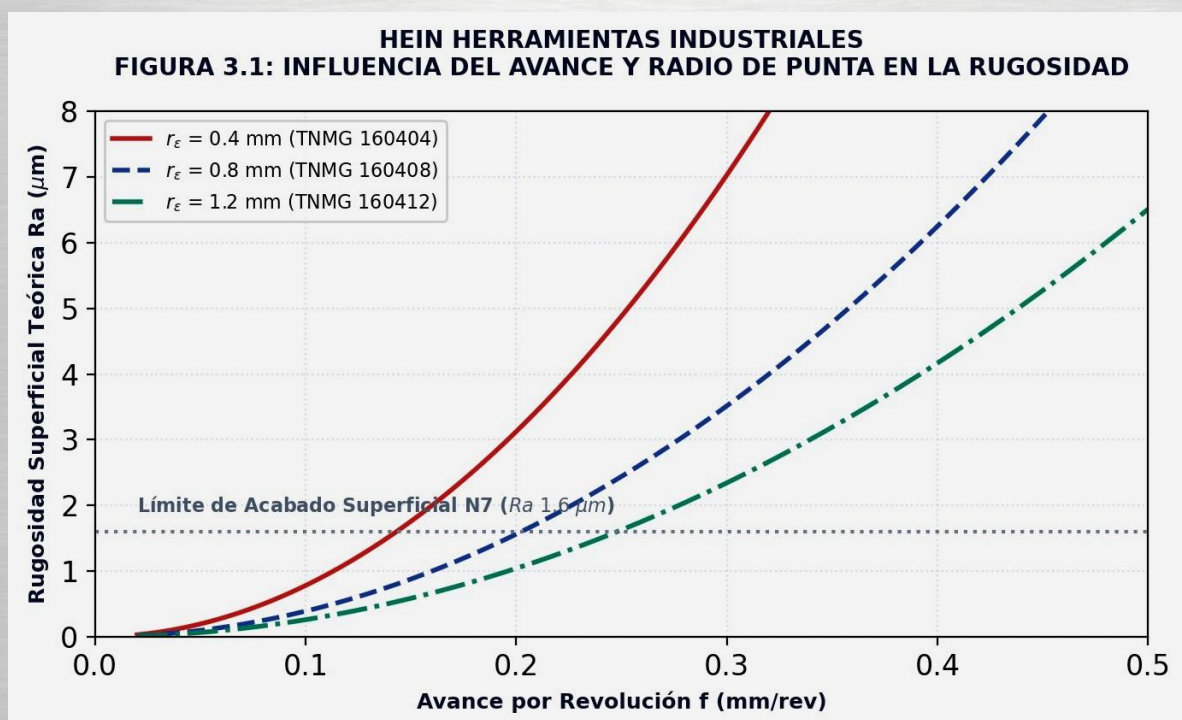
Mecánica de Control: Amortigua los picos mecánicos de entrada mediante un ángulo de desprendimiento negativo o plano en el Filo. Su geometría de canal ancho evita el atascamiento de virutas de gran volumen en desbastes de gran profundidad (a_p).

3. MODELADO MATEMÁTICO DEL ACABADO SUPERFICIAL Y ECUACIONES CINEMÁTICAS DE MAQUINADO

Para asegurar la reproducibilidad de los procesos en planta, el ingeniero debe aplicar el siguiente cuerpo de modelos matemáticos estandarizados. Las variables, unidades y relaciones dimensionales se estructuran bajo los criterios de magnitud física de la norma internacional **ISO 80000-4 (Mecánica)**.

3.1 RUGOSIDAD SUPERFICIAL TEÓRICA ARITMÉTICA (R_a)

El perfil micrométrico teórico generado en la superficie de la pieza es una función exponencial del avance e inversa del radio de la herramienta. Se expresa formalmente mediante el siguiente modelo:





$$R_a = (f^2 / (32 \cdot r_\epsilon)) \cdot 1000$$

Dónde:

- R_a = Rugosidad superficial aritmética teórica (μm).
- f = Avance de la herramienta por revolución (mm/rev).
- r_ϵ = Radio de punta nominal del inserto según designación ISO 1832 (mm).

3.2 VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL HUSILLO (N)

La transformación de la velocidad de corte lineal requerida en la arista a la velocidad angular del husillo de la máquina CNC se calcula mediante la siguiente relación:

$$n = (V_c \cdot 1000) / (\pi \cdot D_m)$$

Dónde:

- n = Velocidad de rotación angular del husillo (rpm).
- V_c = Velocidad de corte lineal normalizada (m/min).
- D_m = Diámetro de mecanizado sobre la superficie de la pieza (mm).

3.3 TASA DE REMOCIÓN DE MATERIAL VOLUMÉTRICA (Q)

Representa la eficiencia volumétrica del proceso y mide el volumen de viruta removido por unidad de tiempo mediante la acción combinada de las variables de corte primarias:

$$Q = V_c \cdot a_p \cdot f$$

Dónde:

- Q = Tasa de remoción volumétrica de metal (cm^3/min).
- V_c = Velocidad de corte lineal (m/min).
- a_p = Profundidad de corte radial o espesor de pasada (mm).
- f = Avance de la herramienta por revolución (mm/rev).

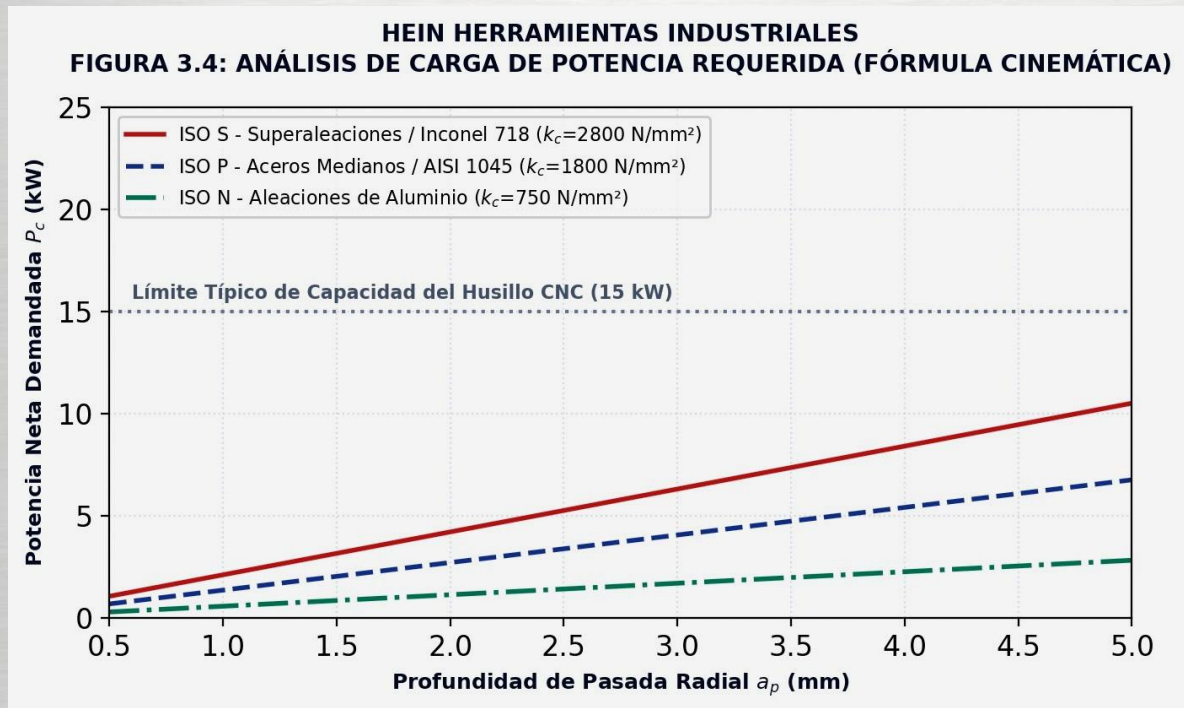
3.4 POTENCIA NETA DE CORTE REQUERIDA (P_c)

Establece la demanda energética en la interfaz de mecanizado. Este valor es crítico para validar el torque necesario en el motor del husillo y evitar detener mecánicamente la transmisión bajo severidad de carga:

$$P_c = (a_p \cdot f \cdot V_c \cdot k_c) / 60000$$

Dónde:

- P_c = Potencia neta demandada en la interfaz herramental-pieza (kW).
- a_p = Profundidad de corte radial o de pasada (mm).
- f = Avance de la herramienta por revolución (mm/rev).
- V_c = Velocidad de corte lineal (m/min).
- k_c = Fuerza específica de corte inherente a la resistencia elástica del material base (N/mm²).



4. MATRIZ INTEGRAL DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y ADAPTABILIDAD TRIBOLÓGICA

La siguiente matriz detalla las propiedades mecánicas intrínsecas de las matrices de los insertos y su respuesta ante variables críticas del entorno de manufactura de alta severidad térmica y mecánica. Las clasificaciones y aptitudes responden a las normativas de estandarización globales del grupo **ISO 513**.



FAMILIA DE INSERTO TNMG	DUREZA DE MATRIZ (HV)	TENACIDAD A LA FRACTURA (K_{IC}) (MPA·M ^{0.5})	RESISTENCIA DE OXIDACIÓN TÉRMICA (°C)	GRUPO DE APLICACIÓN PRINCIPAL (ISO 513)	ESTABILIDAD ELÁSTICA EN VOLADIZO COMPUESTO	MECÁNICA DE FALLA ANTE CORTE INTERMITENTE SEVERO
Carburo CVD	1400 - 1550	11.5 - 14.0	850	ISO P, M, K	Tolerancia media; controlado por la rigidez del ensamble y rigidez del zanco.	Desprendimiento de capas protectoras y microfisuras térmicas transversales.
Carburo PVD	1500 - 1650	12.0 - 15.0	900	ISO M, S, H	Excelente; alta resistencia al amortiguamiento elástico ante fuerzas radiales.	Deformación plástica controlada; alta tenacidad al choque y al impacto cíclico.
Cermet	1600 - 1750	6.5 - 8.5	950	ISO P, M	Susceptibilidad crítica a vibraciones armónicas y deflexiones flexotorsionales.	Fractura frágil macroscópica instantánea por concentración de esfuerzos.
PCBN (Bajo CBN)	3000 - 3500	5.0 - 7.0	1200	ISO H	Requiere control riguroso de la flexión tangencial del portaherramientas.	Astillamiento prematuro de la arista por esfuerzos de corte térmicos.
PCBN (Alto CBN)	3500 - 4000	10.0 - 11.5	1100	ISO K, H	Excelente estabilidad estructural ante elevadas cargas de empuje axial.	Deformación elástica controlada; alta resistencia al impacto cíclico pesado.

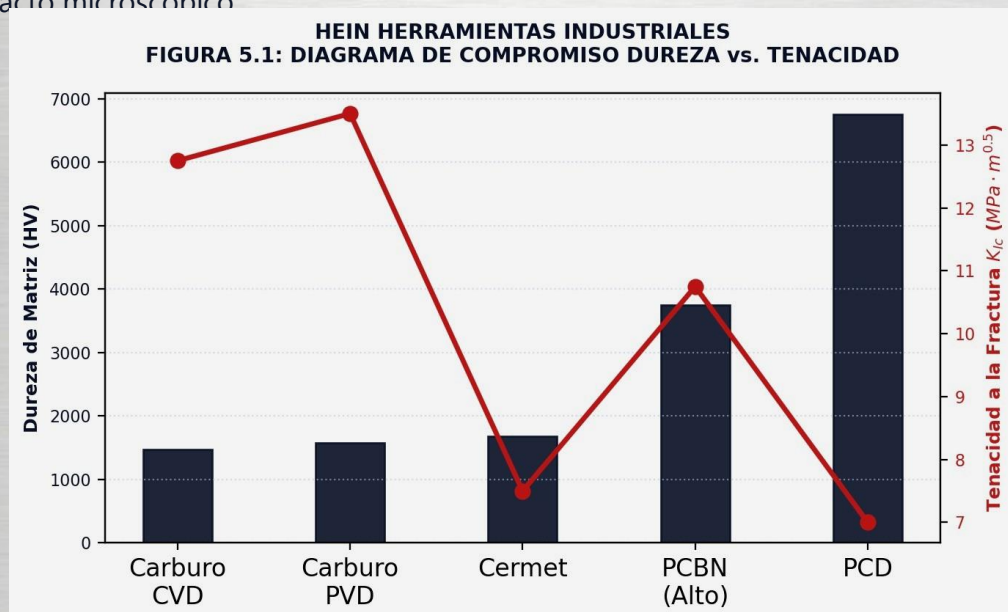
FAMILIA DE INSERTO TNMG	DUREZA DE MATRIZ (HV)	TENACIDAD A LA FRACTURA (K_{IC}) (MPa·m ^{0.5})	RESISTENCIA DE OXIDACIÓN TÉRMICA (°C)	GRUPO DE APLICACIÓN PRINCIPAL (ISO 513)	ESTABILIDAD ELÁSTICA EN VOLADIZO COMPUESTO	MECÁNICA DE FALLA ANTE CORTE INTERMITENTE SEVERO
PCD	6000 - 7500	6.0 - 8.0	700	ISO N	Altamente sensible a deflexiones radiales del husillo o de la torreta de máquina.	Astillamiento intergranular severo bajo impactos mecánicos repetitivos.

5. MODELADO DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y REGÍMENES TÉRMICOS

La comprensión de los límites elásticos, cinemáticos y de desgaste de los insertos TNMG requiere analizar de forma científica las curvas de transición que experimentan los materiales bajo variables de carga y temperatura.

5.1 RELACIÓN DE COMPROMISO INVERSO: DUREZA VS. TENACIDAD

El diseño de procesos de mecanizado exige seleccionar el inserto en función de su resistencia al desgaste por abrasión (Dureza Vickers) o su tolerancia al impacto (Tenacidad a la fractura K_{IC}). Los materiales súper duros como el PCD y el CBN minimizan el desgaste por fricción en ciclos continuos, pero su baja tenacidad requiere que el sistema de sujeción elimine por completo las holguras elásticas para evitar fallas por impacto microscópico.



5.2 RETENCIÓN DE DUREZA RELATIVA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE CORTE

Las curvas de estabilidad térmica demuestran que los insertos de Carburo convencionales sufren un ablandamiento acelerado por encima de los 600 °C debido a la pérdida de rigidez de la fase aglutinante de cobalto (Co). En contraste, las soluciones de Cermet (HT) y PCBN mantienen perfiles de dureza estables superiores a los 3000 HV a temperaturas extremas de hasta 1100 °C, lo que valida su idoneidad para operar en seco en regímenes donde el calor es el mecanismo primario de plastificación del material base.

6. ANÁLISIS CINÉTICO: MOMENTOS FLECTORES, ÁNGULOS DE POSICIÓN Y LÍMITES DE CEDENCIA

La aplicación de un inserto de geometría negativa con un ángulo de incidencia de 0° (como la serie estándar TNMG) modifica sustancialmente el esquema vectorial de fuerzas en comparación con las herramientas de geometría positiva. Al carecer de un despeje nativo en los flancos, las fuerzas de separación radial (F_r) y las fuerzas tangenciales de corte (F_c) aumentan significativamente su magnitud elástica, generando un momento flector (M_f) y un momento torsor (M_t) combinados sobre la interfaz del portaherramientas.

El momento flector total en el sistema de sujeción se calcula formalmente mediante el siguiente modelo estructural de ingeniería de manufactura:

$$M_f = (F_c \cdot L_v) + (F_r \cdot e)$$

Dónde:

- M_f = Momento flector absoluto ejercido sobre el cuerpo de la herramienta (N·m).
- F_c = Fuerza tangencial principal de corte calculada en la interfaz (N).
- L_v = Longitud libre en voladizo medida desde el punto de apoyo rígido de la torreta (m).
- F_r = Fuerza radial de separación del herramental perpendicular al eje (N).
- e = Distancia de excentricidad vectorial respecto al centro de gravedad de la punta (m).

6.1 INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE POSICIÓN DE LA ARISTA (K_R)

La orientación del inserto TNMG respecto a la trayectoria lineal de avance de la pieza altera radicalmente la descomposición de vectores de la fuerza total de corte, determinando la estabilidad dinámica del proceso:

- **Ángulos de Posición de 91° / 93° (Configuración en Portaherramientas Estándar):** Dirigen la mayor parte de la fuerza de corte de forma vectorial en



sentido axial hacia el husillo principal de la máquina. Es la configuración óptima para mitigar los momentos flectores en voladizos prolongados, protegiendo eficientemente a los insertos más propensos a la fractura frágil como el CBN o los Cermets.

- **Ángulos de Posición de 45° / 60° (Operaciones de Biselado o Careado Específico):** Incrementan drásticamente la magnitud de la fuerza radial de separación (F_r). Esto somete al cuerpo de sujeción a un momento torsor elevado, induciendo microdeflexiones elásticas que modifican el ángulo de incidencia real del filo y comprometen la integridad dimensional de la pieza.

6.2 EL FENÓMENO DEL DESPLAZAMIENTO ELÁSTICO DE LA ARISTA

En materiales con baja tenacidad elástica a la fractura (como el Cermet o el PCBN de bajo contenido cerámico), un desplazamiento axial o radial del filo de apenas **0.015 mm** inducido por deflexión elástica altera por completo el balance de esfuerzos de compresión en el radio de punta. Esta variación geométrica desplaza las cargas de corte hacia zonas de la arista que carecen de soporte secundario en la matriz metalúrgica, induciendo una falla por cizallamiento severo o una fractura catastrófica inmediata del filo de corte.

6.3 CRITERIOS ESTRUCTURALES DE LA INTERFAZ PARA INSERTOS TNMG

Para neutralizar la inestabilidad espacial de la arista, la física de manufactura determina que el cuerpo de acero aleado que aloja el inserto TNMG debe cumplir estrictamente con los siguientes límites metalúrgicos y mecánicos:

- **Resistencia al Límite de Cedencia (R_e):** El material del zanco o cuerpo debe poseer un Límite de Cedencia mínimo de **1100 MPa**. Esto previene de forma absoluta la deformación plástica permanente del asiento del inserto ante los picos de fuerza generados en operaciones de refrentado intermitente o careado pesado, donde la carga mecánica es puramente de impacto.
- **Módulo de Elasticidad (E):** Se requiere un Módulo de Young mínimo de **210 GPa** en el cuerpo de sujeción. Esta rigidez intrínseca minimiza la deflexión elástica del voladizo bajo altas tasas de avance, garantizando que el inserto TNMG mantenga su posicionamiento espacial exacto respecto al eje de revolución de la pieza.

7. MATRIZ DE DIAGNÓSTICO VISUAL DE MODOS DE FALLA Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (TROUBLESHOOTING)



La siguiente guía técnica ampliada permite al operador de taller diagnosticar en tiempo real el origen físico del desgaste en la geometría TNMG y aplicar la acción correctiva correspondiente antes de alcanzar la falla catastrófica o el colapso estructural de la herramienta.

IDENTIFICACIÓN DEL DESGASTE VISUAL	MECANISMO Y CAUSA RAÍZ	CRITERIO TRIBOLÓGICO DE FALLA	ACCIÓN CORRECTIVA DE INGENIERÍA
Desgaste en Flanco (V_B Elevado)	Exceso de velocidad cinemática en la arista de corte.	Abrasión mecánica pura por fricción continua entre la pieza y la arista.	Reducir la velocidad de corte (V_c) o migrar a un recubrimiento CVD más grueso con mayor contenido de TiCN.
Desgaste por Cráter	Temperatura excesiva en la cara de desprendimiento del inserto.	Difusión química molecular hacia la viruta en estado térmico crítico.	Seleccionar recubrimiento CVD con capa gruesa de Óxido de Aluminio (Al_2O_3) o incorporar sistemas de refrigeración de alta presión.
Astillamiento de la Arista (Chipping)	Micro-vibraciones elásticas o ciclos alternantes de temperatura extrema.	Fatiga mecánica por impacto o choque térmico cíclico estructural.	Cambiar a recubrimiento PVD delgado, seleccionar un rompevirutas más reforzado (tipo PM/GH) o eliminar refrigerante líquido (maquinado en seco).
Deformación Plástica del Filo	Carga de compresión masiva combinada con pérdida de rigidez en caliente.	Ablandamiento térmico de la fase aglutinante de cobalto (Co).	Reducir la velocidad de corte (V_c) o el avance (f). Seleccionar un sustrato micrograno con menor porcentaje de ligante metálico.
Filo de Aportación (Adherencia - BUE)	Baja temperatura operativa unida a una alta afinidad química con la pieza.	Soldadura molecular en frío de la viruta sobre el radio de punta nominal.	Incrementar la velocidad de corte (V_c) para elevar la temperatura de plastificación de la viruta, o migrar a un sustrato de Cermet (HT).



IDENTIFICACIÓN DEL DESGASTE VISUAL	MECANISMO Y CAUSA RAÍZ	CRITERIO TRIBOLÓGICO DE FALLA	ACCIÓN CORRECTIVA DE INGENIERÍA
Desgaste por Entalladura (Notching)	Fricción con la capa exterior endurecida u oxidada de la pieza bruta.	Desgaste localizado por endurecimiento por deformación o fatiga oxidativa.	Variar la profundidad de corte (a_p) de forma dinámica entre pasadas, o modificar el ángulo de posición de la arista (κ_r).

8. GUÍA SISTEMÁTICA DE SELECCIÓN OPERATIVA (MÉTODO DE DESCARTE)

Para asegurar la estabilidad del proceso de torneado en el taller mecánico, el ingeniero debe aplicar el siguiente algoritmo de selección de tres fases para configurar de forma óptima los parámetros operativos del inserto TNMG:

8.1 Paso 1: Análisis de Compatibilidad Química (Por el Material de la Pieza)

- Si la pieza es una aleación ferrosa (acero al carbono, aleado o inoxidable) con dureza estándar (menor a 45 HRC) → **Seleccionar Carburo CVD** (para remoción pesada) o **Cermet** (para acabado estético libre de adherencia molecular).
- Si la pieza es ferrosa pero cuenta con tratamiento térmico de endurecimiento (de 45 HRC a 65 HRC) → **Seleccionar PCBN** (en seco absoluto) o **Carburo PVD submicrónico** (para pasadas delgadas e intermitencia controlada).
- Si la pieza pertenece al grupo no ferroso (Aluminio, bronce, cobre, CFRP, grafito) → **Seleccionar PCD** de forma mandatoria para contrarrestar la abrasión y la pastosidad del material base.

8.2 Paso 2: Configuración de la Microgeometría (Por el Tipo de Trabajo y Rugosidad)

- **Para operaciones de Desbaste Pesado, Cilindrado Longitudinal Basto y Refrentado Profundo:** Configurar Radio de Punta de 1.2 mm (TNMG 160412) asociado a un rompevirutas tipo GH / HZ y recubrimiento CVD grueso.

El radio amplio distribuye la carga térmica e incrementa la resistencia mecánica de la arista de corte.

- **Para operaciones de Acabado Fino, Control de Tolerancias Cerradas y Careado de Precisión:** Configurar Radio de Punta de 0.4 mm (TNMG 160404) o 0.2 mm (TNMG 160402) acoplado a un rompevirutas tipo FA / SF en Cermet o Carburo PVD. Aplique el modelo matemático de rugosidad de la sección 3.1 para establecer el avance (f) máximo permitido según el valor de R_a requerido.



8.3 Paso 3: Evaluación de la Continuidad Dinámica (Por la Trayectoria de Corte)

- **Si la trayectoria involucra un mecanizado continuo libre de interrupciones:** Optimizar la velocidad de corte (V_c) al límite superior empleando soluciones de Cermet, PCBN de bajo CBN o Carburo CVD de alto rendimiento.
- **Si la trayectoria se enfrenta a un Corte Intermitente Severo (ejes ranurados, chaveteros, cortes interrumpidos por perforaciones):** Descartar de inmediato el Cermet y el CBN de bajo contenido por riesgo de fractura frágil instantánea. **Seleccionar Carburo PVD de alta tenacidad o PCBN de Alto CBN.** Eliminar por completo el uso de fluidos refrigerantes líquidos y operar estrictamente con aire seco comprimido para bloquear el agrietamiento estructural por choque térmico alternante.

9. APÉNDICE TÉCNICO: VALORES NORMALIZADOS DE FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE (K_c)

Los siguientes valores experimentales representan la constante de resistencia específica del material de la pieza para un espesor de viruta nominal de 0.4 mm y un rompevirutas estándar de uso general (PM). Estos valores se deben sustituir directamente en la ecuación de potencia neta (**Sección 3.4**) para validar de manera científica la capacidad del husillo de la máquina en planta bajo los criterios de la norma **ISO 80000-4**.

GRUPO DE MATERIAL ISO	FAMILIA O ALEACIÓN REPRESENTATIVA	DUREZA BRUTA ESTÁNDAR	FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE (K_c) (N/MM ²)	COEFICIENTE DE CORRECCIÓN TÉRMICA DE VIRUTA
ISO P (Aceros)	AISI 1020 / Estructurales de bajo C	150 HB	1500	1.15
	AISI 1045 / Aceros al carbono medianos	190 HB	1800	1.10
	AISI 4140 / Aceros de baja aleación Bonificados	250 HB	2100	1.05
	AISI D2 / Aceros para herramientas (Recocido)	210 HB	2250	1.08



GRUPO DE MATERIAL ISO	FAMILIA O ALEACIÓN REPRESENTATIVA	DUREZA BRUTA ESTÁNDAR	FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE (K _c) (N/MM ²)	COEFICIENTE DE CORRECCIÓN TÉRMICA DE VIRUTA
ISO M (Inoxidables)	AISI 304 / Austenítico estándar	180 HB	1950	1.25
	AISI 316 / Austenítico de alta resistencia	200 HB	2100	1.28
	AISI 420 / Martensítico templable	220 HB	1850	1.18
ISO K (Fundición)	Fundición Gris Clásica (GG25)	180 HB	1150	0.95
	Fundición Nodular / Dúctil (GGG50)	230 HB	1550	1.02
ISO S (Superalaleaciones)	Inconel 718 / Base Níquel (Recocido)	250 HB	2800	1.40
	Titanio Grado 5 (Ti6Al4V)	330 HB	1400	1.35
ISO H (Templados)	AISI 4140 / Ejes endurecidos	55 HRC	3900	0.85
	AISI D2 / Matrices tratadas térmicamente	62 HRC	4700	0.80



GRUPO DE MATERIAL ISO	FAMILIA O ALEACIÓN REPRESENTATIVA	DUREZA BRUTA ESTÁNDAR	FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE (Kc) (N/MM ²)	COEFICIENTE DE CORRECCIÓN TÉRMICA DE VIRUTA
ISO N (No Ferrosos)	Al 6061-T6 / Aleaciones aeronáuticas	95 HB	750	1.10
	Aluminio de Fundición con Silicio (Al-Si > 12 %)	130 HB	850	1.15

10. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD Y TÉRMINOS LEGALES DE OPERACIÓN

Aviso Legal y Corporativo de HEIN Herramientas Industriales

El presente Manual Técnico Informativo de Selección de Insertos TNMG ha sido desarrollado por el Departamento de Ingeniería de Manufactura y Tribología de HEIN Herramientas Industriales con fines estrictamente orientativos, ilustrativos e informativos. La información, ecuaciones matemáticas de rugosidad teórica, perfiles metalúrgicos de sustratos, matrices de adaptabilidad tribológica, análisis cinéticos de momentos flectores y rangos operativos contenidos en este documento representan estándares analíticos y de ingeniería general basados en ensayos bajo condiciones controladas de laboratorio y normativas internacionales (ISO / ANSI).

Dueño del proceso en el taller, el rendimiento real de una pastilla intercambiable negativa de la serie TNMG está sujeto a variables termomecánicas complejas fuera del control directo de nuestra organización —tales como, pero no limitado a: la rigidez estructural de la máquina herramienta, el estado de desgaste de los baleros del husillo principal, la alineación geométrica axial de la torreta portadora, la composición química y dureza real de los lotes de material base a mecanizar, la tasa de flujo y presión de los fluidos de corte, y la pericia del operador CNC—, por lo que HEIN Herramientas Industriales no asume ninguna responsabilidad legal, explícita o implícita, por daños directos, indirectos, incidentales, punitivos o consecuentes resultantes de la aplicación de los parámetros descritos en este volumen.

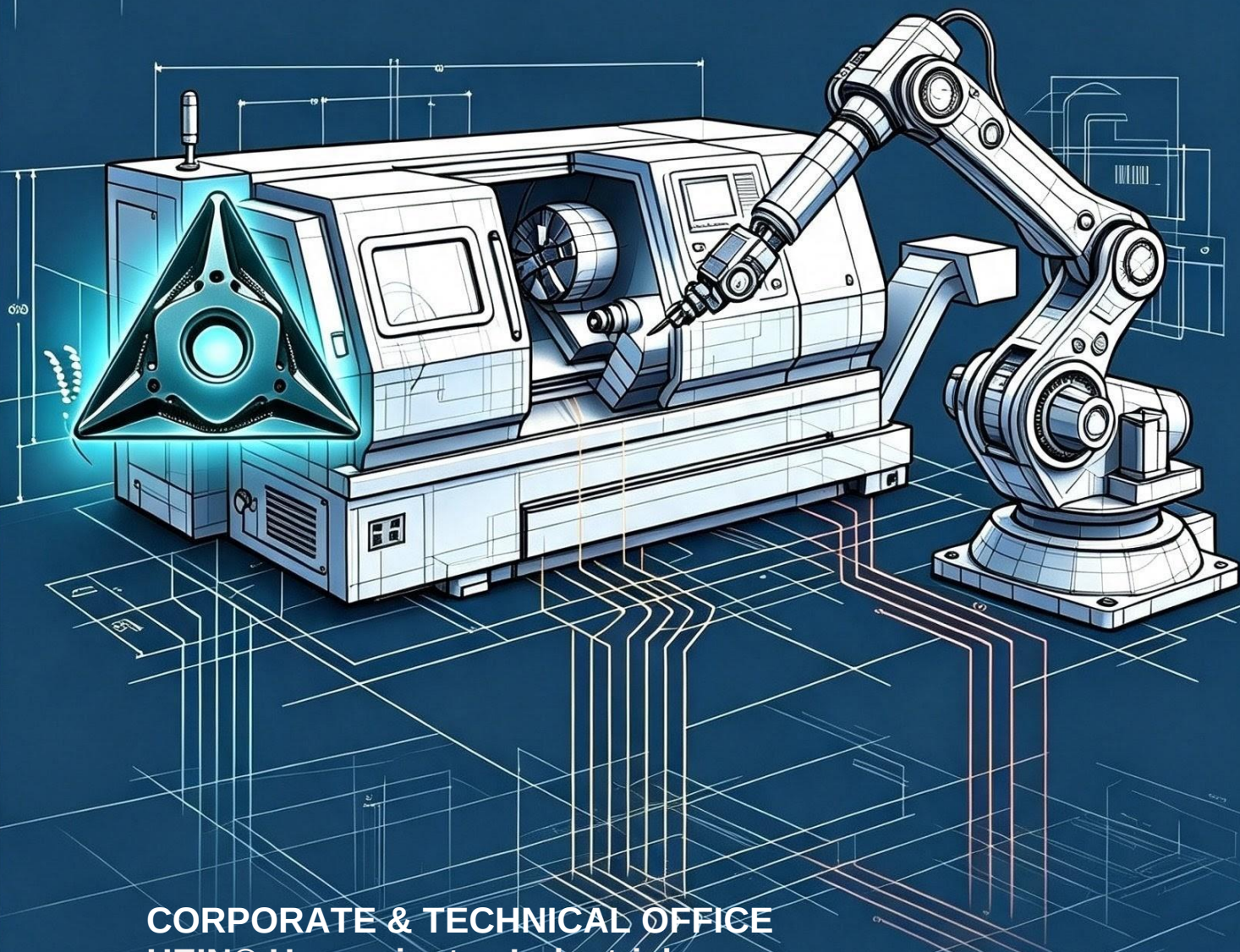
Este compendio científico no constituye una garantía comercial de rendimiento ni un contrato de obligatoriedad técnica para aplicaciones de manufactura específicas. Es responsabilidad absoluta del ingeniero de procesos y del usuario final calificar, validar e implementar los protocolos de seguridad industrial vigentes en la planta, así como realizar pruebas preliminares de remoción volumétrica en piso para determinar la viabilidad elástica y mecánica de su producción. HEIN Herramientas Industriales se reserva el derecho de modificar, actualizar o suprimir el contenido técnico, microgeometría o formulaciones de este manual en cualquier momento y sin previo aviso, en concordancia con los avances de nuestra investigación científica y el desarrollo de nuevas tecnologías metalúrgicas.

Propiedad Intelectual y Secreto Industrial

El contenido de ingeniería, caracterizaciones microgeométricas de la arista de corte, elipses de comportamiento mecánico bajo regímenes térmicos de Von Mises y tablas normalizadas de



fuerza específica de corte (kck sub *ckc*) detallados en este documento representan secreto industrial exclusivo de HEIN Herramientas Industriales, bajo el amparo de las leyes de propiedad intelectual e industrial vigentes en los Estados Unidos Mexicanos y tratados internacionales correspondientes. Queda estrictamente prohibida su distribución, copia, transferencia, alteración o reproducción total o parcial a terceros ajenos a la relación comercial sin el consentimiento previo por escrito emitido por el comité corporativo de la empresa.



CORPORATE & TECHNICAL OFFICE
HEIN® Herramientas Industriales

 **Ubicación:** Ciudad de México, México (Operaciones Centrales)

- **Contacto Comercial y Enlace de Marcas:**
<mailto:corporate@heintools.com>
- **Ingeniería de Precisión y Cotizaciones:**
<mailto:solutions@heintools.com>
- **Acceso a Catálogos y Documentación:** <http://www.heintools.com>

