



PERFIL DE TRABAJO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

CARRERA: TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA INDUSTRIAL

TEMA: SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE EN CENTRO DE MECANIZADO CNC PARA MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y ACABADO SUPERFICIAL.

Elaborado por:

Miguel Santiago Loachamin Maigua

Tutor:

Ing. Juan Esteban Cusi Sacansela MSc.

Fecha: 05/02/2025

Índice de contenidos

1. Objetivos.....	5
1.1. Objetivo General	5
1.2. Objetivos Específicos	5
2. Antecedentes.....	5
3. Justificación	6
4. Marco Teórico.....	6
4.1. Centros de Mecanizado CNC.....	6
4.2. Herramientas de Corte en CNC	7
4.2.1. Material de la herramienta de corte	8
4.2.2. Propiedades principales de una herramienta.....	10
4.3. Impacto en la Productividad y Acabado Superficial.....	10
5. Etapas de desarrollo del Proyecto	10
5.1. Investigación de Herramientas de Corte	10
5.2. Selección de Herramientas	11
5.2.1. Material de la Pieza	11
5.2.2. Geometría de la Herramienta	12
5.2.3. Parámetros de Corte	12
5.2.4. Tipo de Operación.....	14
5.2.5. Refrigeración y Lubricación	15
5.3. Pruebas y Análisis	17
5.3.1. Pruebas	17
5.3.2. Análisis de la productividad y el acabado superficial de la pieza mecanizada	19
6. Alcance.....	20
7. Cronograma.....	20
8. Talento humano.....	21
9. Recursos materiales	21
10. Asignaturas de apoyo.....	22
10.1. Máquinas y herramientas II.....	22
10.2. Control Numérico por Computadora (CNC)	22
10.3. Diseño asistido por computadora (CAD)	23
10.4. Metrología.....	24
10.5. Ciencia de materiales.....	24

11. Bibliografía	25
------------------------	----

Índice de gráficos

Figura 1. Centro de mecanizado CNC	6
Figura 2. Herramientas de corte CNC	7
Figura 3. Materiales de herramientas de corte	8
Figura 4. Geometría de herramientas de corte	12
Figura 5. Operación de desbaste en centro de mecanizado CNC	14
Figura 6. Operación de acabado en centro de mecanizado CNC	15
Figura 7. Mecanizado en seco	16
Figura 8. Mecanizado con líquido refrigerante	16
Figura 9. Cronograma de actividades para el caso de estudio	20
Figura 10. Control numérico computarizado	23
Figura 11. Entorno de trabajo Autodesk Inventor	24

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales de las herramientas de corte	9
Tabla 2. Tipos de materiales	11
Tabla 3. Pruebas 1 en mecanizado de acero k110	17
Tabla 4. Prueba 2 de mecanizado en acero k110	18
Tabla 5. Resultados obtenidos	19
Tabla 6. Recurso humano	21
Tabla 7. Recursos materiales	21

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de velocidad de corte	13
Ecuación 2. Velocidad del husillo	13
Ecuación 3. Velocidad de avance	14

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Optimizar la selección de herramientas de corte en un centro de mecanizado CNC, con el fin de mejorar la productividad y el acabado superficial de las piezas fabricadas, minimizando costos y tiempo de producción.

1.2. Objetivos Específicos

Determinar los factores clave que influyen en la elección de herramientas de corte para centros de mecanizado CNC.

Identificar las mejores herramientas de corte para mejorar el acabado superficial y la productividad en procesos de mecanizado CNC.

Realizar pruebas comparativas de rendimiento entre diferentes tipos de herramientas de corte en un centro de mecanizado CNC.

2. Antecedentes

En la actualidad, los centros de mecanizado CNC han demostrado ser herramientas fundamentales en la industria manufacturera, permitiendo una alta precisión en la producción de piezas complejas. Sin embargo, la selección adecuada de las herramientas de corte es crucial para garantizar la eficiencia de los procesos, la calidad del producto final y la competitividad de las empresas.

La elección incorrecta de herramientas puede generar una serie de problemas como desgaste acelerado, acabado superficial deficiente, mayor consumo de energía y tiempos de inactividad. Por ello, es importante un análisis detallado sobre los tipos de herramientas y su impacto.

3. Justificación

La correcta selección de herramientas de corte en un centro de mecanizado CNC tiene un impacto directo en la productividad y el acabado superficial de las piezas. En la industria actual, la mejora de estos aspectos es esencial para reducir costos de producción, mejorar la calidad y aumentar la competitividad.

Este estudio es relevante para estudiantes de la carrera de Tecnología de Mecánica Industrial, pues ofrece conocimientos prácticos y teóricos que contribuyen a la comprensión de los procesos de mecanizado y las técnicas de selección de herramientas. Asimismo, brinda herramientas para enfrentar desafíos en el diseño y manufactura de piezas.

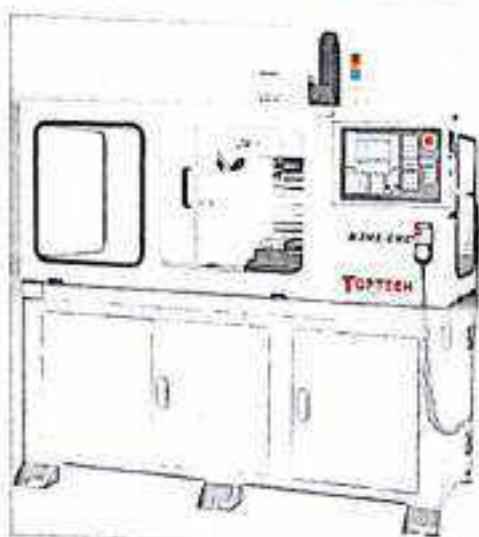
4. Marco Teórico

4.1. Centros de Mecanizado CNC

Los centros de mecanizado CNC (Control Numérico por Computadora) son máquinas que permiten realizar operaciones de fresado, taladrado y otros procesos mediante la programación computarizada. Estos centros se utilizan para garantizar alta precisión, repetibilidad y eficiencia en la fabricación de piezas de formas complejas.

Figura 1.

Centro de mecanizado CNC



Fuente: <https://www.machinetools.com/es/brands>

4.2. Herramientas de Corte en CNC

Las herramientas de corte son componentes esenciales en el proceso de mecanizado, ya que realizan el trabajo físico de remover material mediante corte de viruta.

Figura 2.

Herramientas de corte CNC



Fuente: <https://www.zintilon.com/es/blog/cnc-machining-tools/>

4.2.1. Material de la herramienta de corte

Existe una variedad de materiales para herramientas de corte, que van desde los aceros de alto carbono hasta las cerámicas y diamantes; y por aleaciones, actualmente se encuentran materiales más resistentes.

Los materiales más comunes son el acero rápido (HSS), carburo y cerámica, cada uno adecuado para diferentes tipos de materiales a mecanizar.

Figura 3.

Materiales de herramientas de corte



Fuente: <https://www.applecarbide.com/article/carbide-cutting-tools-the-most-common-uses-for-carbide.html>

Tabla 1.*Materiales de las herramientas de corte*

	Características	Ventajas	Aplicaciones	Limitaciones
Acero al carbono	Buena dureza Resistente al desgaste	Económico Fácil de afilar	Cortes de materiales más blandos Operaciones de baja precisión	Menor resistencia al calor y al desgaste
Acero rápido (HSS)	Buena resistencia al desgaste	Económico Fácil de afilar	Cortes de baja a media velocidad.	No es tan duradero, ni resistente al calor.
Carburo	Extremadamente duro y resistente al desgaste	Alta resistencia a la temperatura. Larga vida útil. Trabaja a altas velocidades de corte.	Ideal para materiales duros.	Más caro que el acero rápido. Muy frágil.
Cobalto	Mayor resistencia al calor y al desgaste.	Resistencia a altas temperaturas y mejor rendimiento en condiciones difíciles de corte.	Ideal para cortar materiales duros.	Más caro que el acero rápido. No tan resistente como el carburo.

Fuente: Elaborado por autor

4.2.2. Propiedades principales de una herramienta

Dureza.

Es la resistencia que tiene el material a la penetración, manteniendo sus propiedades de dureza a altas temperaturas.

Resistencia al desgaste.

Esta propiedad se relaciona con la dureza, misma que le ayuda a resistir el desgaste abrasivo que da lugar entre la superficie de ataque y la viruta.

Tenacidad.

Es la capacidad que tiene el material para absorber energía ante un impacto sin que el material se fracture. Esta propiedad es muy importante al inicio de cada mecanizado, o cuando hay cortes intermitentes.

4.3. Impacto en la Productividad y Acabado Superficial

La selección adecuada de las herramientas de corte mejora la tasa de material removido, reduce el desgaste y mejora la calidad del acabado superficial. Según estudios previos, herramientas mal seleccionadas pueden generar un acabado superficial rugoso, desgaste rápido y mayores tiempos de producción (Sánchez et al., 2020).

5. Etapas de desarrollo del Proyecto

5.1. Investigación de Herramientas de Corte

Revisión bibliográfica sobre los tipos de herramientas de corte utilizadas en centros CNC.

Identificación de materiales y geometrías de herramientas que afectan el rendimiento.

5.2. Selección de Herramientas

La selección de la herramienta de corte adecuada en un proceso de mecanizado CNC es fundamental para mejorar la producción y el acabado superficial.

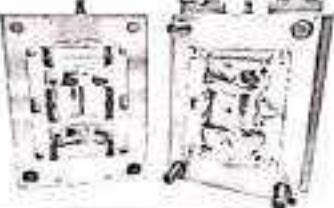
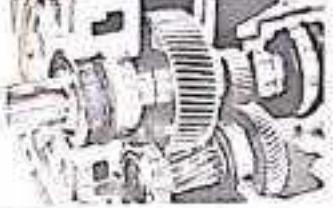
Parámetros para elegir la herramienta correcta:

5.2.1. Material de la Pieza

Para nuestro caso de estudio haremos referencia a los aceros y metales duros, ya que se caracterizan por su alta resistencia al desgaste, dureza y capacidad para mantener sus propiedades mecánicas incluso en condiciones extremas, como altas temperaturas o cargas elevadas.

Tabla 2.

Tipos de materiales

TRABAJO EN FRÍO	TRABAJO EN CALIENTE	CONSTRUCCIÓN MECÁNICA
 K110	 W320	 E410

Fuente: Elaborado por autor

5.2.2. Geometría de la Herramienta

Ángulo de corte: Un ángulo de corte positivo mejora el acabado superficial y reduce la fuerza de corte.

Número de filos: Más filos permiten mayores velocidades de avance, pero pueden comprometer el acabado superficial. Para acabados finos, herramientas de 2 o 3 filos son ideales.

Radio de punta: Un radio de punta pequeño mejora el acabado superficial en operaciones de acabado, mientras que uno más grande es mejor para desbaste.

Figura 4.

Geometría de herramientas de corte



Fuente: https://www.mmc-carbide.com/mx/products/rotating_tools/

5.2.3. Parámetros de Corte

Velocidad de corte (V_c – m/min): es un parámetro crítico que influye en la productividad, la calidad del acabado superficial y la vida útil de la herramienta. Se

define como la velocidad relativa entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo, generalmente la unidad de medida puede estar en (m/min).

Ecuación 1. Ecuación de velocidad de corte

$$Vc = \pi * D * N$$

donde;

π : 3,1416, valor constante

D: diámetro de la herramienta (mm)

N: Velocidad de husillo en rpm

Revoluciones de husillo (N - rpm): se refieren al número de veces que el husillo de la máquina realiza una rotación completa por minuto.

Ecuación 2. Velocidad del husillo

$$N = \frac{Vc * 1000}{\pi * D}$$

donde;

Vc: velocidad de corte (m/min)

1000: factor de conversión a mm

D: diámetro de la herramienta

Velocidad de avance (Vf): es un parámetro fundamental que determina la rapidez con la que la herramienta de corte se mueve a lo largo de la pieza de trabajo.

Ecuación 3. Velocidad de avance

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot N$$

donde;

fz: avance por diente

Z: número de dientes

N: velocidad de husillo rpm

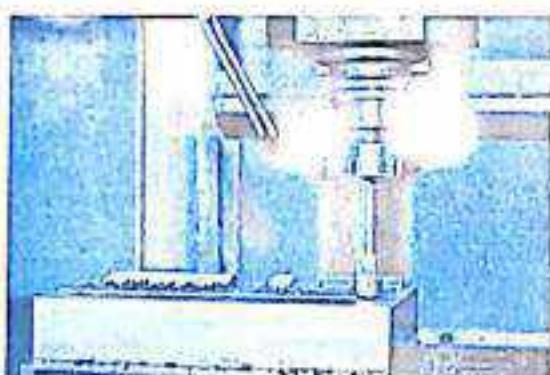
Profundidad de corte (ap): Para acabados superficiales finos, utiliza profundidades de corte pequeñas.

5.2.4. Tipo de Operación

Desbaste: el desbaste en el mecanizado reduce el tiempo y los costos de producción, prolonga la vida útil de la herramienta y detecta fácilmente los defectos de los espacios en blanco, lo que lo convierte en una parte esencial del proceso de fabricación.

Figura 5.

Operación de desbaste en centro de mecanizado CNC

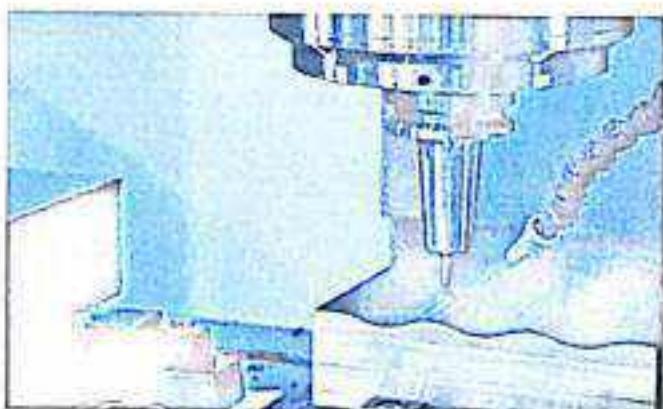


Fuente: <https://www.runsom.com/es/blog/roughing-and-finishing-in-cnc-machining/>

Acabado: es el proceso donde se utilizan técnicas para eliminar cualquier material restante dando como resultado el acabado superficial final y precisión dimensional a una pieza o componente mecanizado, se recomienda utilizar herramientas con filos nuevos y menor número de filos para lograr un acabado superficial de alta calidad.

Figura 6.

Operación de acabado en centro de mecanizado CNC



Fuente: <https://www.runsom.com/es/blog/roughing-and-finishing-in-cnc-machining/>

5.2.5. Refrigeración y Lubricación

Mecanizado en seco: Ideal para materiales como el aluminio, donde el refrigerante puede afectar el acabado.

Figura 7.*Mecanizado en seco*

Fuente: <https://www.inter2000mecanizados.com/post/mecanizado-en-seco-o-lubricacion-controlada>

Refrigerante líquido: Recomendado para aceros y materiales duros para reducir el calor y mejorar el acabado, para nuestro caso utilizaremos aceite soluble en agua al 5%.

Figura 8.*Mecanizado con líquido refrigerante*

Fuente: <https://www.lufilsur.es/lubricante-refrigerante-eficiente/>

5.3. Pruebas y Análisis

Se procede a realizar dos pruebas de mecanizado con el mismo material k110

5.3.1. Pruebas

Tabla 3.

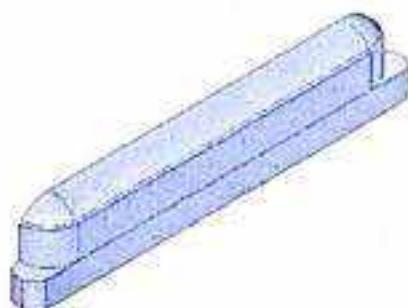
Pruebas 1 en mecanizado de acero k110

PRUEBA 1

Operación Eresado

Elemento a mecanizar:
Postizo macho corte

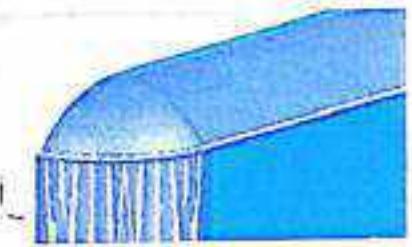
Material:
Acero K110



Procedimiento	Herramienta	Parámetros de corte	Tiempo	Resultados
DESBASTE Cavity mill (Semifinish)	Fresa de insertos de carburo Ø 12 2 filos	N=1600 rpm Vf=1000 mm/min ap=0.3 mm	9 min	
ACABADO Cavity mill (Finish)	Fresa de insertos de carburo Ø 12 2 filos	N=1600 rpm Vf=900 mm/min ap=0.15 mm	18 min	

Fuente: Elaborado por autor

Tabla 4.**Prueba 2 de mecanizado en acero k110**

PRUEBA 2		Elemento a mecanizar: Postizo macho corte		
Procedimiento	Herramienta	Parámetros de corte	Tiempo	Resultados
DESBASTE Cavity mill (Semifinish)	Fresa de insertos de carburo \varnothing 12 2 filos	N=1500 rpm Vf=900 mm/min ap=0.2 mm	13 min	
ACABADO Cavity mill (Finish)	Fresa de insertos de carburo \varnothing 12 2 filos	N=1600 rpm Vf=800 mm/min ap=0.1 mm	23 min	

Fuente: Elaborado por autor

5.3.2. Análisis de la productividad y el acabado superficial de la pieza mecanizada.

Resultados Obtenidos

Tabla 5.

Resultados obtenidos

Material Acero K110	Procedimiento	Desgaste de herramienta	Acabado superficial	Precisión dimensional (mm)
Prueba 1 Bajo parámetros de corte Ver Tabla 3.	Desbaste	Insertos con desgaste importante. Alteración notable en filos de insertos	Rugosidad considerable Presencia mínima de rebaba Presencia mínima de vibraciones	Sobre medida hasta 0.35 mm, aceptable para operación de desbaste
	Acabado	Insertos con desgaste ligero Alteración mínima en filos de insertos	Presenta rugosidad muy mínima. Sin rebaba	Sobre medida de 0.025mm, aceptable dentro de tolerancia medidas finales
Prueba 2 Bajo parámetros de corte Ver Tabla 4.	Desbaste	Insertos con desgaste leve Alteración minúscula en filos de insertos	Rugosidad notable Pequeñas presencias de rebaba	Sobre medida hasta 0.2 mm, aceptable para operación de desbaste
	Acabado	Insertos con mínimo desgaste Alteración mínima en filos de insertos	Presenta rugosidades muy pequeñas Sin rebaba	Sobre medida de 0.015 mm, aceptable dentro de tolerancia medidas finales

Fuente: Elaborado por autor

Realizadas las pruebas podemos enunciar que, para la selección adecuada de una herramienta debemos optimizar los parámetros de corte de acuerdo al material utilizado, esto nos ayudará a conservar significativamente la vida útil de la herramienta y para el proceso de acabado podemos decir que, mientras menos sea la profundidad de corte (ap) también ayuda en gran manera a preservar la herramienta y contar con un acabado superficial óptimo.

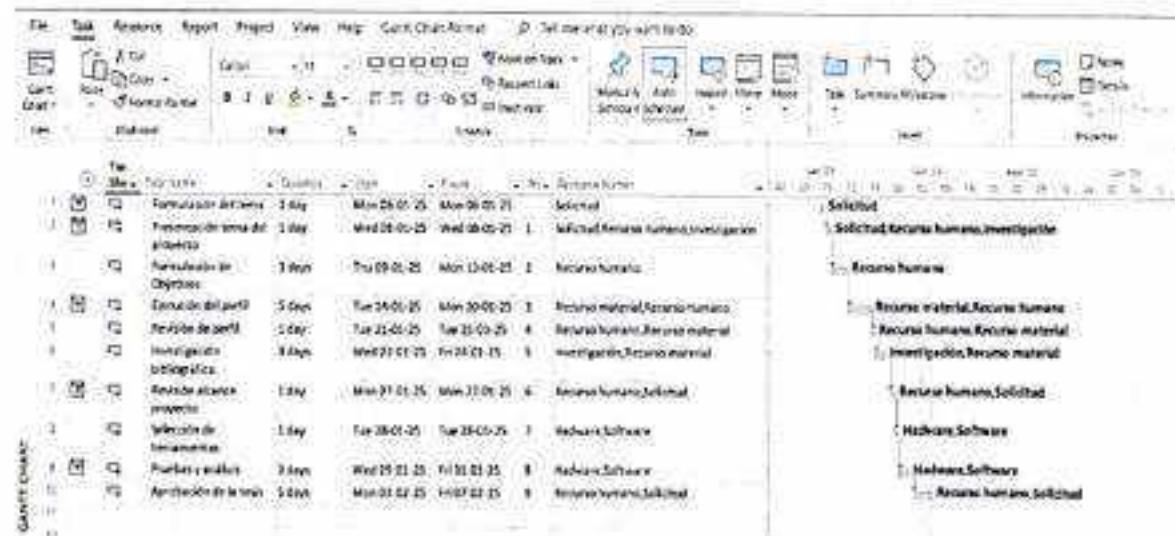
6. Alcance

Este estudio se enfoca en la mejora de la productividad y el acabado superficial mediante la correcta selección de herramientas de corte en centros de mecanizado CNC. El alcance está limitado a los procesos de fresado en operaciones de desbaste y acabado, utilizando el material k110.

7. Cronograma

Figura 9.

Cronograma de actividades para el caso de estudio



Fuente: Elaborador por autor

8. Talento humano

Tabla 6.

Recurso humano

Nº	Participantes	Rol a desempeñar en el proyecto	Carrera
1	Ing. Esteban Cusi	Tutor	Mecánica Industrial
2	Santiago Loachamin	Estudiante	Mecánica Industrial

9. Recursos materiales

Tabla 7.

Recursos materiales

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
			
Marca		TOPTECH	
Modelo		F4 CNC	
Dimensión de mesa de trabajo (mm)	690 x 210	RPM	6000 rpm
Desplazamiento X (mm)	310	Conicidad	BT 30 x 45°
Desplazamiento Y (mm)	200	Magazine tool	5
Desplazamiento Z (mm)	300	Torque motor	Eje X 3.3Nm

		Eje Y 5Nm Eje Z 5Nm
Otros recursos		
Herramienta de corte		Fresa de insertos Ø 12 Insertos de carburo
Material de prueba		Acero K110
Software CAD/CAM		Fusion 360

Fuente: Elaborado por autor

10. Asignaturas de apoyo

10.1. Máquinas y herramientas II

Esta asignatura se enfoca en el estudio de las distintas máquinas y herramientas empleadas en la industria para la fabricación, procesamiento y ensamblaje de piezas, abarcando temas como:

Procesos de manufactura

Ajuste y montaje

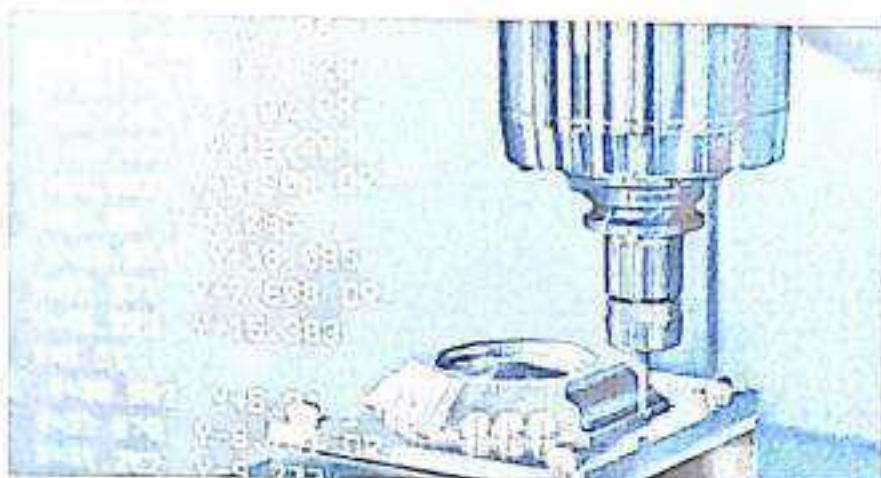
Tipos de herramientas y materiales

10.2. Control Numérico por Computadora (CNC)

El control numérico por computadora se refiere al estudio de los sistemas y máquinas que utilizan la tecnología de control numérico para automatizar el proceso de fabricación de piezas y componentes.

Figura 10.

Control numérico computarizado



Fuente: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/g-and-m-codes/>

La materia de CNC contempla los siguientes campos:

Tipos de máquinas CNC

Funcionamiento de las máquinas CNC

Programación CNC

Operación y control de máquinas CNC

Mantenimiento y diagnóstico

10.3. Diseño asistido por computadora (CAD)

Tecnología en software especializado para la creación, modificación, análisis y optimización de diseños de piezas y componentes en 2D y 3D

Ejemplos:

Inventor

SolidWorks

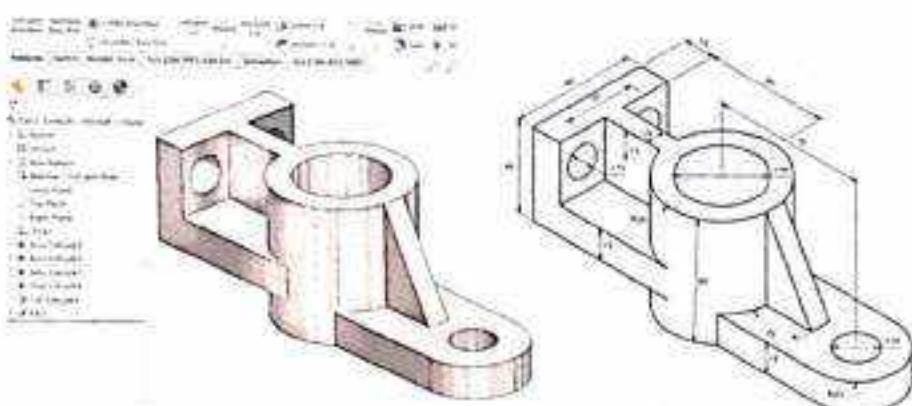
Solid Edge

Fusion 360

Siemens NX

Figura 11.

Entorno de trabajo Autodesk Inventor



Fuente: <https://roccingenieros.com/tutorial-inventor/inventor-nivel-intermedio/>

10.4. Metrologia

Estudia las técnicas, instrumentos y sistemas utilizados para medir con precisión las dimensiones, características y tolerancias de las piezas y componentes fabricados en un proceso industrial.

10.5. Ciencia de materiales

Es la rama que se encarga de estudiar las propiedades, estructuras, comportamientos y aplicaciones de los materiales utilizados en la fabricación de productos y componentes industriales, así como las reacciones de estos al ser sometidos a diferentes condiciones de uso, lo que permite seleccionar el material

adecuado para cada aplicación, optimizando la resistencia, durabilidad, costo y rendimiento de las piezas fabricadas.

La comprensión de como los cuerpos responden a la acción de las cargas o fuerzas aplicadas. (Pytel & Singer, 1994, p. 13)

11. Bibliografía

- ISO 9001:2015. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. International Organization for Standardization.
- ISO 23125:2015. (2015). *Máquinas herramienta - Métodos de mecanizado - Reglas generales para la programación de máquinas con control numérico*. International Organization for Standardization.
- Lee, K., & Park, J. (2018). *Tool selection for CNC machining: Impacts on efficiency and surface finish*. Journal of Manufacturing Science and Technology, 12(1), 55-67.
- Pytel, A., y Singer, F. (1994). *Resistencia de materiales* (Traducción de la cuarta edición en inglés ed.). Alfaomega.
- Sánchez, P., Martínez, L., & Gómez, F. (2020). *Optimización de procesos en el mecanizado CNC: Selección de herramientas y productividad*. Revista de Ingeniería Mecánica, 35(2), 45-60.
- Siemens. (202). *Fabricación asistida por ordenador (CAM)* .
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-manufacturing-cam/13139>
- Voestalpine - one step ahead. (7 de marzo de 2023). *Acero para trabajar en frío*.
<https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/ecuador/es/bohler>

CARRERA: Mecánica Industrial.

FECHA DE PRESENTACIÓN:

05 Febrero 2025
DÍA MES AÑO

APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO:

LOACHAMIN MAIGUA MIGUEL SANTIAGO
APELLIDOS NOMBRES

TITULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA: SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE EN CENTRO DE MECANIZADO CNC PARA MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y ACABADO SUPERFICIAL.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	CUMPLE	NO CUMPLE
• OBSERVACIÓN Y DESCRIPCIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ANÁLISIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• DELIMITACIÓN.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• PROBLEMÁTICA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• FORMULACIÓN PREGUNTAS/AFIRMACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS:

GENERALES:

REFLEJA LOS CAMBIOS QUE SE ESPERA LOGRAR CON LA INTERVENCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
--	-----------------------------

ESPECÍFICOS:

GUARDA RELACIÓN CON EL OBJETIVO GENERAL PLANTEADO

<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
--	-----------------------------

JUSTIFICACIÓN:

CUMPLE	NO CUMPLE
---------------	------------------

IMPORTANCIA Y ACTUALIDAD

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------

BENEFICIARIOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FACTIBILIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ALCANCE: ESTA DEFINIDO	CUMPLE <input checked="" type="checkbox"/>	NO CUMPLE <input type="checkbox"/>
MARCO TEÓRICO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DESCRIBE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA A REALIZAR	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
TEMARIO TENTATIVO: ANTECEDENTES, FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	CUMPLE <input checked="" type="checkbox"/>	NO CUMPLE <input type="checkbox"/>
ANÁLISIS Y SOLUCIONES PARA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
APLICACIÓN DE SOLUCIONES	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS:		
OBSERVACIONES:	Ninguna	
CRONOGRAMA:		
OBSERVACIONES:	Ninguno	
FUENTES DE INFORMACIÓN:	Ninguno	
RECURSOS:	CUMPLE <input checked="" type="checkbox"/>	NO CUMPLE <input type="checkbox"/>

HUMANOS

ECONÓMICOS

MATERIALES

PERFIL DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

Aceptado

Negado

el diseño de propuesta tecnológica por las siguientes razones:

a)

b)

ESTUDIO REALIZADO POR EL ASESOR:

NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR:

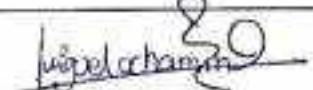
Juan Esteban Gutiérrez



05 FEB 2025

FECHA DE ENTREGA DE INFORME

**REALIZADO
POR:**

Miguel Santiago Loachamín Maigua	
NOMBRE	FIRMA

**REVISADO
POR:**

Ing. Juan Esteban Cusi Sacansela MSc.	
NOMBRE	FIRMA

**APROBADO
POR:**

Ing. Juan Esteban Cusi Sacansela MSc.	
NOMBRE	FIRMA