

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

### DEPARTAMENTO(S):

1. Departamento de Ingeniería Mecánica
2. Departamento de Materiales

### LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Procesos Integrados por computador
2. Análisis y control del desgaste de Materiales

### 1 Proyecto de Investigación

#### Título:

Estudio y Caracterización de la evolución del desgaste de herramientas e integridad superficial de elementos fabricados y maquinados con arranque de viruta en equipos CNC.

#### Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

Los procesos de mecanizado comprenden un conjunto de operaciones destinadas a la obtención de una pieza por medio del arranque o abrasión de material, lo que genera un proceso de desgaste en la herramienta que necesita ser caracterizado y controlado, con el fin de determinar el tiempo de desgaste crítico y falla de herramienta en que el mecanizado es deficiente.

Los problemas asociados al mecanizado de los aceros no son solo debidos al desgaste de la herramienta, también es crítica la integridad superficial del componente que se puede ver afectado por la generación de tensiones residuales durante el mecanizado, lo cual disminuye la calidad de fabricación de productos, y aumenta considerablemente los tiempos de fabricación y disminuye la confiabilidad de la manufactura. La caracterización de la integridad superficial es importante dentro del estudio de los procesos de mecanizado, permite validar las condiciones de trabajo y también los procesos.

Es en este contexto que se podría analizar la pieza mecanizada, la herramienta utilizada y la calidad de viruta que se genera. Este proyecto inicia con el análisis de la integridad superficial y su relación con el desgaste de la herramienta que se utiliza.

El presente proyecto busca estudiar y caracterizar la integridad superficial de las piezas maquinadas y como los parámetros de operación como son: profundidad, velocidad de avance, tipo de herramienta, lubricación, influyen en el acabado superficial, para lo cual se desarrollara el estudio de rugosidad de la pieza acabada, ensayos de dureza y micrografías, los cuales serán de utilidad para su caracterización de acuerdo a los parámetros de fabricación y calidad de material. Esta información se relacionara con la evolución del desgaste de la herramienta.

En la presente investigación la modelación numérica de los procesos de mecanizado tienen elevado interés para el adecuado diseño y control del proceso, ya que es posible obtener como resultado del mismo, información de parámetros tan importantes como fuerzas de mecanizado, temperaturas, deformaciones, tensiones, en la pieza y en la herramienta.

#### Palabras clave (4-6):

Integridad superficial, Mecanismos de desgaste; Vida de la Herramienta; Rugosidad superficial,



2	<b>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
	<b>2.1 Objetivos</b>  <b>2.1.1 Objetivo General</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Caracterizar la evolución del desgaste de la herramienta de corte y su relación con la integridad superficial de un elemento fabricado en un equipo CNC, considerando la variación de los parámetros de fabricación hasta condiciones de vida útil de la herramienta en equipos CNC?.</li></ul> <b>2.1.2 Objetivos Específicos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>a. Caracterizar la evolución del desgaste de la herramienta de corte, considerando parámetros de operación como son, profundidad, velocidad de avance, lubricación, numero de pasadas en procesos de torneado y fresado que utilizan equipos CNC.</li><li>b. Estudiar la integridad superficial de las piezas fabricadas y como los parámetros seleccionados afectan la calidad de la misma como es rugosidad, dureza y estructura.</li><li>c. Determinar las características de la viruta que se genera y como varía dependiendo los parámetros de operación y el material.</li></ul> <b>2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Establecer la evolución del desgaste de herramientas y el tiempo de vida útil de las mismas.</li><li>b) Establecer Tablas de integridad superficial que permitan establecer criterios de aceptación o rechazo en la fabricación de elementos Mecánicos.</li><li>c) Establecer la relación del método de desgaste con el de la integridad superficial del elemento a fabricarse</li><li>d)</li></ul>



<b>3</b>	<p><b>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</b></p> <p>En la fabricación de distintos elementos estructurales, muchas actividades y trabajos están relacionados con el arranque de viruta. El mecanizado es un proceso termo mecánico complejo en el que influyen muchos factores, principalmente el material de la pieza, el material y la geometría de la herramienta, así como los parámetros de mecanizado y el uso o no de fluido de corte. Para el mecanizado se utiliza en la actualidad máquinas de control numérico CNC, que utilizan herramientas de corte que deben trabajar en condiciones que aseguren la precisión y exactitud de la misma. En las herramientas de corte, la evolución de los diferentes tipos de desgaste en operaciones de torneado, fresado o taladrado se la puede analizar considerando diferentes metales duros recubiertos y distintas geometrías de filo. El uso de modelos numéricos para el análisis de determinados desgastes de herramienta requiere del desarrollo de los mismos en 3D, para de esta manera poder reproducir geometrías complejas de las herramientas. Las simulaciones han demostrado ser útiles para mejorar el conocimiento sobre los mecanismos de desgaste y estados superficiales, dando información acerca de variables de difícil medida durante el mecanizado.</p> <p>Justificación, Impacto y Mérito Intelectual (Científico, Educativo, Industrial, Social)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La presente propuesta está desarrollada dentro de las líneas de investigación del Programa de Doctorado de Ciencias de la Mecánica y busca generar conocimiento dentro de los procesos de manufactura, los cuales permiten fabricar y construir elementos en los cuales el desgaste de la herramienta puede influir en la calidad y en los tiempos de fabricación de los mismos.</li> <li>• Considerando el punto de vista científico, la presente propuesta tiene un gran potencial, ya que se enfocara en establecer modelos de desgaste de las herramientas, en procesos de manufactura como son el fresado, y el torneado los cuales son de gran interés en ene el campo de la manufactura.</li> <li>• El aporte en el campo educativo, la implementación de equipos de investigación a los Laboratorio de Maquinas Herramientas, el laboratorio de Metalografía, desgaste y Falla, permitirá realizar investigaciones en el campo de la manufactura, a la vez de generar mayor conocimiento teórico y práctico en el uso de estos equipos, sus condiciones de programación y las herramientas que se usan.</li> <li>• En el ámbito industrial y de ingeniería, estos modelos podrán predecir la vida útil de las herramientas y sus periodos máximos de uso, los cuales permitan garantizar la integridad superficial de las piezas a ser fabricadas, esta información es de vital importancia en procesos de producción y en los controles de calidad de las piezas a ser fabricadas.</li> </ul> <p>Los resultados de esta investigación contribuirán a la calidad de los procesos productivos y de manufactura, en máquinas de control numérico CNC, con lo que se podrá mejorar los índices de productividad en el sector industrial.</p>
----------	--

<b>4</b>	<p><b>Productos esperados</b></p> <p>a. Publicaciones científicas (obligatorio); al menos 1 artículo científico indexado SCOPUS          Posiblemente en:          - Revista Información Tecnológica SJR 0.217          - Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales SJR 0.172          - Latin American Applied Research SJR 0.133</p> <p>b. Disertación a la Comunidad Politécnica; al menos 3 informes de resultados parciales          c. Proyecto de Titulación; al menos 2 seminarios con presentación de resultados          d. Tesis de Grado (maestría o doctorado); <input checked="" type="checkbox"/> al menos 1 proyecto (maestría o doctorado)          e. Aplicación tecnológica construida o implementada; <input type="checkbox"/>          f. Patente presentada; <input type="checkbox"/>          g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. al menos 1 propuesta para tratar aspectos específicos que resulten del análisis.</p>
----------	--

<b>5</b>	<b>Descripción y metodología y diseño del proyecto</b>
----------	--



### 5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

El fresado consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza. Con el uso creciente de las fresadoras de control numérico están aumentando las operaciones de fresado que se pueden realizar con este tipo de máquinas, siendo así que el fresado se ha convertido en un método polivalente de mecanizado.

El desarrollo de las herramientas ha contribuido también a crear nuevas posibilidades de fresado además de incrementar de forma considerable la productividad, la calidad y exactitud de las operaciones realizadas. Las herramientas de fresar se caracterizan por su diámetro exterior, el número de dientes, el paso de los dientes (entendido por paso la distancia que existe entre dos dientes consecutivos) y el sistema de fijación de la fresa en la máquina. En las fresadoras universales utilizando los accesorios adecuados o en las fresadoras de control numérico se puede realizar la siguiente relación de fresados: Aplanamiento, Fresado en escuadra, Cubicaje, Corte, ranurado recto, ranurado de chaveteros, copiado, fresado de cavidades, Torno-fresado, fresado frontal, fresado de engranajes, taladrado, escariado y mandrinado, mortajado, fresado en rampa. Históricamente se han desarrollado modelos numéricos de elementos finitos 2D capaces de predecir cuantitativamente como sería la geometría de la herramienta a medida que se desgasta durante el mecanizado de la aleación.

Gracias a la agilidad de los modelos numéricos en 2d se ha podido cuantificar la influencia de diferentes modelos de desgaste y fricción en la progresión del desgaste de la herramienta, demostrándose que los modelos de fricción tenían más influencia sobre cómo se desgastaba la herramienta que los diferentes modelos de daño [1]. Los modelos numéricos de elementos finitos 3d también han sido capaces de predecir con cierto realismo la morfología de la viruta. En 2006 se presentó un modelo de elementos finitos en de un mecanizado en el que se formaba viruta cerrada [2]. En la actualidad existen una gran cantidad de códigos numéricos generalistas que se utilizan en la modelización de diferentes procesos industriales. Así mismo, existen códigos específicos para la modelización de procesos como el mecanizado. Como por ejemplo, [3] el código de elementos finitos DEFORM3D. Como principal ventaja de los de los códigos de elementos finitos generalistas destaca un mayor control sobre el modelo desarrollado. Los códigos generalistas no son tan rígidos como los específicos, pudiéndose variar factores que un código específico no son ni siquiera visibles. Como principal desventaja de los códigos generalistas destaca que al poseer tanta variedad de opciones pueden llevar más fácilmente a un error. En los códigos específicos suelen existir un proceso guiado en el que el usuario sólo tiene que ir introduciendo variables físicas del proceso a medida que define el modelo. Un código usado es el DEFORM3D, el cual es un código basados en elementos finitos de formulación de LaGrange y remallado automático, diseñado para analizar procesos de conformado y tratamientos térmicos mediante modelos tridimensionales [3]. Al simular estos procesos de fabricación mediante la simulación, esta herramienta permite a los diseñadores reducir el coste y tiempos de ensayos y predecir errores en el rediseño de herramientas y procesos.

El presente proyecto se fundamenta en las siguientes tesis doctorales, Diaz-Alvarez Jose, [3] "Análisis Numérico y experimental del desgaste de Herramienta e integridad superficial en los procesos de Torneo de Inconel 718", y la tesis [4] de Ramírez Fernando "Modelización de la evolución del desgaste en herramientas de corte", y publicaciones científicas como de Cantero J.L, Diaz-alvarez J, Miguelez M.H., Marín N.C. "Analysis of tool wear patterns in finishing turning of inconel 718", entre otras. En estos estudios se realiza los ensayos de desgaste, determinación de los componentes de la fuerza de mecanizado en los procesos seleccionados, considerados en los ensayos de desgaste, empleando herramienta nueva y herramienta de fin de vida.

Para la validación de los modelos numéricos de mecanizado desarrollados, se realizaran ensayos adicionales de medida de fuerza, empleando mayores velocidades de corte y herramientas sin desgaste, determinación de las tensiones residuales y rugosidades superficiales, ensayos de desgaste. Para la realización de los estudios de la evolución del desgaste, se hace trabajar la herramienta objeto del estudio durante intervalos de tiempos regulares, midiéndose el estado del desgaste por medio de un microscopio óptico. Una vez alcanzada el fin de vida de la herramienta se realizaba una inspección mediante microscopía electrónica y análisis de composición para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de desgaste y en magnitud y tipos de desgaste correspondientes. Las mediciones de desgaste correspondientes a desgaste de flanco y



desgaste de entenalla se realizaron siguiendo la norma correspondiente. Esta propuesta busca la modelización y validación experimental del desgaste de la herramienta en los principales procesos de maquinado como es el fresado y el torneado, en donde se han estructurado los siguientes componentes:

- a) Componente de Ingeniería: evaluar diferentes tipos de herramientas utilizadas en el proceso de fresado, y torneado considerando su trabajo con y sin lubricación para determinar su nivel de desgaste de acuerdo a las consideraciones de trabajo. Garantizar la integridad superficial de la pieza, permite validar los controles de calidad del proceso productivo.
- b) Componente de modelación experimental: En proyectos se utilizara en la parte experimental:
  - a) Metodología experimental: Para la realización de los estudios de la evolución del desgaste, se hace trabajar la herramienta objeto del estudio durante intervalos de tiempos regulares, midiéndose el estado del desgaste por medio de un microscopio óptico. Una vez alcanzada el fin de vida de la herramienta se realizaba una inspección mediante microscopia electrónica y análisis de composición empleando microscopio para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de desgaste y en magnitud y tipos de desgaste correspondientes [3]. Las mediciones de desgaste correspondientes a desgaste de flanco y desgaste de entenalla se realizaron siguiendo la norma ISO 3685:1993 E en torneado y ISO 8688:1997 para el fresado.
  - b) Condiciones de fin de vida del filo (criterios de sustitución de herramienta). Se establecieron principalmente en base a las recomendaciones de la norma ISO 3685:1993 (E) para trabajos de torneado/ISO 8688:1997 para el fresado y a los resultados de ensayos preliminares [3].
  - c) La metodóloga para la determinación de la evolución del desgaste [3].
    - a) Mecanizar durante un periodo de tiempo (aproximadamente 20 segundos).
    - b) Retirar la plaquita del portaherramientas y observación mediante el microscopio óptico para la determinación cuantitativa y/o cualitativa según corresponda de los desgastes producidos.
    - c) Determinación de la rugosidad superficial de la pieza y de la altura de rebaba producida durante el mecanizado.
    - d) En base a los resultados obtenidos se determinara si se habrán alcanzado las condiciones de fin de vida de la herramienta.
    - e) Si la plaquita no ha alcanzado su fin de vida se procederá al montaje de la misma en la porta herramienta para proseguir con el ensayo de desgaste.
    - f) Si la plaquita ha llegado a fin de vida, se retira concluyéndose con una inspección de la misma mediante microscopia electrónica, Las plaquitas a fin de vida serán guardadas y clasificadas en función de las condiciones de corte con las que habían sido.
  - d) Medida de la rugosidad: Se medirá mediante un rugosímetro marca, para valorar el estado de rugosidad superficial de la pieza mecanizada se optó por la determinación de Ra. de acuerdo al procedimiento ISO 4287 para determinación de Ra. [3].
  - e) Ensayo de medida de fuerzas de mecanizado Metodología experimental: Se instrumenta el CNC con una meza dinamométrica para fresado, con el que se pueden medir 3 fuerzas ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) y 3 momentos ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ).[3].
- c) Componente de validación experimental: el cual se fundamenta en varios ensayos que como son:
  - a. Ensayos de desgaste: empleando herramientas con distintas geometrías, tanto en condiciones de seco como utilizando taladrina y utilizando velocidades de corte representativas de las condiciones de corte recomendadas.
  - b. Material ensayado: con las especificaciones y certificados de calidad del fabricante del material, se validan las características y propiedades del material ensayado por medio de pruebas de tracción, y de dureza; así como de su composición química, los cuales serán validados y contrastados con los certificados de calidad del proveedor de aceros.
  - c. Herramientas ensayadas: Se utilizaran plaquitas rómbicas de dos calidades, las cuales son las que más se usen y se recomienden para este tipo de material.
  - d. Condiciones de corte: Para los tipos de herramientas se realizaran ensayos de desgaste empleando velocidades de corte distintas y 2 condiciones de refrigeración/lubricación (con taladrina y en seco). Se utilizara el mismo avance y la misma profundidad de pasada.

Con esta validación y desarrollo experimental se modeliza el desgaste en procesos de maquinado como son el fresado en centros de mecanizado, optimizando la calidad de manufactura, disminuir los tiempos de fabricación.



- [1] Lorenzon J.,H;Jarvstrat, "Modeling tool wear in cemented-cartridge machining alloy 718", International Journal of Machine Tools & Manufacture 48 (2008) 1072-1080.
- [2] Aurich JC, Bil H, "Finite element Modeling of segmented Chip", Formation, CIRP Annals 55(1): 47-50
- [3] Diaz-Alvarez Jose, "Análisis Numérico y experimental del desgaste de Herramienta e integridad superficial en los procesos de Torneado de Inconel 718", PhD Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2013.
- [4] Cantero J.L, Diaz-alvarez J, Miguelez M.H., Marín N.C. "Analysis of tool wear patterns in finishing turning of inconel 718", 2012, Elsevier, Wear 297 ( 2013) 885 -894.
- [5] Ramírez Fernando, "Modelización de la evolución del desgaste en herramientas de corte", Phd Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2015
- [6] Norma ISO 8688-1:1989 Tool life testing in milling -- Part 1: Face milling
- [7] Norma ISO 8688-2:1989 Tool life testing in milling -- Part 2: End milling
- [8] Norma ISO 14649-111:2010 Industrial automation systems and integration - Physical device control - Data model for computerized numerical controllers - Part 111: Tools for milling machines.
- [9] Arrazola Pedro-J, "Metal cutting experiments and modelling for improved determination of chip/tool contact temperature by infrared thermography", Elsevier, CIRP Annals \_ Manufacturing Technology 64 (2015) 57-60, 2015.
- [10] Ozel Tugrul, "3D finite element process simulation of micro-end milling Ti-6Al-4V titanium alloy: Experimental validations on chip flow and tool wear", Elsevier, Journal of Materials Processing Technology 221 (2015) 128-145, 2015.
- [11] Soler D., "Uncertainty of temperature measurements in dry orthogonal cutting of titanium alloys", Elsevier, Infrared Physics & Technology 71- (2015) 208-216, 2015.
- [12] Dogu Yahya, "A numerical model to determine temperature distribution in orthogonal metal cutting", Elsevier, Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 1-9, 2006.



6 **Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

**6.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.**

*El tiempo de dedicación máximo será de acuerdo al tipo de proyecto:*

Proyecto	Director	Colaboradores
PII y PIS	16 HSS	8 HSS
PIJ y PIMI	20 HSS	10 HSS

Nombre	Rol (director o colaborador)	Horas de dedicación	Departamento
Cesar Ayabaca	Director	10 HSS	MECANICA
Carlos Díaz	Colaborador	8 HSS	MATERIALES

**6.2 Infraestructura y equipos**

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizarán los laboratorios de Maquinas Herramientas y el Laboratorio de Metalografía desgaste y falla del departamento de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

En el Laboratorio de Maquinas Herramientas se cuenta con equipos de control numérico CNC.

- Torno CNC
- Centro de Mecanizado
- Limadoras Torno Manuales
- Herramientas de corte

En el Laboratorio de Metalografía desgaste y Falla se cuenta con equipos y microscopios para la realización metalográfica y análisis del desgaste

- Microscopio Metalográfico
- Microscopio Estereoscópico
- Durómetro
- Micro durómetro
- Maquinas Pulidoras y de desbaste.

**6.3 Breve justificación del equipo requerido**


Se requiere dotar de equipos e insumos de investigación en el área de manufactura, por lo que el rugosímetro solicitado y las herramientas se requieren ya que actualmente no se disponen en los laboratorios de la Facultad de Mecánica de la EPN, por lo que se plantea su compra para la realización del presente proyecto.

- Herramientas de corte con sus accesorios para equipos CNC (torno, Fresa).  
No se disponen en el laboratorio de máquinas herramientas de accesorios para el centro de maquinado, los cuales permitan realizar las pruebas requeridas en la parte experimental.
- Rugosímetro para determinar la calidad e integridad superficial. No se dispone de este instrumento de medida, que permite realizar la medición del acabado superficial, se requiere para la medición experimental.
- Insertos para la validación experimental: son los requeridos para la medición del desgaste, los insertos se analizarán para cada condición de operación del equipo y de los parámetros de calibración.
- Computadoras de altas prestaciones para poder tener capacidad de simulación, ya que no se dispone de equipos que tengan capacidad de simulación y de programas de ingeniería.
- Insumos y herramientas menores de corte: se requiere para las pruebas experimentales.

**6.4 Fondos Adicionales**

- *Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)*



<b>7</b>	<b>Declaración del Director del Proyecto</b>
	<p>Declaro que la presente propuesta es de mi autoría y de los colaboradores mencionados y que no ha sido presentada en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del proyecto.</p> <p style="text-align: center;"> _____ DIRECTOR DEL PROYECTO Nombre: César Ayabaca CC: 1710915594</p> <p style="text-align: right;">Quito, 13 de Julio de 2016 (lugar y fecha)</p>

<b>DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO</b>	
	<p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Ingeniería Mecánica, en sesión del día 18 de Julio de 2016... mediante resolución No. 003..... Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.</p> <p style="text-align: center;"> _____ JEFE DEL DEPARTAMENTO Nombre: Jesus Portilla CC: 0401024021</p> <p style="text-align: right;">Quito, 18 de julio de 2016 (lugar y fecha)</p>