



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en  
Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045  
según el Sistema de Amarre de la Herramienta de Corte

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos  
por Computador

AUTOR/A: Chandias Pérez, Mario Gabriel

Tutor/a: Vila Pastor, Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# **Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la Herramienta de Corte**

**Mario Gabriel Chandias Pérez**

Universitat Politècnica de València UPV

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computadora

Dirigida por: Dr. Carlos Vila Pastor

Valencia, septiembre

2022



*Dedicatoria*

***A mi Madre Otilia Pérez***

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por otorgarme la sabiduría, entendimiento e inteligencia para llevar a cabo este proceso de Maestría, de la misma manera, agradezco a Él por facilitar los recursos para que esto fuera posible, abrir las puertas necesarias y poner a diferentes personas en mi camino que fueron de bendición en este posgrado.

A mi madre-abuela Otilia Pérez quien fue el pilar fundamental para no desistir y continuar día a día motivadamente, dando lo mejor de mí hasta alcanzar mis objetivos.

Al ejemplar, respetable tutor y amigo de tesina Carlos Vila Pastor, quien me enseñó indirectamente que aún existen personas en este mundo con un corazón noble, y dispuesto a compartir de su vasto conocimiento y experiencia que ha obtenido a lo largo de su vida. Agradezco por su apoyo y confianza al asignarme este trabajo académico de gran magnitud y valorar satisfactoriamente todo mi esfuerzo.

A mi madre Iris Pérez, quien estuvo siempre pendiente de todo mi proceso en el exterior y quien me da muchos consejos de vida para ser mejor con las personas que están a mi alrededor.

A Jonathan Martínez por demostrarme que aún existes amigos de verdad en este planeta y que se puede confiar en las personas, te agradezco por compartir momentos inolvidables que marcaron mi vida duran el transcurso del máster.

A Tudela, Silvia, Victoria, Isidro, Manuel, Elena, Ramón, Raúl, Mari, José, Jony, Luis, Roberto, y muchos más con quienes compartimos momentos inolvidables y nos volveremos a encontrar en cualquier parte del mundo.

Al personal de la *Universitat Politècnica de València UPV Valencia-España* por compartir de su conocimiento en el transcurso del máster y por permitirme realizar las actividades de esta tesina en sus laboratorios de investigación; Lorenzo, Santiago, Pedro y demás personal del área de diseño, fabricación y materiales.

A la Cooperación Española MAEC-AECID, por la oportunidad de estudiar en el extranjero mediante el Programa de becas de Máster 2021-2022 para funcionarios de países de América Latina.

# RESUMEN

Dentro del marco de desarrollo sostenible se busca la implementación de factores importante que contribuyan de manera sustentable la realización de procesos industriales. Existen diferentes técnicas y procedimientos para lograr la mejor optimización en el arranque de viruta y así lograr objetivos con la calidad esperada en función a especificaciones técnicas.

Según estudios, se ha determinado que la integridad superficial está influenciada por varios parámetros a controlar durante el mecanizado de una pieza, Por lo tanto, este trabajo se proyecta a una investigación donde se involucran parámetros que afectan la integridad superficial como ser: acabado superficial, microdureza, tensiones residuales y deformación superficial. La investigación consiste en determinar cuál es el impacto que tienen diferentes sistemas de amarre de las herramientas de corte en la integridad superficial y el consumo de potencia cuando se mecaniza un material AISI 1045 en una máquina herramienta fresadora con control numérico computarizado utilizando.

La disertación comienza con una investigación profunda sobre la integridad superficial en el ámbito del mecanizado industrial y como es influenciado por varios parámetros a controlar. También se realizará una pequeña revisión respecto al mecanizado prismático y algunas terminologías para poner en contexto este trabajo de investigación. Posteriormente, se centrará en la tecnología de los diferentes tipos de sistemas de sujeción de herramientas de corte, en concreto se analizarán el sistema tipo Multilock, de pinzas y el de contracción térmica.

Finalmente, como validación de esta tesina, se ha elaborado un diseño experimental, con diferentes indicadores para el caso de arranque de viruta con el fin de obtener resultados sobre la influencia de los sistemas de sujeción sobre la pieza mecanizada.

**Palabras clave:** *Sistemas de Amarre de Fresas; Mecanizado Prismático; Integridad Superficial; AISI 1045; Fabricación Sostenible, herramienta de corte*

# RESUM

Dins del marc de desenvolupament sostenible es busca la implementació de factors important que contribuïsqen de manera sustentable la realització de processos industrials. Existeixen diferents tècniques i procediments per a aconseguir la millor optimització en l'arrancada d'encenall i així aconseguir objectius amb la qualitat esperada en funció a especificacions tècniques.

Segons estudis, s'ha determinat que la integritat superficial està influenciada per diversos paràmetres a controlar durant el mecanitzat d'una peça, Per tant, aquest treball es projecta a una investigació on s'involucren paràmetres que afecten la integritat superficial com ser: acabat superficial, microdureza, tensions residuals i deformació superficial. La investigació consisteix a determinar quin és l'impacte que tenen diferents sistemes d'amarrament de les eines de tall en la integritat superficial i el consum de potència quan es mecanitza un material \*AISI 1045 en una màquina eina fresadora amb control numèric informatitzat utilitzant.

La dissertació comença amb una investigació profunda sobre la integritat superficial en l'àmbit del mecanitzat industrial i com és influenciat per diversos paràmetres a controlar. També es realitzarà una xicoteta revisió respecte al mecanitzat prismàtic i algunes terminologies per a posar en context aquest treball de recerca. Posteriorment, se centrarà en la tecnologia dels diferents tipus de sistemes de subjecció d'eines de tall, en concret s'analitzaran el sistema tipus \*Multilock, de pinces i el de contracció tèrmica.

Finalment, com a validació d'aquesta tesina, s'ha elaborat un disseny experimental, amb diferents indicadors per al cas d'arrancada d'encenall amb la finalitat d'obtindre resultats sobre la influència dels sistemes de subjecció sobre la peça mecanitzada.

**Paraules clau:** . *Sistemes d'Amarrament de Maduixes; Mecanitzat Prismàtic; Integritat Superficial; \*AISI 1045; Fabricació Sostenible, eina de tall*

## **ABSTRACT**

Within the framework of sustainable development, the implementation of key factors that contribute in a sustainable way to the realization of industrial processes is sought. There are different techniques and procedures to achieve the best optimization in chip removal and thus achieve objectives with the expected quality based on technical specifications.

According to studies, it has been determined that the surface integrity is influenced by several parameters to be controlled during the machining of a piece. Therefore, this work is projected to an investigation where parameters that affect the surface integrity are involved, such as: surface finish, microhardness, residual stresses, and surface deformation. The research consists of determining the impact that different clamping systems of cutting tools have on surface integrity and power consumption when an AISI 1045 material is machined in a computerized numerical control milling machine tool using.

The dissertation begins with a deep investigation on surface integrity in the field of industrial machining and how it is influenced by various parameters to be controlled. A small review will also be made regarding prismatic machining and some terminologies to put this research work in context. Subsequently, it will focus on the technology of the different types of cutting tool clamping systems, specifically the Multilock, collet and thermal shrinkage systems will be analyzed.

Finally, as a validation of this thesis, an experimental design has been developed, with different indicators for the case of chip removal to obtain results on the influence of the clamping systems on the machined part.

***Keywords:*** Mill Setup Systems; Prismatic Machining; Surface Integrity; AISI 1045; Sustainable Manufacturing, Cutting Tools.



# Índice General

# Índice General

CAPÍTULO 1. Introducción.....	2
1.0 Antecedentes .....	2
1.1 Motivación .....	3
1.2 Objetivos del Trabajo de Fin de Máster .....	4
1.3 Alcance .....	5
1.4 Organización de la memoria .....	6
CAPÍTULO 2. Análisis de la integridad superficial .....	8
2.0 Integridad superficial .....	8
2.1 Calidad en Piezas Especiales. ....	12
2.1.1 Acabado superficial .....	12
2.1.2 Microdureza y tensiones residuales .....	18
2.1.3 Deformación superficial .....	19
2.2 Mecanizado prismático .....	20
2.2.1 Máquina Fresadora .....	20
2.2.2 Herramientas de Corte .....	21
2.2.3 Tipos de fresado .....	22
2.2.4 Parámetros de corte.....	23
2.3 Conclusiones .....	25
CAPÍTULO 3. Análisis del Sistema de amarre de herramientas de corte .....	27
3.0 Sistema de porta-pinzas.....	31
3.1 Sistema térmico o de ajuste por contracción .....	34
3.2 Sistema Multilock o de precisión .....	37
3.3 Conclusiones .....	39
CAPÍTULO 4. Diseño y desarrollo experimental.....	41
4.0 Introducción.....	41
4.1 Diseño de experimentos .....	41
4.2 Materiales y equipo de desarrollo .....	44
4.2.1 Material para mecanizar .....	45
4.2.2 Centro de mecanizado y equipos .....	45

4.2.3 Herramientas.....	45
4.2.4 Aplicaciones de fabricación asistida por ordenador .....	46
4.2.5 Instrumentos de medición .....	47
4.3 Caso I: Evaluación de la Integridad superficial .....	49
4.3.1 Paso 1 – Caso I: Observación .....	49
4.3.2 Paso 2 – Caso I: Formulación de hipótesis.....	49
4.3.3 Paso 3 – Caso I: Diseño experimental – Procedimiento .....	49
4.3.4 Paso 4 – Caso I: Desarrollo del experimento .....	51
4.3.5 Paso 5 – Caso I: Toma de datos y Análisis de resultados .....	52
4.3.6 Paso 6 – Caso I: Conclusiones del experimento.....	56
4.4 Caso II: Evaluación del Consumo de energía.....	57
4.4.1 Paso 1 – Caso II: Observación .....	57
4.4.2 Paso 2 – Caso II: Formulación de hipótesis.....	57
4.4.3 Paso 3 – Caso II: Diseño experimental – Procedimiento .....	57
4.4.4 Paso 4 – Caso II: Desarrollo del experimento .....	58
4.4.5 Paso 5 – Caso II: Toma de datos y Análisis de resultados.....	59
4.4.6 Paso 6 – Caso II: Conclusiones del experimento .....	62
CAPÍTULO 5. Viabilidad Técnica y Económica .....	65
5.0 Viabilidad Técnica .....	65
5.1 Viabilidad Económica .....	66
CAPÍTULO 6. Conclusiones y trabajos futuros.....	68
6.0 Conclusiones .....	68
6.1 Trabajos futuros .....	69
CAPÍTULO 7. Bibliografía.....	70
7.0 Referencias bibliográficas .....	70

# Índice de Figura

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FUNDAMENTOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE .....	8
FIGURA 2. ESQUEMA DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL .....	9
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DEL ESQUEMA DE UNA SUPERFICIE METÁLICA .....	13
FIGURA 4. PERFIL DE LA SUPERFICIE .....	13
FIGURA 5. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO DE PARÁMETROS QUE AFECTAN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL .....	15
FIGURA 6. VALORES DE RA DE LAS SUPERFICIES MECANIZADAS ORDENADAS SEGÚN TAMAÑO .....	16
FIGURA 7. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN LA RUGOSIDAD DEL AISI 1018 .....	16
FIGURA 8. RUGOSIDAD SUPERFICIAL RZ .....	17
FIGURA 9. VARIACIÓN DE LA MICRODUREZA A LO LARGO DE LA PROFUNDIDAD BAJO LA SUPERFICIE MECANIZADA .....	18
FIGURA 10. TENSIONES RESIDUALES MEDIDAS Y PREVISTAS EN LA DIRECCIÓN XX .....	18
FIGURA 11. CAPA DE REFINAMIENTO DEL GRANO .....	19
FIGURA 12. FRESADO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC .....	20
FIGURA 13. A) SECCIÓN TRANSVERSAL DE PROCESO DE MAQUINADO. B) HERRAMIENTA CON ÁNGULO DE INCLINACIÓN NEGATIVO ..	21
FIGURA 14. MORFOLOGÍA DE LA VIRUTA .....	21
FIGURA 15. PARÁMETROS DE CORTE EN EL FRESADO .....	24
FIGURA 16. CONOS PORTAHERRAMIENTAS PARA MECANIZADOS DE ALTA VELOCIDAD .....	28
FIGURA 17. CONJUNTO DE HUSILLO E INTERFACES PORTAHERRAMIENTA-HUSILLO .....	28
FIGURA 18. CONO DE HUSILLO CAT (IZQUIERDA) Y CONO HSK (DERECHA) .....	29
FIGURA 19. DIFERENTES SISTEMAS DE SUJECIÓN DE HERRAMIENTA DE CORTE. A) PORTAPINZAS B) WELDON C) PRECISIÓN .....	29
FIGURA 20. DESARROLLO DE ZONAS DE DESGASTE PROMEDIADO SOBRE TODOS LOS PUNTOS DE MEDICIÓN .....	30
FIGURA 21. FLUJO DE TRABAJO DE MODELO PROPUESTO .....	30
FIGURA 22. PINZAS ER32 DIÁMETRO 16 MM JUNTO CON TAPA DE PORTAPINZAS .....	31
FIGURA 23. A) COMPARACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE AMARRE EN RELACION AL VALOR DE VB Y AL TIEMPO. ....	32
FIGURA 24. A) COMPONENTES DEL MANDRIL DE PINZAS B) MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAPINZAS.....	32
FIGURA 25. DISTORSIÓN DE LA ALINEACIÓN DE LA PINZA DEBIDO AL MAL APRIETE DE LA TUERCA .....	33
FIGURA 26. A) ACOPLÉ DEL MODELO ANÁLISIS FINITO B) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE.....	34
FIGURA 27. A) VÁSTAGO LSFH Y SISTEMA DE CORTE B) SOPORTE DE CONTRACCIÓN ALARGADO .....	35
FIGURA 28. A) RESPUESTA DE FRECUENCIA DE ACELERACIÓN B) IMAGEN MICROSCÓPICA EN RANURAS COMPLETAS.....	35
FIGURA 29. A) EJEMPLO DE CONEXIÓN POR SISTEMA TÉRMICO. B) TÉCNICA DE MODELADO PROPUESTA.....	36
FIGURA 30. BANCO DE PRUEBA PARA LA APLICACIÓN DE CARGAS .....	36
FIGURA 31. A) CONO MULTILOCK A -90 °C B) CONFIGURACIÓN DE SISTEMA MULTILOCK CON MULTI-RODILLO .....	37
FIGURA 32. FUNCIONAMIENTO DE LAS RANURAS INTERNAS EN EL SISTEMA MULTILOCK .....	37
FIGURA 33. RIGIDEZ DEBIDA AL CONTACTO FRONTAL Y CONCENTRICIDAD DE LA HERRAMIENTA .....	38
FIGURA 34. ESTRUCTURA DE MECANISMOS DE SUJECIÓN DE DIFERENTES MANDRILES DE FRESADO .....	38
FIGURA 35. PORTAPINZAS CON MANGUITO; IZQUIERDA MANGUITO CON AGUJEROS; DERECHA MANGUITO CON RANURAS .....	38
FIGURA 36. PROPUESTA DE EXPERIMENTOS PARA EL MODELO DE FABRICACIÓN .....	42
FIGURA 37. PASOS DEL MÉTODO EXPERIMENTAL .....	43
FIGURA 38. SIMULACIÓN DE MECANIZADO Y LA HERRAMIENTA DE CORTE .....	46
FIGURA 39. RUTA PARA EL PROCESAMIENTO DE UN PROGRAMA CNC .....	47
FIGURA 40. CASO I: CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL .....	52
FIGURA 41. TOMA DE DATOS CON EL RUGOSÍMETRO.....	52
FIGURA 42. TOMA DE DATOS CON EL DURÓMETRO .....	52
FIGURA 43. RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN LA ENTRADA .....	53
FIGURA 44. RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN LA SALIDA .....	54
FIGURA 45. MICRODUREZA DE LA PIEZA MECANIZADA .....	55
FIGURA 46. CASO II: CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL .....	59
FIGURA 47. TOMA DE DATOS DE CORRIENTE EN UNA FASE DE LA MÁQUINA .....	59

FIGURA 48. TOMA DE DATOS DEL DESGASTE DE LA HERRAMIENTA.....	59
FIGURA 49. POTENCIA ELÉCTRICA REAL CONSUMIDA .....	61

# Índice de Tablas

# INDICE DE TABLAS

TABLA 1. NIVELES DE ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD DE SUPERFICIE .....	10
TABLA 2. ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA IS .....	12
TABLA 3. TIPOS DE FRESADO. ....	22
TABLA 4. EXPERIMENTOS PROPUESTOS: CASOS DE ESTUDIO.....	43
TABLA 5. DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	44
TABLA 6. MATERIALES Y EQUIPOS PARA LOS CASOS DE ESTUDIO .....	44
TABLA 7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS.....	45
TABLA 8. CENTRO DE MECANIZADO GENTIGER.....	45
TABLA 9. HERRAMIENTA E INSERTOS UTILIZADOS.....	45
TABLA 10. APLICACIONES DE FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR. ....	46
TABLA 11. DURÓMETRO HOMMELWERKE T500.....	48
TABLA 12. DURÓMETRO HBRVU-187.5 .....	48
TABLA 13. MICROSCOPIO OLYMPUS SZ61. ....	48
TABLA 14. PINZA AMPERIMÉTRICA ISO-TECH. ....	48
TABLA 15. CASO I: DETALLES GENERALES DEL EXPERIMENTO .....	49
TABLA 16. CASO I: MATERIALES Y EQUIPO PARA EL EXPERIMENTO.....	50
TABLA 17. MATERIAL Y SISTEMAS DE SUJECIÓN DURANTE EL MECANIZADO. ....	51
TABLA 18. ANÁLISIS METALGRÁFICO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL.....	54
TABLA 19. CASO II: DETALLES GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	57
TABLA 20. CASO II: MATERIALES Y EQUIPO PARA EL EXPERIMENTO. ....	58
TABLA 21. CASO II: ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE CORTE NECESARIA.....	60
TABLA 22. ANÁLISIS DEL DESGASTE DE LA HERRAMIENTA .....	62
TABLA 23. PRESUPUESTO FINAL.....	66



## TABLA DE ABREVIATURAS

---

<b>SIGLAS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
CNC	Computer Numerical Control
FEA	Finite Element Analysis
HV	Hardness Vickers
LSFH	Lengthened Shrink-Fit Holder
IS	Integridad superficial
ISO	International Organization for Standardization
HE	Expansión Hidráulica
HSK	Hohl Shaft Kegel
rpm	Revoluciones por minuto
UNE	Organismo de Normalización en España
Vc	Velocidad de corte
f	Feed
$a_p$	Profundidad de corte

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **Capítulo 1**

# **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo realizará una revisión de los antecedentes del tema que le darán soporte a esta tesina, asimismo se menciona la motivación y los objetivos de esta investigación. Por otra parte, se comentará sobre los alcances y finalmente, la organización de la memoria.

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Motivación
- 1.3 Objetivos del Trabajo de Fin de Máster
- 1.4 Alcance
- 1.5 Organización de la memoria

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

La necesidad de disponer información respecto a los factores que influyen en el mecanizado prismático hoy en día se ha vuelto en información vitalicia con la cual se pueden acelerar y optimizar los procesos de conformado de viruta de manera sostenible, es por eso, que esta tesina se centrara en variables de suma importancia como ser: la integridad superficial utilizando diferentes sistemas de amarres de herramienta de corte durante el mecanizado en una fresadora y en un material específico. Por lo tanto, para el desarrollo de la siguiente investigación se toma como base los siguientes trabajos de investigación:

En primer lugar, el trabajo de Ayabaca (2021), titulado como “Desarrollo de un modelo de fabricación sostenible aplicado a los procesos de arranque de viruta en entornos colaborativos”, el cual tenía como objetivo general crear un modelo de fabricación sostenible de productos por arranque de viruta con el objetivo de minimizar el impacto ambiental utilizando procesos de conformado por arranque de viruta mirándolo desde el punto de vista del desarrollo sostenible.

Como objetivos específicos figuran los siguientes: Caracterizar la influencia de los parámetros del proceso de sostenibilidad y definir las estrategias de desarrollo sostenible; Definir un modelo de fabricación sostenible y particularizarlo en proceso de conformado de material.

Dentro del desarrollo experimental de esta tesis doctoral se plantearon diferentes casos entre ellos uno de mayor relevancia que va acorde a la realización de esta tesina como ser el Caso II: Evaluación de la integridad superficial donde se concluye que el análisis de la integridad superficial de la pieza mecanizada permite conocer las causas posibles de fallos posteriores a la fabricación del elemento, las cuales se podrían dar a una incorrecta planificación del proceso o malas selecciones de los parámetros de mecanizado.

En segundo y último lugar, el trabajo de Thorenz (2018), de su publicación titulada “*Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear and Surface qualities in milling operations*” esta investigación buscaba determinar la influencia de diferentes mandriles de sujeción en los parámetros de consumo de energía, desgaste de herramienta y calidad superficial. Algunas de sus conclusiones importantes mostraron que el mandril tipo Weldon tenía la demanda de potencia de corte más baja seguido el mandril de pinzas y por último el de precisión, por otra parte, concluyo que el desgaste afecta significativamente el consumo de energía, pero también tiene un efecto sobre la calidad superficial.

## **1.2 Motivación**

Esta propuesta de Trabajo Fin de Máster parte de que es posible lograr una fabricación sostenible utilizando los sistemas de sujeción adecuados según los requerimientos del trabajo a realizar y así lograr una producción más limpia, además se propone utilizar diferentes parámetros de corte con una misma herramienta y así determinar qué sistema de sujeción es óptimo para poder alcanzar una fabricación más sostenible.

De la revisión bibliográfica se constata que hay poca información relacionada con el impacto de los sistemas de sujeción de herramienta en el mecanizado de piezas en la industria, por otra parte, la limitada información que hay respecto a este tema se encuentra en inglés y en alemán, por lo tanto, basándonos en la importancia que conlleva este tipo de investigación y el posible conocimiento que se aportará, se ha tomado de motivación estos factores para la realización de esta tesina.

### **1.3 Objetivos del Trabajo de Fin de Máster**

#### **Objetivo global**

Analizar de qué forma influyen los diferentes sistemas de sujeción en la integridad superficial al realizar operaciones de fresado prismático en material AISI 1045

#### **Objetivos específicos**

Basándonos en el objetivo global se establecen los siguientes objetivos parciales para poder alcanzarlo:

**O1:** Determinar cuál es el dispositivo de sujeción de herramienta de corte que proporciona las condiciones más favorables para la fabricación sostenible.

**O2:** Analizar la influencia de los sistemas de sujeción en la calidad superficial, microdureza del material, potencia consumida y el desgaste de la herramienta.

#### **1.4 Alcance**

Los alcances de este trabajo abarcan la obtención de valores necesarios para determinar cómo afecta utilizar diferentes sistemas de sujeción en la integridad superficial de una pieza mecanizada en una fresadora CNC, así como la realización de una investigación completa con un diseño experimental adecuado que nos proporcionara datos claros sobre los parámetros de corte que influyen en la integridad superficial del material AISI 1045.

Dado que es necesario delimitar el campo de análisis, esta investigación tomara en cuenta solo 3 sistemas de sujeción: portapinzas, térmico o de contracción térmica y por último el Multilock o de precisión, asimismo se realizarán estudios de publicaciones y tesis que tengan relación con los temas de integridad superficial y sistemas de sujeción de herramientas de corte para operaciones de fresado.

Desde el punto de vista científico, este trabajo permitirá incrementar el conocimiento sobre la influencia de los parámetros que afectan la integridad superficial durante el corte en el fresado prismático y así lograr mejores rendimientos en los procesos de fabricación en la industria.

Para la validación de esta disertación, se realizarán una serie de operaciones básicas de fresado, asimismo, durante y después del mecanizado se realizarán las mediciones correspondientes para posteriormente hacer un análisis de discusión sobre los resultados.

## **1.5 Organización de la memoria**

Esta memoria se organiza en capítulos como se describen a continuación:

En el capítulo 1 se realizará una revisión de los antecedentes del tema que le darán soporte a esta tesina, asimismo se menciona la motivación y los objetivos de esta investigación. Por otra parte, se comentará sobre los alcances y finalmente, la organización de la memoria.

En el capítulo 2 se lleva a cabo una investigación de artículos científicos relacionadas con la integridad superficial, y el mecanizado prismático.

En el capítulo 3 se realiza una revisión sobre investigaciones relacionadas con los diferentes sistemas de amarre de herramienta, en concreto el sistema de pinzas, térmico y por último el sistema Multilock o de precisión.

En el capítulo 4 se describe el diseño y desarrollo experimental, aquí se analizan diferentes estrategias para poder realizar el experimento de la manera óptima posible. También, se describe el desarrollo del caso experimental. Se analiza la influencia de los tres tipos de sujeción de herramientas de corte y varios indicadores que se ven afectados por estos elementos de amarre. En este caso se analiza: la evaluación de la integridad superficial de la parte mecanizada y el consumo de energía.

En el capítulo 5 se elabora una viabilidad técnica y económica para poder desarrollar este tipo de experimento.

En el capítulo 6 se desarrollan las conclusiones y se presenta la propuesta para trabajos futuros.

Finalmente se presenta las diferentes referencias bibliográficas consultadas para la realización de este trabajo investigativo.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## Capítulo 2

# ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL

En este capítulo se presenta como ciertos parámetros de corte afectan directamente la Integridad superficial de una pieza de trabajo. Asimismo, se presenta una revisión sobre el proceso de conformado de viruta en una máquina fresadora CNC.

- 2.1 Calidad en Piezas especiales
- 2.2 Mecanizado prismático
- 2.3 Sostenibilidad en la fabricación
- 2.4 Conclusiones



# CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL

## 2.0 Integridad superficial

A lo largo de los tiempos se ha buscado aspectos importantes de alto desempeño que se involucran en el mecanizado por arranque de viruta, entre ellos y de manera concreta, la integridad superficial es uno de los temas de mayor relevancia en la industrial cuando se habla de optimizar parámetros de corte para lograr una fabricación sostenible. El interés sobre los cambios físicos que se dan en la superficie de una pieza que se mecaniza, marca el interés para el estudio de la Integridad Superficial a la cual desde ahora llamaremos (IS).

En la literatura revisada hay aportes como el de Cabrera (Cabrera, 2013) donde comenta que el corte de metales a altas velocidades tiene el desarrollo más importante en esta rama, así mismo, asegura que el aumento de las velocidades de corte mejora los procesos productivos. Por otra parte, menciona que a pesar de que diferentes industrias utilizan parámetros de altas velocidades de corte, muchos aspectos de este proceso aún están siendo investigados.

Por otra parte, Liao (Liao, 2021) en artículo titulado *“Surface integrity in metal machining - Part I: Fundamentals of surface characteristics and formation mechanisms”* menciona que en el mecanizado se generan geometrías mediante la explotación de efectos físicos como ser: cargas mecánicas, térmicas y químicas o combinación de ambas (Figura 1).

Las alteraciones en la superficie como ser cambios en la rugosidad, ondulaciones, microestructura, micro dureza y tensiones residuales se consideran bajo el término integridad superficial (Han, 2020). Ciertos autores como Cabrera (Cabrera, 2015) menciona en uno de sus recientes artículos *“The influence of cutting speed and feed rate in surface integrity of AISI 1045”* que la IS se ha definido en el pasado como la relación entre las propiedades físicas y el comportamiento funcional de una superficie.

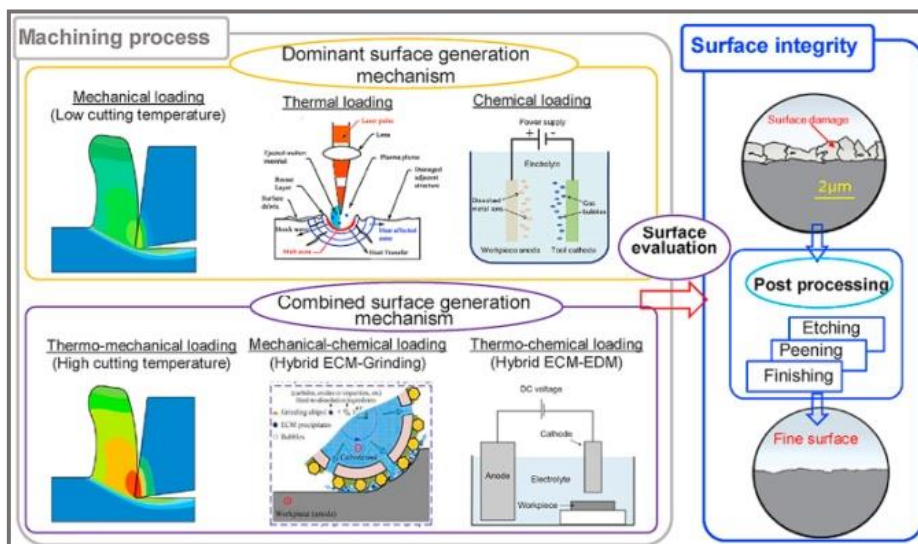


Figura 1. Fundamentos de las características de la superficie (fuente: Liao, 2021).

Whitehouse (Whitehouse, 1944) en su libro *“Handbook of Surface Metrology”* contribuye y denota que la IS es la variable más importante al momento de determinar una superficie obtenida mediante procesos varios de fabricación. Por otra parte, Vargas (Vargas, 2018) discute sobre la integridad

superficial afirmando que esta no solo es aspectos topográficos, si no, aspectos como las propiedades físicas, mecánicas, metalúrgicas, químicas y biológicas.

Kahles y Field, relatan que, se han buscado mecanismo para poder controlar las variables que intervienen en los defectos superficiales. Generalmente, el impacto de los efectos superficiales depende de las condiciones de mecanizado, así como los parámetros al momento del proceso de maquinado, la herramienta de corte que se utilizara y su desgaste si es usada, y los fluidos de corte (Kahles & Field, 1967).

Un error común que se comete al momento de mecanizar, es creer que una tasa de eliminación más baja podría crear una IS mejor hablando generalmente de todos los factores que intervienen en la remoción de material, justificando que habrá menos concentración de tensiones o calor en la pieza producto del corte entre la pieza y la herramienta de corte, sin embargo, esta eliminación de material se tendría que ver obligada a realizarse en un tiempo muy prolongado, dando como resultado, un tiempo de mecanizado muy extenso, menor productividad y más consumo de recursos.

No obstante, en ciertas ocasiones, la reducción de los parámetros que se involucran en el proceso puede influir negativamente en la integridad de la superficie (Liao, 2021). Un ejemplo claro de ello se dan el proceso de remoción de material utilizando los tornos en donde se podría caer en creencia de que al utilizar una profundidad de corte muy relativamente baja, la rugosidad de la pieza mejorara, sin embargo, aquí se da un efecto de arado donde la herramienta no cizalla el material.

Uno de los aportes importantes que hablan de la IS como el de Wang (Wang, 2018) nombrado como *“Development and Application of Grinding process with Superior Surface Integrity”* asegura que actualmente la IS se centra en la topografía de la superficie, la tensión residual de la superficie, microestructura y dureza (Figura 2).

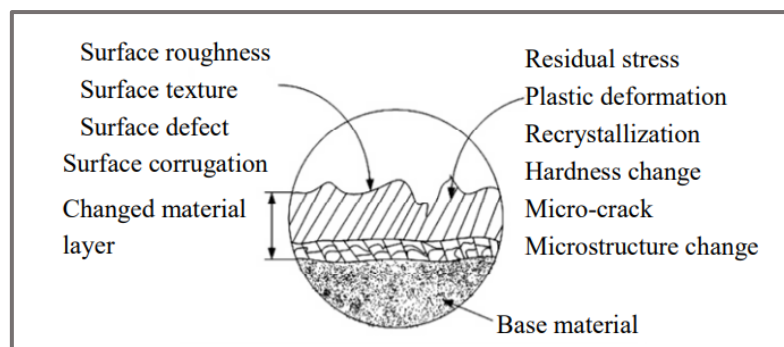


Figura 2. Esquema de la integridad superficial (fuente: Wang, 2018).

Siempre se ha llevado a discusión los fenómenos que se dan durante el mecanizado, claro está, desde un punto vista la herramienta de corte y la pieza de trabajo son las que interactúan durante el proceso. Según Kahles & Field, en los procesos de remoción de material es donde se genera calor a tal grado que puede producir cambios de fase, derretir e incluso vaporizar la superficie de la pieza de trabajo. Así mismo, indican que estos efectos como ser: deformaciones plásticas, desgarramientos, fracturado e incluso interacciones químicas, se pueden dar cambios microestructurales (Kahles & Field, 1967).

Por otra parte, Kahles & Field (Kahles & Field, 1972) introdujeron el término de Integridad superficial SI o *“Surface Integrity SI”*, aseguran que la IS se logra seleccionando adecuadamente los procesos de fabricación. Por otra parte, mencionan que, es necesario determinar si existe un problema de integridad de la superficie para poder aplicar la tecnología de integridad superficial. Los costos tienen

un papel fundamental cuando se habla de IS, dado que el control de ella en los procesos de fabricación es muy caro. La aplicación de la IS debe ser considerada en la fabricación de componentes que de verdad lo requieran, de lo contrario generarán pérdidas y no se podrá justificar su estudio. En la presentación mostraron una revisión de los métodos de medición de la IS, utilizando tres niveles de conjunto de datos para determinar los rasgos característicos de las superficies maquinadas.

Tabla 1. Niveles de estudio de la integridad de superficie (fuente: Elaboración propia adaptada de Kahles & Field, 1972).

N°	Minimum SI data set	Standard SI data set	Extended SI data set
1	Surface finish	Minimum SI data set	Standard SI data set
2	Microstructure (10X or less) a. Macrocracks b. Macroetch indications	Fatigue test (screening)	Fatigue tests (extended to obtain design data)
3	Microstructure a. Microcracks b. Plastic deformation c. Phase transformations d. Intergranular attack e. Pits, tears, laps, protrusions f. Built-up edge g. Melted and redeposited layers h. Selective etching	Stress corrosion test	Additional mechanical tests a. Tensile b. Stress rupture c. Creep d. Other specific tests (e.g., bearing performance, sliding friction evaluation, sealing properties of surfaces)
4	Microhardness	Residual stress and distortion	

En los estudios sobre la IS podemos resaltar el trabajo de Jawahir, titulado “*Surface integrity in material removal processes: Recent advances*”, reporta los procesos más recientes relacionados con la IS en procesos de remoción de material, también, concluye que los conocimientos y los análisis experimentales ayudan a modelar y predecir la integridad superficial de una superficie para una serie de parámetros de entrada de los materiales de ingeniería utilizados en la industria (Jawahir, 2011).

Desde un punto de vista de fabricación sostenible Vila, en su investigación, cuyo objetivo era “realizar un análisis de sostenibilidad del acero AISI 1018 en operaciones de torneado bajo el criterio de integridad superficial” menciona que, para descubrir posibles fracasos en el plan de fabricación es necesario realizar un análisis de la integridad superficial, así mismo, para un control de las piezas fabricadas es necesario un control de la IS, evitando así fallos y mejorando el rendimiento de la pieza fabricada en el cumplimiento de ciertos criterios de sostenibilidad (Vila, 2019).

El estudio de la IS superficial se ha desarrollado a lo largo del tiempo, las investigaciones han contribuido a la optimización de los procesos en el desarrollo industrial. Esta revisión del estado del arte de la IS podría ser muy extensa, pero a continuación se presenta un pequeño resumen de aquellas que han tenido mucha relevancia para el estudio de esta investigación. A continuación, podemos mencionar:

Field & Kahles, presentan una revisión de los diferentes métodos para poder medir la integridad superficial utilizando un enfoque experimental para definir la IS de la superficie. También, elabora un procedimiento para obtener tres niveles de datos asociados a los problemas de la IS entre ellos; 1) La recolección mínima de datos en la superficie, 2) Un conjunto de datos de la IS estándar, y 3) Datos de la IS a profundidad (Field & Kahles, 1967).

Han, busca comprender el mecanismo de daño que proporcionan las cargas termodinámicas evaluando profundamente el comportamiento de las partículas en el mecanizado de materiales compuestos en una matriz metálica (Han, 2020).

Cabreras, realiza un análisis riguroso sobre el material AISI 1045 donde buscaba determinar cuáles eran las influencias de la velocidad de corte y la velocidad de avance en la integridad superficial de un material específico que fue torneado (Cabreras, 2015).

Ibarra, realiza experimentos avanzados de mecanizado en seco con máquinas CNC, utilizando herramientas con recubrimientos específicos, así mismo, hizo una indagación en los parámetros de corte óptimos en el mecanizado de Inconel 617 con el objetivo de obtener las condiciones óptimas que den como resultado una buena IS de las piezas que son procesadas (Ibarra, 2013).

Cabreras, Caracteriza la integridad superficial de piezas de acero 40XHMA que han estado expuestas a altas velocidades, realiza ensayos de rugosidad superficial, microdureza vickers, tensiones residuales y análisis de la deformación superficial (Cabreras, 2013).

Jawahir, muestra los avances más recientes sobre la IS en proceso de remoción de material, en este artículo, reporta los resultados obtenidos en 3 años de estudios. También, muestra algunas técnicas experimentales para medir parámetros de IS (Jawahir, 2011).

Vila, propone un conjunto de métricas estructuradas para las operaciones en diferentes tecnologías, eso con el objetivo de obtener resultados que ayudarán a determinar los criterios para predecir la calidad de la operación de torneado cuando los efectos no son fáciles de inspeccionar visual o dimensionalmente y así evaluar el impacto ambiental que garantiza una fabricación sostenible. (Vila, 2019).

Wang, presenta un desarrollo de la teoría de la integridad superficial y la importante influencia de la IS sobre la vida y la fatiga de los componentes que son mecanizados, así mismo, presenta los avances de investigación del proceso de rectificado, estableciendo la teoría y la aplicación del proceso de rectificado con IS después de un proceso de cementación o la modificación de la superficie de un componente clave (Wang, 2018).

Diaz, En su trabajo estudia el producto de la variación de la velocidad de corte y la velocidad de avance en la IS de un AISI 1018 utilizando metodologías que cuantifican los resultados mediante pruebas de composición química, CAD/CAM/CAE, metalografía y mediciones de dureza (Diaz, 2018).

## 2.1 Calidad en Piezas Especiales.

Después de tener una opinión de diferentes expertos sobre la IS, es necesario indagar sobre algunos factores que ayudarán a entender de manera acentuada este trabajo de investigación. Según Ramírez (Ramírez, 2009), la IS es un estado que representa la superficie, y que en este modo hay diferentes factores que determinan la visualización propia de la superficie, la funcionalidad y el ciclo de vida de los elementos fabricados. Los aspectos importantes para la caracterización son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Aspectos importantes para la caracterización de la IS (fuente: Elaboración propia adaptada de Ramírez, 2019).

Factor	Característica
Visual	Decoloraciones, quemaduras, grietas, oxidación y corrosión, elementos de presentación estética
Dimensionales	El acabado superficial, perfil geométrico, tolerancias y ajustes dimensionales, tolerancias y ajustes geométricos, textura superficial, rugosidad, ondulación, deformaciones, torceduras y dobleces, arrugas y plegamientos.
Relacionados con esfuerzos residuales	Tensión y compresión, magnitud, dirección, perfil de esfuerzos, gradientes y flujos de esfuerzos
Relacionados con mecanismos de desgaste	Dureza, abrasión, adhesión, erosión y arado.
Los relacionados con las características metalúrgicas	Microestructura, las transformaciones de fase
Los relacionados con otras propiedades del material	Eléctricas, Magnéticas y ópticas.

Sin embargo, por las limitaciones de este trabajo, se realizará un análisis de los factores más importantes y que han sido objeto de estudio durante muchos años.

### 2.1.1 Acabado superficial

Ahora, se presenta una revisión del estado del arte del “Acabado superficial”, enfocado desde el punto de vista del arranque de viruta utilizando diferentes máquinas y herramientas en la industria. A continuación, podemos mencionar:

Astakhov, menciona que las microláminas de la superficie como se muestra en la Figura 3 se forman por factores externos como la fabricación, la temperatura y la formación de óxidos. Así mismo, asegura que, dependiendo de los procesos utilizados para producir un material, se desarrollara una zona de material endurecido que ocupara la base de estas capas (Astakhov, 2010).

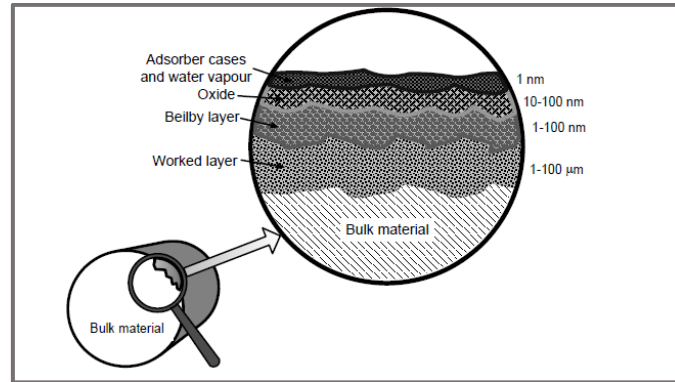


Figura 3. Representación del esquema de una superficie metálica (fuente: Astakhov, 2010).

Una vez definido en lo que se basa una superficie real, es necesario conocer la norma que regula este tema en específico, a continuación, damos una pequeña descripción de esta y su regulación.

La rugosidad o el perfil de superficie se utiliza como indicador de la calidad o estado superficiales de una pieza como está establecido por la norma UNE-EN ISO 4287:1999. Por definición “*el perfil de la superficie es el perfil resultante de la intersección de la superficie real con un plano especificado como se muestra en la siguiente figura*” (ISO 1302:2002)

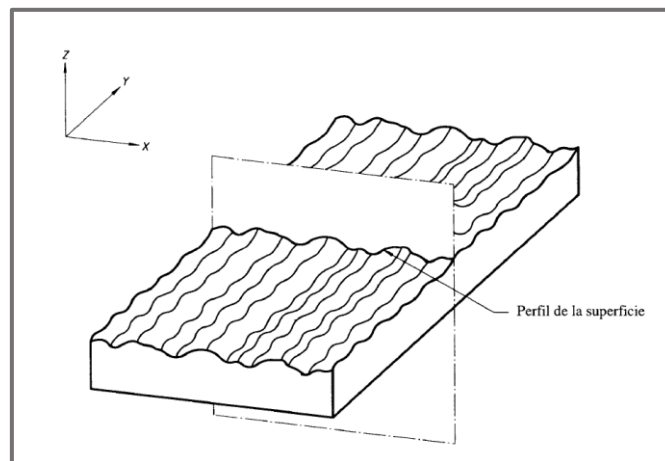


Figura 4. Perfil de la superficie (fuente: ISO 1302:2002, 2019).

No se ampliará más en el tema porque hay mucha información respecto a la calidad superficial y si es de interés es necesario que el lector haga uso de las fuentes para fines de conocimiento profundo al respecto.

Continuando con la revisión bibliográfica, Benardos y Vosniakos presentan un artículo titulado “*Predicting surface roughness in machining: a review*” con el objetivo de presentar prácticas y metodologías empleadas para la predicción de la rugosidad superficial, permitiendo así que los procesos de fabricación sean más productivos y competitivos y reduciendo cualesquiera reprocesamientos de la pieza mecanizada y así satisfacer las especificaciones técnicas. También, presentan en la Figura 5 algunos factores que intervienen en la calidad superficial durante los procesos de fabricación, así mismo, buscaban desarrollar una revisión de procesos varios e investigaciones para predecir cuáles eran las condiciones óptimas para lograr obtener las calidades superficiales específicas (Benardos y Vosniakos, 2003).

Han, encontró dos regímenes de corte distintos de los compuestos de matriz metálicos MMCs cambiando las velocidades y el espesor de la viruta sin cortar. En el régimen de velocidad de avance muy baja (pequeño espesor de viruta sin cortar) dieron como resultados grandes daños en la superficie, por otro lado, una velocidad de avance alta, la integridad de la superficie dependía del régimen dúctil de la matriz de Aluminio, dando como resultante un menor desgaste de la herramienta, fuerza necesaria para poder realizar un corte y, por lo tanto, se lograba una mejor calidad de la superficie (Han, 2020).

Algunos parámetros técnicos específicos se mencionan también como aporte de diferentes investigaciones y que han contribuido a la realización y optimización de parámetros para la fabricación.

Cabreras, que buscaba determinar la influencia de la velocidad de corte y avance en la IS del acero AISI 1045 concluye que, el aumento de la velocidad de corte tiene poca influencia en la rugosidad superficial cuando se utilizan velocidades de corte superiores a 451 m/min y pequeños avances (0.01 y 0.1 mm/rev) (Cabreras, 2015).

Vargas, se centra en el impacto que tiene los fluidos de corte en la IS en las operaciones de fresado en el aluminio 7075 y concluye que: cuando se utiliza elevadas velocidades de corte el suministro de refrigerante a alta presión no tiene mucha eficacia, provocando adherencias de material sobre la superficie que se ha mecanizado. Además, menciona que el mecanizado en seco el gradiente de temperatura es mínimo, la temperatura total que se genera en el corte se mantiene a lo largo del proceso por las excelentes propiedades térmicas del aluminio, todo esto, dando como resultado la no adhesión de material en la superficie, aunque siempre se tendrán desgarres, vacíos y deformación plástica. Finalmente, Vargas asegura que los tres métodos utilizados para determinar la influencia del fluido de corte en la IS no ocasionaron relevantes en la superficie del material como la rugosidad superficial (Vargas, 2018).

Ibarra y otros más concluyen que el maquinado del Inconel 617 hay una zona crítica de parámetros de corte entre 110 a 150 m/min donde no se recomienda una excelente IS del mecanizado, así mismo, mencionan que utilizando velocidades de corte hasta 170 m/min utilizando la técnica de maquinado en seco, se pueden obtener resultados favorables en la IS. Por último, se confirma que las herramientas con recubrimiento de PVD son mejores para el mecanizado de la superaleación de Inconel 617 (Ibarra, 2013).

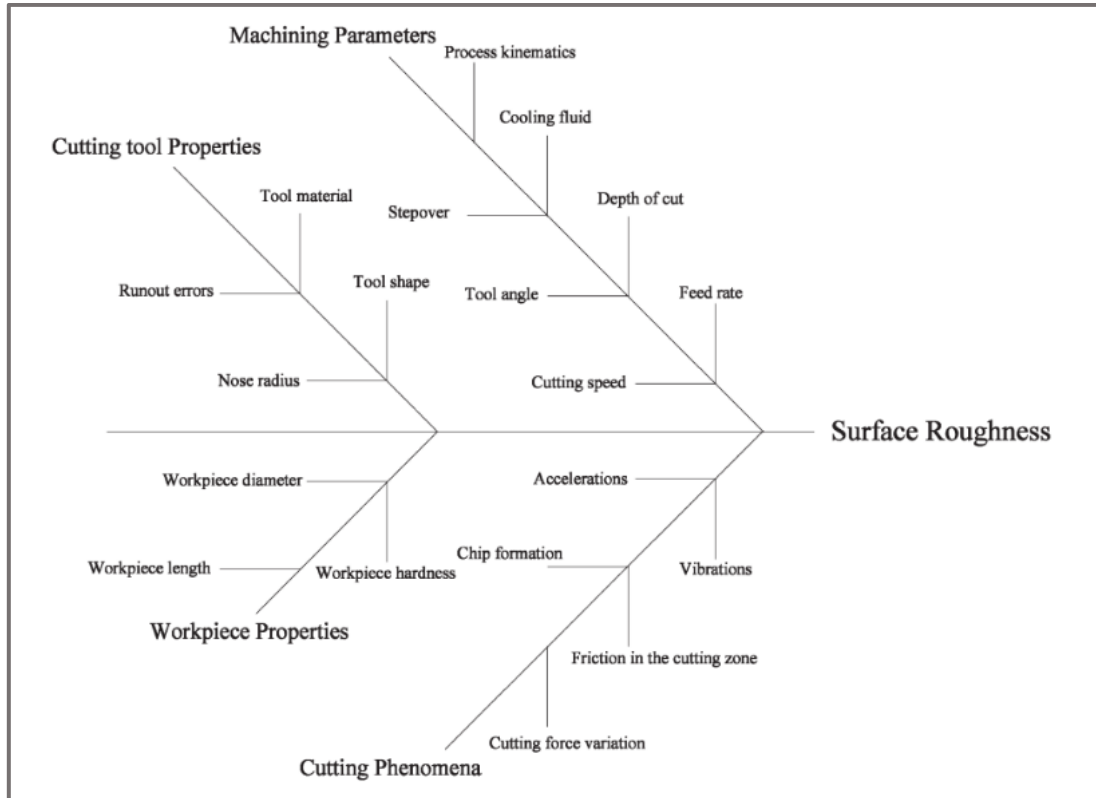


Figura 5. Diagrama causa-efecto de parámetros que afectan la rugosidad superficial (fuente: Benardos y Vosniakos, 2003).

Cabrerías, tenía como objetivo estudiar la IS utilizando altas velocidades de corte en las superficies del acero 40XHMA y concluye que: utilizando los parámetros de corte establecidos en su experimento, el aumento considerable de la velocidad de corte provoca una disminución de la rugosidad de la superficie de manera no significativa en el intervalo de 1.6 a 3.2  $\mu\text{m}$ , esto dio como justificado que las altas velocidades no solo reducen el tiempo de producción, sino que también proporciona buenas superficies (Cabrerías, 2013).

Jawahir, después de hacer una investigación de los recientes avances de la IS en el proceso de remoción de material analiza los resultados y determinan que como era de esperar el proceso de esmerilado fino mediante lapeado dio como resultado la mejor topografía superficial, igualmente, los resultados mostraron que ninguna de las operaciones de rectificado causo valores de Ra superiores a 0.5 mm. En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos de rugosidad según las pruebas realizadas, donde, además determinan que los resultados de Ra más altos se encuentran en los procesos de electroerosión. Finalmente, los resultados de la **international Robin Test** muestra que ninguno de los valores de torneados mostró valores de Ra inferiores a 0.2 mm y que los valores de Ra se encuentran en un rango de 40 nm a 2,1  $\mu\text{m}$  para todos los procesos estudiados (Jawahir, 2011).



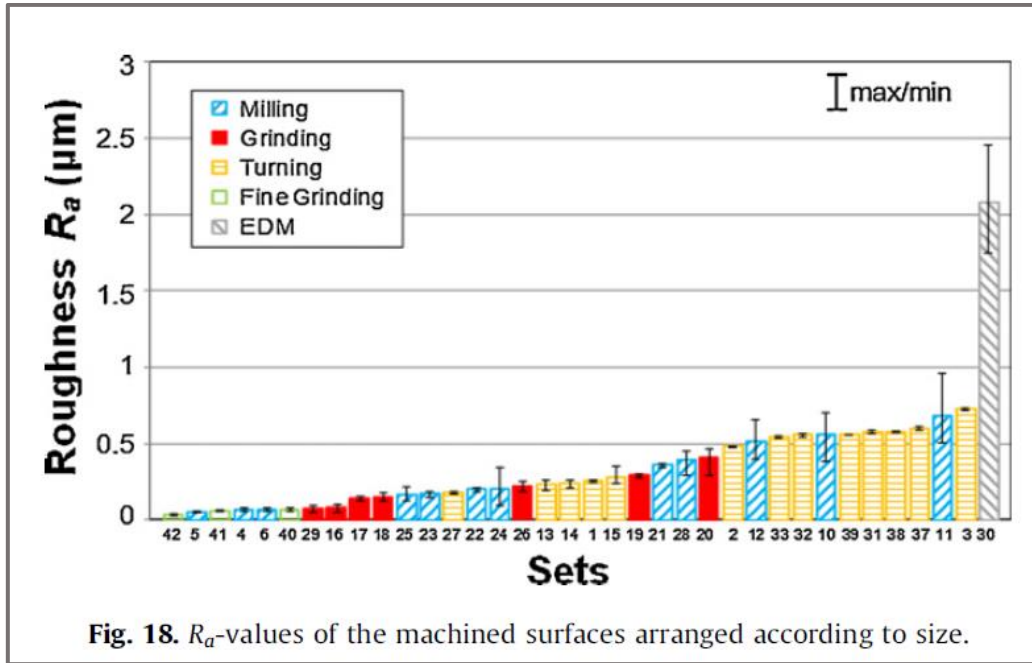


Figura 6. Valores de  $R_a$  de las superficies mecanizadas ordenadas según tamaño (fuente: Jawahir, 2011).

Vila, en unos de los casos estudiados, revela los efectos del torneado en una AISI 1018 utilizando parámetros de corte específicos los cuales hacen concluir que cuando se aumenta la profundidad de corte de 0.5 mm a 1 mm,  $R_a$  de la pieza mecanizada disminuye en un 50%, sin embargo, si la profundidad aumenta a valores superiores de 1 mm,  $R_a$  aumenta ligeramente afectando la calidad superficial tal como se muestra en la Figura 7.a. Por otra parte, en otros de sus casos, cuando aumenta la velocidad de avance  $R_a$  tenía una clara tendencia de aumento dando como resultado una peor calidad superficial como lo muestra la Figura 7.b (Vila, 2019).

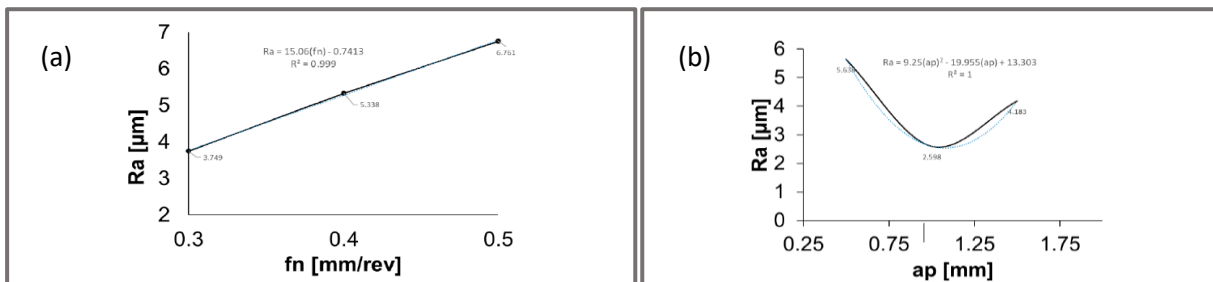


Figura 7. Influencia de los parámetros de corte en la rugosidad del AISI 1018. a) Efecto de la profundidad de corte constante b) Efecto de la profundidad de corte contante (fuente: Vila, 2019)

Bordin et al. en su publicación titulada “The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in Dry Turning of CoCrMo” han indicado que las superficies brillantes y suaves en las operaciones de torneado en seco del CoCrMo se obtienen a velocidades de avance inferiores a 0.1 mm/rev. Además, concluyen que se logran perfiles de superficies uniformes para una velocidad de corte de 60m/min debido a menos astillado (Bordin et al. 2014).

Thorenz, destaca que el sistema de sujeción de la herramienta tiene un gran impacto sobre la calidad superficial de la pieza mecanizada, por lo que asegura en su publicación que el mandril de precisión muestra la peor rugosidad a medida que aumenta la distancia de corte, mientras que el mandril tipo Weldon después de un periodo de corte muestra los mejores resultados de la calidad superficial, tal y como se muestra en la siguiente imagen (Thorenz, 2018).

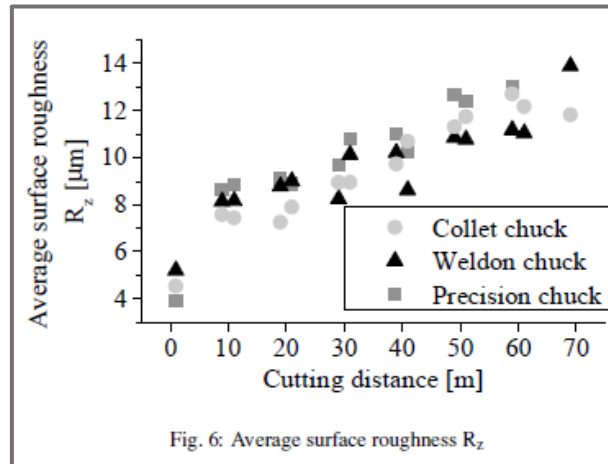


Figura 8. Rugosidad superficial  $R_z$  (fuente: Thorenz, 2018)

### 2.1.2 Microdureza y tensiones residuales

A continuación, se presenta una revisión del estado del arte de la, “Microdureza” enfocada desde el punto de vista del arranque de viruta utilizando diferentes máquinas y herramientas en la industria. Entre estos aportes, podemos mencionar a:

Vila, en su investigación buscaba determinar los resultados de la microdureza sobre la capa superficial exterior de la pieza que fue mecanizada, para esto utilizó una escala de dureza Vickers (HV= Hardness Vickers), además se concluye que el 14.5% de variación de dureza que existe en la zona maquinada se da por el mecanizado, este provoca una micro deformación plástica superficial el cual a nivel micro afecta considerablemente la superficie de la pieza. En segundo lugar, Vila asevera que las fases de ferrita y perlita sufren un efecto de deformación el cual se da por diferentes factores, pero que al final aumentan el límite elástico, la resistencia mecánica y, por lo tanto, la microdureza (Vila, 2019).

Según Liao, cuando se inducen cargas a la pieza durante el mecanizado se produce un efecto de endurecimiento por trabajo lo cual provoca que las propiedades superficiales como la dureza y la tensión superficial cambien durante el proceso de maquinado (Liao, 2020).

En la siguiente imagen se representa la superficie del Inconel 718 ya mecanizada y se nota claramente un incremento en la dureza en los primeros  $\mu\text{m}$  de profundidad, también, se logra apreciar que a unos 20  $\mu\text{m}$  de profundidad se encuentran la mayor tensión de compresión.

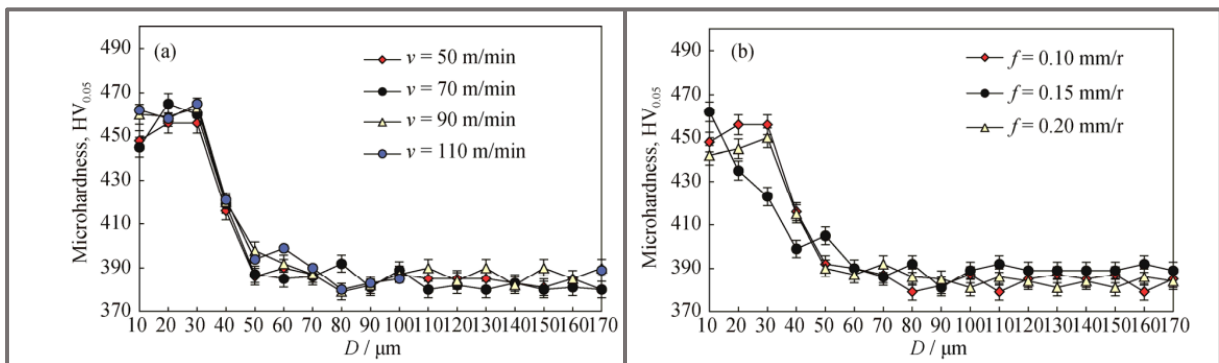


Figura 9. Variación de la microdureza a lo largo de la profundidad bajo la superficie mecanizada para diferentes velocidades de corte (a) ( $f = 0.2 \text{ mm/r}$ ,  $a_p = 0.2 \text{ mm}$ ) y diferentes velocidades de avance (b) ( $v = 90 \text{ m/min}$ ,  $a_p = 0.2 \text{ mm}$ ) (fuente: Ren, 2018)

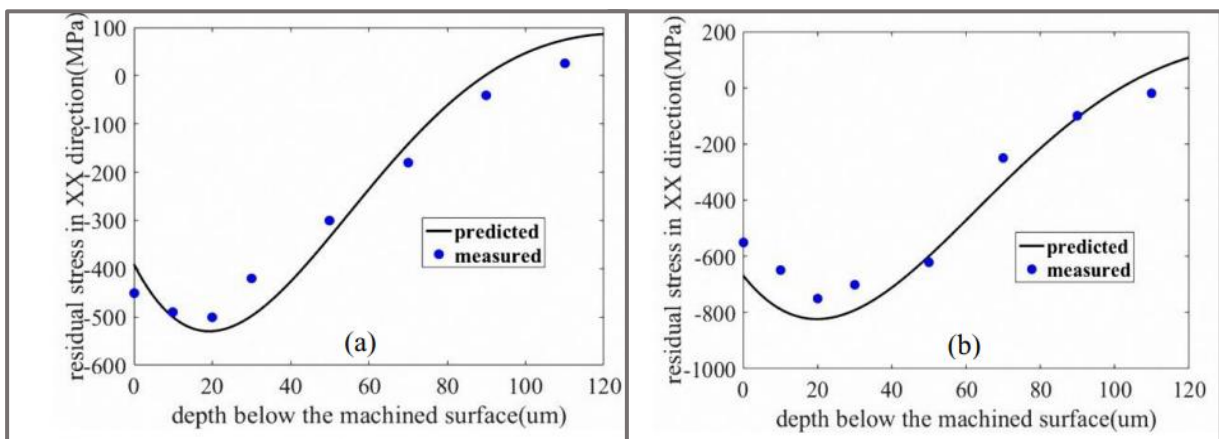


Figura 10. Tensiones residuales medidas y previstas en la dirección XX. (a) tensiones residuales a  $vc = 40 \text{ m/min}$ ,  $a_p = 0.2 \text{ mm}$ ; (b) residual stresses at  $vc = 50 \text{ m/min}$ ,  $a_p = 0.3 \text{ mm}$  (fuente: Wang, 2017)

### 2.1.3 Deformación superficial

Seguidamente, se presenta una revisión del estado del arte de la “*Deformación superficial*”, enfocada desde el punto de vista del arranque de viruta utilizando diferentes máquinas y herramientas en la industria. A continuación, podemos mencionar a:

Vila, determina que la deformación plástica en la superficie es directamente influenciada por la profundidad de corte durante el mecanizado, por lo tanto, si se aumenta la profundidad en pasos de 0.5 mm también aumenta el grosor de la capa de deformación plástica. En uno de sus estudios, se mostró un aumento del límite de fluencia debido a la profundidad de corte y en otro estudio determino que el aumento de la velocidad también tiene una influencia sobre la capa de deformación plástica, pero que a diferencia de la profundidad de corte existe una reducción del espesor de la zona de deformación plástica de 29,4% analizando una micro profundidad de 19,1 a 32,7 ( $\mu\text{m}$ ) (Vila, 2019).

Liao, menciona que cuando se realiza el mecanizado se producen dos alteraciones microestructurales sobre la superficie de la pieza: entre ellos se encuentran los granos deformados y refinamiento de grano. Así mismo, en su investigación Liao, recalca que los granos deformados, también se producen por las bajas condiciones de mecanizado. Cuando se mecaniza en condiciones de corte agresiva, la pieza recibe una alta carga mecánica lo cual da como resultado una deformación plástica severa produciendo así una posible capa de refinamiento del grano también conocida como capa blanca y se observa como se muestra en la Figura 11 (Liao, 2020).

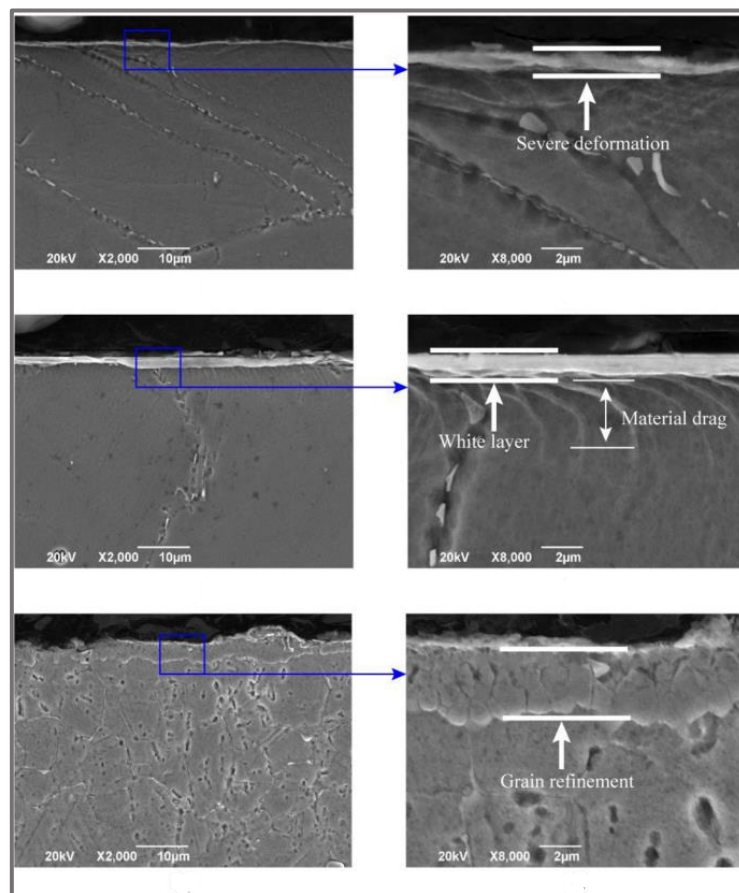


Figura 11. Capa de refinamiento del grano (fuente: Liao, 2020)

## 2.2 Mecanizado prismático

Los procesos de mecanizado se caracterizan porque habitualmente dan como resultado piezas con geometrías de diferentes categorías mediante la eliminación de material. Hoy en día la tecnología avanza exponencialmente y los procesos de fabricación se aprovechan de esta utilizando herramientas con mayores capacidades en los procesos de corte y realizando las operaciones con mayor eficiencia. Esta notable evolución se ve reflejada en las máquinas herramientas de control numérico, las cuales son capaces de realizar operaciones de corte muy complejas simplemente ejecutando un programa. En el mecanizado prismático los avances de los nuevos materiales de las herramientas de corte son cada vez mejores, los procesos de mecanizado que se realizan con estas herramientas son sometidos a diferentes ensayos donde se pone a prueba los parámetros de mecanizado como la velocidad de corte con el fin de mejorar la productividad y logrando que el proceso sea lo más sostenible posible.

Según Groover, el maquinado es un proceso de manufactura donde es posible la remoción en exceso de materia de una pieza de trabajo haciendo uso de herramientas de corte, con el objetivo de poder dar forma geométrica deseada a una pieza de trabajo (Groover, 2007)

A continuación, se presentarán algunos conceptos relevantes cuando se habla de mecanizado prismático, nos centraremos en una máquina herramienta en específico que será una Fresadora.

Entre los elementos más principales que intervienen en un proceso de mecanizado prismático en una fresadora podemos resaltar los siguientes:

### 2.2.1 Máquina Fresadora

Es una máquina herramienta que utiliza herramientas rotativas que generan el corte en el material generando así superficies planas o con formas específicas sobre una pieza de trabajo al tener en movimiento de avance ya sea la pieza de trabajo o la herramienta de corte en una dirección o varias direcciones específicas (UNE-EN ISO 16090-1:2018)

#### Fresado

Es una operación consiste en cortar la superficie de una pieza de trabajo con una herramienta de corte rotativa, la cual tiene múltiples aristas (dientes) las cuales realizan la acción de corte, estas están ubicadas simétricamente alrededor del eje que gira (Fenoll et al. 2000).

Según Fenoll, en la actualidad el uso de fresado con control numérico (CNC) es de uso muy común y cada vez aumenta el uso de estas a nivel industrial, gracias al ingreso de estas máquinas se ha logrado un aumento en la exactitud del acabado superficial en las piezas mecanizadas, la productividad y su calidad (Fenoll et al. 2000).

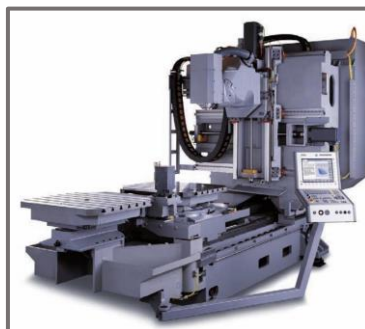


Figura 12. Fresado de Control Numérico Computarizado CNC (fuente: Fenoll et al, 2000)

### 2.2.2 Herramientas de Corte

ISO define a la herramienta de corte (cutting tool) como un dispositivo o un conjunto de elementos para eliminar material de una pieza de trabajo a través de la acción de bordes o aristas de corte definidas en el dispositivo ISO/TS 13399-3:2007 (E). En general la herramienta de corte está provista de uno o más filos y usualmente están fabricadas de un material que es más duro que el material de la pieza de trabajo.

#### Tecnología de corte

Cuando se da el proceso de corte interactúan diferentes parámetros que finalmente dan como resultado el proceso de remoción del material. Según Groover, la acción predominante en este proceso es la formación de la viruta como resultado de la deformación cortante del material. En la Figura 13 se muestra la sección transversal del proceso de maquinado (Groover, 2007).

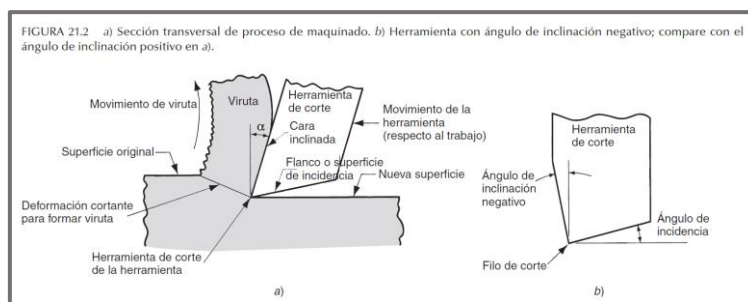


Figura 13. a) Sección transversal de proceso de maquinado. b) Herramienta con ángulo de inclinación negativo (fuente: Groover, 2007)

### Morfología de la viruta

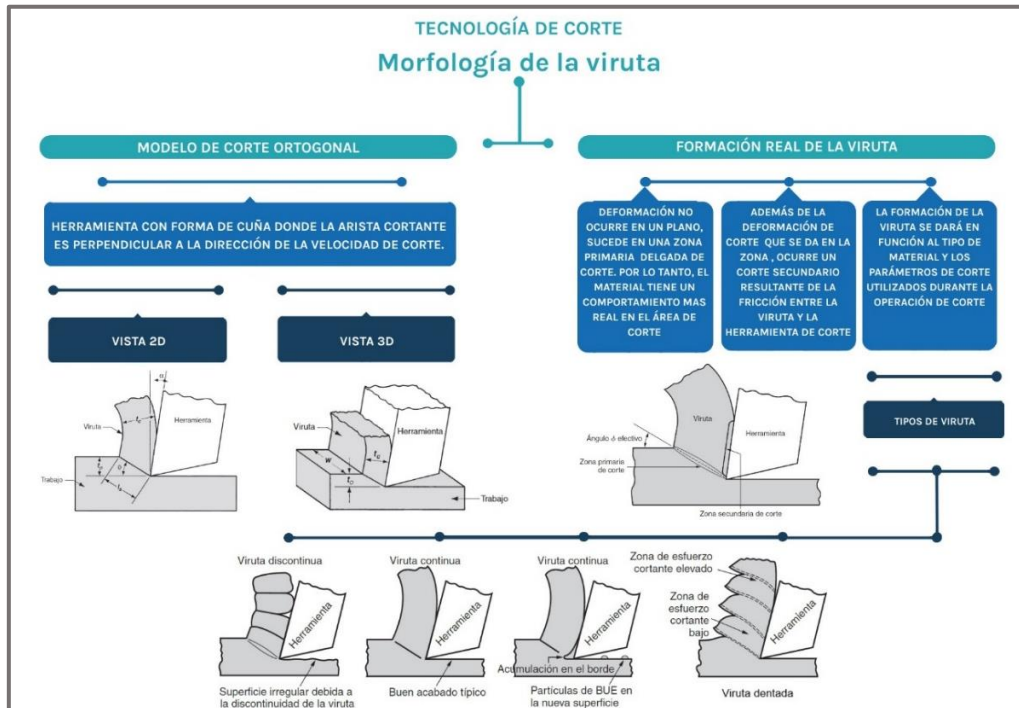


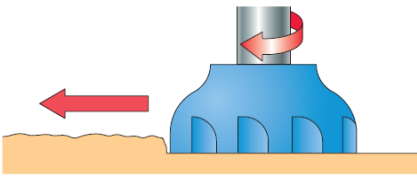
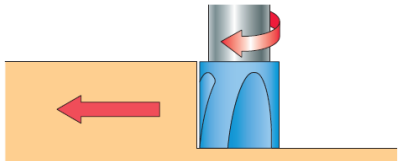
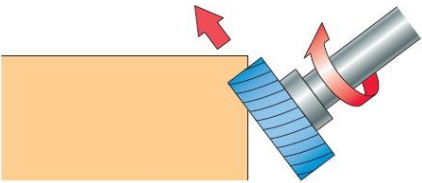
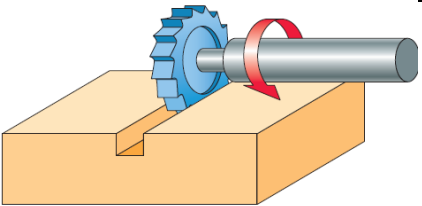
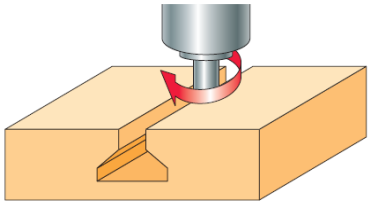
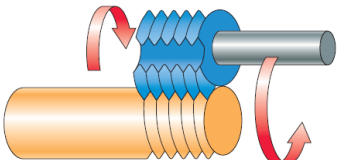
Figura 14. Morfología de la viruta (fuente: elaboración propia)

Groove, asegura que durante las operaciones de maquinados la mayoría de las formas de viruta que se pueden dar son muy complejas, por lo tanto, se ha creado un modelo que elimina estas complejidades y describe la mecánica del proceso con buena precisión; el modelo es llamado corte ortogonal y se describe en la siguiente imagen (Groover, 2007).

### 2.2.3 Tipos de fresado

Fenoll, define los tipos de fresado más importantes en la industria los cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tipos de fresado (fuente: Fenoll, 2000).

Tipo	Funcionalidad	Imagen
Planeado	Consigue superficies planas.	
Fresado de escuadra	Se obtienen escalones o cambios de planos de la pieza mecanizada.	
Chaflanado	Elimina las aristas vivas de las piezas. El más común es el chaflán de 45°.	
Ranurado	Se practican ranuras en las piezas de diferentes formas: -Ranurado recto -Ranurado helicoidal -Ranurado para chavetas.	
Fresado de cavidades	Sirve para realizar diferentes formas geométricas en los agujeros.	
Fresado de roscas	Se realizan interpolación helicoidal simultánea en dos grados de libertad.	

### 2.2.4 Parámetros de corte

Para poder lograr una forma determinada con un buen acabado superficial, es necesario realizar una excelente combinación de los parámetros de corte (Velocidad de corte, avance, y profundidad de corte), tomando en cuenta todos los factores que influyen de cada uno de estos parámetros.

Groover, sugiere que para realizar operaciones de maquinado se requiere de movimientos relativos de la herramienta y la pieza de trabajo. El movimiento primario es el de la velocidad de corte  $V_c$ . Por otra parte, el movimiento de la herramienta lateralmente el cual lo tienen que hacer con un determinado avance  $f$ . Finalmente, se encuentra la profundidad de corte  $ap$ . A todo este conjunto se le denomina condiciones de corte (Groover, 2007).

#### Velocidad de corte ( $V_c$ )

Esta se define como la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado, también se define como la velocidad a la cual el filo de corte maquina la superficie de la pieza de trabajo (Jnmv2107f9, 2022)

“La velocidad de corte (m/min), se determina sobre la superficie de la pieza a mecanizar y no sobre la superficie mecanizada. Además, la velocidad de corte se determina con la herramienta trabajando sobre la pieza, a fin de tener en cuenta la pérdida de velocidad debida al corte” (UNE 16-148-85).

#### Velocidad de avance ( $f$ )

Este factor es más importante cuando se habla de los resultados de la rugosidad superficial, y se define como el movimiento de la pieza a mecanizar respecto a la herramienta de trabajo en un periodo de tiempo determinado. Usualmente “ $f$ ” se define como “ $S$ ” y sus respectivas unidades son mm/rev o mm/min.

Sandvik, también lo llama como avance de mesa, avance de máquina o velocidad de avance. Y lo define “el avance de la herramienta en relación con la pieza de trabajo en la distancia por unidad de tiempo relacionada con el avance por diente y el número de dientes en la fresa” (Sandvik, 2017)

#### Profundidad de corte ( $ap$ )

Este es la cantidad que penetra la herramienta de corte en la pieza de trabajo en cada pasada. También se define como la profundidad de capa arrancada de la pieza de trabajo en una pasada de la herramienta de corte. Finalmente se puede describir como la diferencia entre la superficie maquinada y la no maquinada.

Algunos factores que se ven relacionados con la profundidad de corte son la cantidad de material que se va a eliminar, la rigidez de la sujeción de la máquina y la potencia disponible (Olvera, 2005)

Todos estos parámetros de entrada son de vital importancia al momento de mecanizar, pero hay muchos otros parámetros de salida que determinan los resultados obtenidos al momento de la fabricación, uno de estos parámetros importantes es la Potencia neta ( $P_c$ ) que es la potencia que la máquina proporciona a los filos de corte para poder realizar la acción del corte (Sandvik, 2017).



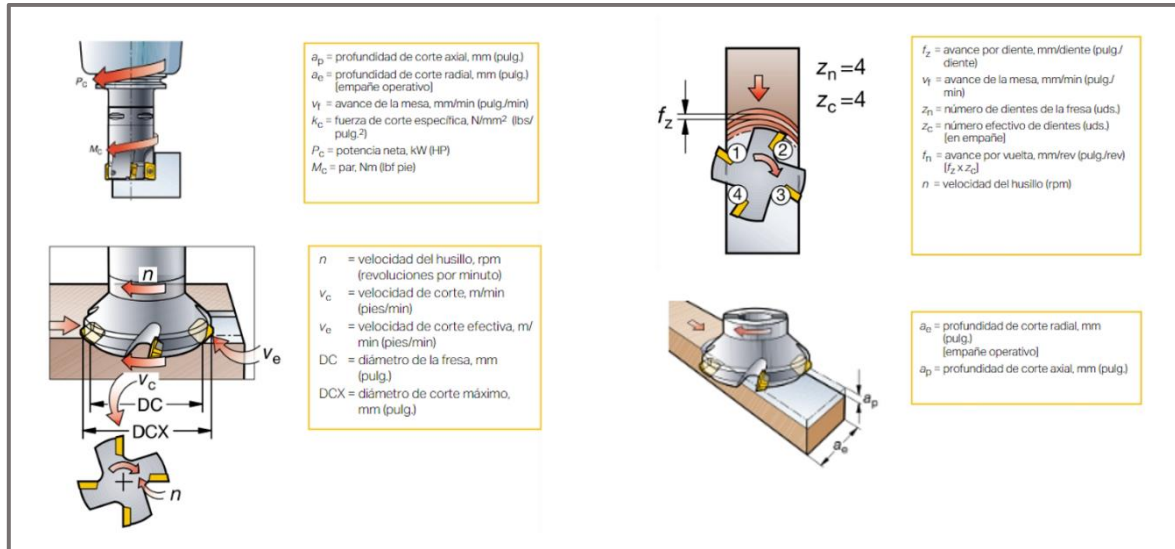


Figura 15. Parámetros de corte en el fresado (fuente: Sandvik, 2017)

### 2.3 Conclusiones

Los criterios analizados sobre la Integridad Superficial se soportan en los diferentes marcos de referencias propuestos, así como la rugosidad superficial, la microdureza, tensiones residuales y deformación superficial, esto se evidencia en las aportaciones e investigaciones recopiladas a lo largo de este capítulo, gracias estas se ha ampliado el conocimiento es este campo tan profundo para llevar a cabo con precisión esta investigación.

Las investigaciones han demostrado que la IS es la variable más importante que se debe controlar en una superficie. Sin embargo, existen otros factores que complementan estas variables y los cuales también deben de ser controlados durante la fabricación.

El controlar diferentes factores como ser: los parámetros durante el mecanizado, la herramienta de corte y su desgaste si es usada, y los fluidos de corte si se ha de usar, permitirá una fabricación con excelentes resultados, por lo tanto, se evitaría la reducción de parámetros indeseados, fallos en la pieza, se lograría un mejor rendimiento y una fabricación sostenible.

Las aportaciones científicas permiten evaluar, en el contexto de rugosidad superficial, la predicción de la rugosidad superficial, evitando así reprocesamientos mejorando los tiempos de mecanizado y cumpliendo con las especificaciones técnicas.

Respecto a la microdureza y a las tensiones residuales, las referencias muestran que una pieza mecanizada tendrá una variación de la dureza superficialmente, deformaciones plásticas influenciadas por la profundidad de corte y finalmente las tensiones residuales.

En el próximo capítulo se estudiará 3 sistemas de amarres de herramientas de corte y como estos se ven afectados por diferentes factores que se presentan en el mecanizado de alta velocidad.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **Capítulo 3**

# **ANÁLISIS DE SISTEMA DE AMARRE DE HERRAMIENTAS DE CORTE**

En este capítulo realiza una revisión sobre investigaciones relacionadas con los diferentes sistemas de amarre de herramienta, en concreto el sistema de pinzas, térmico y por último el sistema Multilock o de precisión.

- 3.1 Sistema de porta-pinzas
- 3.2 Sistema térmico o de contracción
- 3.3 Sistema Multilock o de precisión
- 3.4 Conclusiones

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE SISTEMA DE AMARRE DE HERRAMIENTAS DE CORTE

Las elevadas exigencias en el mecanizado hacen que los procesos como el mecanizado en seco, mecanizado duro y el mecanizado de altas velocidades se vean necesitadas de máquinas herramientas que cumplan con especificaciones como alta rigidez de mecanizado, también un mayor consumo de potencia, y por supuesto, alta demanda de revoluciones en el cabezal de giro y desplazamiento de sus diferentes sistemas de coordenadas. Esto ha llevado a la necesidad de la construcción de elementos fundamentales como ser, los sistemas de sujeción de las herramientas de corte o portaherramientas. Los avances han demostrado que se ha logrado evitar las flexiones estáticas las cuales limitan la precisión, así como la inestabilidad que generan vibraciones las cuales al final tienen un efecto negativo sobre el acabado superficial. Soriano, menciona que, a pesar de muchos avances en diferentes sectores, en muchas ocasiones el sistema de mecanizado con sistema de sujeción es el más débil y los fallos que se dan en este sistema son perjudicial para la calidad del producto terminado y también una fuente de peligro para las máquinas y las personas (Soriano, 2012)

Los sistemas de sujeción de herramienta son usados usualmente en proceso de fresado con el objetivo de sujetar la herramienta de corte con la rigidez necesaria para que esta no se caiga o sufra un daño severo, también, es muy funcional para el cambio rápido de herramienta (Ossa, 2016). Los sistemas de sujeción se caracterizan según el cono portaherramienta, estos van conectados al husillo por un lado y por otro se sujetan las herramientas de corte. Los conos se elaboran de manera que exista una interferencia entre el mango cónico y el husillo de giro.

Centrándonos en la tecnología de los sistemas de amarres, dentro el análisis del estado de revisión bibliográfica, encontramos trabajos muy importantes que realizan una compilación de los avances que se han desarrollado en los últimos años.

Soriano define a los sistemas de amarre de herramienta de corte como aquellos que sirven de unión entre la herramienta de corte y la portaherramienta el cual conecta al husillo o torreta de la máquina (Soriano, 2012). Existen diferentes sistemas de sujeción de herramientas que han sido usados a lo largo de los años, sin embargo, muchos de ellos generan incertidumbre al momento de mecanizado. La incorrecta simetría en el amarre y otros factores condicionan la precisión, rigidez y capacidad de amarre de los portaherramientas.

Wang, analiza los efectos de la rigidez sobre un portaherramienta de expansión hidráulica, además, aseguraba que la rigidez radial influye en las vibraciones y la calidad de la máquina. Por lo tanto, decide realizar un estudio mediante el método de elementos finito en ANSYS y concreta que; la calidad superficial se verá afectada por las velocidades del mandril, dado que es el factor más relevante que afecta a la rigidez del portaherramienta (Wang, 2012).

De acuerdo a Lamikiz, Los conos ISO son introducidos al husillo por medio de un actuador, este puede ser neumático o hidráulico, acoplando así el cono dentro de otro cono que este tallado en el eje del husillo. Si la velocidad de giro aumenta, la fuerza centrífuga también, esto hace que el eje del husillo se expanda. Cuando esto se produce, el cono, tiende a acoplarse he introducirse aún más dentro del husillo. Existen tanto conos ISO y conos HSK como se muestra en la Figura 16. Los conos HSK permiten condiciones de corte más agresivas, también aportan mayor rigidez y precisión, por lo que se consideran más ventajosos en comparación a los conos ISO (Lamikis, 2002)



Figura 16. Conos portaherramientas para mecanizados de alta velocidad (fuente: Lamikis, 2002)

Estos tipos de conos están estandarizados y son regulados por la norma ISO 7388-1:2007 y por la UNE 15-009-94 titulada “Mango de herramientas de conicidad 7/24 para cambios automáticos de herramientas” donde fijan las medidas para diferentes conicidades para herramientas que serán montadas sobre máquinas que usan dispositivo de sujeción automático para la manipulación de las herramientas entre el husillo y el almacén de herramientas (UNE 15-009-94).

Según Ossa, el 7/24 de la norma antes mencionada hace referencia a que, por cada 24 unidades de longitud, aumentara 7 unidades en el ancho del cono (Ossa, 2016)

Namazi, realizó grandes aportes en su trabajo titulado “*Mechanics and dynamics of the tool holder-spindle interface.*” El conjunto del husillo es de lo más débil en la máquina herramienta y usualmente genera muchas vibraciones, provocando así malas calidades superficiales y dañando la herramienta de corte. El conjunto del que se habla en este apartado consta de un eje de husillo giratorio un portaherramienta y un mecanismo de barra de tiro, como se muestra en la Figura 17 (Namazi, 2006).

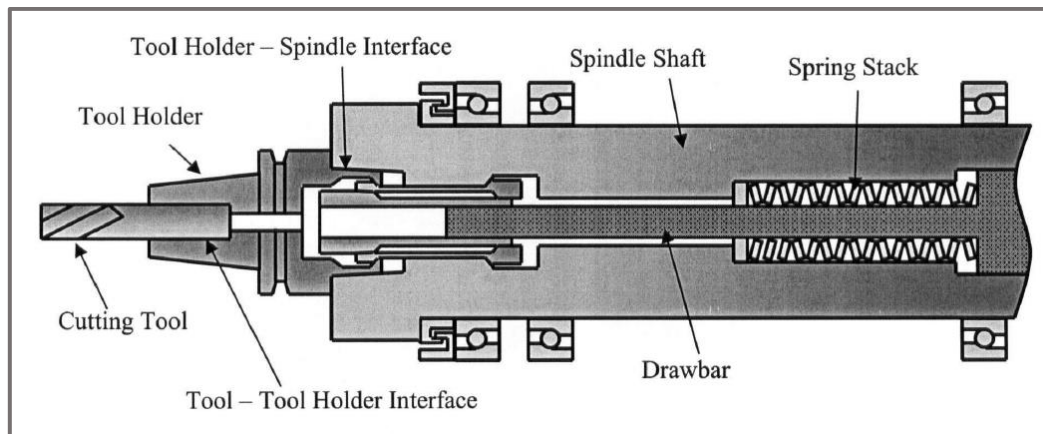


Figura 17. Conjunto de husillo e interfaces portaherramienta-husillo (fuente: Namazi, 2006)

El portaherramienta queda anclado al husillo por medio de una barra de tiro y la herramienta de corte se queda sujeta al portaherramienta por varios mecanismos de sujeción. El cono se utiliza para los cambios automáticos de herramienta. Existen dos tipos de conos comunes en los centros de mecanizado de alta velocidad, entre ellos se encuentran, el cono 7/24 o también conocido como cono CAT, y el cono HSK (Hohl Shaft Kegel) o cono 1/10, como se muestra en la Figura 18 (Namazi, 2006).

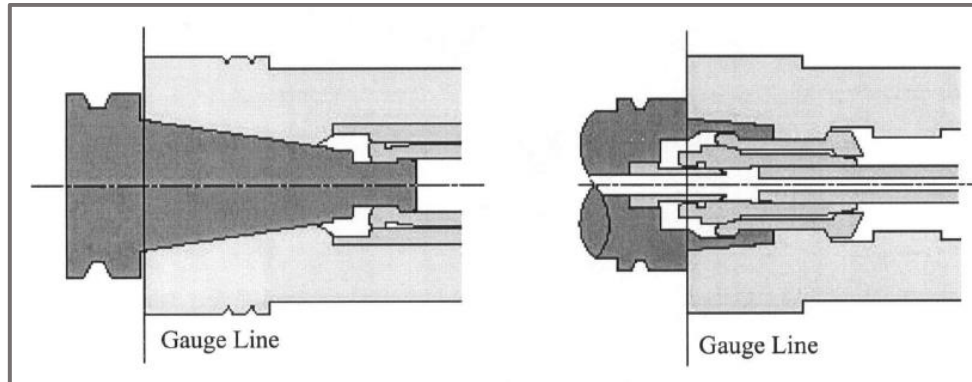


Figura 18. Cono de husillo CAT (izquierda) y cono HSK (derecha) (fuente: Namazi, 2006)

Thorenz, en su trabajo titulado “*Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear and surface qualities in milling operations*” parte desde el punto de vista de sostenibilidad, estudiando 3 tipos de tecnologías de sistemas de sujeción y los analiza desde el punto de vista de consumo de energía, desgaste de herramienta de corte y calidades superficiales. Por lo tanto, se evalúa mandriles con sistema de pinzas, tipo Weldon y un mandril de precisión. El mandril de sujeción correcto para la operación a realizar puede aumentar la vida útil de la herramienta y del husillo de la máquina, contribuyendo así a operaciones de mecanizado sostenible y claramente esto lleva a ahorros de costes en los procesos de fabricación. En la Figura 19 se muestra los sistemas de sujeción usados en esta investigación (Thorenz, 2018).

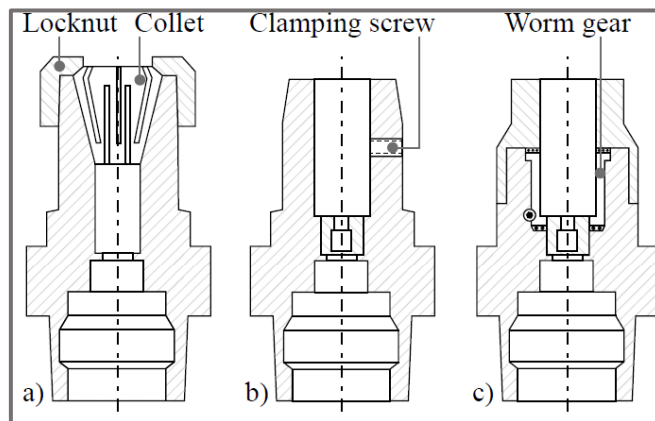


Figura 19. Diferentes sistemas de sujeción de herramienta de corte.  
a) Portapinzas b) Weldon c) Precisión (fuente, Thorenz, 2018)

En conclusión, el mandril Weldon tienen la demanda de potencia más baja, seguido del mandril de pinzas y el mandril de precisión. La desviación radial más alta se encuentra en el mandril tipo Weldon con  $6.0 \mu\text{m}$ , después disminuye en el mandril de precisión con  $5.0 \mu\text{m}$  y finalmente la menor desviación radial se encuentra en el mandril de pinzas con  $2.5 \mu\text{m}$ . Respecto al desgaste de la herramienta, El mandril tipo Weldon muestra el desgaste más bajo de la herramienta de corte, y el mandril de precisión muestra el más alto como se muestra en la Figura 20 (Thorenz, 2018).

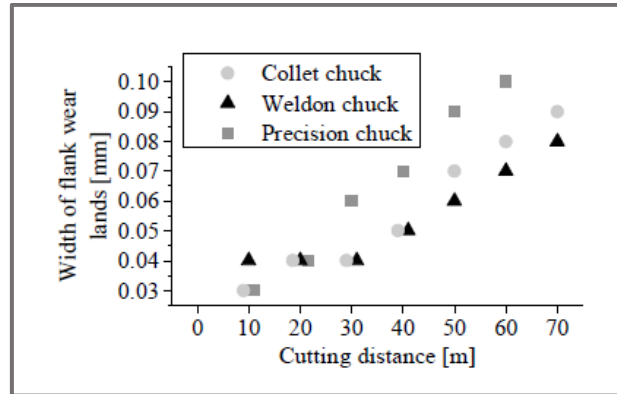


Figura 20. Desarrollo de zonas de desgaste promediado sobre todos los puntos de medición (fuente: Thorenz, 2018)

El comportamiento dinámico de las máquinas herramientas tienen una influencia en los resultados del mecanizado. La rigidez estática y la flexibilidad dinámica son decisivas para la precisión del mecanizado. Sobre las herramientas actúan fuerzas tangenciales y radiales. Las componentes axiales son por causa del ángulo helicoidal de la espiral y los filos de corte de la cara. Estas fuerzas axiales son absorbidas por el portaherramienta. Las piezas brutas de metal duro se fabrican con tolerancia tipo IT 5 y una redondez de  $\leq 5 \mu\text{m}$ . Los portaherramientas se fabrican con tolerancias similares para que exista un ajuste perfecto con áreas de contacto muy elevadas de las superficies (Nebeling, 2014)

Grossi, busca predecir por medio de un modelado de elementos finitos 3D la estabilidad en el fresado entre la herramienta y el portaherramienta. La Figura 21, se muestra el flujo de trabajo de modelado propuesto. Los resultados gracias a este modelo dan resultados precisos en la predicción de la dinámica del conjunto herramienta por lo que reduce el número de experimentos necesarios para ver dicho comportamiento (Grossi, 2015).

Las altas velocidades son cada vez más exigentes en el mecanizado, los sistemas de pinzas y tipo Weldon son desafiadas por los requisitos de alta potencia y precisión. Según estudios este sistema es muy propenso a descentrarse y desequilibrarse durante un mecanizado por su asimetría, dado que contiene varios elementos independientes provocando que su rigidez se vea afectada fácilmente por las vibraciones (Rivin, 2000).

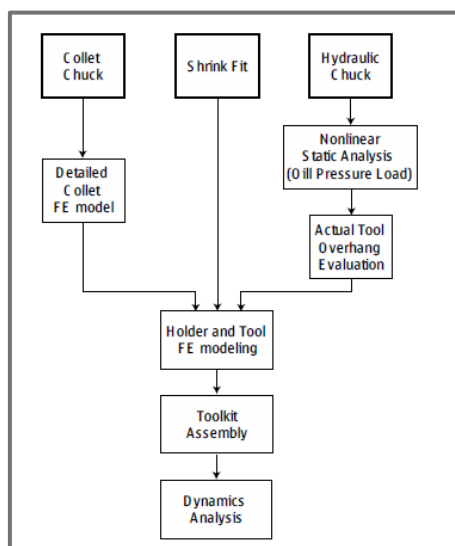


Figura 21. Flujo de trabajo de modelo propuesto (fuente: Grossi, 2015)

Por delimitaciones de este trabajo se estudiará solo 3 sistemas de amarres de herramientas de corte, entre los cuales podemos destacar:

### 3.0 Sistema de porta-pinzas

Este es uno de los sistemas más versátiles y económicos que se encuentran en la industria. Consta de casquillos ranurados que también se les llaman pinzas, usualmente son fabricados en acero para muelles. Están formados por una superficie exterior cilíndrica y una exterior cónica con alta precisión. El momento torsor y la rigidez angular de la pinza afectan significativamente los desplazamientos angulares, así mismo, la fuerza de corte y centrífuga que se dan durante el mecanizado, afecta la superficie distorsionándola y provocando desplazamientos radiales en la pinza y angulares en la herramienta amarrada (Soriano, 2012).

#### Partes y montaje

Cada herramienta se coloca en la pinza en función de su geometría, generalmente se utiliza de referencia el diámetro de esta, por otra parte, las pinzas también están estandarizadas y generalmente tiene referencias con uno o dos valores los cuales indican el tamaño correcto de la herramienta de corte con el cual trabajan de manera excelente. La pinza se coloca cuidadosamente sobre un portapinzas la cual es roscada en el cono BT mediante una llave especial, la cual hace la función del cierre de la pinza hasta que pueda sujetar perfectamente la herramienta de corte sin permitir movimientos radiales o axiales (Morris, 2022)



Figura 22. Pinzas ER32 diámetro 16 mm junto con tapa de portapinzas (fuente: Morris, 2022)

Los portapinzas tienen varias zonas de contacto entre el mango de la herramienta amarrada y las pinzas, generando posibles errores de posicionamiento debido a la acumulación de tolerancias. El resultado de este juego interno es muy negativo en el mecanizado de alta velocidad y en los micro mecanizados. Gracias a los avances se han podido desarrollar sistemas donde los mangos de las herramientas son directamente acoplados al portaherramienta, eliminando así los pares de contacto y, por consiguiente, disminuye el número de fuentes de error. Entre los sistemas más usados hoy en día que utilizan esta tecnología se encuentran: el sistema de amarre térmico y el sistema hidráulico de elevada fuerza.

Vozár, desarrolla un método para poder medir la influencia de los diferentes sistemas de sujeción en el desgaste de la herramienta, según los resultados obtenidos, se detalla que mandril de pinzas proporciona la mayor vida útil a las herramientas de corte. Los resultados esperados no estaban correlacionados con las especificaciones del fabricante, dado que, según ellos, el sistema de sujeción



hidráulica son los óptimos cuando se habla de desgaste de herramienta. En la Figura 23 se puede apreciar como uno de los sistemas CoroChuck 930 utilizados por Vozár alcanza el desgaste de la herramienta en un tiempo muy corto, y este se compara con el Spring Collet TYP 5675 el cual muestra un desgaste menor en el mismo tiempo de mecanizado transcurrido. En la siguiente imagen se muestran los valores de tiempo que duro cada herramienta y claramente se nota como el sistema de pinzas dio los mejores resultados. Por lo tanto, se concluye, que es necesario elegir el sistema de sujeción adecuado en relación con el resultado final deseado (Vozár, 2019)

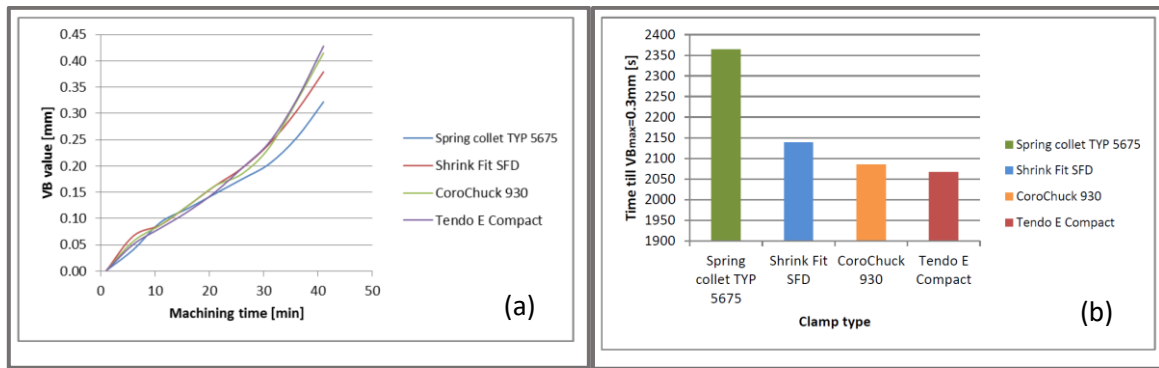


Figura 23. a) Comparación de diferentes sistemas de amarre en relación al valor de VB b) Comparación de diferentes sistemas de amarre respecto al tiempo (fuente: Vozár, 2019).

Grossi, en la figura 24. a describe el funcionamiento del sistema de pinzas. La tuerca cuando se gira genera una reacción sobre la pinza, la cual hace que esta se desplace y haga contacto con el cuerpo interno cónico del portaherramienta, al mismo tiempo, la carcasa cónica y ranurada de la pinza se empieza a cerrar, apretando el vástago de la herramienta, lo que finalmente permite que se transmita el par del husillo. Como no hay contacto directo entre la herramienta y el portaherramienta, muchos parámetros se verán afectados por la rigidez de la pinza. (Grossi, 2015).

El modelo busca crear un kit de herramienta que incluya la pinza para evitar estimaciones incorrectas de la rigidez. Por lo tanto, en la simulación se incluye la conexión del mandril y la pinza, en la Figura 24. b, se muestra el modelado de la pinza incluyendo las ranuras longitudinales y todos los elementos que forman parte del sistema unidos mediante contactos (Grossi, 2015).

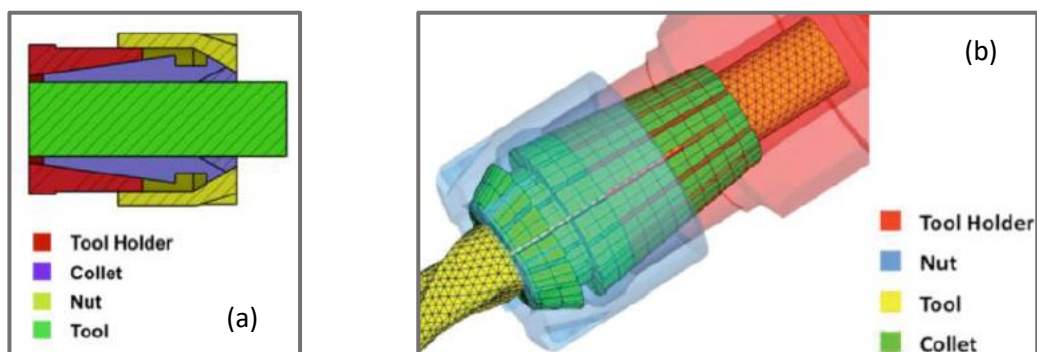


Figura 24. a) Componentes principales del mandril de pinzas b) Modelado del comportamiento de sistema de portapinzas (fuente: Grossi, 2015).

Los sistemas de pinzas carecen de una estructura sólida, por lo cual este tipo de portaherramienta es vulnerable a cambios y deformaciones por las incertidumbres del montaje, la fuerza centrífuga y de corte. Se afirma que las pinzas generalmente no se deben de usar a más de 15 000 rpm por la insensibilidad de la fuerza centrífuga. Rivin, asegura que el sistema de pinzas es el más versátil y que están hechos de acero endurecido y rectificadas con mucha precisión (Rivin, 2000).

Este sistema usa una tuerca de apriete para sujetar. Si esta se aprieta demasiado puede provocar un desalineamiento, generando así, torsión de la pinza, afectando negativamente la concentricidad y la distribución de las fuerzas de sujeción. En la siguiente figura se muestra exageradamente las deformaciones de una boquilla apretada mediante una tuerca (Rivin, 2000).

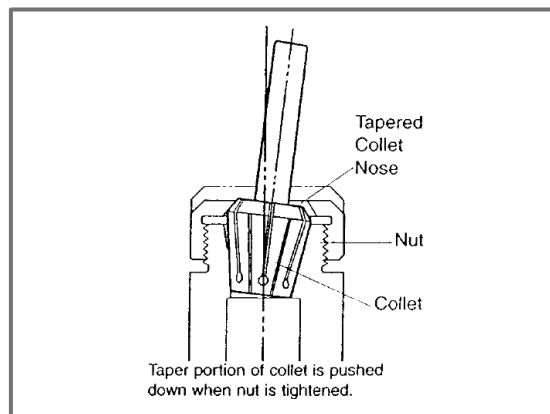


Figura 25. Distorsión de la alineación de la pinza debido al mal apriete de la tuerca (fuente: Rivin, 2000).

### 3.1 Sistema térmico o de ajuste por contracción

Li, realiza una investigación titulada “*Analysis of Axial holding capability about the Lengthened shrink-fit holder and Cutting tool system*”, donde menciona al Sistema de sujeción térmico como “soporte de ajuste por contracción alargado”. Menciona que este tipo de sujeciones son utilizados en mecanizados de alta velocidad, por lo que uno de los factores que influyen en este sistema es la rigidez de agarre, dado que este afecta directamente la calidad de la pieza procesada y la eficiencia del mecanizado. En su publicación, Li define que la rigidez de agarre incluye la rigidez de agarre radial, la rigidez de agarre torsional y la rigidez de agarre axial (Li, 2014).

Houming, investiga sobre el comportamiento dinámico del sistema térmico y la herramienta de corte en el fresado de alta velocidad. Para esto, se realiza un estudio de elementos finitos (FEA) y análisis de las frecuencias naturales y finalmente la influencia en la calidad del mecanizado en el fresado de alta velocidad. En las siguientes imágenes se muestra el modelo mediante FEA de la interfaz Soporte por contracción alargado y la herramienta de corte, así mismo, en la siguiente figura se muestra un diagrama de cuerpo libre de la herramienta de corte donde también se representa la velocidad angular y la carga P que representa el contacto entre la interfaz herramienta y sistema térmico (Houming, 2008).

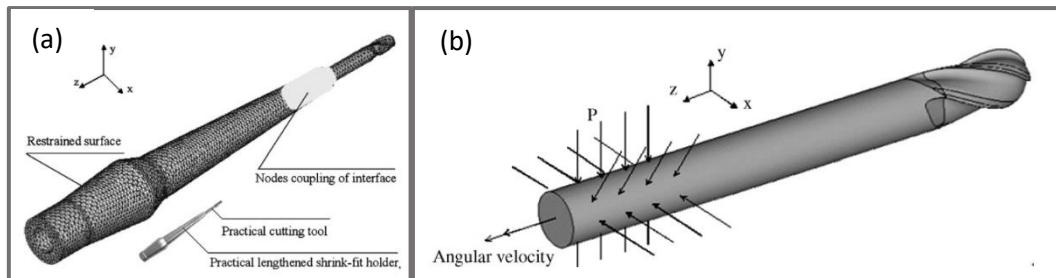


Figura 26. a) Acople del modelo de sistema de análisis finito del soporte de ajuste por contracción y la herramienta de corte  
b) Diagrama de cuerpo libre de la herramienta de corte (fuente: Houming, 2008)

Luego de establecer el modelo FEA discuten los resultados y se concluye que, la frecuencia natural del conjunto herramienta de corte y sistema térmico disminuye con el aumento del voladizo de la herramienta de corte. Por otra parte, se afirma que, cuando las rpm son inferiores a 20 000, se puede ignorar la influencia de la velocidad de giro en el análisis de características dinámicas cuando se utilizan herramientas de diámetro pequeño. Pero cuando las rpm son mayores a 30 000, si se debe considerar la influencia de la velocidad de giro en la interfaz sistema térmico y herramienta de corte. (Houming, 2008)

Zhou, lo define como “*Lengthened Shrink-Fit Holder (LSFH)*”. Es un componente de sujeción entre el mango y el cortador (Figura 27. a). Una de las características principales de este sistema es que no utiliza accesorios en el dispositivo para poder sujetar la herramienta de corte. Para dejar segura la fresa, es necesario llevar un proceso de inducción térmica para calentar la parte de agarre del LSFH aproximadamente hasta 250-435 °C. Cuando ya está en el punto óptimo de temperatura, el diámetro interior del LSFH se ha dilatado lo suficiente expandiéndose y permitiendo introducir la fresa de corte sin ningún problema. Finalizado este proceso, es necesario dejar que se enfríe el sistema el LSFH. Permitiendo que la sujeción sea fiable y de alta precisión, gracias a la excelente interferencia entre el LSFH y el cortador (Zhou, 2011).

El portaherramienta por contracción tiene 3 categorías: estándar, extensible y alargado. En la Figura 27. b se muestra un portaherramienta de ajuste por contracción alargado HSK. Este se utiliza en trabajos donde se necesita mecanizar piezas con cavidades profundas gracias a su alta fuerza de agarre, resistencia a la flexibilidad y alta precisión de rotación. Por otra parte, si el portaherramienta no sujeta con mucha fuerza la herramienta de corte, puede dañar la fresadora y provocar graves accidentes. Los resultados muestran que la rigidez de agarre axial disminuye con el aumento de la velocidad de giro, basándose en esos resultados, se determinó que para ese estudio en concreto la interferencia mínima no puede ser inferior de 4  $\mu\text{m}$  entre la herramienta de corte y el portaherramienta (Li, 2014).

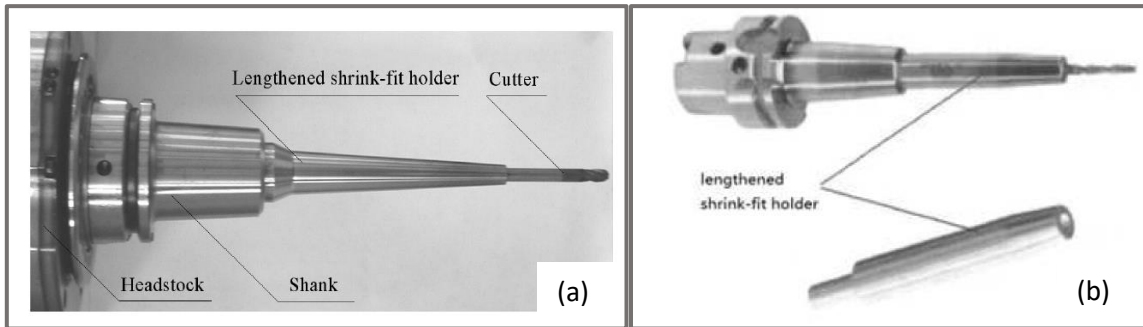


Figura 27. a) Vástago LSFH y sistema de corte b) Soporte de contracción alargado (fuente: Li, 2014)

Fleischer, aborda el tema del sistema de ajuste por contracción por calor y realiza un estudio profundo sobre las vibraciones modales y operativas para describir las características de amortiguación en dos tecnologías de sujeción de herramienta de corte, entre ellas el sistema de ajuste por contracción (HS) y el sistema de expansión hidráulica (HE). Como resultados de las mediciones, se determinó que HE tienen mejores propiedades de amortiguación que HS para frecuencias superiores a 1700 Hz (Figura 28. a), esto gracias al diseño específico y el fluido comprimido del HE. Por parte se investigó sobre el impacto de estos sistemas en la calidad superficial y se determinó que el HE muestra una rugosidad superficial mejor que HS (Figura 28. b) (Fleischer, 2016).

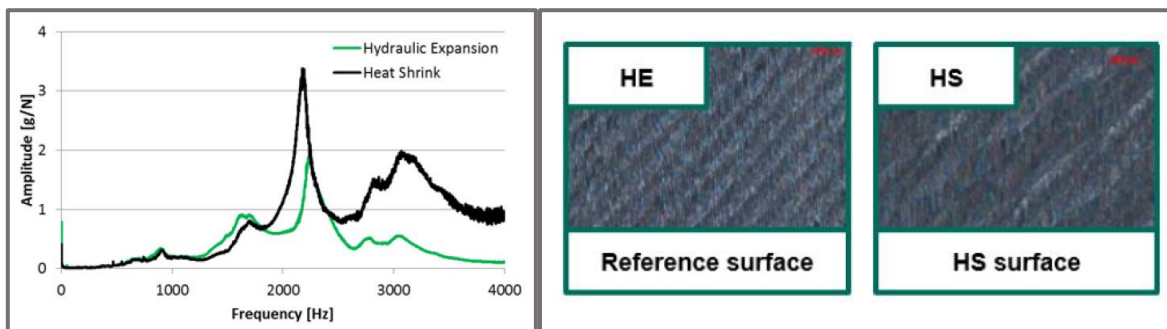


Figura 28. a) Respuesta de frecuencia de aceleración en el punto central de la herramienta en Heller MC16 b) imagen microscópica en el lado de ascenso de ranuras completas de 12 mm de profundidad en Heller CM16 (Fuente: Fleischer, 2016).

Grossi, en su trabajo titulado “3D Finite Element Modeling of Holder-Tool Assembly for Stability Prediction in Milling”, menciona que la conexión de ajuste por contracción se considera rígida para presentar la técnica de modelado. Por lo tanto, la propuesta es modelar el soporte y la herramienta, uniendo los nodos de la interfaz de los componentes como se muestra en la Figura 29. b (Grossi, 2015).

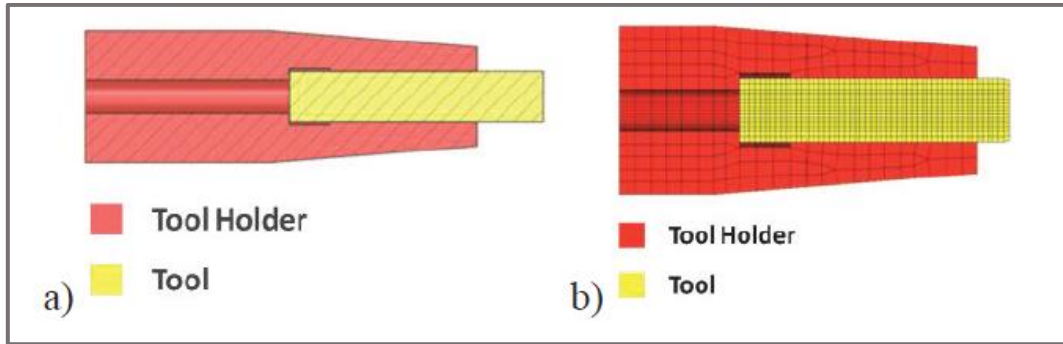


Figura 29. a) Ejemplo de conexión por ajuste de contracción. b) Técnica de modelado propuesta por ajuste por contracción (fuente: Grossi, 2015)

Para lograr buenos resultados en el proceso de mecanizado, es necesario usar una herramienta cuyo vástago sea de buena cilindridad y tenga la interferencia suficiente para sujetar (Shimizu, 2003). Según la patente de Cook, se debe realizar un agujero coaxial liso en el portaherramienta, con un diámetro de 12 a 75  $\mu\text{m}$  más pequeño que el diámetro del mango de la herramienta. Después del enfriamiento, existe una conexión estructural entre la herramienta y el portaherramienta (Cook, 1994).

Una de las desventajas de este tipo de sistema es que son muy costosos, dado que requieren de inversión en equipos de calefacción y de enfriamiento. Otra desventaja es que la intensidad térmica y las temperaturas asociadas con el calentamiento por la inducción dan como resultado el recido de ciertas partes del portaherramienta y, como resultado, daños en ellos mismo (Cook, 1994).

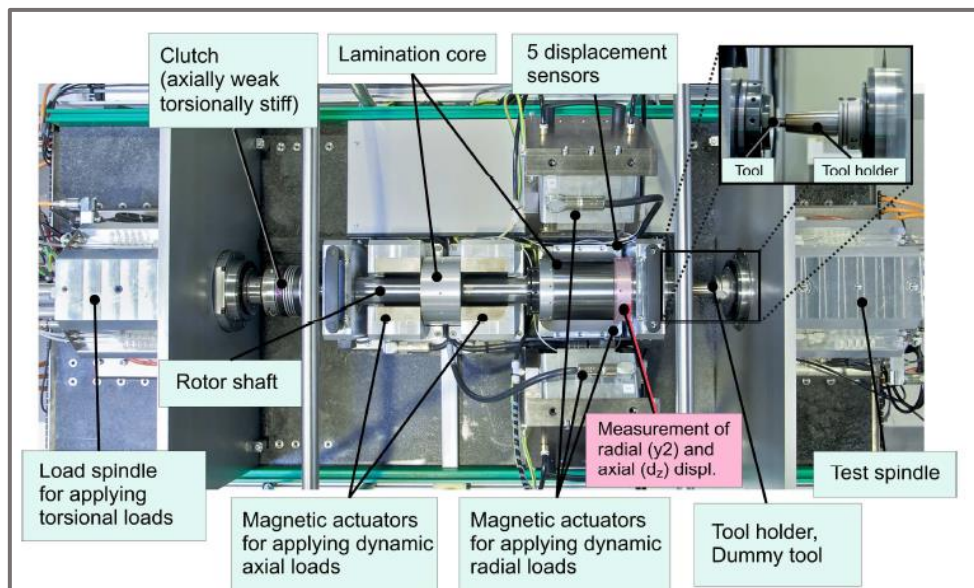


Figura 30. Banco de prueba para la aplicación de cargas (fuente: Denkena, 2012)

Denkena, estudia el fenómeno de extracción axial de herramientas en los mandriles de ajuste por contracción térmica durante los procesos de mecanizados. Los estudios se realizaron en bancos de pruebas (Figura 30) que permitían la aplicación de cargas radiales, de torsión dinámica las herramientas mientras giraban a altas velocidades. Se llegó a la conclusión de que las fuerzas dinámicas radiales, las cargas de torsión influyen altamente sobre el efecto de extracción de la herramienta (Denkena, 2012).

### 3.2 Sistema Multilock o de precisión

Las herramientas son tratadas térmicamente a temperatura de  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  después de la cementación como se muestra en la Figura 31. a. Esto le ayuda a la eliminación de la austenita residual y así prevenir la deformación por muchos años. A lo largo de los años Nikken, se ha tratado de utilizar la tecnología más avanzada para poder sobresalir en el mercado industrial, por eso, recalca que su producto utiliza diseños y materiales propios que hacen ver la calidad de sus productos. Por ejemplo, el sistema Multilock desde ahora ML, está configurado por un juego de multi-rodillos de agujas Figura 31. b y retenedores que están fabricados de aceros especiales que nunca se rompen. (NIKKEN, 2019)

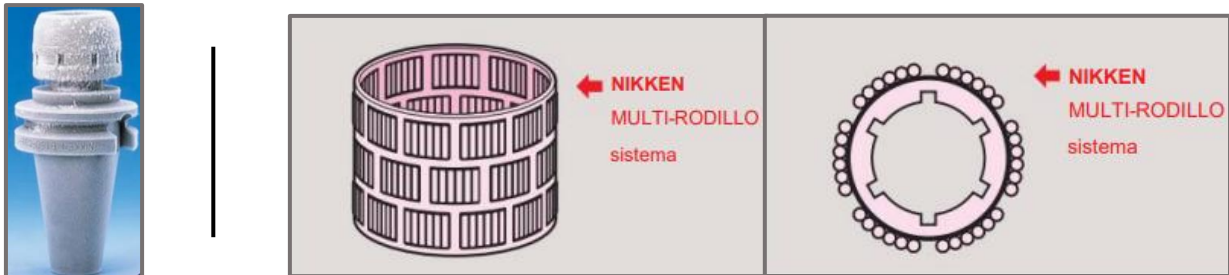


Figura 31. a) como Multilock a  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  b) Configuración de sistema multilock con multi-rodillos (fuente: Nikken. 2019)

Hanser, en su publicación asevera que el uso de mandriles de precisión en lugar de un mandril Weldon ahorra hasta un tercio de los costos por fabricación, suponiendo un tamaño de pedido de 100 piezas de trabajo, involucrando todos los factores de costos. Por lo tanto, los mandriles de precisión cuestan nueve veces más que los Weldon, pero dan tan buenos resultados que amortizan su precio muy rápido (Hanser, 2007).

En comparación con los portaherramientas de contracción y de expansión hidráulica, el mandril de alta precisión transfiere altos pares durante el mecanizado. Las ranuras axiales son para que la herramienta se sujete de mejor manera y para evitar la rotación de esta Figura 32 (NT Tool, 2017)

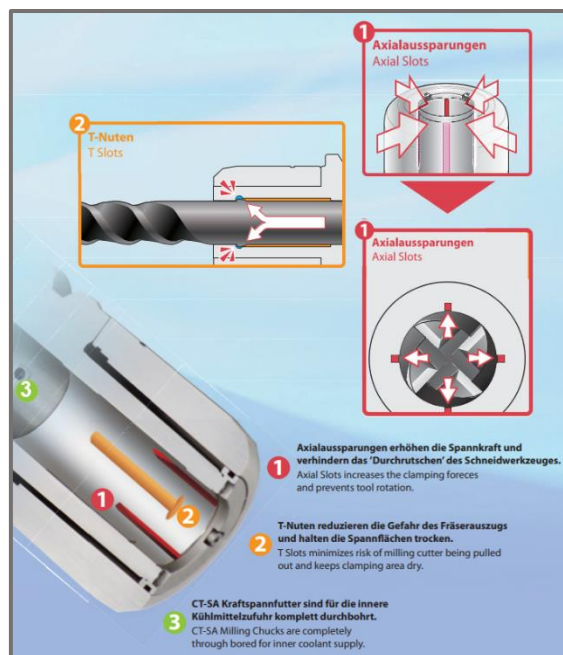


Figura 32. Funcionamiento de las ranuras internas en el sistema multilock (fuente: NT Tool, 2017)

En siguiente figura se muestra la alta rigidez radial debido al contacto frontal, así, se evita la rotura lateral y se garantiza una buena precisión en el mecanizado, y una larga vida de la herramienta. La precisión de estos portaherramientas es lo más importante dado que influye en la vida de la herramienta y la precisión de la pieza de trabajo. Por lo tanto, el alabeo garantizará un corte uniforme y como resultado un mecanizado suave. En este catálogo finalmente hace referencia a la concentricidad de la herramienta la cual protege al husillo de la máquina, el cual se encuentra alrededor de  $0,005 \text{ mm}/3xD$  tal y como se muestra en la Figura 33 (NT Tool, 2017)

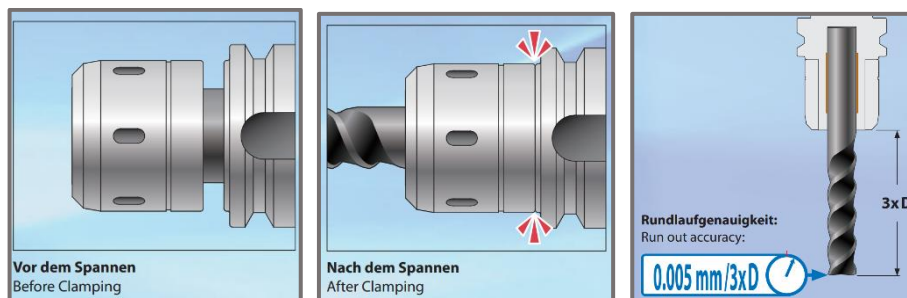


Figura 33. Rigidez debida al contacto frontal y concentricidad de la herramienta (fuente: NT Tool, 2017).

Shimizu, en su estudio experimental, analiza el efecto del error de forma del vástago de las herramientas en la precisión de sujeción de diferentes sistemas de sujeción. En sus conclusiones, especifica que los mejores resultados de precisión se obtuvieron en el portaherramienta de contracción y el hidráulico, por el contrario, el sistema de bloqueo por rodillos o roll-lock mostró resultados no favorables. El error de forma del vástago apenas refleja un impacto sobre el mandril de bloqueo por rodillo. Según las especificaciones el mandril tipo roll-lock posee una tuerca que contrae el orificio del mandril con rodillos y como resultado, sujeta la herramienta por el efecto de cuña (Shimizu, 2003)

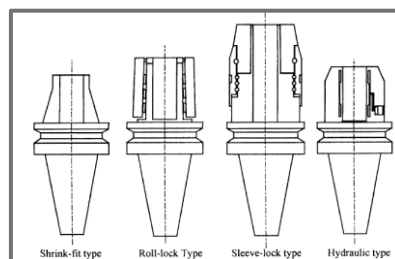


Figura 34. Estructura de mecanismos de sujeción de diferentes mandriles de fresado

Este tipo de sistema es muy parecido al de pinzas, la diferencia es que la fuerza de apriete se aplica a través de rodillos de agujas como se puede ver en la Figura 35. Cuando se genera un par externamente para la fijación de la herramienta, mediante una llave especial, este mismo par se genera de 3 a 4 veces internamente para asegurar la sujeción de la herramienta (Rivin, 2000).

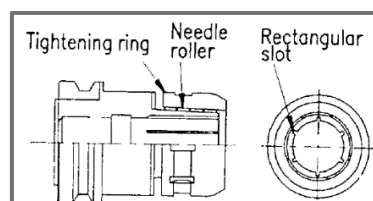


Figura 35. Portapinzas con manguito de sujeción macizo; izquierda manguito con agujeros longitudinales; derecha manguito con ranuras longitudinales

### 3.3 Conclusiones

Los diferentes sistemas de sujeción de herramienta que encontramos en el mercado siempre están buscando impactar positivamente en las herramientas y las máquinas en las cuales estos son usados. A lo largo de los años la tecnología ha avanzado y las exigencias para los distribuidores de estos mandriles son cada vez más exigentes.

Todos estos estudios analizados anteriormente recalcan que en el mecanizado de alta velocidad no todos los mecanismos de sucesión tienen comportamientos positivos por lo que día a día se trabaja en portaherramientas que mantengan la rigidez necesaria en el mecanizado y así lograr que la integridad superficial sea de buen resultado.

Los estudios demuestran que uno de los factores más comunes en los sistemas de amarre, es la concentricidad entre la interfaz herramienta y mandril, si este no se encuentra dentro de los valores permitidos, se generan vibraciones indeseadas, las cuales generan comportamientos de mala calidad en la fabricación de los elementos, asimismo, será muy perjudicial para el husillo de la máquina reduciendo así la vida útil de la herramienta y a la larga, generando daños irreparables a la máquina.

Otro enfoque de los diferentes sistemas es el análisis de costo beneficio, por lo tanto, se recomienda que se use el mandril adecuado acorde al trabajo que se ha de realizar.

Todos factores que influye durante el mecanizado son necesarios a considerar, dado que dentro del campo de sostenibilidad tiene un papel muy importante la industria, dando como resultado una producción más limpia, eficiente y sostenible.

Todos estos criterios analizados en las revisiones anteriores nos permiten proponer un diseño experimental en el siguiente capítulo con el cual se busca determinar cuál es el impacto que tienen los diferentes sistemas de sujeción de herramientas en la integridad superficial de una pieza que ha sido mecanizada en una máquina fresadora cnc mediante operaciones de fresado prismático en un material AISI 1045.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **Capítulo 4**

---

# **DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se describe el diseño y desarrollo experimental, aquí se analizan diferentes estrategias para poder realizar el experimento de la manera óptima posible. Y finalmente se analiza la influencia de los tres tipos de sujeción de herramientas en la IS

- 4.1 Introducción
- 4.2 Materiales y equipo de desarrollo
- 4.3 Caso I: Evaluación de la IS
- 4.4 Caso II: Evaluación del Consumo de energía
- 4.5 Conclusiones

## CAPÍTULO 4. DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.0 Introducción

Para la validación de esta propuesta experimental se optó por estudiar a profundidad dos tipos de casos de mayor relevancia en el mecanizado de alta precisión. Con esto se podrá comprobar el caso I, el efecto de diferentes parámetros de corte en la integridad superficial de la pieza y el caso II, el impacto en el consumo energético durante el mecanizado. En ambos casos se utilizarán distintos sistemas de amarre de herramienta y los resultados se discutirán al final de este apartado.

### 4.1 Diseño de experimentos

Para analizar los efectos de los diferentes sistemas de sujeción de herramienta sobre la IS y el consumo energético, fue necesario establecer las variables o factores que afectan el proceso y así poder seleccionar un diseño experimental adecuado.

Ayabaca, presenta un modelo de evaluación de sostenibilidad en los procesos de arranque por viruta para mejorar el ciclo de vida el producto utilizando entornos colaborativos. En la siguiente figura se presenta una propuesta de experimento para el modelo de fabricación, iniciando desde la etapa 1 que consiste en el análisis del desarrollo sostenible y el ciclo de vida hasta la etapa 10 donde se establecen las conclusiones del modelo presentado (Ayabaca, 2021)

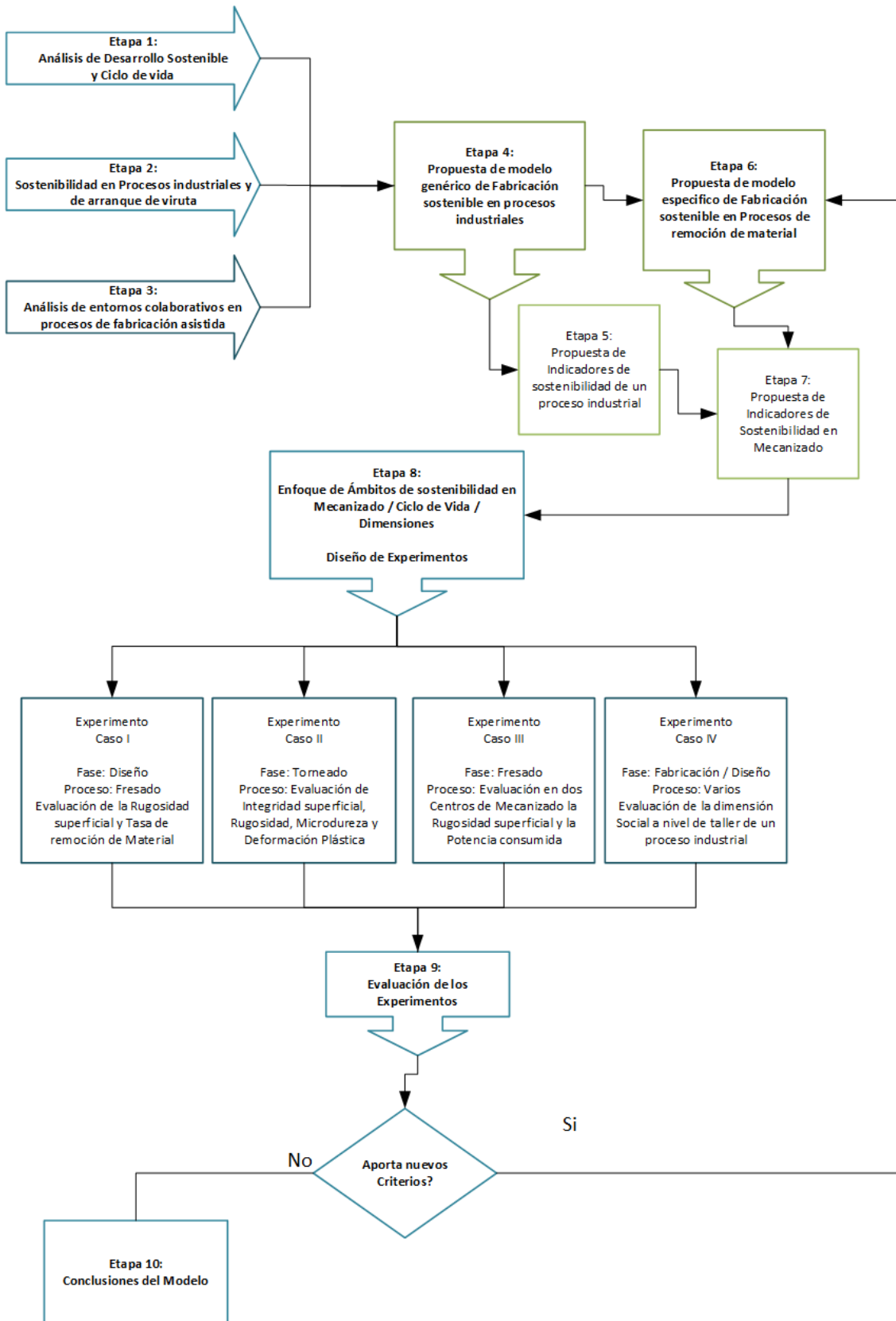


Figura 36. Propuesta de experimentos para el modelo de fabricación (fuente: Ayabaca, 2021).

Esta disertación se enfocará en la etapa 8 en adelante para determinar el enfoque de sostenibilidad en ambos casos de estudio que serán tratados a continuación:

Tabla 4. Experimentos Propuestos: Casos de Estudio (fuente: elaboración propia)

Fase	Caso	Perspectiva	Proceso & Operación	Material	Indicador de evaluación
Fabricación	I	Producto	Fresado	AISI 1045 (F-114)	Rugosidad superficial
	II		Prismático		Microdureza
		Proceso			Consumo de energía

Utilizaremos de referencia para la validación experimental el método científico experimental, el cual será desarrollado para cada uno de los experimentos que se plantearon en la Tabla 4. A continuación, se ejemplifican los pasos a seguir para el cumplimiento del método.

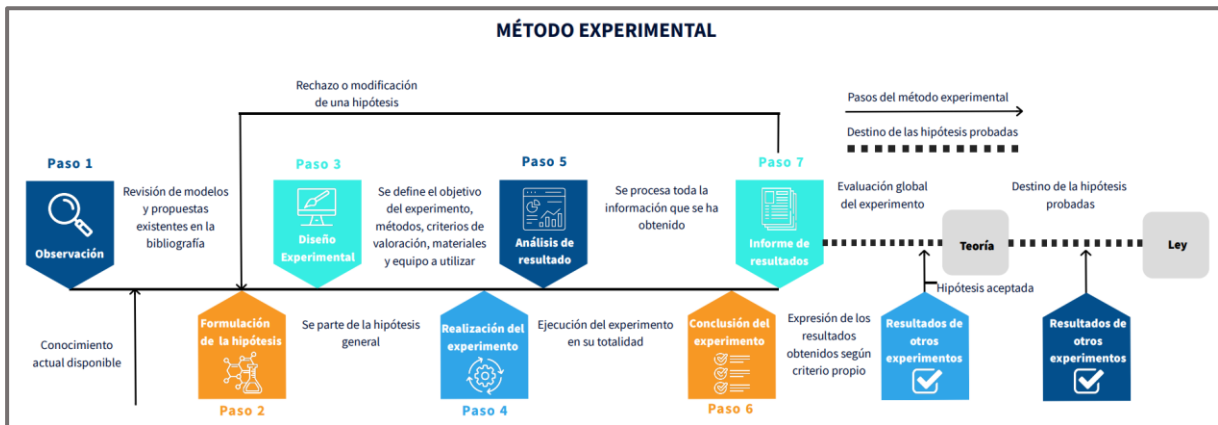


Figura 37. Pasos del método experimental (fuente: elaboración propia).

A continuación, se presenta la configuración experimental utilizada para la realización de las operaciones de mecanizado, la cual será citada en cada uno de los casos a estudiar, dado que el experimento fue el mismo para cada sistema de sujeción de herramienta.

Tabla 5. Diseño de Experimentos (fuente: elaboración propia)

Subcaso	Test	Operación	Profundidad de corte (ap) (mm)	Avance por diente (fz) (mm)	Revoluciones del husillo (n) (rpm)
I	Profundidad constante	#1	2.66	0.06	1110
		#2	2.66	0.08	1590
		#3	2.66	0.1	1910
II	Avance constante	#4	1.33	0.08	1110
		#5	2.66	0.08	1590
		#6	4	0.08	1910
III	Revoluciones constantes	#7	1.33	0.06	1910
		#8	2.66	0.08	1910
		#9	4	0.1	1910
Velocidad de corte (Vc) (m/min)			80	100	120
Profundidad radial (ae) (% constante = 100)					

#### 4.2 Materiales y equipo de desarrollo

Para la realización de este experimento se ha usado un equipo de alta tecnología en mecanizado de alta velocidad. En la Tabla 6 se muestran los materiales y equipos para el desarrollo de los casos experimentales. Más adelante se especificarán a detalle cada uno de los insumos a tratar.

Tabla 6. Materiales y equipos para los Casos de estudio (fuente: elaboración propia)

Insumo	Caso	Descripción	Detalle
Material	I II	Acero	AISI 1045 (F114)
Equipo		Centro de mecanizado	Gentiger
Herramienta		Mitsubishi-Tools	Herramienta: VPX200R2003SA20S Inserto: LOGU0904020PNER-M
Software		CAD/CAM PLM	NX Teamcenter
Instrumentos de medición	I	Rugosímetro Durómetro	HommelWerke T500 HBRVU - 187.5
	II	Multímetro Microscopio	ISO-TECH ILCM 03A <u>Olympus SZ61</u>

#### 4.2.1 Material para mecanizar

El material utilizado para esta investigación fue el AISI 1045, este se considera un acero al carbono de uso general, usualmente es recomendado para piezas donde se requieran resistencias medias de (650-800 N/mm<sup>2</sup>). Este también se puede encontrar bajo otras denominaciones según su equivalencia (Acero F114(F11140), AISI 1021, C45E etc.)


Tabla 7. Composición química de los materiales seleccionados (fuente: elaboración propia)

	%C	% Mn	% P	% Si	% S
F-114 (AISI 1045)	0,43 -0,50	0,60 -0,90	-	-	Máx. 0,05

#### 4.2.2 Centro de mecanizado y equipos

Para este experimento solo se usará una máquina herramienta CNC; un centro de mecanizado marca Gentiger. En la Tabla 8 se muestran las especificaciones de esta máquina.

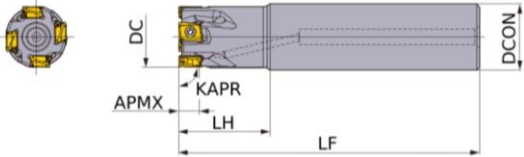

Tabla 8. Centro de mecanizado Gentiger (fuente: elaboración propia)

	Modelo	-	GT 66V-T16B
	Recorrido X/Y/Z	mm	1000/550/500
	Potencia	kVA	45
	Velocidad del husillo	rpm	1-16000
	Tasa de avance rápido	m/min	30
	Conos	-	BT-40
	Controlador	-	Siemens 840 D

#### 4.2.3 Herramientas

Para el proceso de fresado se utilizó una fresa indexable de 3 insertos por cada portaherramienta que se analizó. Las características técnicas de estas herramientas y de los insertos específicos para cada una de ellas están especificadas por cada fabricante, en este experimento se utilizó el proveedor de Mitsubishi el cual detalla en su catálogo dichas especificaciones como se muestra en la Tabla 9 (Mitsubishi Materials, 2022).



Tabla 9. Herramienta e Insertos utilizados (fuente: elaboración propia).

	Herramienta Mitsubishi VPX200R2003SA20S	Inserto	3
		DC (mm)	20
		DCON (mm)	20
		LF (mm)	100
		LH (mm)	30
		APMX (mm)	8
		KAPR (°)	90
	Inserto Mitsubishi LOGU0904020PNER-M	L (mm)	8.7
		RE (mm)	0.2
		S (mm)	4.3
		BS (mm)	1.7
		D1 (mm)	3

#### 4.2.4 Aplicaciones de fabricación asistida por ordenador

Para la realización de este experimento se integraron diferentes aplicaciones con el fin de diseñar y administrar el proyecto en su totalidad haciendo uso de la ingeniería colaborativa. Gracias a estos softwares se puede tener un mayor control de la ejecución y simulación de los programas mediante plataformas PLM y CAD/CAM. Como programa de diseño y manufactura se utilizó NX de Siemens, para la ingeniería colaborativa se empleó Teamcenter. A continuación, en la Tabla 10 se muestra un pequeño resumen de estas aplicaciones de fabricación asistida.

Tabla 10. Aplicaciones de Fabricación Asistida por ordenador (fuente: elaboración propia).

Logotipo	Detalle
	Es un software que tiene integrado CAD/CAM/CAE. Gracias a su versatilidad, en NX se puede gestionar diferentes proyectos que estén relacionados con el diseño y fabricación de elementos mecánicos en 2D o 3D.
	Este es un sistema de gestión del ciclo de vida de los productos o (PLM). Gracias a su interfaz cualquier usuario que esté involucrado en la ingeniería colaborativa podrá gestionar y documentar el proceso y desarrollo del producto de manera muy sencilla.

La integración de ambas herramientas de trabajo facilita el proceso de ejecución de este experimento. También es necesario destacar que para cada proceso de CAD/CAM se definen diferentes parámetros de ajuste como ser; la integración virtual de la herramienta de corte utilizando parámetros de corte, la geometría a mecanizar, las estrategias de mecanizado como ser la trayectoria, el centro de mecanizado a utilizar entre otras. Esto ayudará en el manejo de las operaciones en la simulación y en el mecanizado durante el proceso de ejecución. NX permite la integración de gemelos digitales para una mayor simulación de los elementos que componen la máquina herramienta en la cual se trabajara. Para este experimento, se realizaron pruebas de simulación integrando los diferentes portaherramientas, las herramientas de corte y la mesa de trabajo. En la figura 38 se puede ver la integración de un portaherramienta tipo.

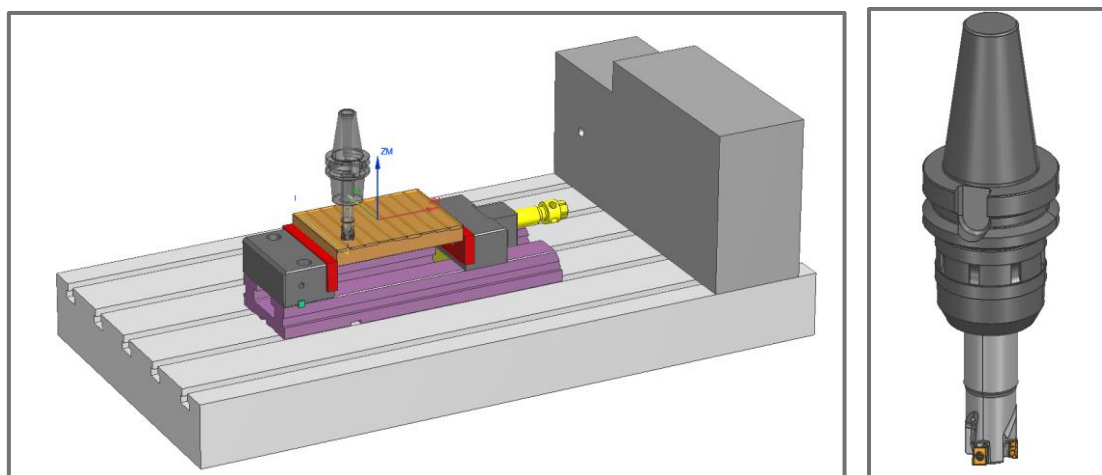


Figura 38. Simulación de mecanizado y la herramienta de corte (fuente: elaboración propia).

Para el procesamiento del CNC es necesario conocer el flujo de las operaciones hasta llegar a la ejecución del programa, para esto la Figura 39 muestra la ruta a seguir para lograr el cumplimiento del programa de control numérico.




Figura 39. Ruta para el procesamiento de un programa CNC (fuente: elaboración propia).

#### 4.2.5 Instrumentos de medición

En las siguientes tablas se mostrarán algunas de las especificaciones más importantes de los instrumentos de medición que se utilizaron para la ejecución de este experimento. En el caso I se estudia la integridad superficial por lo que después del mecanizado se tomó medición utilizando el Rugosímetro HommelWerke T500, que se muestra en la Tabla 11-14 (Tecnimetal, 2022). Cabe destacar que, en los experimentos desarrollados, se realiza un mínimo de 3 mediciones de la rugosidad en la entrada y en la salida de la herramienta.




Tabla 11. Durómetro Hommelwerke T500 (fuente: elaboración propia).

	Equipo:	Rugosímetro
	Marca:	HommelWerke
	Modelo:	T500
	Longitud de evaluación:	4.8 mm
	Norma de Rugosidad:	JIS DIN ISO ANSI


Para el análisis de la dureza se utilizó el durómetro marca Centaur, en la tabla X se muestran las especificaciones de este instrumento de medición (Metro Centaur, 2022)

Tabla 12. Durómetro HBRVU-187.5 (fuente: elaboración propia).

	Equipo:	Durómetro
	Marca:	Centaur
	Modelo:	HBRVU-187.5
	Rango:	4.8 mm
	Norma de dureza:	ASTM E10-18


Para el estudio del desgaste de la herramienta se utilizó un microscopio Olympus, en la tabla X se muestran la especificación de este instrumento de medición (Olympus SZ61, 2022)

Tabla 13. Microscopio Olympus SZ61 (fuente: elaboración propia).

	Equipo:	Microscopio
	Marca:	Olympus
	Modelo:	SZ61
	Aplicaciones:	Metalografía

Finalmente, se presentan las características técnicas de la pinza amperimétrica ISO-TECH ILCM 03A. Esta fue colocada por un técnico especialista en una de las fases eléctricas para determinar el consumo energético durante el mecanizado (TECH, 2022).

Tabla 14. Pinza Amperimétrica ISO-TECH (fuente: elaboración propia).

	Equipo:	Pinza Amperimétrica
	Marca:	ISO-TECH
	Modelo:	ILCM 03A
	Rango DC:	0.5 – 600 V
	Rango AC:	0.5 hasta 600 V

### 4.3 Caso I: Evaluación de la Integridad superficial

Como se ha mencionado en el capítulo 2, la evaluación de la Integridad Superficial nos permite conocer cómo diferentes parámetros de corte influyen directamente sobre la superficie maquinada, esta se puede ver afectada en la rugosidad superficial, la microdureza, deformación plástica entre otros. A continuación, se presentan los pasos para seguir el método experimental.

#### 4.3.1 Paso 1 – Caso I: Observación

Los parámetros de cortes utilizados durante el mecanizado jugarán un papel importante para los resultados finales de la IS. Por lo tanto, la elección correcta de ellos permitirá establecer y predecir los resultados.

- **Objetivo Caso I:** Fresado Prismático - Integridad Superficial:

Determinar qué sistema de sujeción de herramienta proporciona los mejores resultados respecto a la calidad superficial y la microdureza de una pieza mecanizada.

Al realizar el análisis de la IS comparando los tres sistemas de sujeción de herramienta se podrá determinar cuál de estos tiene mejor impacto sobre la fabricación sostenible y así garantizar un desempeño óptimo del mecanizado y la vida útil de la máquina y herramienta.

En la siguiente Tabla 15 se muestran los detalles generales de este caso.

Tabla 15. Caso I: Detalles generales del experimento (fuente: elaboración propia).

Fase	Caso	Perspectiva	Proceso & Operación	Material	Indicador de evaluación	Unidades
Fabricación	I	Producto	Fresado Prismático	AISI 1045 (F-114)	Rugosidad superficial Microdureza	µm HV

#### 4.3.2 Paso 2 – Caso I: Formulación de hipótesis

- **Hipótesis caso I:** Fresado Prismático – Integridad Superficial:  
En la pieza fabricada, ¿los resultados de la Integridad superficial serán óptimos para los sistemas de sujeción de alta precisión en comparación a los sistemas convencionales?

#### 4.3.3 Paso 3 – Caso I: Diseño experimental – Procedimiento

Se dispone de 3 tipos de sistemas de sujeción de herramienta de corte; sistema de Pinzas, ajuste térmico y el portaherramienta de precisión Multilock. En la Tabla 16 se muestran las características de los materiales y equipos utilizados para este caso.

Tabla 16. Caso I: Materiales y equipo para el experimento (fuente: elaboración propia).

Insumo	Descripción	Detalle
<b>Material</b>	Acero	AISI 1045 (F114)
<b>Equipo</b>	Centro de Mecanizado	Gentiger GT 66V-T16B
<b>Herramienta</b>	Mitsubishi Tools	Herramienta: VPX200R2003SA20S Inserto: LOGU0904020PNER-M
<b>Sistema de sujeción</b>	Portapinzas	BT40H70ER32
	Térmico	BT018.40.20.070
	Multilock	BT40-C32-85
<b>Software</b>	CAD/CAM	NX
<b>Instrumentos de medición</b>	Rugosímetro	HommelWerke T500
	Durómetro	Centaur HBRVU-187.5
<b>Lubricación</b>	Lubricante	RENOLIN DTA 32

Los resultados a medir de la integridad superficial será la rugosidad, y la microdureza para determinar la calidad de la pieza mecanizada y su funcionalidad respecto a requisitos técnicos. El material que se ha utilizado ha sido el AISI 1045 por su fácil maquinabilidad y su uso muy frecuente en la industria. La pieza de trabajo en bruto tiene una dimensión rectangular de 203 (mm) de largo, 146 (mm) de altura y 25 (mm) de ancho.

Para la determinación de la dureza de la pieza sin mecanizar, se realizaron mediciones obteniendo un resultado de 81 HRB equivalente a 155 HV, por lo cual el stock crudo pertenece al grupo de acero AISI 1045.

Cabe destacar que los parámetros de corte utilizados para la realización de este experimento se han definido previamente utilizando los datos sugeridos por el fabricante de herramientas, así mismo, la elección del material y las herramientas para el montaje se han seleccionado en base a los recursos materiales y técnicos en el laboratorio.

También es necesario resaltar que se utilizaron diferentes piezas de trabajo en bruto dado que se utilizarían 3 sistemas de sujeción distintos, así mismo, estas fueron mecanizadas con un plato de planear para evitar cualquier posible deformación en la superficie de ella.

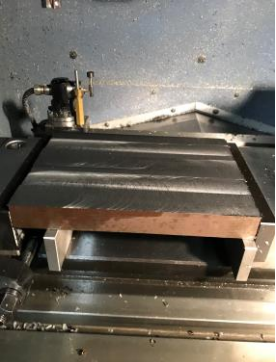
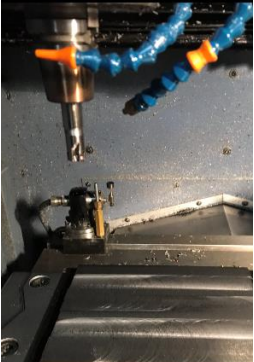


En su totalidad se obtendrán 27 experimentos los cuales se seleccionaron en función del control de las variables de mayor importancia que afectan la integridad superficial en el mecanizado, aquí no se utilizó el arreglo de Taguchi por la aleatoriedad de los parámetros y por el control de las variables.

Para definir el conjunto de experimentos, las variables a controlar durante el mecanizado se establecieron de la siguiente manera para cada sistema de sujeción de herramienta (Tabla 5) se diseñaron 3 subcasos de estudios (tres experimentos en cada Subcaso). Para el Subcaso I, la profundidad de corte fue constante mientras que el avance por diente y las revoluciones del husillo se variaron a lo largo del experimento. Para el Subcaso II, mantienen constante el avance por diente y se modifican las otras variables. Finalmente, en el último Subcaso, se mantienen variables la profundidad de corte y el avance por diente, mientras las revoluciones del husillo se mantienen constantes.

#### 4.3.4 Paso 4 – Caso I: Desarrollo del experimento

En la fase experimental se plantearon diferentes estrategias que cumplieran con los principios de diseño experimental, esto con el fin de lograr la repetibilidad de los experimentos, eliminar errores de montaje e incertidumbre durante el mecanizado. La sujeción de la pieza de trabajo también tiene un rol importante en el mecanizado de alta velocidad, dado que el incorrecto amarre de esta puede provocar daños indeseados en la superficie maquinada como ser vibraciones. Logrando un control local se eliminan las variaciones en los experimentos por factores externos ayudando así a tener mayor precisión en los resultados obtenidos. Por cada placa rectangular se realizaron 9 cortes utilizando una sola herramienta y un sistema de sujeción.

Tabla 17. Material y sistemas de sujeción durante el mecanizado (fuente: elaboración propia).

Pieza de trabajo	Sistema de sujeción		
AISI 1045	Térmico	Multilock	Portapinzas
			

Antes del lanzamiento del programa, se validó el post procesado generado en el software NX para un Control Numérico SIEMENS 828D escrito en códigos G el cual será el mismo para los diferentes sistemas de amarre. Se realizó el montaje de la pieza de trabajo AISI 1045 y de la herramienta de corte Mitsubishi VPX200R2003SA20S con su respectivo inserto. Como parámetro para controlar la IS se decidió estudiar la rugosidad superficial, para estos se usará el rugosímetro HommelWerke T500. Para el análisis de la dureza se utilizó el durómetro HBRVU-187.5 siguiendo la norma ASTM E10-18 aplicando la carga correspondiente a 15 segundos. La configuración experimental para este caso se muestra en la siguiente figura.

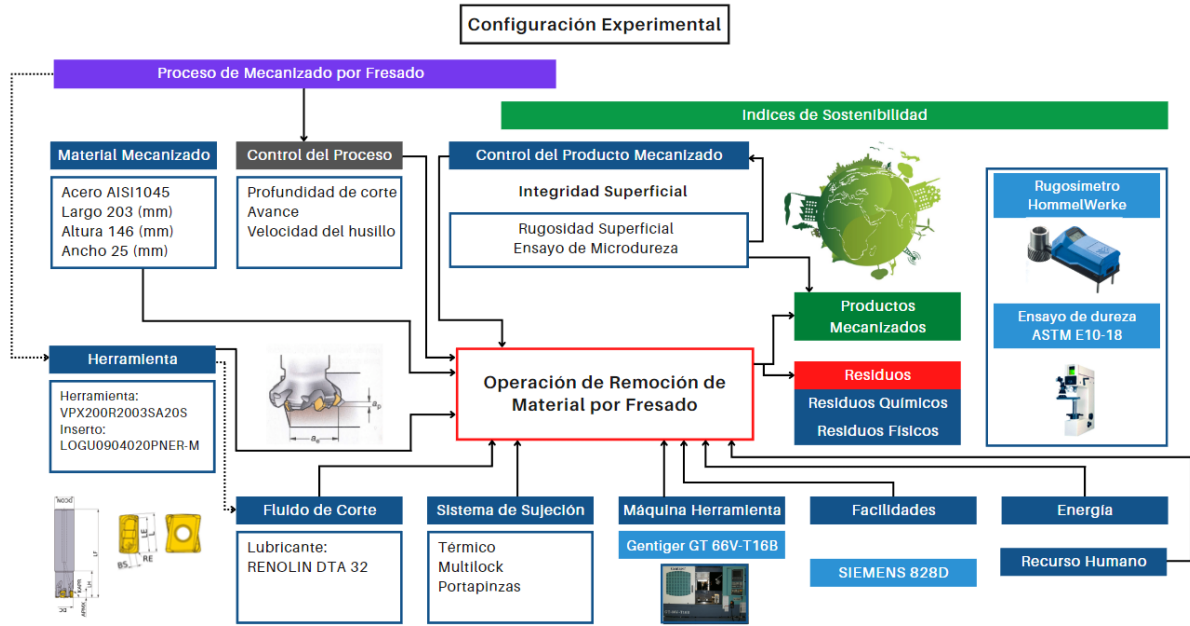


Figura 40. Caso I: Configuración experimental (fuente: adaptada de Vila, 2019)

#### 4.3.5 Paso 5 – Caso I: Toma de datos y Análisis de resultados

Para la toma de datos se realizaron 3 mediciones y luego se calculó la media de estos valores, obteniendo así un valor promedio con el cual posteriormente se tratará de buscar una correlación entre los resultados obtenidos. Los datos obtenidos de la rugosidad tomados en la entrada y en la salida del corte de la herramienta y los datos de la microdureza se encuentran en Anexo **A1**, **A2** y **B1**.

En las siguientes figuras se muestra la toma de datos de la rugosidad y la microdureza respectivamente.



Figura 41. Toma de datos con el rugosímetro (fuente: elaboración propia).



Figura 42. Toma de datos con el durómetro (fuente: elaboración propia).

Los siguientes dos apartados muestra los resultados del primer caso experimental relacionado con el estudio del análisis de la Integridad Superficial debido al mecanizado.

4.3.5.1 Caso I: Análisis de la rugosidad:

Los siguientes resultados muestran la influencia de los diferentes sistemas de sujeción de herramientas en la rugosidad de la pieza mecanizada. La Figura 43 muestra que el sistema de sujeción del tipo portapinzas proporciona los valores mínimos de rugosidad en la superficie mecanizada en la entrada de la herramienta de cada operación realizada, para los otros portaherramientas, el que proporcione la rugosidad más alta fue el sistema térmico, finalmente, el sistema de sujeción Multilock muestra un comportamiento estable sin variaciones de rugosidad muy elevadas a lo largo del mecanizado.

Respecto al parámetro de corte utilizados, los puntos más críticos fueron las operaciones #4 y #6 donde se utilizaban profundidades de corte de hasta 4 mm y avance máximos de 0.1 mm por diente. En la gráfica se puede apreciar como los valores de rugosidad tienden a converger en las mismas operaciones. Estas dos opciones tienen mucha similitud en cuanto a los parámetros de corte, la única variación es el avance que pasa de 0.08 a 0.1 mm por diente. En cuanto a la velocidad de giro y la profundidad de corte axial, es la misma para todos los sistemas de amarre. Por lo tanto, se podría argumentar que con estos parámetros de corte los sistemas de sujeción proporcionan los mismos resultados de rugosidad. Por otra parte, estos mismos parámetros de corte concuerdan con uno de los valores mínimos de rugosidad del sistema térmico el cual se había categorizado como el más crítico según resultados obtenidos.

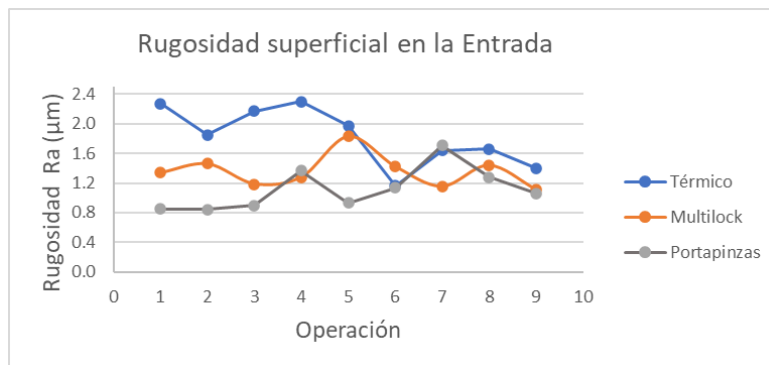


Figura 43. Rugosidad superficial en la entrada (fuente: elaboración propia).

En la Figura 44 se muestran los resultados de la rugosidad en la salida de la herramienta. El sistema de portapinzas presenta los valores de rugosidad mínimos, seguido del sistema multilock presentando un comportamiento muy estable y finalmente el sistema térmico presentado los valores de rugosidad más altos. Las operaciones #6 y #9 muestran una mayor convergencia de los resultados de la rugosidad, muy similar a los al análisis de la rugosidad superficial en la entrada.

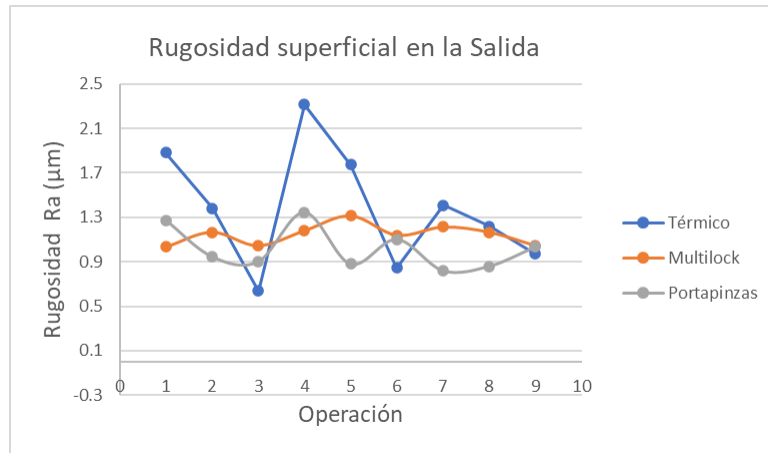
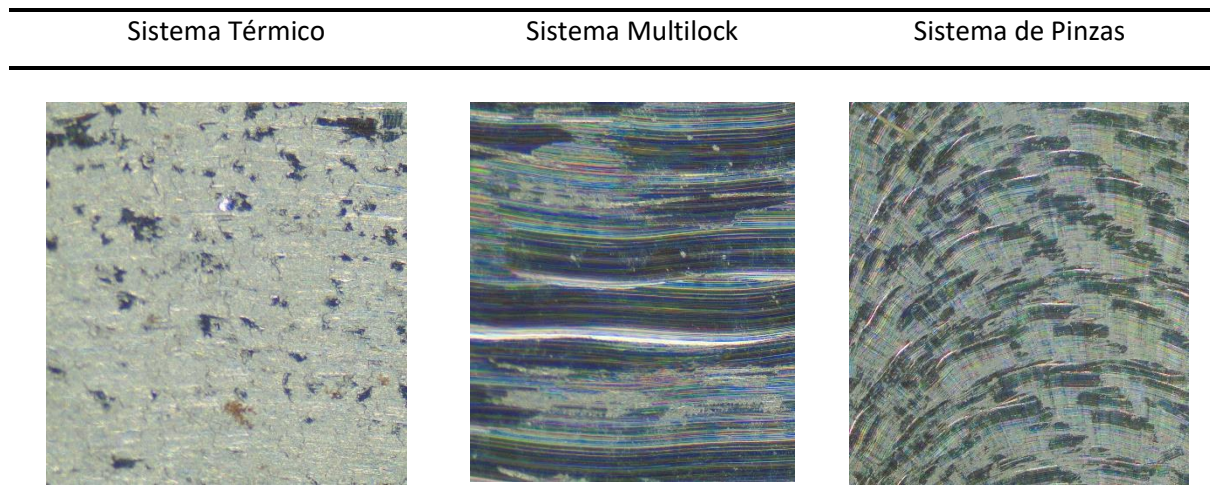


Figura 44. Rugosidad superficial en la salida (fuente: elaboración propia).

Tabla 18. Análisis metalográfico de la calidad superficial del caso más crítico cuando  $a_p = 4 \text{ mm}$ ,  $n = 1910 \text{ rpm}$  y  $f_z = 0.1 \text{ mm}$  (fuente: elaboración propia)



4.3.5.2 Caso II: Análisis de la Microdureza:

La dureza del material se evaluó siguiendo la norma ASTM E10-18, utilizando un durómetro Centaur HBRVU-187.5 con el cual se determinó dureza tipo HRB, buscando luego su equivalencia a dureza Vickers (“HV = Hardness Vickers”). En la Figura 45 se muestra la relación existente en las durezas superficiales de la pieza mecanizada con respecto a los diferentes sistemas de sujeción. El sistema térmico muestra una tendencia favorable respecto a la dureza, mientras que el sistema portapinzas muestra un comportamiento muy parecido al sistema multilock. Desde la operación 1-5 se aprecia una disminución de la dureza como resultado de los parámetros de corte, en estas operaciones, la profundidad de corte axial, la cual está directamente relacionada con la dureza del material, es muy baja. Desde la operación #6 en adelante, los parámetros de corte aumentan, como ser la profundidad de corte y los rpm dando como resultado un incremento de la dureza para ambos sistemas de amarres.

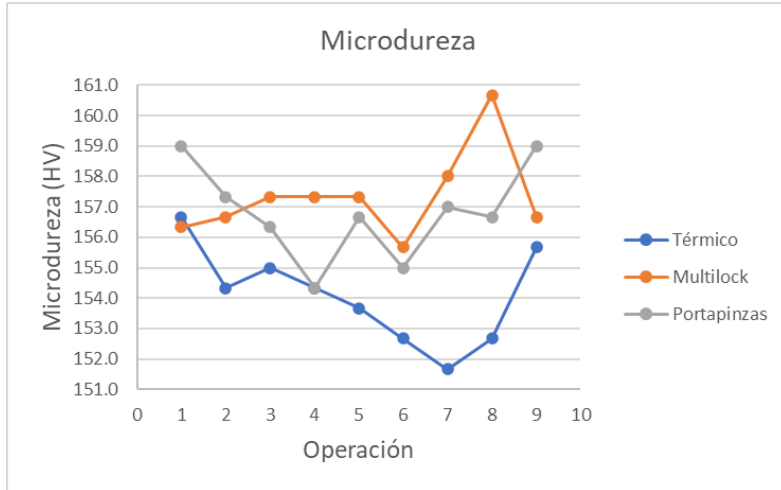


Figura 45. Microdureza de la pieza mecanizada (fuente: elaboración propia).



#### 4.3.6 Paso 6 – Caso I: Conclusiones del experimento

Este caso evidencia la relación existente entre los sistemas sujeción de herramientas sobre la integridad superficial en el mecanizado del acero AISI 1045 permitiendo así, conocer qué tipo de amarre proporciona los mejores resultados de rugosidad superficial y microdureza sobre la superficie maquinada.

##### **Rugosidad superficial**

- El sistema de sujeción de herramienta del tipo portapinzas proporciona las mejores calidades superficiales en cada una de las operaciones realizadas. La rugosidad mínima se dio en la salida de la herramienta en la operación utilizando,  $a_p = 1.33$  (mm),  $f_z = 0.06$  (mm) y  $n = 1910$  (rpm) dando como resultado ( $R_a = 0.840\mu\text{m}$ )
- Existe una convergencia de la rugosidad para los tres sistemas de amarre cuando se utilizan valores de parámetros de corte muy similares, esto se da en las operaciones #6 y #9 donde  $a_p$  y  $n$  son idénticas y  $f_z$  pasa de 0.08 a 0.1 mm respectivamente en cada operación.

##### **Microdureza**

- La variación de la dureza no fue muy notable en las mediciones, sin embargo, el sistema térmico muestra los mejores resultados en lo que respecta a la microdureza superficial de la pieza maquinada.
- Las operaciones de mecanizado se hacen más notables cuando se utilizan parámetro de cortes elevados, provocando así una micro deformación plástica superficial lo cual se ve reflejado en la superficie de la pieza. En las operaciones #6 al #9 se incrementa los valores de profundidad, avance, y rpm dando como resultado un incremento de la microdureza.

#### 4.4 Caso II: Evaluación del Consumo de energía

Cuando se habla de mecanizado, dos indicadores de sostenibilidad muy importantes a controlar en el maquinado de alta velocidad son: el consumo energético y la vida útil de la herramienta. La selección correcta del portaherramienta juega un papel relevante en estos indicadores, por lo tanto, el presente caso muestra los criterios que han permitido seleccionar el sistema de amarre más adecuado en cuanto a mecanizado de alta velocidad.

##### 4.4.1 Paso 1 – Caso II: Observación

En las empresas se pueden disponer de muchos sistemas para la sujeción de herramientas, por lo que es necesario analizar y seleccionar el sistema que permita obtener los resultados esperados en función de la calidad de la pieza con el menor consumo de energía.

- **Objetivo Caso II:** Fresado Prismático - consumo de energía:

Verificar si hay un consumo de energía considerable cuando se utilizan diferentes sistemas de sujeción de herramientas.

Al realizar el análisis del consumo energético comparando los tres sistemas de sujeción de herramienta se podrá determinar cuál de estos tiene mayor impacto sobre la fabricación sostenible y así garantizar un desempeño óptimo del mecanizado y la vida útil de la máquina y herramienta.

En la siguiente Tabla 18 se muestran los detalles generales de este caso.

Tabla 19. Caso II: Detalles generales del experimento (fuente: elaboración propia).

Fase	Caso	Perspectiva	Proceso & Operación	Material	Indicador de evaluación	Unidades
Fabricación	II	Proceso	Fresado Prismático	AISI 1045 (F-114)	Consumo de energía Desgaste de herramienta	Watts -

##### 4.4.2 Paso 2 – Caso II: Formulación de hipótesis

- **Hipótesis caso II:** Fresado Prismático – Consumo de energía:  
En la fase de fabricación, ¿la elección correcta del sistema de amarre tendrá un impacto significativo en los resultados del consumo energético y de la vida útil de la herramienta de corte?

##### 4.4.3 Paso 3 – Caso II: Diseño experimental – Procedimiento

Este caso consiste en la toma de datos del desgaste de la herramienta de corte y de la potencia consumida durante el mecanizado del caso I especificado en el apartado 4.4. Por lo tanto, se omitirá parcialmente el diseño experimental dado que no será necesario repetirlo. Sin embargo, algunas cosas cambiarán, las cuales se harán mención a lo largo de este apartado.

La Tabla 19 muestra los instrumentos relevantes para la toma de datos.

Tabla 20. Caso II: Materiales y equipo para el experimento (fuente: elaboración propia).

Insumo	Descripción	Detalle
<b>Material</b>	Acero	AISI 1045 (F114)
<b>Equipo</b>	Centro de Mecanizado	Gentiger GT 66V-T16B
<b>Herramienta</b>	Mitsubishi Tools	Herramienta: VPX200R2003SA20S Inserto: LOGU0904020PNER-M
<b>Sistema de sujeción</b>	Portapinzas	BT40H70ER32
	Térmico	BT018.40.20.070
	Multilock	BT40-C32-85
<b>Software</b>	CAD/CAM	NX
<b>Instrumentos de medición</b>	Multímetro	ISO-TECH ILCM 03A
	Microscopio	Olympus SZ61
<b>Lubricación</b>	Lubricante	RENOLIN DTA 32

Los resultados a medir del consumo de energía serán la potencia consumida mediante multímetro, y el desgaste de la herramienta de corte mediante un análisis microscopio, para comparar en qué tipo de portaherramienta la herramienta de corte se ve más afectada por factores durante el mecanizado.

#### 4.4.4 Paso 4 – Caso II: Desarrollo del experimento

En la fase experimental es el mismo escenario del apartado del caso I.

Para la recolección de datos experimentales de la energía consumida, se utilizó el multímetro ISO-TECH ILCM 03A en el centro de mecanizado Gentiger GT 66V-T16B, con este instrumento se podrá obtener los datos exactos de la potencia necesaria para realizar el corte durante el mecanizado.

La configuración experimental para este caso se muestra en la siguiente figura.

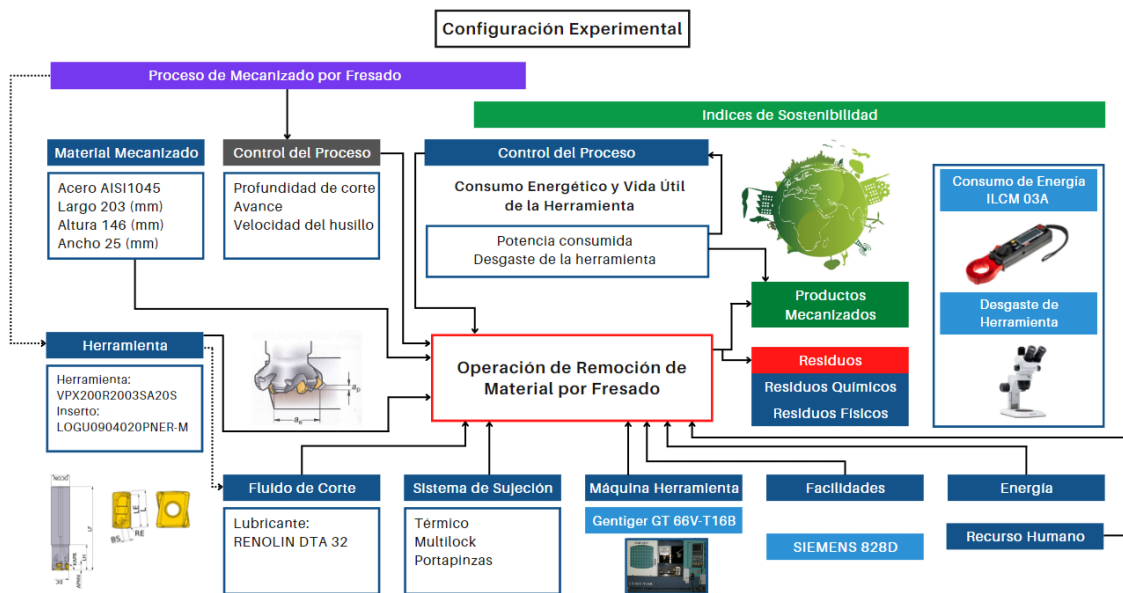


Figura 46. Caso II: Configuración experimental (fuente: adaptada de Vila, 2019)

#### 4.4.5 Paso 5 – Caso II: Toma de datos y Análisis de resultados

Para la toma de datos se realizaron 3 mediciones y luego se calculó la media de estos valores, obteniendo así un valor promedio con la cual pretende buscar una correlación entre los resultados obtenidos.

En la toma de datos iniciales se contempló el consumo eléctrico por parte de la máquina en vacío, esto se realizó con el objetivo de conocer la corriente efectiva durante el mecanizado. Para este caso experimental, la influencia del peso de los mandriles se omitirá, dado que en otros experimentos se ha demostrado el poco predominio de esta propiedad en la influencia sobre el consumo energético.

El desgaste de los filos de corte se analizó con un microscopio en diferentes zonas para ver la influencia de los parámetros de corte sobre la vida útil de la herramienta. Sin embargo, no se utilizó ningún criterio para determinar el desgaste en función del mecanizado que se estaba realizando. A pesar de esto, se tomaron los datos del desgaste una vez finalizado los diferentes mecanizados Anexo D2.

En la Figura 47 se muestra la medición en una de las fases de la fresadora cnc. En la Figura 48 se observa el desgaste de la herramienta por medio del microscopio.



Figura 47. Toma de datos de corriente en una fase de la máquina (fuente: elaboración propia).

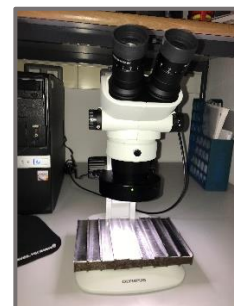


Figura 48. Toma de datos del desgaste de la herramienta (fuente: elaboración propia).

Los datos obtenidos del consumo energético se encuentran en Anexo C1, de igual manera se presentan los cálculos teóricos de la potencia de corte teoría en Anexo C2. Al comparar esta tabla, es notable que no existe una correlación entre los resultados. Las observaciones indicaron que existían variaciones de intensidad muy mínima, durante la ejecución del experimento existieron incertidumbres con los datos que proporcionaba la pinza amperimétrica y los posibles factores que intervinieron en esto son: instrumento de medición en mal estado, elección incorrecta de la línea de fase de la máquina la cual no se podría justificar la correcta ubicación de la pinza sobre fase correcta, incorrecta lectura etc. Para eliminar este problema se omitirá la toma de datos de la intensidad y se trabajara con la toma de datos directa que proporciona la máquina, la cual está basada en el consumo porcentual del cabezal del motor del husillo, estos datos son reflejados en la pantalla del software de Sinumerik 820D.

Finalmente se tomará como referencia la Tabla 21 donde se muestran los datos a analizar obtenidos de la máquina directamente, con esto se podrá concretar los resultados para este estudio.

#### 4.4.5.1 Caso II: Análisis del consumo energético:

La siguiente tabla muestra el porcentaje del husillo utilizado durante el mecanizado, en función a este, se determinó la potencia eléctrica real suministrada en Watts. Estos datos si muestran una correlación con los datos teóricos del Anexo C2.

Tabla 21. Caso II: Análisis de la potencia de corte necesaria (fuente: elaboración propia).

Test	Térmico		Multilock		Portapinzas	
	Consumo de Potencia (%)	Potencia eléctrica real consumida (Watts)	Consumo de Potencia (%)	Potencia eléctrica real consumida (Watts)	Consumo de Potencia (%)	Potencia eléctrica real consumida (Watts)
1	22%	492.14	23%	514.51	26%	581.62
2	28%	626.36	28%	626.36	32%	715.84
3	32%	715.84	32%	715.84	37%	827.69
4	17%	380.29	16%	357.92	22%	492.14
5	28%	626.36	28%	626.36	32%	715.84
6	39%	872.43	40%	894.80	43%	961.91
7	14%	313.18	12%	268.44	16%	357.92
8	28%	626.36	27%	603.99	32%	715.84
9	46%	1029.02	46%	129.02	48%	1073.73

En la Figura 49 se muestra la potencia efectiva para los diferentes sistemas de amarre de alta velocidad suministrada en cada una de las operaciones.

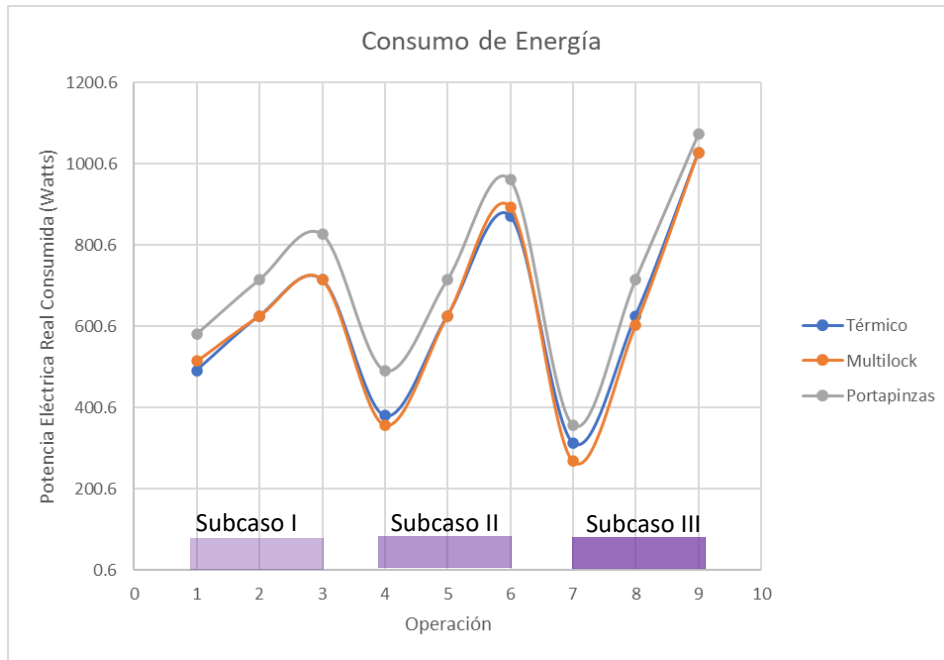


Figura 49. Potencia eléctrica real consumida (fuente: elaboración propia)

Debido a los parámetros de corte críticos en las operaciones 3, 6, 9 se puede determinar claramente que el mayor impacto hacia el consumo energético se da cuando los parámetros de corte son elevados, mientras que los puntos más bajos representan menor consumo energético.

La comparación de la potencia de corte muestra que el mandril del sistema de portapinzas tiene el consumo de energía más alto en todas las operaciones de trabajo. El sistema térmico y multilock muestran una correlación en los datos con desviaciones muy mínimas.

En el Subcaso III, donde las revoluciones son constantes, se muestra la pendiente con mayor inclinación, sin embargo, con el subcaso II, donde el avance por diente es constante, muestra una correlación con esta pendiente, esto se da porque los parámetros de corte son muy parecidos con pequeñas desviaciones entre ellos, por lo tanto, el incremento lineal de la potencia en función de los parámetros de corte no se ve afectado por los diferentes sistemas de amarre.

Analizando los diferentes sistemas de amarre se logra identificar que el consumo de potencia aumenta considerablemente en un promedio de 42.30% para el subcaso I, 124.95% para el Subcaso II y 237.30% para el último Subcaso. Respecto a los casos más críticos, los resultados de potencia eléctrica real consumida llegan hasta a triplicar el consumo energético como resultado del aumento de los parámetros de corte.

El consumo más bajo de energía se ve reflejado en la operación 7 donde  $a_p = 1.33$  (mm),  $f_z = 0.06$  (mm) y  $n = 1.910$  (rpm) cuando se utiliza el sistema de amarre de Multilock, claramente se ve reflejado la influencia de los parámetros de corte sobre el gasto energético para la realización del corte.


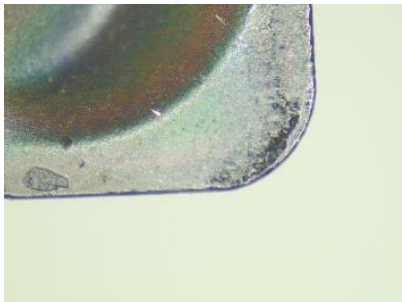
Basándonos en los resultados de este experimento, el portaherramientas de portapinzas tiene el valor más alto (1.248 W) de consumo eléctrico.

En resumen, el sistema de amarre tipo Multilock y Térmico presentan los consumos de energía muy similares. El mandril portapinzas tiene el consumo de energía ligeramente superior en comparación a los otros sistemas de amarre.

#### 4.4.5.2 Caso II: Análisis del desgaste de herramienta:

Las imágenes del Anexo D2 se tomaron con un microscopio en diferentes zonas de la herramienta de corte. Los resultados muestran que utilizando la misma herramienta de corte para el sistema multilock y el portapinzas la herramienta no está muy desgastada, mientras que el filo de la herramienta que se utilizó exclusivamente en el portaherramienta de contracción térmica mostro el mayor impacto sobre la vida útil de la herramienta de corte.

Tabla 22. Análisis del desgaste de la herramienta (fuente: elaboración propia)

Desgaste con sistema Térmico	Desgaste con sistema Multilock y Portapinzas
	

#### 4.4.6 Paso 6 – Caso II: Conclusiones del experimento

Este caso evidencia la relación existente entre los sistemas sujeción de herramientas sobre la integridad superficial en el mecanizado del acero AISI 1045 permitiendo así, conocer qué tipo de amarre proporciona los mejores resultados de consumo energético y el desgaste de la herramienta de corte.

##### Consumo energía

- El sistema de sujeción de herramienta del tipo portapinzas proporciona el mayor consumo eléctrico.
- Los valores más bajos en cuanto a la potencia necesaria para el corte efectivo del material se presentaron en los sistemas de sujeción de herramientas del tipo multilock y térmico utilizando los siguientes parámetros de corte:  $a_p = 1.33$  (mm),  $f_z = 0.06$  (mm) y  $n = 1.910$  (rpm).
- El aumento del consumo energético es directamente proporcional a los parámetros de corte que se utilizan durante el mecanizado. En este experimento, se nota significativamente una pendiente más pronunciada en cada subcaso correspondiente al aumento de la velocidad de giro la cual según estudios mostrados en el capítulo 2, esta una de las variables más crítica en cuanto al consumo eléctrico durante el mecanizado.

**Desgaste de herramienta**

- En cuanto al desgaste de la herramienta, el sistema térmico resulto ser el sistema de amarre que presento los casos más críticos en cuanto al desgaste de la herramienta. Esto se podría atribuir a la rigidez de este tipo de sistema de sujeción el cual no amortigua la vibración en su totalidad, las cuales afectan significativamente la vida útil de la herramienta de corte.
- El desgaste de la herramienta se ve reflejada claramente en los resultados de la rugosidad superficial analizadas en el caso I. Por lo tanto, se justifica que cuando los flancos de las herramientas se gastan después de un tiempo prolongado de uso estos influyen sobre la IS de una pieza mecanizada.
- Aunque no se haya medido el desgaste de la herramienta en base a los criterios de la norma ANSI/ASME B94.55M – 1985 es notable un desgaste cualitativo de la herramienta que utiliza el sistema de sujeción Térmico en comparación con el resto de los sistemas de sujeción de herramienta.
- Finalmente, en cuanto al restos de los sistemas de sujeción de herramientas no presentaron desgaste de herramienta significativamente.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **Capítulo 5**

---

# **VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA**

En este capítulo se presenta la viabilidad técnica y económica de este trabajo de investigación.

- 5.1 Viabilidad Técnica
- 5.2 Viabilidad Económica

# CAPÍTULO 5. VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

## 5.1 Viabilidad Técnica

Esta viabilidad está basada en los diferentes elementos técnicos del proyecto. Es decir, aquellos elementos que tienen que ver con los procesos y mecanismos de los que el proyecto depende.

Basándonos en los estudios de los casos realizado en el capítulo 4, según los procesos para la ejecución en tiempo y forma de esta investigación se puede concluir que el Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la Herramienta de Corte es completamente viable y factible.

Todos los procesos de fabricación mencionados durante la ejecución del experimento son conocidos y aplicados en los procesos industriales que hoy conocemos, por lo tanto, el nivel de dificultad para la realización de este trabajo de fin de máster no representa complejidad alguna. Lo mismo ocurre con el tipo de material utilizado no requiere de dificultad para la obtención de este dado que es muy común en procesos industriales.

Finalmente, se concluye que este trabajo de fin de máster es completamente viable desde el punto de vista tecnológico ya que se cuenta con los recursos técnicos y la experiencia necesaria para cumplir con los requisitos de la investigación. Por lo tanto, podrá llevarse a cabo su repetibilidad con éxito.

## 5.2 Viabilidad Económica

Los costes para la realización de este trabajo de fin de máster tienen gran repercusión para la repetibilidad de este.

Por ello, se procede a detallar la viabilidad económica del proyecto basándonos en el estudio del presupuesto, para determinar si es posible o no la realización de éste de manera rentable según su relación costo beneficio.

La viabilidad económica se puede estudiar en función de la gran variedad de sistemas de amarres que se encuentran en la industria y que son utilizados en los diferentes centros de mecanizados existentes. Sin embargo, muy pocas empresas de mecanizado saben cuáles son los efectos de los portaherramientas sobre la vida útil de la herramienta, el consumo energético, la microdureza y la calidad superficial de la pieza maquinada. Por tal razón este trabajo de investigación se ha diseñado de manera que su ejecución sea lo más económica posible.

Por lo tanto, a continuación, se presentará un presupuesto desde el comienzo del proyecto hasta su finalización. En anexo se presenta un apartado especial de presupuesto donde se presenta a detalle cada uno de los factores a considerar para este presupuesto final

Tabla 23. Presupuesto Final (fuente: elaboración propia).

Presupuesto Final	
Compra de materiales y equipos	<b>2.273,00 €</b>
Alquiler de maquinaria y herramientas	<b>216,00 €</b>
Mano de obra	<b>341,00 €</b>
Coste de ingeniería	<b>4.490,00 €</b>
<b>Presupuesto</b>	<b>7.320.00€</b>

El impacto económico que puede tener una empresa al conocer cómo afectan los diferentes sistemas de amarre sobre la Integridad Superficial de una pieza maquinada, puede llegar a tener un resultado muy positivo. Gracias al bajo coste para la repetibilidad de este estudio muchas empresas del sector industrial pueden realizar una réplica de esta investigación, para poder determinar el mejor sistema amarre y tener ahorros económicos significativos y ofrecer productos de calidad en función a las especificaciones técnicas solicitadas.

Finalmente, se concluye que este trabajo de fin de máster es completamente viable desde el punto de vista financiero ya que se cuenta con un presupuesto accesible para la ejecución de este proyecto de investigación.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **Capítulo 6**

# **CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En este capítulo se desarrollan las conclusiones y se presenta la propuesta para trabajos futuros.

- 6.1 Conclusiones
- 6.2 Trabajos futuros

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 6.1 Conclusiones

Con base en los resultados de los experimentos realizados en el presente trabajo de fin de máster se concluye, con respecto al análisis de la influencia en la integridad superficial de los diferentes sistemas de sujeción de amarre de la herramienta de corte en el fresado prismático del acero AISI 1045 lo siguiente:

En el caso experimental I, se buscaba determinar cómo influían los sistemas de amarre sobre la rugosidad superficial y la microdureza sobre la pieza maquinada. Los análisis de la IS y los parámetros de corte utilizados permiten saber los posibles resultados de la pieza fabricada.

En este caso, el dispositivo de sujeción de herramienta de corte del tipo portapinzas proporciona las condiciones de integridad superficial más favorable para el mecanizado del acero AISI 1045 en operaciones de fresado prismático. Del estado del arte de la integridad superficial se detectó que existe muchos trabajos que se han realizado con este sistema de amarre, haciendo una comparación con estos trabajos se encuentra una correlación con los resultados. La desviación radial en este tipo de amarre a velocidades inferiores a 15000 rpm es muy baja permitiendo obtener buenas rugosidades superficiales, esta puede ser la justificación de los resultados en comparación a los otros sistemas de amarre. Por lo tanto, se concluye, que es necesario hacer una elección correcta del sistema de amarre en relación con los resultados deseados y en función a las características de corte a la cual estará sometida la herramienta de corte, y así lograr ahorros significativos, aumento de la vida útil de la herramienta de corte y un mecanizado sostenible.

Como resultado de estos análisis de rugosidad, se distinguió que sobre la superficie maquinada una rugosidad superficial muy alta corresponde al amarre térmico, siendo este el caso más crítico. Esto se origina posiblemente debido a las vibraciones existentes durante el fresado, a pesar de la conexión directa entre la herramienta y el portaherramienta. Este sistema es desventajoso en cuanto a este fenómeno causando así fricción en la herramienta y el portaherramientas dando como resultado rugosidades indeseables. Sin embargo, con respecto a la dureza superficial, este sistema muestra los mejores resultados y concuerda con la relación existente entre la profundidad de corte y la deformación plástica en la superficie de la pieza mecanizada.

El sistema de amarre tipo multilock proporciona resultados más estables a lo largo del mecanizado, su comportamiento muestra una rugosidad promedio en comparación con los otros dos sistemas estudiados en este experimento. La tecnología de este tipo de sujeción permite tener resultados de mecanizados que vayan de acuerdo con los requisitos de las especificaciones geométricas.

En el caso experimental II, se buscaba determinar cómo influía la selección del sistema de amarre desde el punto de vista de consumo energético y desgaste de la herramienta.

El consumo más bajo de energía va directamente relacionado con la integridad superficial, los parámetros de corte utilizados en la operación 7, para este caso experimental en concreto, mostraron una correlación entre los resultados de la rugosidad superficial del caso experimental I (operación 7), donde se muestra la mejor calidad superficial y el menor consumo energía.

Para la validación de la influencia de los diferentes sistemas de amarre sobre el desgaste de herramienta es necesario realizar más series de pruebas aplicando la normativa correspondiente a este tipo de investigación.

El sistema de sujeción de herramienta del tipo portapinzas proporciona el mayor consumo eléctrico.

Para ambos casos experimentales, se analizaron los criterios necesarios para la selección del portaherramienta más adecuada desde el punto de vista de la integridad superficial, consumo de energía y vida útil de la herramienta. En estos experimentos se compararon 3 tipos de sistemas de amarre usando los mismo parámetros y herramienta de corte. Gracias al diseño del experimento se pudo determinar el sistema de amarre que proporcionaba la menor rugosidad "Ra", y el menor consumo de energía.

## 6.2 Trabajos futuros

Para la construcción y realización de trabajos futuros e investigaciones que permitan desarrollar este experimento ya sea parcialmente o en su totalidad respecto a la integridad superficial sobre piezas mecanizadas utilizando diferentes sistemas de amarre, se presentan a continuación, algunas sugerencias y recomendaciones que permitirán la construcción de bibliografía especializada en este tema:

- Desarrollo de nuevos casos de estudios donde se empleen otros sistemas de sujeción de herramientas de corte como ser el amarre hidráulico o portaherramientas con configuraciones diseñados especialmente para una herramienta de corte.
- Se recomienda durante toda la ejecución experimental el control relacionado con las variables no controladas, como por ejemplo, las vibraciones mecánicas ya sea por fijación de la herramienta o de la pieza de trabajo.
- Desarrollo de nuevos casos de estudio con diferentes tipos de conos que conecten al husillo de la máquina herramientas.
- Se recomienda un estudio donde se puedan determinar la correlación entre las emisiones de dióxido de carbono y los diferentes sistemas de amarre.
- Se puede realizar una validación de la demanda de potencia efectiva en función de la distancia de corte, variando la velocidad de corte, avance etc.
- Debe evaluarse el efecto de mecanizados más complejos, es decir ranuras, cajeras, contornos en la IS superficial de un mecanizado y como influyen este tipo de proceso en el consumo energía.
- Se podrá desarrollar casos de estudios donde se pueda estudiar a detalle los perfiles de rugosidad 2D Y 3D mediante software especializados y determinar la influencia de este factor en la pieza mecanizada.
- Se recomienda realizar una investigación donde se estudie el consumo de energía utilizando diferentes sistemas de amarre en función a tiempos más prolongados de mecanización, así mismo, estudiar a detalle el comportamiento del desgaste de la herramienta después de someterlas a parámetros de cortes más elevados

Todos estos trabajos futuros son muestras de la amplia investigación que aún queda por realizar.

## Capítulo 7

# BIBLIOGRAFÍA

## CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

### 7.0 Referencias bibliográficas

American National Standard. *Tool life testing with single-point turning tools*. ANSI/ASME B94.55M-1985, New York: ASME; 1985

Ayabaca Sarria, C. R. (2021). *Desarrollo de un Modelo de Fabricación Sostenible aplicado a los Procesos de Arranque de Viruta en entornos colaborativos* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Astakhov, V. P. (2010). Surface integrity—definition and importance in functional performance. In *Surface integrity in machining* (pp. 1-35). Springer, London.

Benardos, P. G., & Vosniakos, G. C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International journal of machine tools and manufacture*, 43(8), 833-844.

Bordin, A., Bruschi, S., & Ghiotti, A. (2014). *The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo alloy*. *Procedia Cirp*, 13, 219-224.

*Conos portaherramientas para mecanizado de alta velocidad*. (s. f.). Interempresas. Recuperado 30 de agosto de 2022, de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/26079-Conos-portaherramientas-para-mecanizado-de-alta-velocidad.html>

Cook, H. D. (1994). U.S. Patent No. 5,311,654. Washington, DC: U.S. *Patent and Trademark Office*.

Denkena, B., & Heinisch, D. (2012). *On the extraction of milling tools out of shrink fit chucks*. In *Key Engineering Materials* (Vol. 523, pp. 445-450). Trans Tech Publications Ltd.

Diaz, C., Pastor, C. V., Ayabaca, C., & Calle, O. (2018, June). *The Effect of Machining on Surface Integrity of AISI 1018*. In *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE* (Vol. 13, No. 1).

Fenoll, J., Borja, J. C., & de Herrera, J. S. (2000). *Mecanizado básico*. Macmillan Iberia, SA.

Field, M., JF, K., & JT, C. (1972). *A review of measuring methods for surface integrity*.

Fleischer, J., Schulze, V., Klaiber, M., Bauer, J., Zanger, F., Boev, N., ... & Rothaupt, B. (2016). *The influence of tool holder technologies on milling performance*. *Procedia CIRP*, 46, 226-229.

González Ibarra, G., Haro Hernández, S., Baltazar Hernández, V. H., Zambrano Robledo, P. D. C., & De la Garza Garza, M. (2013). *Integridad de la superficie de maquinada en INCONEL 617 con herramientas CBN/PVD*. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 4(5), 169-176.

- Grossi, N., Montevecchi, F., Scippa, A., & Campatelli, G. (2015). *3D finite element modeling of holder-tool assembly for stability prediction in milling*. *Procedia Cirp*, 31, 527-532.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Mode*. Pearson Educación.
- Han, X., Xu, D., Axinte, D., Liao, Z., & Li, H. N. (2021). *On understanding the specific cutting mechanisms governing the workpiece surface integrity in metal matrix composites machining*. *Journal of Materials Processing Technology*, 288, 116875.
- Houming, Z., Chengyong, W., & Zhenyu, Z. (2008). *Dynamic characteristics of conjunction of lengthened shrink-fit holder and cutting tool in high-speed milling*. *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1-3), 154-162.
- ILCM 03A | *Manualzz*. (s.f.). manualzz.com. Recuperado 11 de septiembre de 2022, de <https://manualzz.com/doc/es/5672574/ilcm-03a>
- ISO/TS 13399:2021. *Cutting tool data representation and exchange—Reference dictionary for tool items*. International Organization for Standardization. 15/01/2007. 19 pages.
- ISO 1302: 2002. *Geometrical Product Specifications (GPS)—Indication of surface texture in technical product documentation*. International Organization for Standardization. 01/02/2002. 46 pages.
- Jacas-Cabrera, M., Rodríguez-Moliner, T., & Lopes-Da Silveira, J. L. (2015). *The influence of cutting speed and feed rate in surface integrity of aisi 1045*. *Ingeniería Mecánica*, 18(3), 203-210.
- Jacas-Cabrera, M., Rodríguez-Moliner, T., Silveira, L. D., Luis, J., Carro-Hernández, G. E., Sánchez-Bataille, T., & San-Román, D. (2013). *Caracterización de la integridad de las superficies maquinadas a altas velocidades en el acero 40XHMA*. *Ingeniería Mecánica*, 16(2), 91-99.
- Jawahir, I. S., Brinksmeier, E., M'saoubi, R., Aspinwall, D. K., Outeiro, J. C., Meyer, D., ... & Jayal, A. D. (2011). *Surface integrity in material removal processes: Recent advances*. *CIRP annals*, 60(2), 603-626.
- Kahles, J. F., & Field, M. (1967, September). *Paper 4: Surface integrity—A new requirement for surfaces generated by material-removal methods*. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Conference Proceedings* (Vol. 182, No. 11, pp. 31-45). Sage UK: London, England: SAGE Publications.
- Lamikis, J. A. Snachez, and M.A. Salgado. *Conos portaherramientas para mecanizado de alta velocidad. Univ. Del País Vasco.2012*
- Li, J. T., Wang, S. L., Li, Z. F., Yu, Y. H., & Cheng, X. L. (2014). *Analysis of Axial holding capability about the Lengthened shrink-fit holder and Cutting tool system*. In *Advanced Materials Research* (Vol. 940, pp. 249-253). Trans Tech Publications Ltd.
- Liao, Z., la Monaca, A., Murray, J., Speidel, A., Ushmaev, D., Clare, A., ... & M'Saoubi, R. (2021). *Surface integrity in metal machining-Part I: Fundamentals of surface characteristics and formation mechanisms*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 162, 103687.
- Metro Centaur. (2022). *Fabricación de durómetros*. Recuperado de <https://www.metrocentaur.com/index.html>
- Mitsubishi Materials. (2019). *Mitsubishi Materials Solid End Mills*. Retrieved September 9, 2022, from [http://www.mitsubishicarbide.net/mht/enuk/end\\_mills/20000428/2010289](http://www.mitsubishicarbide.net/mht/enuk/end_mills/20000428/2010289)



Namazi, M. (2006). *Mechanics and Dynamics of the tool holder-spindle interface* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).

NT Tool. (2017). *Cataloge edition 2017*. Retrieved september 9, 2022, from NT Tools website: [http://www.varioutil.cz/ckfinder/userfiles/files/NT\\_Tool\\_kompletn%C3%AD\\_katalog.pdf](http://www.varioutil.cz/ckfinder/userfiles/files/NT_Tool_kompletn%C3%AD_katalog.pdf)

Nebeling, P. H. (2014). *Dynamisches Verhalten von Werkzeugaufnahmen*. Werkstatt+ Betrieb: WB; Zeitschrift für spanende Fertigung, 147(9), 90-94.

Olympus SZ61. (2022). *Estereomicroscopios con zoom*. Recuperado de <https://www.olympus-lifescience.com/es/microscopes/stereo/sz61/>

Olvera, J. E. G. (2005, diciembre 15). *Estudio comparativo de acabados superficiales de probetas de aluminio 6061-T6, cobre UNS C11000 y acero AISI 1020 a través del análisis de virutas obtenidas en el proceso de torneado, utilizando diferentes parámetros de corte y diferentes insertos SANDVIK*. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/gama\\_o\\_je/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/gama_o_je/)

Osorio Vargas, A. E. *Efecto del método de suministro del fluido de corte en la integridad de superficie en el fresado frontal de la aleación de aluminio 7075*. Ingeniería Mecánica.

Ossa Aya, D. O. (2016). *Estudio Del Comportamiento Dinámico De Diferentes Sistemas De Sujeción De Herramientas Para Procesos De Fresado Cnc*.

Posada Ramírez, J. E. (2009). *Evaluación de la integridad superficial del acero AISI-12L14 para maquinaria, sometido a procesos de maquinado*. Escuela de Ingeniería de Materiales.

Ren, X. P., & Liu, Z. Q. (2018). *Microstructure refinement and work hardening in a machined surface layer induced by turning Inconel 718 super alloy*. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 25(8), 937-949.

Rivin, E. I., Agapiou, J., Brecher, C., Clewett, M., Erickson, R., Huston, F., ... & Yokoyama, K. (2000). *Tooling structure: interface between cutting edge and machine tool*. *CIRP Annals*, 49(2), 591-634.

Shimizu, S., & Sakamoto, H. (2003). *332 Effect of Shank Form Error of Tool on Chucking Accuracy of Milling Chuck*. In *Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st century: LEM21 2003* (pp. 589-594). The Japan Society of Mechanical Engineers.

Soriano Heras, E. (2012). *Modelo integral de sistemas de sujeción basados en pinzas expansibles*.

Tecnimetal Hommelwerke T500. (2015). *Rugosímetro portátil Hommelwerke*. Recuperado de <https://www.tecnimetsa.es/t500.htm>

Thorenz, B., Westermann, H. H., Kafara, M., Nützel, M., & Steinhilper, R. (2018). *Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear and surface qualities in milling operations*. *Procedia Manufacturing*, 21, 575-582.

UNI, E. (2018). *Machine Tools Safety—Machining Centres, Milling Machines, Transfer Machines—Part 1: Safety Requirements*. BSI Standard Publication, British Standard Institution, London, Standard No. UNI EN ISO, 16090-1.

Vázquez Morris, X. (2022). *Diseño y fabricación de portaherramientas especial*.

- Velocidades de corte—Jnmv2107f9*. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2022, de <https://sites.google.com/site/jnmv2107f9/velocidades-de-corte>
- Vila, C., Ayabaca, C., Díaz-Campoverde, C., & Calle, O. (2019). *Sustainability analysis of AISI 1018 turning operations under surface integrity criteria*. *Sustainability*, 11(17), 4786.
- Vozár, M., Pätöprstý, B., Šimna, V., & Peterka, J. (2019). *INFLUENCE OF TOOL CLAMPING ON TOOL WEAR*. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 30.
- Wang, J., Zhang, D., Wu, B., & Luo, M. (2017). *Numerical and empirical modelling of machining-induced residual stresses in ball end milling of Inconel 718*. *Procedia CIRP*, 58, 7-12.
- Wang, S. L., Zhang, W. Z., & Chen, W. H. (2012). *Analysis of radial rigidity about the hydraulic expansion toolholder*. In *Advanced Materials Research* (Vol. 381, pp. 76-80). Trans Tech Publications Ltd.
- Wang, S., sen Zhao, S., Li, B., Bao, H., & shu He, Z. (2018, July). *Development and Application of Grinding process with Superior Surface Integrity*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 392, No. 6, p. 062052). IOP Publishing.
- Whitehouse, D. J. (1994). *Handbook of surface metrology*. CRC Press.
- Yumpu.com. (s. f.). *Tecnología de Mecanizado—SANDVIK*. *yumpu.com*. Recuperado 11 de septiembre de 2022, de <https://www.yumpu.com/es/document/read/63531866/tecnologia-de-mecanizado-sandvik>
- Zhou, H. M., Wang, C. Y., Deng, J. X., & Song, Y. X. (2011). *Cutting Parameters Optimization of the Matching of Lengthened Shrink-Fit Holder and Cutter in High Speed Milling*. In *Advanced Materials Research* (Vol. 188, pp. 622-628). Trans Tech Publications Ltd.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Máster Universitario en Diseño y Fabricación  
Integrada Asistidos por Computadora**

**Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial  
en Operaciones de Fresado Prismático de Material  
AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la  
Herramienta de Corte**

**ANEXO**

## Anexo A: Análisis de la rugosidad

Las siguientes tablas contienen los análisis de rugosidad para los casos explicados en el capítulo 4.4 y 4.5, estos datos se emplearon para el análisis de la influencia de los sistemas de amarre en la calidad superficial de la pieza mecanizada.

**A1.** Rugosidad media para cada una de las operaciones en la entrada de la herramienta.

TOMA DE DATOS DE RUGOSIDAD - ENTRADA HERRAMIENTA								
Holder térmico			Holder multilock			Holder pinzas		
Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)	Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)	Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)
1	2.46	2.273	M1	1.48	1.340	P1	0.88	0.847
	2.1			1.14			0.84	
	2.26			1.4			0.82	
2	1.8	1.853	M2	1.5	1.460	P2	0.8	0.840
	2.06			1.18			0.84	
	1.7			1.7			0.88	
3	2.1	2.173	M3	1.2	1.187	P3	0.9	0.897
	1.8			1.36			0.91	
	2.62			1			0.88	
4	2.24	2.297	M4	1.28	1.280	P4	1.46	1.367
	2.32			1.44			1.34	
	2.33			1.12			1.3	
5	2.06	1.973	M5	1.6	1.833	P5	0.86	0.933
	1.76			2.1			1.1	
	2.1			1.8			0.84	
6	1	1.160	M6	1.3	1.427	P6	1.12	1.133
	1.04			1.48			1.22	
	1.44			1.5			1.06	
7	1.72	1.640	M7	1.2	1.153	P7	1.72	1.707
	1.68			0.94			1.74	
	1.52			1.32			1.66	
8	1.36	1.660	M8	1.6	1.440	P8	1.26	1.280
	1.68			1.32			1.34	
	1.94			1.4			1.24	
9	1.2	1.400	M9	1.16	1.113	P9	1.06	1.060
	1.6			1.02			0.94	
	1.4			1.16			1.18	

**A2. Rugosidad media para cada una de las operaciones en la salida de la herramienta.**

<b>TOMA DE DATOS DE RUGOSIDAD - SALIDA HERRAMIENTA</b>								
<b>Holder térmico</b>			<b>Holder multilock</b>			<b>Holder pinzas</b>		
Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)	Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)	Nº	Datos de rugosidad Ra(μm)	Rugosidad promedio Ra(μm)
T1	1.88	1.880	M1	0.9	1.033	P1	1.14	1.273
	1.78			1.1			1.46	
	1.98			1.1			1.22	
T2	1.28	1.380	M2	1	1.167	P2	0.9	0.947
	1.42			1.3			1.08	
	1.44			1.2			0.86	
T3	0.82	0.640	M3	1.02	1.047	P3	0.86	0.900
	0.14			1.04			1.12	
	0.96			1.08			0.72	
T4	2.58	2.313	M4	1.26	1.180	P4	1.3	1.340
	2.16			1.24			1.44	
	2.2			1.04			1.28	
T5	1.6	1.773	M5	1.4	1.313	P5	0.96	0.880
	1.96			1.2			0.78	
	1.76			1.34			0.9	
T6	0.92	0.847	M6	1.08	1.140	P6	1.1	1.100
	0.72			1.12			1	
	0.9			1.22			1.2	
T7	1.32	1.407	M7	1.22	1.213	P7	0.64	0.820
	1.58			1.18			0.84	
	1.32			1.24			0.98	
T8	1.08	1.220	M8	1.3	1.167	P8	0.92	0.860
	1.18			1.1			0.86	
	1.4			1.1			0.8	
T9	0.88	0.973	M9	0.74	1.047	P9	1.1	1.033
	1.04			1.4			1.2	
	1			1			0.8	

## Anexo B: Análisis de Microdureza

B1. Microdureza media para cada una de las operaciones.

TOMA DE DATOS DE DUREZA								
Holder térmico			Holder multilock			Holder pinzas		
Nº	Dureza HV	Promedio de dureza HV	Nº	Dureza HV	Promedio de dureza HV	Nº	Dureza HV	Promedio de dureza HV
T1	158	156.667	M1	155	156.333	P1	155	159.000
	155			156			157	
	157			158			160	
T2	155	154.333	M2	153	156.667	P2	157	157.333
	155			160			155	
	153			157			160	
T3	153	155.000	M3	160	157.333	P3	155	156.333
	155			157			157	
	157			155			157	
T4	153	154.333	M4	160	157.333	P4	153	154.333
	153			155			155	
	157			157			155	
T5	153	153.667	M5	155	157.333	P5	155	156.667
	153			157			160	
	155			160			155	
T6	150	152.667	M6	153	155.667	P6	153	155.000
	153			157			157	
	155			157			155	
T7	150	151.667	M7	157	158.000	P7	157	157.000
	150			160			157	
	155			157			157	
T8	153	152.667	M8	163	160.667	P8	157	156.667
	150			160			156	
	155			159			157	
T9	157	155.667	M9	157	156.667	P9	157	159.000
	155			157			160	
	155			156			160	

## Anexo C: Potencia Consumida

C1. Toma del consumo de potencia porcentual de husillo de trabajo.

	<b>Térmico</b>	<b>%</b>	<b>Multilock</b>	<b>%</b>	<b>Portapinzas</b>	<b>%</b>
	<b>Lectura de Corriente tomada (A)</b>		<b>Lectura de Corriente tomada (A)</b>		<b>Lectura de Corriente tomada (A)</b>	
1	1.040	24	0.751	23	0.732	26
2	0.978	28	0.787	28	0.733	32
3	1.059	32	0.808	32	0.750	37
4	0.854	17	0.733	16	0.724	22
5	0.952	28	0.770	28	0.737	32
6	1.088	39	0.820	40	0.781	43
7	0.869	14	0.738	12	0.784	16
8	0.990	28	0.784	27	0.736	32
9	1.140	46	0.838	46	0.794	48
<b>Lectura inicial</b>	0.967		0.698		0.701	

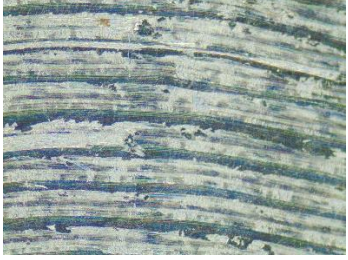
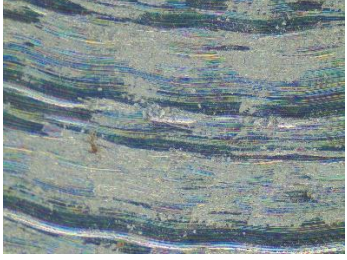
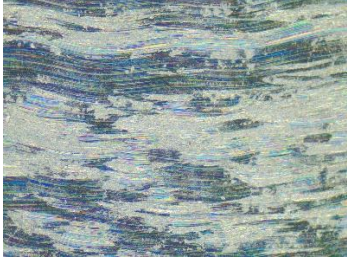
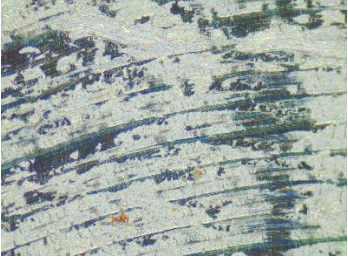
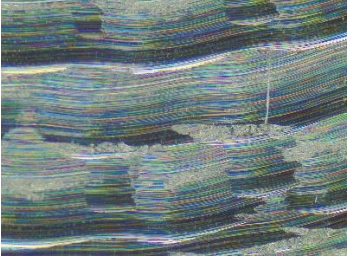
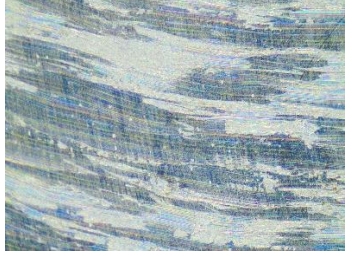
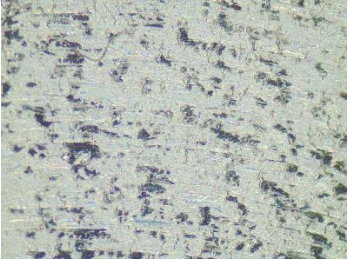
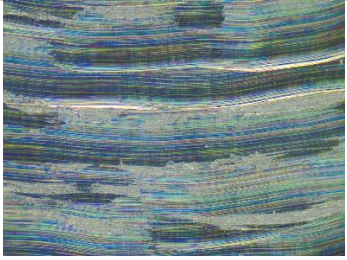
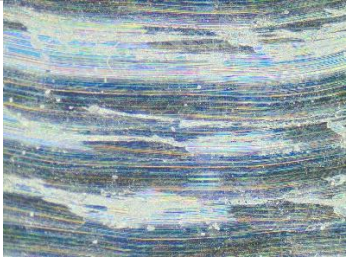
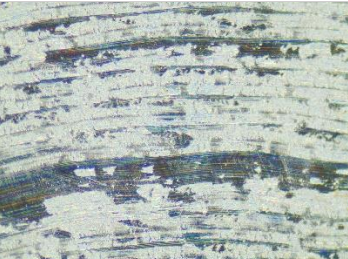
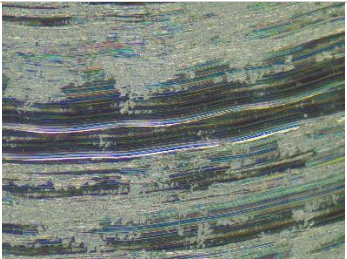
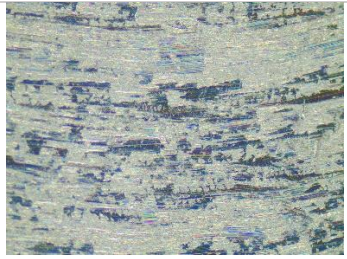
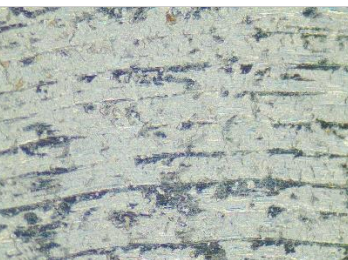
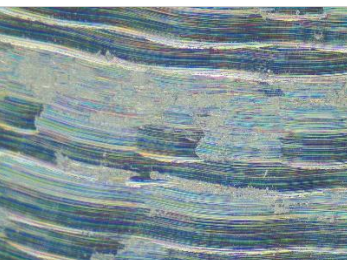
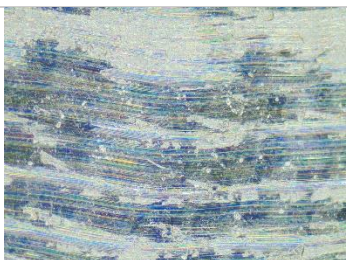
## C2. Calculo teórico de la potencia eléctrica media necesaria.

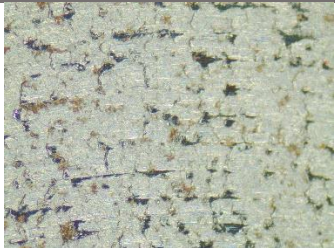
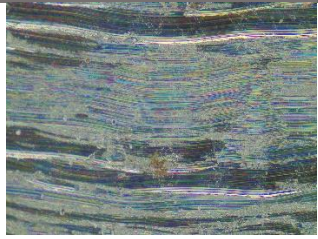
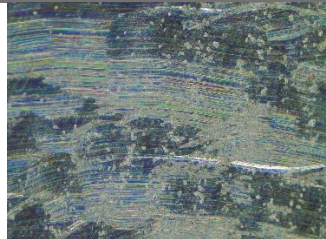

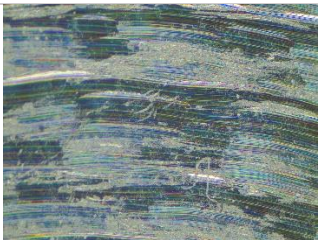
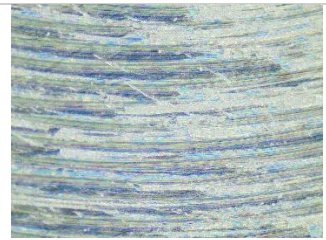
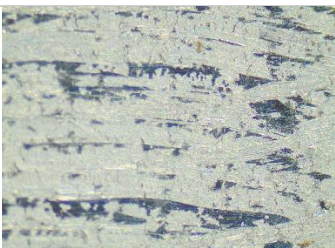
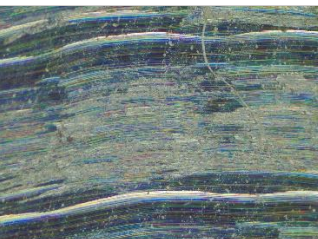
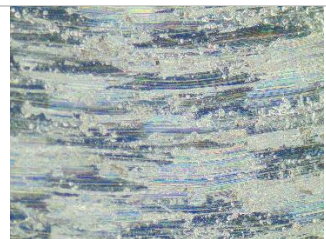
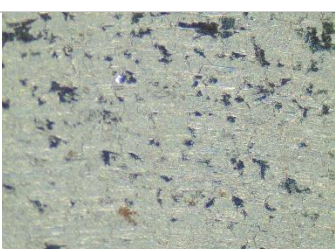
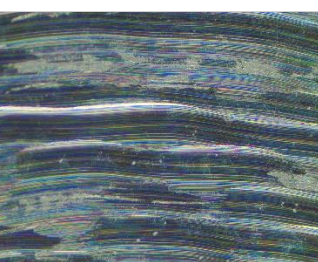

Test	Profundidad de corte (ap) (mm)	Avance por diente (fz)(mm)	z	fn	Revoluciones del husillo (n) (rpm)	Velocidad de avance (f') (mm/min)	Espesor medio de viruta (h)(mm)	Sección de corte (A) (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de corte en un diente (F)(N)	Potencia de corte media de un diente (PmcStM) (Watts)	Potencia de corte media de los dientes actuando al mismo tiempo (PcStM)(Watts)	Potencia eléctrica media necesaria (PmT) (Watts)	Potencia eléctrica media necesaria de un diente (PmTcStM) (Watts)
1	2.66	0.06	3	0.180	1,114.00	200.52	0.034	0.102	201.177	234.706	352.060	370.589	247.059
2	2.66	0.08	3	0.240	1,592.00	382.08	0.046	0.135	268.236	447.060	670.590	705.884	470.589
3	2.66	0.10	3	0.300	1,910.00	573.00	0.057	0.169	335.295	670.590	1005.885	1058.826	705.884
4	1.33	0.08	3	0.240	1,114.00	267.36	0.046	0.068	134.118	156.471	234.706	247.059	164.706
5	2.66	0.08	3	0.240	1,592.00	382.00	0.046	0.135	268.180	446.966	670.449	705.736	470.491
6	4.00	0.08	3	0.240	1,910.00	458.40	0.046	0.204	403.362	806.725	1210.087	1273.776	849.184
7	1.33	0.06	3	0.180	1,910.00	344.00	0.034	0.051	100.647	201.294	301.941	317.833	211.888
8	2.66	0.08	3	0.240	1,910.00	458.40	0.046	0.135	268.236	536.472	804.708	847.061	564.707
9	4.00	0.10	3	0.300	1,910.00	573.00	0.057	0.255	504.203	1008.406	1512.609	1592.220	1061.480
(Vc) (m/min)	70	100	120										
Profundidad radial (ae)(%)	constante	100											





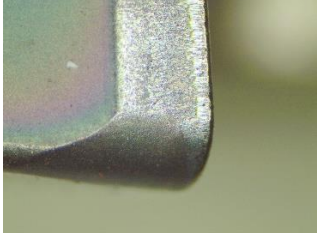

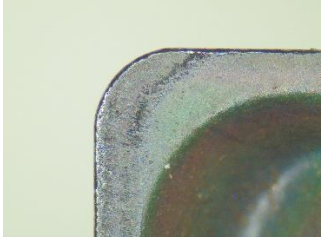
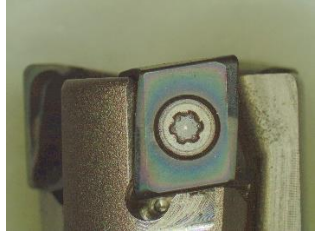

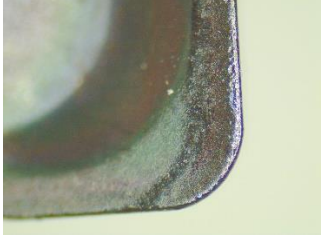
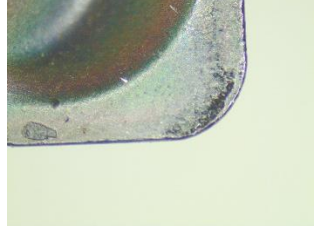
## Anexo D: Análisis Metalográfico

### D1. Toma de datos de la rugosidad superficial

TOMA DE DATOS RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
Holder Térmico		Holder Multilock		Holder Portapinzas	
N°	45X	N°	45X	N°	45X
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	

6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	

**D2. Toma de datos del desgaste de la herramienta**

<b>TOMA DE DATOS DESGASTE DE HERRAMIENTA</b>					
<b>Holder Térmico</b>		<b>Holder Multilock</b>		<b>Holder Portapinzas</b>	
<b>N°</b>	<b>45X</b>	<b>N°</b>	<b>45X</b>	<b>N°</b>	<b>45X</b>
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	

## Anexo E: Codes G

### G1. Código NC para maquinado de probetas

<b>1</b>	G1	<b>1</b>	Y86	<b>1</b>	Y86	<b>1</b>	Y86	<b>1</b>	Y86
<b>2</b>	T02	<b>2</b>	Z7.34	<b>2</b>	Z8.67	<b>2</b>	Z6	<b>2</b>	Z7.34
<b>3</b>	M6	<b>3</b>	G00 Z22.34	<b>3</b>	G00 Z23.67	<b>3</b>	G00 X22.508 Y85.973 Z21.004	<b>3</b>	G00 Z22.34
<b>4</b>	M206	<b>4</b>	S1910 M03	<b>4</b>	S1590 M03	<b>4</b>	S1910 M03	<b>4</b>	S1910 M03
<b>5</b>	S1114 M03	<b>5</b>	X-45.3 Y-86	<b>5</b>	X-.1 Y-86	<b>5</b>	Z23.682	<b>5</b>	X90 Y-86
<b>6</b>	G00 G90 X- 90.595 Y- 85.386	<b>6</b>	Z22.193	<b>6</b>	Z22.191	<b>6</b>	X44.972 Y- 85.97	<b>6</b>	Z20.963
<b>7</b>	Z22.369	<b>7</b>	Z7.34	<b>7</b>	Z7.34	<b>7</b>	X45.1 Y-86. Z8.67	<b>7</b>	Z6
<b>8</b>	X-90.5 Y-86. Z7.34	<b>8</b>	G01 Z-2.66 F573	<b>8</b>	G01 Z-2.66 F382	<b>8</b>	G01 Z-1.33 F344	<b>8</b>	G01 Z-4. F573
<b>9</b>	G01 Z-2.66 F200.52 M08	<b>9</b>	Y-73	<b>9</b>	Y-73	<b>9</b>	Y-73	<b>9</b>	Y-73
<b>10</b>	Y-73	<b>10</b>	Y73	<b>10</b>	Y73	<b>10</b>	Y73	<b>10</b>	Y73
<b>11</b>	Y86	<b>11</b>	Y86	<b>11</b>	Y86	<b>11</b>	Y86	<b>11</b>	Y86
<b>12</b>	Z7.34	<b>12</b>	Z7.34	<b>12</b>	Z7.34	<b>12</b>	Z8.67	<b>12</b>	Z6
<b>13</b>	G00 X-90.486 Z22.341	<b>13</b>	G00 Z22.34	<b>13</b>	G00 Z22.34	<b>13</b>	G00 Z23.606	<b>13</b>	G00 Z21
<b>14</b>	S1592 M03	<b>14</b>	S1114 M03	<b>14</b>	S1910 M03	<b>14</b>	S1910 M03	<b>14</b>	Z50
<b>15</b>	X-67.9 Y-86	<b>15</b>	Z23.643	<b>15</b>	X22.5 Y-86	<b>15</b>	X67.7 Y-86	<b>15</b>	M09
<b>16</b>	Z22.34	<b>16</b>	X-22.7 Y-86	<b>16</b>	Z20.705	<b>16</b>	Z22.34	<b>16</b>	M30
<b>17</b>	Z7.34	<b>17</b>	Z8.67	<b>17</b>	Z6	<b>17</b>	Z7.34	<b>17</b>	
<b>18</b>	G01 Z-2.66 F382.08	<b>18</b>	G01 Z-1.33 F267.36	<b>18</b>	G01 Z-4. F458.4	<b>18</b>	G01 Z-2.66 F458.4	<b>18</b>	
<b>19</b>	Y-73	<b>19</b>	Y-73	<b>19</b>	Y-73	<b>19</b>	Y-73	<b>19</b>	
<b>20</b>	Y73	<b>20</b>	Y73	<b>20</b>	Y73	<b>20</b>	Y73	<b>20</b>	

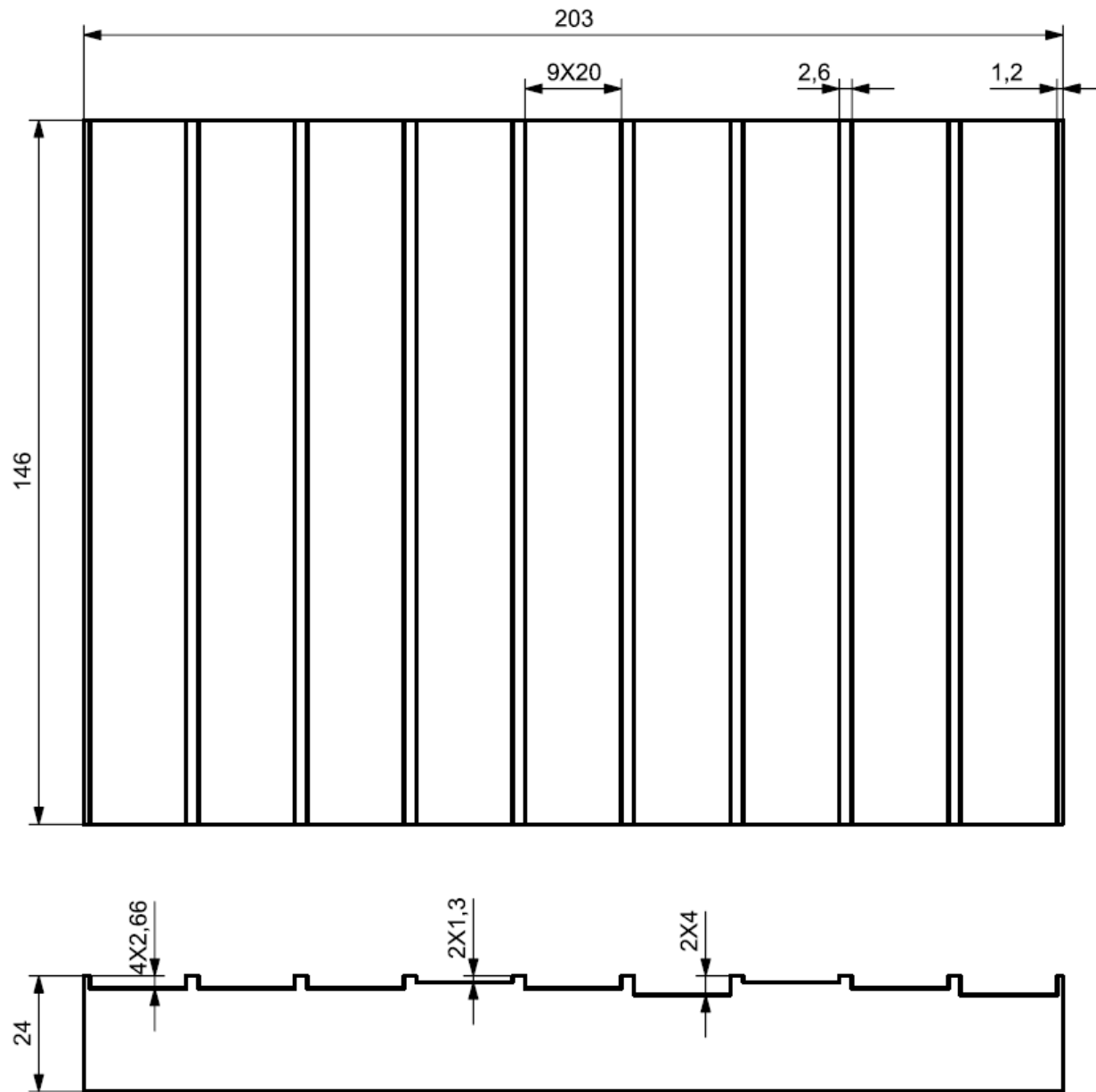


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Máster Universitario en Diseño y Fabricación  
Integrada Asistidos por Computadora**

**Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial  
en Operaciones de Fresado Prismático de Material  
AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la  
Herramienta de Corte**

**PLANOS**



	Nombre	Fecha			<b>Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador</b>
Dibujado	Mano Gabriel Chandias Pérez	9/11/2022			
Revisado					
Escola	Denominación	MECANIZADO PRISMÁTICO AISI 1045			Número
1:1	Vistas Generales				1 de 1



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Máster Universitario en Diseño y Fabricación  
Integrada Asistidos por Computadora**

**Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial  
en Operaciones de Fresado Prismático de Material  
AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la  
Herramienta de Corte**

**PLIEGO DE  
CONDICIONES**

# PLIEGO DE CONDICIONES

## 1. OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

El propósito de este documento es especificar las condiciones técnicas, económicas y administrativas en que se desarrolla la investigación sobre el Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la Herramienta de Corte, y con las que se ha llegado a la resolución propuesta de los problemas planteados.

Este pliego recoge los derechos, obligaciones y responsabilidades mutuas entre la empresa contratista y la empresa contratante.

## 2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO

El presente proyecto consta de los siguientes documentos:

- Memoria Técnica.
- Anexos.
- Planos.
- Pliego de condiciones.
- Presupuesto.

Este conjunto de documentos conforma las prescripciones técnicas que sirven de base para la puesta en marcha y correcto desarrollo del proyecto.

En caso de contradicción entre planos, pliego de condiciones y la memoria técnica, prevalecerá lo escrito en el primero sobre la segunda.

Aquello a lo que se hiciera mención únicamente en alguno de estos documentos y omitido en el resto, habrá de ser ejecutado como si estuviera presente en todos ellos.

La omisión y descripciones erróneas en este pliego de condiciones o en los planos de los detalles de los trabajos que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el proyecto según la intención expuesta en éstos, o que por usos y costumbres debieran ser realizadas, no eximen al operario de la obligación de ejecutarlos tal y como si hubieran sido completa y correctamente especificados.

## 3. CONDICIONES GENERALES

En las condiciones generales del pliego de condiciones se recogen la propia ejecución del proyecto, las condiciones facultativas, las condiciones económicas y las condiciones legales.



#### **4. CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACIÓN**

Al ser el desarrollo del proyecto en colaboración con una la UPV, la información que se utiliza en el mismo es completamente confidencial.

##### **4.1. Confidencialidad**

El Destinatario acepta, sujeto a los términos de este Acuerdo:

1. Para mantener la confidencialidad de la Información y para garantizar que no divulgue ni permita la divulgación de la Información a ninguna persona, incluidos, entre otros, a cualquier cliente del Destinatario y a cualquier entidad corporativa relacionada (es decir, subsidiaria) del Destinatario.
2. Tomar todas las medidas y hacer todas las cosas que sean razonablemente necesarias, prudentes o deseables para salvaguardar la confidencialidad de la Información.

##### **4.2 Divulgaciones permitidas**

El Destinatario solo puede divulgar la Información:

1. A aquellos de sus empleados que estrictamente necesitan conocer la Información con el fin de asesorar adecuadamente al Destinatario en relación con el Proyecto, siempre que antes de revelar cualquier Información el Receptor:
  - Notificar al empleado de su confidencialidad,
  - Instruir al empleado a mantener la confidencialidad de la información en las formas establecidas en este documento. Para evitar dudas, las partes declaran expresamente que esas instrucciones deben tener el efecto de un compromiso de confidencialidad por parte del empleado y que, si dicha instrucción no es legalmente vinculante, el Receptor hará que dicho empleado firme un acuerdo de confidencialidad con términos similares a los aquí contenidos.
2. Cuando la divulgación sea requerida por la ley, siempre que el Destinatario notifique lo suficiente al Revelador antes de dicha divulgación para permitirle buscar una orden de protección u otro remedio.
3. Con el consentimiento previo por escrito del Divulgador.

##### **4.3. Uso de la información**

El Destinatario no debe usar la Información para ningún otro propósito que no sea el Proyecto.

#### **4.4. Calidad de información y publicación**

Ninguna declaración o garantía por parte del Divulgador para fines distintos del Proyecto.

#### **4.5. Infracción y divulgación obligatoria**

El destinatario debe:

- Notificar al Divulgador de inmediato si tiene conocimiento de una sospecha o incumplimiento real de este Acuerdo; y
- Tomar todas las medidas razonables, a su propio costo, para prevenir o detener la violación sospechada o real.

### **5. Contenido del Proyecto**

Este proyecto pertenece al Trabajo de Final de Máster (de aquí en adelante TFM) “Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la Herramienta de Corte”.

Es un estudio con fines educativos, destinado a su valoración por parte de la UPV, que cuenta con la colaboración del Laboratorio de Control Numérico de la UPV en su desarrollo. Por tanto, existe una colaboración entre ambas entidades.

El desarrollo del proyecto incluye:

- Información, equipo y Maquinaria facilitada por la UPV.
- Información desarrollada durante la realización del TFM

Centra su estudio en torno a la influencia de los sistemas de amarre de herramienta de corte sobre la rugosidad superficial, microdureza, el consumo de energía y la vida útil de la herramienta de corte.

#### **5.1. Ejecución del proyecto**

En la ejecución de este proyecto se deberán seguir las especificaciones e indicaciones técnicas recogidas en la memoria del proyecto y los anexos.

Los análisis y desarrollos justificativos tanto de las simulaciones realizadas como de los experimentos probados se describen en la memoria del proyecto. Las variables y características escogidas para las simulaciones se recogen en sus apartados correspondientes.

Si hubiera algún tipo de duda durante el transcurso de la realización del proyecto, ésta habría de ser consultada con el proyectista.

## 5.2. Participante

- (1) **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA U.P.V.** (de aquí en adelante **“UPV”**) tiene como objeto la prestación de todo tipo de servicios relacionados con el sector de la educación, incluido la formación de personas para potenciar sus competencias, la investigación y generación de conocimiento en los ámbitos de la ciencia, la tecnología, el arte y la empresa.

Acuerda mantener diversas relaciones contractuales relacionadas con actividades y tareas en la concepción, cálculo y diseño de documentación técnica y para el desarrollo del trabajo académico.

## 5.3. Condiciones facultativas

En el desarrollo de este proyecto intervienen los siguientes agentes:

- Empresa contratista o proyectista, en este caso la UPV: es la autora del proyecto y encargada de la ejecución de este. Tiene total conocimiento del proyecto y de las circunstancias que rodean al desarrollo su desarrollo.

## 5.4. Obligaciones y derechos de la empresa contratista

El incumplimiento de la siguiente serie de derechos y obligaciones de la empresa encargada del desarrollo del proyecto puede motivar la rescisión del contrato.

- La empresa proyectista se ha de ceñir a los requerimientos y especificaciones acordados con la empresa contratante.
- La empresa contratista ha de respetar la confidencialidad de toda aquella información suministrada por el cliente, así como de toda aquella generada durante el desarrollo del proyecto.
- Se deberá informar al cliente de todos los avances de las distintas fases del desarrollo del proyecto.
- La empresa proyectista tiene derecho a recibir toda la información que sea necesaria para la realización y puesta en marcha del proyecto.

### **5.5. Obligaciones y derechos de la empresa contratante**

El cliente está igualmente sujeto a derechos y obligaciones, cuyo cumplimiento puede condicionar la extinción del contrato.

- La empresa contratante está obligada a cumplir con todas aquellas condiciones acordadas contractualmente, así como aquellas que, de mutuo acuerdo, pudieran establecerse entre ambos agentes.
- El cliente no se interpondrá en el normal desarrollo del proyecto por parte de la empresa proyectista, respetando en todo momento su trabajo.
- Está en su derecho de ser informada en todo momento del estado del proyecto.
- Podrá decidir sobre el inicio, ritmo y calidad del desarrollo de las distintas fases del proyecto, siempre y cuando se respeten los plazos y fechas fijados de manera contractual

### **5.6. Plazos de ejecución del proyecto**

Una vez se haya establecido una fecha de inicio de los trabajos, se habrá de fijar, mediante un acuerdo firmado, un plazo límite de finalización del proyecto.

Tras fijar la fecha límite de consecución del proyecto, habrá de entregarse al cliente un informe de planificación de la ejecución del proyecto.

## **6. Condiciones económicas**

Aquí se establecen y regulan las relaciones de carácter económico entre la empresa contratante y la empresa contratista.

### **6.1. Fianza**

El cliente habrá de depositar un porcentaje sobre el valor total del presupuesto como garantía a la firma del contrato.

La fianza se fijará en un 10% del total presupuestado, que se deducirá del total a abonar en el momento de la consecución definitiva de los objetivos del proyecto.

### **6.2. Precios contradictorios**

Aquellos precios no presupuestados inicialmente que pudieran aparecer durante el desarrollo y/o la ejecución del proyecto, habrán de ser aprobados por el cliente.

### **6.3. Mejoras y modificaciones**

Aquellas mejoras o modificaciones que pudieran ser propuestas por la empresa contratante tras la firma del contrato correrán a su cargo. Las que se realizaran por iniciativa de la empresa proyectista no modificará el presupuesto inicialmente presentado.

### **6.4. Abono del coste del proyecto**

El cliente dispondrá de 60 días para abonar el importe del proyecto, incluyendo tanto el coste presupuestado, como los costes adicionales que eventualmente pudieran serle imputados. Ambas partes acordarán previamente la modalidad en que se haya de efectuar el pago.

## **7. Condiciones legales**

Aquí se establecen las condiciones de tipo legal que han de cumplir los agentes intervinientes en el presente proyecto, así como el tipo de proyecto.

### **7.1. Tipo de contrato**

El tipo de contrato de aplicación al presente proyecto es el contrato a precio alzado. Esto significa que el precio fijado en él, no se podrá modificar posteriormente, salvo excepciones recogidas en este pliego de condiciones

### **7.2. Arbitraje y jurisdicción competente**

En caso de desavenencia entre ambas empresas, será el agente responsable del contrato quien arbitrará en la disputa para tratar de llegar a un acuerdo.

Si no fuera posible alcanzar ningún tipo de acuerdo, se designará un responsable por parte de cada una de las partes para tratar de solucionar la desavenencia. Finalmente, si aún no fuera posible lograr un acuerdo, deberá llevarse a juicio el litigio.

### **7.3. Responsabilidad de la empresa contratista**

La empresa proyectista ha de asumir las siguientes responsabilidades durante la vigencia del contrato:

- Tener solvencia económica.
- Garantizar que la situación legal y laboral de los trabajadores es la adecuada.
- Garantizar una buena calidad del trabajo realizado.
- Cumplir con todos los plazos establecidos en el contrato.

### **7.3.1. Subcontrataciones**

Se podrá subcontratar una parte de los trabajos de ejecución del proyecto a terceros, pero la empresa contratista será siempre el único responsable ante el cliente.

### **7.3.2. Rescisión del contrato**

Las siguientes causas pueden ser motivo de rescisión del contrato:

- Demora excesiva sin causa justificada en la ejecución del proyecto.
- Abandono injustificado de los trabajos de ejecución.
- Causa administrativa.
- Defunción del proyectista.

En caso de ser el cliente quien rescindiera unilateralmente el contrato, deberá abonar a la empresa contratista el importe de los trabajos ejecutados hasta la fecha, así como el 50% de los trabajos pendientes.

## **8. CONDICIONES TÉCNICAS**

Aquí se detallan las características técnicas exigibles a los equipos necesarios para el correcto desarrollo y ejecución del proyecto.

Centro de maquinado Gentiger GT 66V-T16B  
Fresa 20 Ø mm VPX200R2003SA20S  
Sistema Portapinzas BT40H70ER32  
Sistema Multilock BT40-32-85  
Sistema de Térmico BT018.40.20.070  
Probeta de acero AISI 1045 203x146x25 mm  
Rugosímetro HommelWerke T500  
Durómetro Centaur HBRVU-187.5  
Multímetro ISO-TECH ILCM 03A  
Microscopio Olympus SZ61

### **8.1. Especificaciones informáticas**

En este apartado se recogen las características de los equipos informáticos a utilizar en el desarrollo del proyecto, así como de las aplicaciones informáticas de las que se ha hecho uso o se prevé necesario para la ejecución del proyecto.

### 8.1.1 Especificaciones de hardware

El principal software de mayor costo computacional utilizado en este proyecto, *NX SIEMENS*, este requiere ejecutarse bajo alguno de los sistemas operativos Windows 10 o Windows 8.1 de 64 bits.

Las especificaciones del sistema deben ser iguales o superiores a las siguientes:

- Velocidad CPU: Intel Core i5 8th Gen.
- Memoria RAM: 4 GB (64-bits). Se recomienda 8 GB o 16 GB.
- Espacio libre en disco duro: 20 GB para instalación. Se recomienda 40 GB. Recomendable instalar sobre disco duro SSD.
- Tarjeta gráfica: nVidia Quadro GV100 (aunque funcionando de forma correcta con una nVidia GEFORCE GTX).
- Conexión de red.
- Ratón

### 8.1.2 Aplicaciones informáticas

A continuación, se detallan las aplicaciones informáticas de las que se ha hecho uso para el desarrollo del proyecto:

- NX SIEMENS.
- Teamcenter.
- Microsoft Office 365.

### 8.1.3 Licencias

Todas las aplicaciones informáticas empleadas para la consecución del proyecto deben disponer de una licencia académica o profesional o tratarse de aplicaciones de libre distribución.

La Universidad Politécnica de Valencia dispone de licencias académicas de NX SIEMENS para su uso en el diseño del experimento y programación CAM y la realización de los planos, además de una licencia académica gratuita de Microsoft Office. Finalmente, una licencia educativa de Teamcenter para el trabajo colaborativo durante la ejecución de la investigación.

## 8.2 Especificaciones técnicas del material

Se habrán de emplear los materiales especificados en los Planos y en la Memoria Técnica, y éstos tendrán que ser adquiridos a proveedores que garanticen las propiedades requeridas de ellos.

En caso de eventual dificultad para el suministro de algún material o encarecimiento de este podrá consultarse con el proyectista su sustitución por otro material.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Máster Universitario en Diseño y Fabricación  
Integrada Asistidos por Computadora**

**Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial  
en Operaciones de Fresado Prismático de Material  
AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la  
Herramienta de Corte**

**PRESUPUESTO**



# Presupuesto

## 1. Consideraciones previas

El presente presupuesto hace referencia a un proyecto de investigación sobre el impacto de los sistemas amarre de herramientas de corte sobre la integridad superficial en una pieza maquinada. Como podrá comprenderse, en este tipo de trabajos se tiene que tomar en cuenta varios factores para el cumplimiento de este, por lo que es necesario contemplar algunos de ellos como ser: compra de material y equipo, alquiler de maquinaria, mano de obra, coste energético.

Dado que es un proyecto de investigación en laboratorio, no se contemplarán los impactos ambientales, solo se analizará el consumo de energía por el uso de la máquina herramienta. Se planteará un escenario donde una empresa posee su propio laboratorio de ensayos y desee realizar un trabajo de tal similitud. Sin embargo, dado que no toda empresa contempla un centro de mecanizado, este trabajo se realizará de manera externa.

Por lo tanto, se calcularán, los costes por el mecanizado, materia prima, consumo eléctrico y las horas invertidas por un ingeniero junior y finalmente las horas de revisión del documento por parte de un ingeniero senior.

## 2. Análisis de presupuesto

En la siguiente tabla se puede ver el análisis de todos los costos involucrados para la ejecución de este trabajo de investigación

Compra de materiales y equipos	Cantidad	Precio (€)	Total
Probeta de acero AISI 1045 203x146x25 mm	3	120	360,00 €
Rugosímetro HommelWerke T500	1	1	459,95 €
Durómetro Centaur HBRVU-187.5	1	1	1.045,00 €
Multímetro ISO-TECH ILCM 03A	1	1	129,00 €
Microscopio Olympus SZ61	1	1	280,00 €
		<b>Subtotal:</b>	<b>2.273,00 €</b>

Alquiler de maquinaria y herramientas	Cantidad	Tiempo (h)	Precio (€/h)	Total
Centro de maquinado Gentiger GT 66V-T16B	1	1	150	150,00 €
Fresa 20 Ø mm VPX200R2003SA20S	1	1	30	30,00 €
Sistema Portapinzas BT40H70ER32	1	0,3	40	12,00 €
Sistema Multilock BT40-32-85	1	0,3	40	12,00 €
Sistema de Térmico BT018.40.20.070	1	0,3	40	12,00 €
			<b>Subtotal:</b>	<b>216,00 €</b>

Mano de obra	Cantidad	Tiempo (h)	Precio (€/h)	Total
Mecanizado de superficie	1	1	35	35,00 €
Estudio de rugosidad	3	1	30	90,00 €
Estudio de microdureza	3	0,5	40	60,00 €
Estudio de desgaste de herramienta	3	1	40	120,00 €
Estudio de consumo de energía	3	0,3	40	36,00 €
			<b>Subtotal:</b>	<b>341,00 €</b>
Coste de ingeniería	Cantidad	Tiempo (h)	Precio (€/h)	Total
Búsqueda y análisis de información	1	50	15	750,00 €
Diseño experimental	1	10	15	150,00 €
Elaboración del CAD	1	3	30	90,00 €
Elaboración del CAM	1	5	50	250,00 €
Elaboración de la memoria	1	150	15	2.250,00 €
Revisión del documento	1	25	25	625,00 €
Análisis de datos		25	15	375,00 €
			<b>Subtotal:</b>	<b>4.490,00 €</b>

### 3. Presupuesto Final

Finalmente, el coste para la realización de este proyecto de investigación es aproximadamente:

#### Presupuesto Final

Compra de materiales y equipos	<b>2.273,00 €</b>
Alquiler de maquinaria y herramientas	<b>216,00 €</b>
Mano de obra	<b>341,00 €</b>
Coste de ingeniería	<b>4.490,00 €</b>
<b>Presupuesto</b>	<b>7.320,00€</b>

#### Presupuesto

