

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA INGENIERÍA INDUSTRIAL

MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA

**Aplicación de un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP
para el [reconocimiento de operaciones y parámetros](#) de mecanizado en
piezas de acero al carbono mediante fresado.**

INTEGRANTES:

- Aquize Saldaña, Eduardo Alfredo
- Galvez Gutierrez, Yorlem Xilema
 - Perez Castro, Xiomara Lidy
- Rodas Ramirez, Estrella Del Rosario
 - Torres Lazo, Jomatore Raul

GRUPO: 11

PROFESOR:

López Miranda, Manuel Antonio

LIMA-PERÚ

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL.....	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	7
1.1. Problema de Investigación.....	7
1.1.1. Problema general	7
1.1.2. Problemas específicos	7
1.2. Hipótesis	7
1.2.1. Hipótesis General.....	7
1.2.2. Hipótesis específicas	7
1.3. Objetivo.....	8
1.3.1. Objetivo general.....	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 CAPP (Planificación de Procesos Asistida por Computador)	9
2.2 Concepto y aplicación de las Macros en SW	12
2.3 Principios de la fresadora y su integración con CAD/CAPP/CAM.....	13
2.4 Fundamento teórico	14
2.5 Exportación y vinculación de Macros con excel	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN	18
3.1 Enfoque metodológico	18
3.2. Flujograma	20
3.3. Diagrama de caso de uso.....	23
Bibliografía	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Comparativa entre Sistemas CAPP Variante y Generativo</i>	9
Tabla 2: <i>Comparativa de Tareas Manuales vs. Automatizadas con Macros</i>	12
Tabla 3: <i>Flujo de Información en la Integración CAD/CAPP/CAM</i>	14
Tabla 4: <i>Flujo de Datos entre SW y Excel</i>	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Esquema de la operación de fresado frontal</i>	15
Figura 2: <i>Esquema de la operación de fresado periférico</i>	15
Figura 3: <i>Esquema de la operación de fresado de ranuras</i>	16
Figura 4: <i>Esquema de la operación de fresado de contorno o perfil</i>	16
Figura 5: <i>Esquema de la operación de fresado de cavidades</i>	17
Figura 6: <i>Flujograma de algoritmo CAPP</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7: <i>Diagrama de caso de uso del algoritmo CAPP</i>	25
Figura 8: <i>Plano de la pieza</i>	27

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un algoritmo de organización y extracción de datos en Planificación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP) enfocado en el mecanizado de piezas de acero al carbono en una fresadora. El sistema propuesto busca dar facilidad en la obtención, procesamiento y organización de datos técnicos provenientes de un archivo o plano, con el objetivo de mejorar la eficiencia y control de operación del fresado.

El proceso empieza al insertar el archivo del sólido o plano de la pieza a fabricar en la primera macro , la cual se extraerán automáticamente características geométricas importantes como las líneas, arcos y radios; los cuales serán transferidos a la segunda macro para determinar los parámetros de mecanizado necesarios. En esta parte se integrarán 3 bases de datos los cuales serán el catálogo técnico de Mitsubishi, geometría de la pieza y fórmulas de la fresadora; de esta manera obtener factores esenciales para el correcto mecanizado de fresado.

Como resultado final de haber de accionar la segunda macro se generará un archivo Excel en cual se presentará la información de manera estructurada y clasificada como Hoja de procesos. Este enfoque permitirá reducir errores, organizar adecuadamente la información técnica y seleccionar parámetros adecuados contribuyendo a un flujo y eficiente en la gestión del proceso productivo.

Palabras claves: CAPP, acero al carbono, fresado, algoritmo, mecanizado

INTRODUCCIÓN

En la industria manufacturera moderna, la optimización de los procesos de mecanizado es un factor clave para mejorar la productividad, la precisión y la eficiencia en la fabricación de piezas. Entre estos procesos, el fresado ocupa un papel fundamental debido a su versatilidad y capacidad para producir geometrías complejas con altos niveles de calidad superficial. Sin embargo, la planificación de los procesos de fresado aún depende en gran medida de la experiencia del operario, lo que puede generar variabilidad en los resultados y mayores tiempos de preparación.

La Planificación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP) surge como una herramienta innovadora que permite automatizar la generación de planes de manufactura, integrando el diseño asistido por computadora (CAD) con la selección óptima de operaciones, herramientas y parámetros de corte. De esta manera, se logra reducir errores humanos, mejorar la consistencia de los procesos y aumentar la eficiencia en la toma de decisiones de producción.

En este contexto, el presente trabajo propone la implementación de un algoritmo CAPP orientado a las operaciones de fresado de piezas. El objetivo principal es que a partir de los datos del modelo geométrico y las características del material, determine automáticamente las secuencias de operaciones y los parámetros de mecanizado más adecuados. Con ello, se busca demostrar que el CAPP puede contribuir significativamente a organizar de manera eficiente la información técnica, mejorar el uso de los recursos y obtener un producto final de mayor precisión.

Finalmente, este proyecto representa un paso hacia la integración inteligente de tecnologías digitales en la manufactura, fomentando la transición hacia entornos productivos más eficientes, precisos y adaptados a las exigencias de la industria moderna.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Problema general

¿Cómo influye la aplicación de un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP en el reconocimiento de operaciones y parámetros de mecanizado en piezas de acero al carbono mediante fresado?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el algoritmo puede identificar las operaciones de mecanizado a partir de los datos organizados y extraídos?
- b) ¿De qué manera el algoritmo puede extraer la información necesaria para clasificar las operaciones y parámetros de mecanizado que requiere la pieza?

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis General

La aplicación de un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP permitirá mejorar el reconocimiento de operaciones y parámetros de mecanizado al obtener y clasificar de manera más clara la información técnica necesaria para el proceso de fresado.

1.2.2. Hipótesis específicas

- a) La aplicación de un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP mejorará el reconocimiento de las operaciones de fresado en piezas de acero al carbono al organizar de manera clara y estructurada la información técnica.
- b) La aplicación de un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP mejorará la determinación de los parámetros de mecanizado al extraer y clasificar con mayor precisión la información técnica necesaria para el proceso de fresado.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un algoritmo de organización y extracción de datos en CAPP que permita mejorar el reconocimiento de las operaciones y parámetros de mecanizado en piezas de acero al carbono mediante fresado a partir de la obtención y clasificación de la información técnica.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Identificar las operaciones de mecanizado que requiere la pieza mediante la aplicación de un algoritmo que organice de manera clara y estructurada la información técnica obtenida.
- b) Extraer y clasificar la información técnica necesaria para determinar los parámetros de mecanizado mediante la aplicación de un algoritmo orientado al proceso de fresado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 CAPP (Planificación de Procesos Asistida por Computador)

El CAPP es un sistema diseñado para generar de manera sistemática y optimizada el plan de procesos de una pieza. Su función esencial es actuar como el vínculo lógico entre el Diseño Asistido por Computadora (CAD) y la Manufactura Asistida por Computadora (CAM), traduciendo la información del diseño en instrucciones detalladas de fabricación. Mientras que el CAD define la geometría del producto y el CAM controla la maquinaria, el CAPP determina la secuencia de operaciones, la selección de herramientas y los parámetros de mecanizado necesarios para transformar la materia prima en el producto final (Groover, 2012).

Los sistemas CAPP se pueden clasificar principalmente en dos categorías, cuyas diferencias se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1

Comparativa entre Sistemas CAPP Variante y Generativo

Característica	Sistema CAPP Variante	Sistema CAPP Generativo
Principio	Modifica un plan de procesos de estándar existente para una pieza similar. Basado en Tecnología de Grupos (GT).	Crea un plan de procesos nuevo desde cero usando reglas de decisión y lógica de fabricación.
Nivel de Automatización	Semi-automático. Requiere un planificador para recuperar, editar y verificar el plan.	Completamente automático. El sistema toma todas las decisiones de planificación.
Flexibilidad	Limitado a las familias de piezas para las que existen planes maestros.	Altamente flexible. Capaz de generar planes para piezas completamente nuevas siempre que se encuentren dentro de sus reglas.
Requerimiento Inicial	Requiere una base de datos de planes de proceso estandarizados y codificados.	Requiere un desarrollo complejo para definir la lógica de manufactura y las reglas de decisión.

El algoritmo propuesto en este trabajo se alinea con un enfoque generativo, ya que buscará interpretar las características geométricas extraídas por las macros para generar una hoja de procesos de fresado de manera automática.

Según Acosta Méndez y Ávila Rondón (2008), el proceso CAPP se puede dividir en seis fases principales:

1. Análisis del modelo CAD:

En esta primera etapa, el sistema extrae la información geométrica y topológica del modelo 3D de la pieza. Estos datos permiten identificar las superficies, características y dimensiones relevantes que serán utilizadas para definir los procesos de mecanizado. Esta fase constituye el punto de partida para la integración entre diseño y fabricación.

2. Identificación de características de manufactura:

Luego del análisis geométrico, el sistema identifica las características de manufactura (conocidas como *características*). Estas son las zonas específicas que requieren operaciones como taladrado, fresado, ranurado, mandrinado o refrentado.

Por ejemplo, un agujero en el modelo CAD se traduce en una operación de taladrado, mientras que una superficie plana podría requerir una operación de planeado o fresado frontal. Esta identificación es fundamental para definir qué tipo de máquina y herramientas se necesitan.

3. Selección de procesos y secuencias de operaciones:

Una vez conocidas las características de la pieza, el sistema selecciona el tipo de proceso más adecuado para fabricar cada característica.

Aquí se determina:

- El orden lógico de las operaciones (por ejemplo, primero desbaste y luego acabado).
- El tipo de máquina herramienta (fresadora, torno, taladro, etc.).
- El tipo de herramienta de corte (fresa, broca, plaquita, etc.).

La secuencia de operaciones se define buscando reducir tiempos de cambio, movimientos innecesarios y costos de producción.

4. Determinación de parámetros tecnológicos:

En esta etapa se calculan o asignan los parámetros de mecanizado necesarios para ejecutar las operaciones.

Estos parámetros incluyen:

- Velocidad de corte (V_c).
- Avance (f).
- Profundidad de corte (a_p).
- Tiempo estimado de mecanizado.

El CAPP puede tomar estos valores de tablas tecnológicas o de bases de datos preestablecidas según el material de la pieza y la herramienta utilizada. Esta información es esencial para garantizar una producción eficiente y con calidad controlada.

5. Selección de herramientas y máquinas:

En esta fase se eligen las máquinas-herramientas y herramientas de corte que serán utilizadas en cada operación.

El sistema puede considerar factores como la disponibilidad de equipos, el tamaño de la pieza y la precisión requerida. Además, se define el tipo de sujeción, los dispositivos auxiliares y las condiciones de trabajo, buscando maximizar la productividad y minimizar el tiempo de preparación.

6. Generación de la hoja de proceso:

Finalmente, el sistema CAPP genera la hoja de proceso o plan de operaciones, que contiene toda la información necesaria para la fabricación de la pieza. Este documento incluye:

- La secuencia ordenada de operaciones.
- Herramientas requeridas.
- Parámetros de corte.
- Máquinas a utilizar.
- Tiempos estimados de mecanizado.
- Instrucciones de montaje o sujeción.

Gracias a esta etapa, se obtiene un plan estandarizado y reproducible, lo cual mejora la eficiencia de la producción y reduce la dependencia de la experiencia individual del operario.

2.2 Concepto y aplicación de las Macros en SW

Las macros en SW son secuencias de comandos programadas que permiten automatizar tareas repetitivas dentro del software. Utilizan el lenguaje de programación Visual Basic for Applications (VBA), lo que permite a los usuarios interactuar con la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de SW. Esta interacción hace posible manipular modelos, extraer información, modificar propiedades y ejecutar comandos de forma automática, eliminando la necesidad de realizar estas acciones manualmente.

Como señala Freire & Martínez (2012), la API es una herramienta poderosa que expone la funcionalidad del software a los programadores, permitiendo la creación de aplicaciones personalizadas que pueden automatizar prácticamente cualquier tarea que un usuario realice manualmente.

En el contexto de este proyecto, las macros son la herramienta principal para la captura de datos geométricos directamente del modelo CAD. La siguiente tabla compara las tareas manuales con las automatizadas mediante macros:

Tabla 2

Comparativa de Tareas Manuales vs. Automatizadas con Macros

Tarea	Método Manual	Método con Macro (Automatizado)	
Extracción de medidas	El usuario selecciona la herramienta de medición, hace clic en las entidades y anota los valores manualmente. Propenso a errores de transcripción.	La macro accede directamente a las propiedades geométricas de las operaciones (ej. diámetro de un agujero) y las exporta sin intervención.	
Generación de piezas	El diseñador crea croquis y aplica operaciones (extruir, cortar, etc.) paso a paso para cada nueva pieza, incluso si es similar a otra.	Una macro puede generar una familia de piezas a partir de parámetros de entrada (largo, ancho, número de agujeros), reduciendo el tiempo de diseño drásticamente.	La
Consistencia	El resultado puede variar ligeramente entre diferentes usuarios o sesiones de trabajo.	La macro ejecuta siempre la misma secuencia de comandos, garantizando una total consistencia y estandarización en los resultados.	

implementación de macros es el primer paso para construir un puente funcional entre el diseño y la planificación de la manufactura, permitiendo que los datos del modelo 3D se conviertan en la entrada principal para la planificación del proceso de fresado.

2.3 Principios de la fresadora y su integración con CAD/CAPP/CAM

El fresado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta en el que una herramienta rotativa de múltiples filos de corte (la fresa) gira para remover material de una pieza de trabajo estacionaria. Los parámetros fundamentales que definen una operación de fresado son la velocidad de corte, la velocidad de avance y la profundidad de corte (Kalpakjian & Schmid, 2014).

La correcta selección de estos parámetros es crucial para garantizar la calidad superficial de la pieza, la vida útil de la herramienta y la productividad del proceso.

La integración de los sistemas CAD, CAPP y CAM es clave para la automatización de la manufactura moderna. La siguiente tabla detalla el rol de cada sistema en el flujo de trabajo:

Tabla 3

Flujo de Información en la Integración CAD/CAPP/CAM

Sistema	Función principal	Salida / Resultado
CAD (Solidworks)	Creación del modelo geométrico 3D de la pieza. Definición de dimensiones, tolerancias y material.	Un archivo digital con toda la información del diseño de la pieza.
CAPP (Algoritmo)	Puente inteligente. Interpreta la geometría del CAD, define la secuencia de operaciones, selecciona herramientas y calcula parámetros de corte.	Una Hoja de Procesos detallada con las instrucciones de manufactura.
CAM	Utiliza la Hoja de Procesos para generar y simular las trayectorias de la herramienta de corte.	El Código G, que son las instrucciones numéricas que controlan directamente la máquina fresadora CNC.

2.4 Fundamento teórico

El mecanizado es un proceso fundamental dentro de la manufactura, mediante el cual se da forma a una pieza a través de la remoción controlada de material utilizando herramientas de corte. Estas operaciones permiten obtener dimensiones precisas, acabados superficiales adecuados y características geométricas específicas en los componentes fabricados.

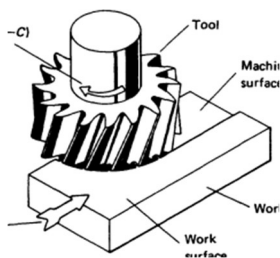
Según Boothroyd y Knight (2006), las operaciones de mecanizado comprenden una amplia variedad de técnicas, entre las cuales destacan las siguientes:

Fresado frontal

Es una operación en la que el cortador gira con su eje perpendicular a la superficie de la pieza, y remueve material de una zona amplia para dejar una cara plana y lisa. Es muy útil para desbastes rápidos de superficies horizontales.

Figura 1

Esquema de la operación de fresado frontal



Fuente: Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of machining and machine tools* (4th ed.). CRC Press.

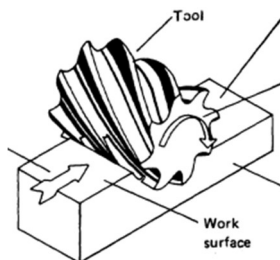
Nota: En la Figura 1 se muestra el proceso de fresado frontal, donde el cortador gira perpendicular a la superficie de la pieza para realizar un desbaste efectivo. Este tipo de fresado es especialmente útil para obtener superficies horizontales planas y lisas, eliminando grandes cantidades de material en poco tiempo.

Fresado Periférico

En esta operación, los dientes del cortador se ubican en el perímetro de la herramienta, y el eje de la fresa generalmente es paralelo a la superficie mecanizada. Sirve para remover grandes cantidades de material en longitudes mayores, produciendo superficies planas más extensas.

Figura 2

Esquema de la operación de fresado periférico



Fuente: Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of machining and machine tools* (4th ed.). CRC Press.

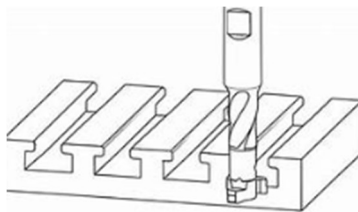
Nota: En la Figura 2 se muestra un esquema del proceso de fresado periférico, donde los dientes del cortador se ubican en el perímetro de la herramienta. El cortador, al estar paralelo a la superficie de la pieza, permite la remoción de grandes cantidades de material, ideal para la producción de superficies planas y extensas.

Fresado de ranuras

Consiste en el mecanizado de canales, ranuras o hendiduras de profundidad definida en la pieza. Se usa para insertar otras piezas, para alojar llaves o para abrir pasos. El cortador puede emplear filos de extremo o laterales, desplazándose axial y radialmente.

Figura 3

Esquema de la operación de fresado de ranuras



Fuente: Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of machining and machine tools* (4th ed.). CRC Press.

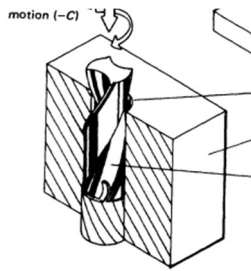
Nota: La Figura 3 muestra un esquema del proceso de fresado de ranuras, donde el cortador, utilizando filos de extremo o laterales, crea canales o hendiduras en la pieza. Este proceso es crucial para la inserción de componentes como llaves o para abrir pasos en la pieza mecanizada, realizando desplazamientos tanto axiales como radiales.

Fresado de contorno o perfil

Esta operación se destina a mecanizar perfiles, bordes o geometrías 2D/3D complejas. El cortador sigue una trayectoria que define la forma deseada de la pieza, permitiendo producir curvas, pasos escalonados y superficies complejas con exactitud.

Figura 4

Esquema de la operación de fresado de contorno o perfil



Fuente: Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of machining and machine tools* (4th ed.). CRC Press.

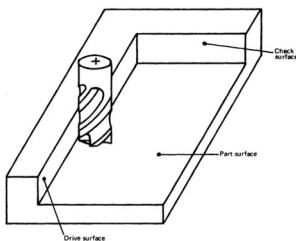
Nota: La Figura 4 muestra el esquema del proceso de fresado de contorno o perfil, en el cual el cortador sigue una trayectoria que reproduce con exactitud las formas deseadas de la pieza. Esta operación es esencial para la creación de curvas, bordes y superficies complejas en 2D o 3D, y se utiliza en piezas que requieren un mecanizado preciso y detallado

Fresado de cavidades

Esta operación es empleada para eliminar material del interior de una pieza, formando “bolsillos” o huecos con profundidad y contorno predefinidos. Muy usada en moldes, carcasas o piezas donde se requiere espacio interior libre.

Figura 5

Esquema de la operación de fresado de cavidades



Fuente: Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of machining and machine tools* (4th ed.). CRC Press.

Nota: La Figura 5 muestra el esquema de la operación de fresado de cavidades, en la cual se elimina material del interior de una pieza para formar huecos o bolsillos con contornos y profundidades predefinidos. Este proceso es esencial en la fabricación de moldes, carcasas y otras piezas que requieren espacios interiores libres para componentes o para propósitos estructurales.

2.5 Exportación y vinculación de Macros con excel

Para que el sistema CAPP sea funcional y accesible, se propone la integración de SW con Microsoft Excel. Excel no solo funciona como una interfaz, sino también como una base de datos flexible y un motor de cálculo para la lógica de manufactura. La capacidad de VBA para controlar diferentes aplicaciones de Microsoft Office permite una sinergia directa entre el entorno de diseño y la plataforma de gestión de datos (S-DC, 2021).

La tabla a continuación ilustra el flujo de datos entre ambos programas:

Tabla 4

Flujo de Datos entre SW y Excel

Origen del Dato (SolidWorks)	Dato Geométrico Extraído por la Macro	Procesamiento y Resultado en Excel
Operación "Extruir Corte - Círculo"	Diámetro del círculo Profundidad del corte.	Regla: Si es un círculo pasante, la operación es "Taladrado". Consulta: Busca en la base de datos la broca y parámetros para el acero al carbono. Cálculo: Calcula RPM y avance. Resultado: Fila en la hoja de procesos con la operación, herramienta y parámetros.
Operación "Extruir Saliente - Rectángulo"	Dimensiones de la pieza en bruto (Largo, Ancho, Alto).	Regla: La primera operación debe ser un "Planeado" de la cara superior. Consulta: Busca la fresa de planear adecuada. Resultado: Primera operación en la hoja de procesos.
Operación "Redondeo"	Radio del redondeo (ej. 3 mm).	Regla: Si hay redondeos exteriores, la operación es "Contorneado con fresa de punta esférica". Consulta: Busca la herramienta y parámetros. Resultado: Operación de acabado en la hoja de procesos.

Esta integración demuestra que es viable implementar soluciones de manufactura asistida por computadora eficientes utilizando herramientas tecnológicas ampliamente disponibles, optimizando la planificación sin requerir una alta inversión inicial.

2.6 Algoritmo de extracción y organización de datos

Un algoritmo de extracción y organización de datos es un conjunto de procedimientos sistemáticos que permiten obtener datos desde diferentes fuentes, limpiarlos, transformarlos y estructurarlos de manera ordenada para su uso posterior. Este tipo de algoritmos se emplea cuando se necesita trabajar con información proveniente de distintos formatos, sistemas o plataformas, y se requiere unificarla para análisis, almacenamiento o automatización de procesos.

Según Duque Méndez et al. (2016), este proceso se desarrolla dentro del marco conocido como ETL, que significa Extracción, Transformación y Carga. Este modelo sirve para integrar datos heterogéneos en un entorno unificado, como un repositorio o base de datos. El artículo explica que:

- **La etapa de extracción** consiste en obtener la información desde múltiples fuentes, que pueden ser archivos, sensores, sistemas digitales o bases de datos.
- **La etapa de transformación** aplica filtros, limpieza, estandarización y validaciones para garantizar que los datos sean consistentes, completos y útiles.
- **La etapa de carga** organiza y deposita los datos finales en una estructura que permita consultarlos y analizarlos de manera eficiente.

Los autores también señalan que este tipo de algoritmos es fundamental cuando se desea trabajar con datos complejos, ya que permite corregir errores, eliminar valores atípicos y asegurar que toda la información tenga un formato uniforme. Gracias a ello, los datos pueden ser utilizados sin ambigüedades, facilitando la generación de reportes, la toma de decisiones o la automatización de tareas.

En resumen, un algoritmo de extracción y organización de datos es una herramienta clave para transformar datos dispersos y desorganizados en información estructurada, coherente y lista para ser empleada en procesos técnicos o computacionales.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN

3.1 Enfoque metodológico

El presente trabajo posee un enfoque aplicado y tecnológico, ya que busca desarrollar una propuesta que permita mejorar la planificación de procesos de fresado, respondiendo a las necesidades actuales de la industria manufacturera. En muchos casos, la planificación manual de los procesos genera retrasos, errores y variabilidad en los resultados, lo que afecta directamente la productividad y el control del proceso.

Para abordar esta problemática, se adopta un método proyectivo, orientado al diseño y validación de un algoritmo CAPP (Planificación de Procesos Asistida por Computadora) que facilite la generación estructurada de hojas de proceso y contribuya a una toma de decisiones más ágil y precisa. Según Acosta Méndez y Ávila Rondón (2008), los sistemas CAPP integran información del diseño con las etapas de manufactura, permitiendo definir de manera sistemática las operaciones, herramientas y parámetros adecuados para cada pieza.

El desarrollo metodológico del proyecto se organiza en cuatro fases principales, que aseguran un proceso lógico y verificable:

1º Fase: Identificación del problema

Se realiza un análisis del proceso actual de planificación de operaciones de fresado, identificando las principales deficiencias relacionadas con el tiempo de preparación, la generación manual de hojas de proceso y la falta de estandarización en la selección de parámetros.

2º Fase: Diseño de la propuesta CAPP

En esta etapa se define la estructura del algoritmo, estableciendo las variables necesarias (como dimensiones de la pieza, tipo de operación, material y herramienta). Se plantea la secuencia lógica que permitirá que el sistema determine de manera coherente los procesos y parámetros de mecanizado.

3º Fase: Implementación y prueba del algoritmo

Se lleva a cabo la codificación del algoritmo empleando herramientas tecnológicas accesibles, junto con la preparación de una base de datos de operaciones y parámetros de corte. El sistema se aplica a una o más piezas de prueba para verificar su funcionamiento y su capacidad para generar hojas de proceso de forma estructurada.

4° Fase: Validación y análisis de resultados

Finalmente, se compara el desempeño del algoritmo con el método manual tradicional de planificación, evaluando indicadores como el tiempo de planificación, coherencia en la selección de procesos y precisión en los parámetros operativos. Esta fase permite comprobar si el uso del algoritmo contribuye efectivamente a una planificación más eficiente dentro del entorno de fresado.

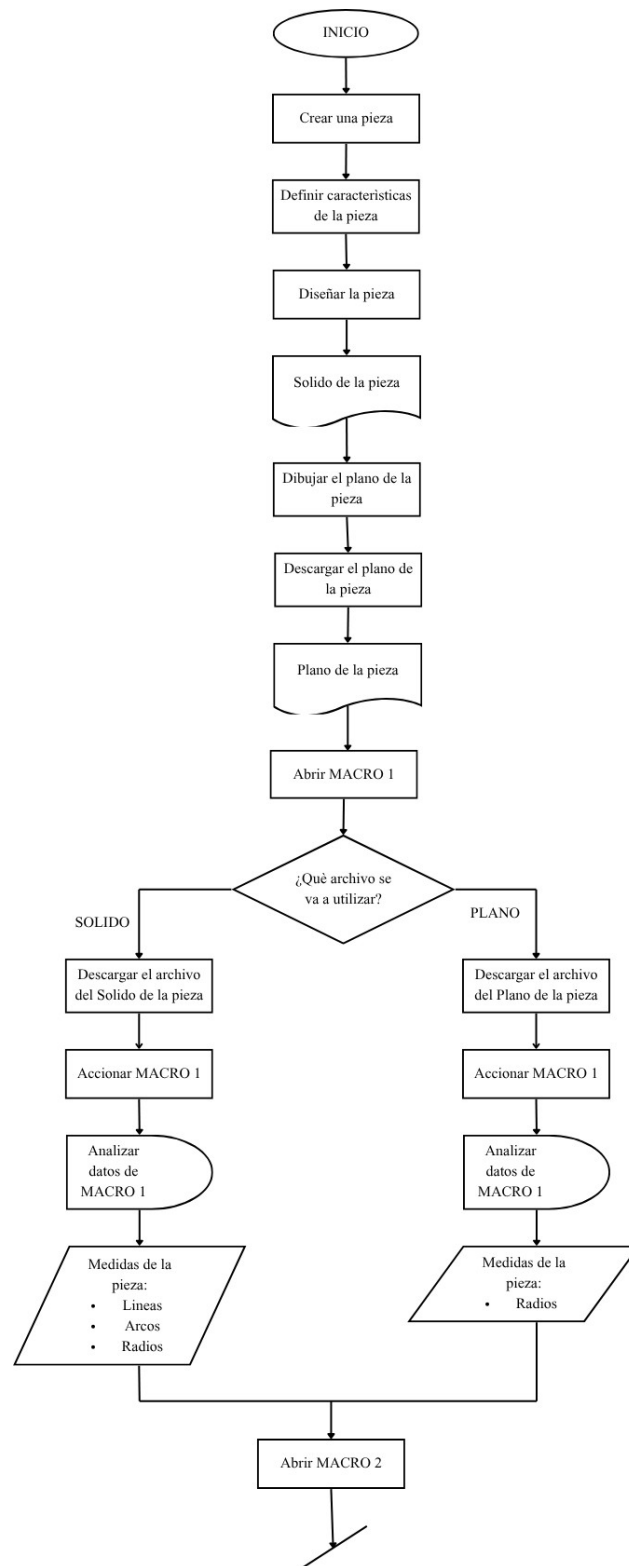
Con ello, se espera que el desarrollo del algoritmo CAPP brinde una herramienta práctica y de bajo costo que fortalezca la productividad y la estandarización de los procesos en entornos de manufactura.

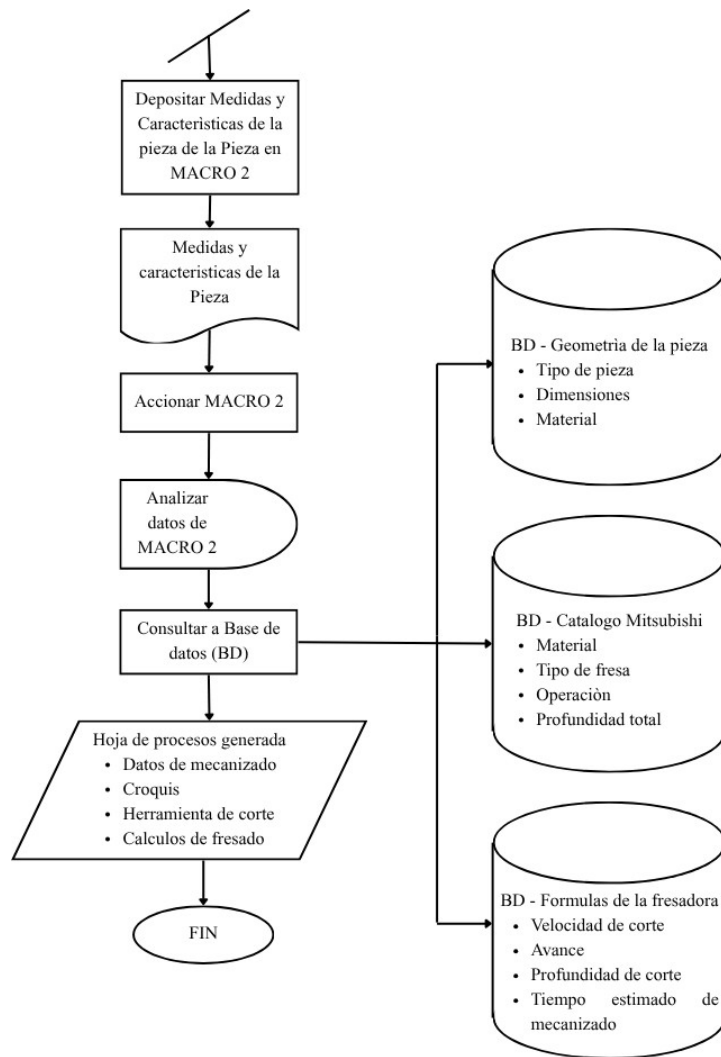
3.2.

Flujograma

Figura 6

Flujograma de algoritmo CAPP





A) Sustento de flujograma

El diagrama de flujo de la figura 3.1 muestra la secuencia lógica del funcionamiento del algoritmo CAPP, que busca alcanzar la automatización en la toma de datos para realizar un proceso de fresado a partir del diseño o planos de una pieza. En consecuencia, se obtienen los datos necesarios para el mecanizado de la pieza.

El proceso empieza con la creación y diseño de una pieza específica a través de algún aplicativo CAD, seguidamente delimitando sus características físicas. Luego, se dibuja el plano de la pieza para poder obtener los parámetros respectivos y se descarga dicho plano.

Después de la creación de la pieza, se abre la primera MACRO, en la cual se muestran 2 opciones, en las cuales se puede utilizar el sólido de la pieza o el plano de la pieza, en

ambas se acciona la macro y luego de ser analizado extrae las medidas de la pieza, sin embargo se obtendría un distinto listado de datos tanto en el sólido de la pieza (líneas, arcos y radios) como en el plano de la pieza (radios). A partir de las medidas y las características de la pieza, se podrá accionar la segunda MACRO.

En la MACRO 2 se digitalizan estos datos y luego se acciona. Dentro del análisis realizado de las medidas y características por la MACRO 2, consulta a la base de datos vinculada a la geometría de la pieza, el catálogo Mitsubishi y las Fórmulas del fresado. En esta última parte del algoritmo analiza los datos y añade información a partir de las bases de datos en función a los datos de la pieza lo cual es vital para el proceso de mecanizado.

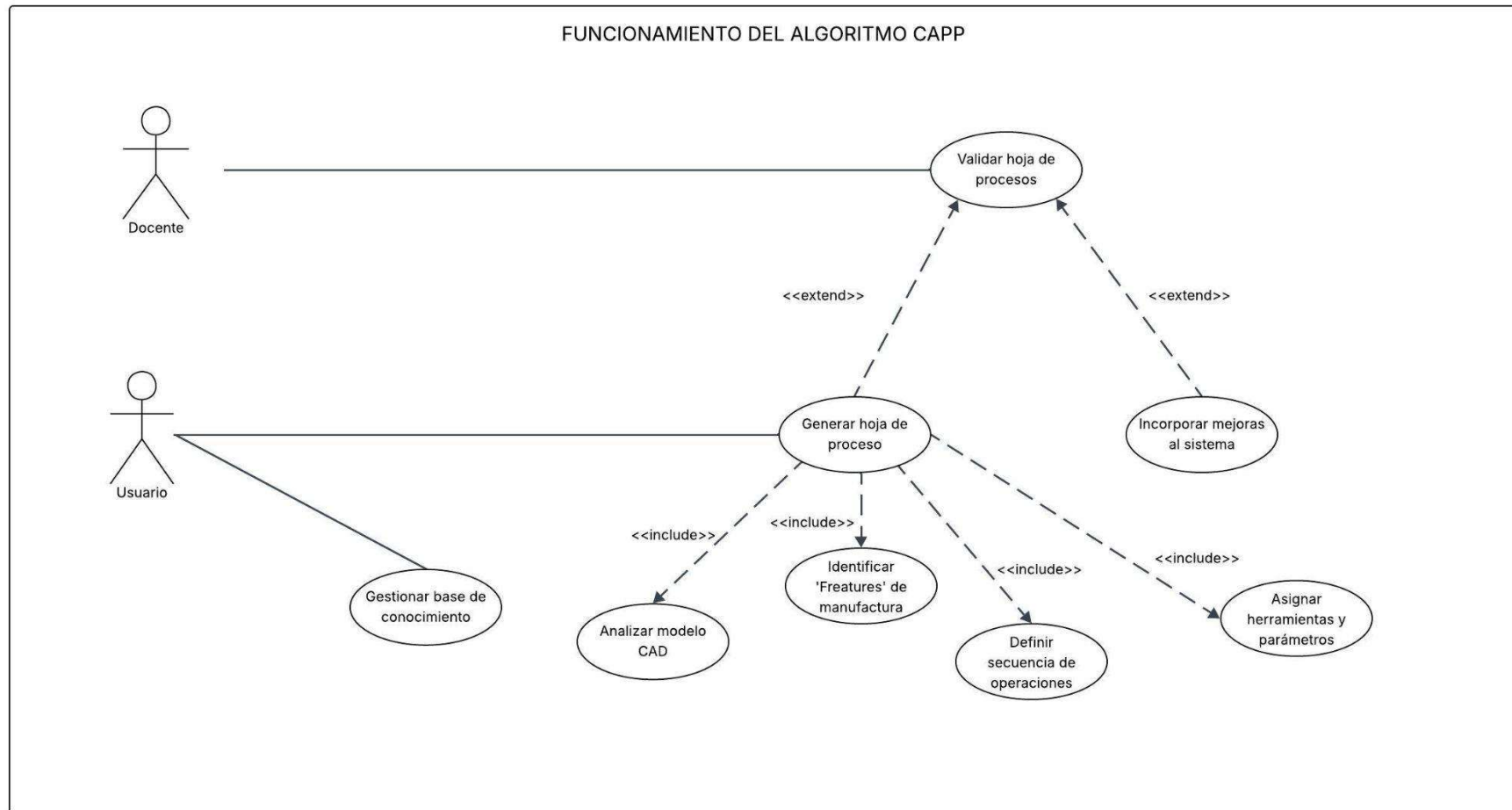
Finalmente se obtendrá como resultado en formato Excel una Hoja de procesos generada automáticamente, mostrando Datos de mecanizado, Croquis, Herramienta de corte y Cálculos del fresado. A partir de los datos entregados se obtendrá lo necesario para ejecutar la Hoja de procesos para la pieza seleccionada, y se realizará el mecanizado de fresado.

De esta manera, se elimina el porcentaje de error al realizar cálculos manuales, ya que los datos cuantitativos serán proporcionados directamente, minimizando el tiempo de preparación y, en consecuencia, estandarizando la producción y optimizando el tiempo total de trabajo.

3.3 Diagrama de caso de uso

Figura 7

Diagrama de caso de uso del algoritmo CAPP



A) Sustentación del diagrama de caso de uso

El diagrama de caso de uso presentado da a entender la funcionalidad que posee nuestro sistema CAPP para poder ejecutar correctamente las macros realizadas y de esta manera obtener la Hoja de Proceso, visualizando los datos requeridos tanto del sólido como de la fresadora.

Para ello se cuentan con dos actores, es decir, las personas o entidades que actúan con el sistema. En este caso sería el Usuario, persona que está a cargo de realizar el programa, y el Docente que verificará el proyecto y dará el visto bueno para que este se lleve a cabo.

Asimismo, se detallan los Casos de Uso (los óvalos), estableciendo así las relaciones «include» y «extend» para identificar cómo es la interacción que realiza el sistema.

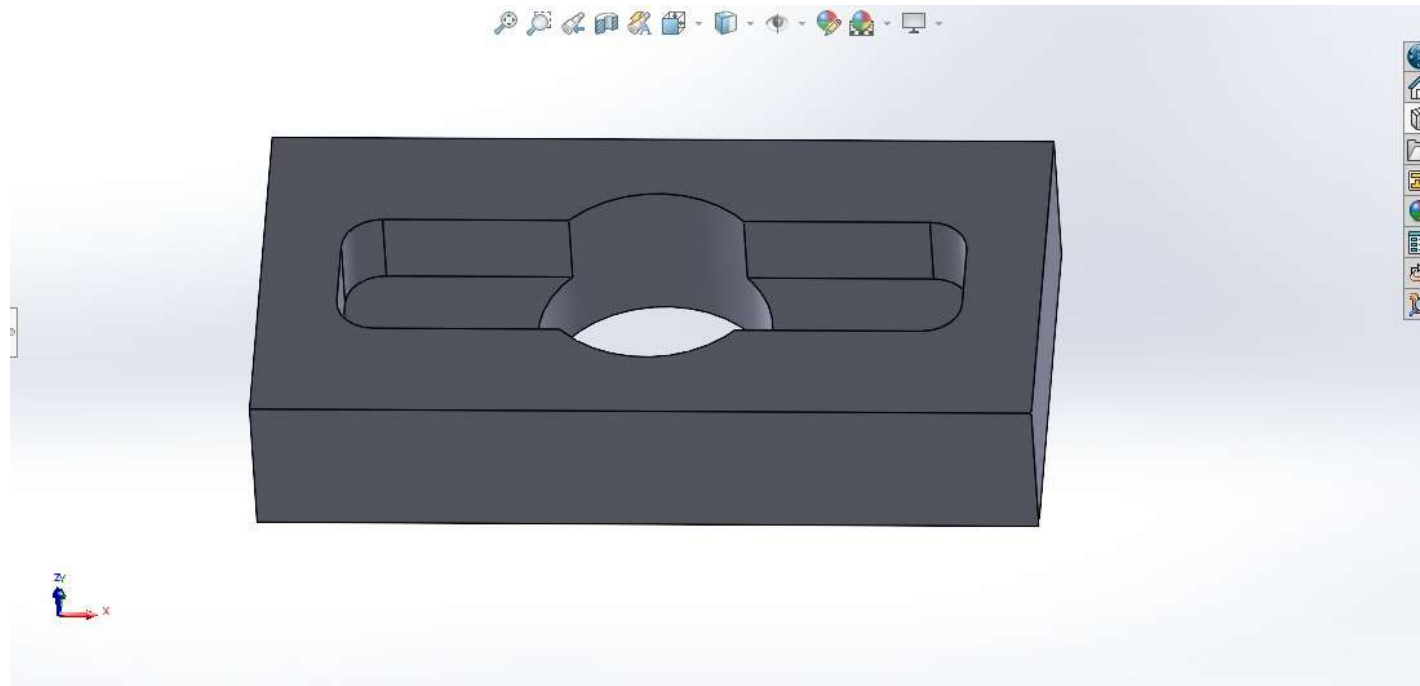
3.4. Aplicación

La aplicación del algoritmo CAPP desarrollado en este proyecto se realizó utilizando dos herramientas accesibles y de bajo costo. Solidworks para la obtención de datos geométricos de la pieza, y excel para la ejecución del algoritmo, el cálculo automático de parámetros y la generación de la hoja de proceso. Una vez ingresado los datos el algoritmo identificó las operaciones requeridas

3.5. Planos

Figura 8

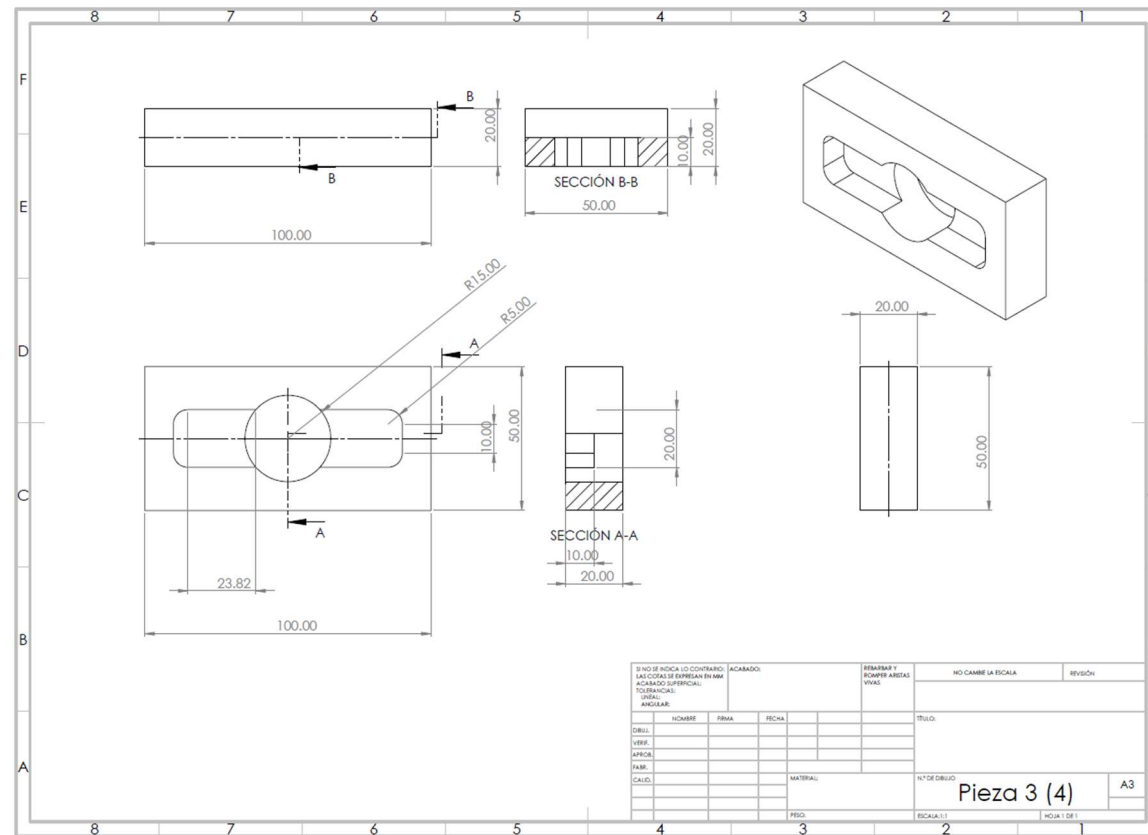
Solido de la pieza



Fuente: SolidWorks

Nota: En la Figura 8 se muestra la pieza en R3.

Plano de la pieza



Fuente: SolidWork

Nota: En la Figura 9 se muestra el plano de la pieza que se va a mecanizar para este proyecto.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Primer algoritmo

4.1.1. Codificación del algoritmo

Option Explicit

Sub main()

Dim swApp As Object

Dim swModel As ModelDoc2

Set swApp = Application.SldWorks

Set swModel = swApp.ActiveDoc

If swModel Is Nothing Then

MsgBox "No hay documento activo en SolidWorks.", vbExclamation

Exit Sub

End If

Select Case swModel.GetType

Case swDocPART, swDocASSEMBLY

Call ExportarLineasArcos(swModel)

Case swDocDRAWING

Call ExportarCotasPlanoAExcel(swModel)

Case Else

MsgBox "Tipo de documento no soportado.", vbCritical

End Select

End Sub

' =====

' === EXPORTADOR DE LÍNEAS, ARCOS Y PROFUNDIDADES (MODELO) ===

```

' =====
Private Sub ExportarLineasArcos(swModel As ModelDoc2)
    On Error GoTo ERRH

    Dim swFeat As SldWorks.Feature
    Dim swSketch As SldWorks.Sketch
    Dim swApp As Object
    Dim xlApp As Object, xlWB As Object, xlSh As Object
    Dim row As Long
    Dim processed As Object

    Set swApp = Application.SldWorks
    Set processed = CreateObject("Scripting.Dictionary")

    ' === Crear Excel ===
    Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")
    xlApp.Visible = True
    Set xlWB = xlApp.Workbooks.Add
    Set xlSh = xlWB.Sheets(1)
    xlSh.Name = "Croquis del modelo"
    row = 1

    ' --- Agregar tabla de mecanizado al inicio ---
    Call InsertarTablaMecanizado(xlSh, row)
    row = row + 10

    With xlSh
        .Cells(row, 1).Value = "Exportación de segmentos - " & swModel.GetTitle
        .Rows(row).Font.Bold = True
    End With
    row = row + 2

```

' === Recorrer todas las features ===

Set swFeat = swModel.FirstFeature

Do While Not swFeat Is Nothing

If swFeat.GetTypeName2 = "ProfileFeature" Or swFeat.GetTypeName2 = "Sketch" Then

Set swSketch = swFeat.GetSpecificFeature2

Call ProcesarCroquis(swSketch, swFeat.Name, xlSh, row, processed)

End If

Dim swSub As SldWorks.Feature

Set swSub = swFeat.GetFirstSubFeature

Do While Not swSub Is Nothing

If swSub.GetTypeName2 = "ProfileFeature" Or swSub.GetTypeName2 = "Sketch" Then

Set swSketch = swSub.GetSpecificFeature2

Call ProcesarCroquis(swSketch, swSub.Name, xlSh, row, processed)

End If

Set swSub = swSub.GetNextSubFeature

Loop

Set swFeat = swFeat.GetNextFeature

Loop

xlSh.Columns("A:K").AutoFit

MsgBox "Exportación de croquis completada.", vbInformation

Exit Sub

ERRH:

MsgBox "Error (modelo): " & Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical

End Sub

```

' =====
' === PROCESAR CADA CROQUIS =====
' =====

Private Sub ProcesarCroquis(swSketch As SldWorks.Sketch, nombre As String, xlSh As Object, ByRef
row As Long, processed As Object)

    On Error Resume Next

    If swSketch Is Nothing Then Exit Sub

    If processed.Exists(nombre) Then Exit Sub

    processed.Add nombre, True

    Dim vSegs As Variant, seg As Object
    vSegs = swSketch.GetSketchSegments
    If IsEmpty(vSegs) Then Exit Sub

    xlSh.Cells(row, 1).Value = "Croquis: " & nombre
    xlSh.Rows(row).Font.Bold = True
    row = row + 1

    ' --- Encabezados actualizados ---
    xlSh.Cells(row, 1).Resize(1, 11).Value = Array("ID", "Tipo", "X1", "Y1", "Z1", "X2", "Y2", "Z2",
"Longitud [mm]", "Radio [mm]", "Profundidad [mm]")
    xlSh.Rows(row).Font.Bold = True
    row = row + 1

    Dim i As Long
    For i = LBound(vSegs) To UBound(vSegs)

        Set seg = vSegs(i)

        If seg Is Nothing Then GoTo NextSeg

        xlSh.Cells(row, 1).Value = i + 1

        Select Case seg.GetType

```

Exit Sub

ERRH:

MsgBox "Error (plano): " & Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical

End Sub

' =====

' === TABLA DE DATOS DE MECANIZADO (ACTUALIZADA) =====

' =====

Private Sub InsertarTablaMecanizado(xlSh As Object, ByRef fila As Long)

With xlSh

 ' Título general

 .Cells(fila, 1).Value = "DATOS DE ENTRADA (pieza + condiciones de corte)"

 .Rows(fila).Font.Bold = True

 fila = fila + 2

 ' --- Encabezados ---

 .Cells(fila, 1).Resize(1, 5).Value = Array("Parámetro", "Símbolo", "Valor", "Unidad",
"Descripción")

 .Rows(fila).Font.Bold = True

 fila = fila + 1

 ' --- Datos técnicos (basados en los parámetros reales) ---

 .Cells(fila, 1).Value = "Material": .Cells(fila, 2).Value = "—": .Cells(fila, 3).Value = "Acero carbono
(ISO-P)": .Cells(fila, 4).Value = "—": .Cells(fila, 5).Value = "Tipo de material": fila = fila + 1

 .Cells(fila, 1).Value = "Radio mayor": .Cells(fila, 2).Value = "R": .Cells(fila, 3).Value = 15: .Cells(fila,
4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Radio más grande de la pieza": fila = fila + 1

 .Cells(fila, 1).Value = "Profundidad total (desbaste)": .Cells(fila, 2).Value = "ap?": .Cells(fila,
3).Value = 20: .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Profundidad máxima mecanizada":
fila = fila + 1

 .Cells(fila, 1).Value = "Profundidad de acabado": .Cells(fila, 2).Value = "ap?": .Cells(fila, 3).Value =
10: .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Pasada final de acabado": fila = fila + 1

```
.Cells(fila, 1).Value = "Diámetro de fresa": .Cells(fila, 2).Value = "D": .Cells(fila, 3).Value = 50:  
.Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Fresa plana o de escuadrado": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Número de dientes": .Cells(fila, 2).Value = "z": .Cells(fila, 3).Value = 4:  
.Cells(fila, 4).Value = "—": .Cells(fila, 5).Value = "Dientes activos de corte": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Velocidad de corte (desbaste)": .Cells(fila, 2).Value = "Vc1": .Cells(fila, 3).Value = 200: .Cells(fila, 4).Value = "m/min": .Cells(fila, 5).Value = "Condición según catálogo (ASX445)": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Velocidad de corte (acabado)": .Cells(fila, 2).Value = "Vc2": .Cells(fila, 3).Value = 250: .Cells(fila, 4).Value = "m/min": .Cells(fila, 5).Value = "Condición según catálogo (AXD4000)": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Avance por diente (desbaste)": .Cells(fila, 2).Value = "fz1": .Cells(fila, 3).Value = 0.15: .Cells(fila, 4).Value = "mm/diente": .Cells(fila, 5).Value = "Catálogo Mitsubishi": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Avance por diente (acabado)": .Cells(fila, 2).Value = "fz2": .Cells(fila, 3).Value = 0.08: .Cells(fila, 4).Value = "mm/diente": .Cells(fila, 5).Value = "Catálogo Mitsubishi": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Profundidad de pasada (desbaste)": .Cells(fila, 2).Value = "ap1": .Cells(fila, 3).Value = 5: .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Por cada pasada": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Profundidad de pasada (acabado)": .Cells(fila, 2).Value = "ap2": .Cells(fila, 3).Value = 1: .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Por cada pasada final": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Ancho de corte": .Cells(fila, 2).Value = "ae": .Cells(fila, 3).Value = "60% D = 30": .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Fracción del diámetro de la fresa": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Longitud de pasada": .Cells(fila, 2).Value = "L": .Cells(fila, 3).Value = 100: .Cells(fila, 4).Value = "mm": .Cells(fila, 5).Value = "Recorrido total de fresado": fila = fila + 1
```

```
.Cells(fila, 1).Value = "Coeficiente Kc": .Cells(fila, 2).Value = "Kc": .Cells(fila, 3).Value = 1800: .Cells(fila, 4).Value = "N/mm²": .Cells(fila, 5).Value = "Constante del material (acero carbono)": fila = fila + 1
```

```
' --- Dar formato general ---
```

```
.Range(.Cells(fila - 15, 1), .Cells(fila - 1, 5)).Borders.LineStyle = 1
```

```
.Columns("A:E").AutoFit
```

```
End With
```

```
End Sub
```

4.1.2. Resultados de la primer algoritmo

- **En caso de importar el archivo del sólido de la pieza**

Exportación de segmentos - Pieza 3 (5)										
Croquis: Croquis1										
ID	Tipo	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio [mr	Profundidad [mm]
	1 Línea		50	25	0	-50	25	0	100	
	2 Línea		50	25	0	50	-25	0	50	
	3 Línea		50	-25	0	-50	-25	0	100	
	4 Línea		-50	25	0	-50	-25	0	50	
	5 Línea		50	25	0	-50	-25	0	111.8	
	6 Línea		50	-25	0	-50	25	0	111.8	
Croquis: Croquis2										
ID	Tipo	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud [r	Radio [mm]	Profundidad [mm]
	1 Arco		0	0	0	14.34	4.39	0	15	
Croquis: Croquis3										
ID	Tipo	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud [r	Radio [mm]	Profundidad [mm]
	1 Línea		40	-10	0	-40	-10	0	80	
	2 Línea		40	-10	0	40	10	0	20	
	3 Línea		40	10	0	-40	10	0	80	
	4 Línea		-40	-10	0	-40	10	0	20	
	5 Línea		40	-10	0	-40	10	0	82.46	
	6 Línea		40	10	0	-40	-10	0	82.46	

- **En caso de importar el archivo del plano de la pieza**

DATOS DE ENTRADA (pieza + condiciones de corte)			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad Descripción
Material	—	Acero carbono (ISC)	— Tipo de material
Radio mayor	R	15	mm Radio más grande de la pieza
Profundidad total (desbaste)	ap?	20	mm Profundidad máxima mecanizada
Profundidad de acabado	ap?	10	mm Pasada final de acabado
Diámetro de fresa	D	50	mm Fresa plana o de esquadro
Número de dientes	z	4	— Dientes activos de corte
Velocidad de corte (desbaste)	Vc1	200	m/min Condición según catálogo (ASX445)
Velocidad de corte (acabado)	Vc2	250	m/min Condición según catálogo (AXD4000)
Avance por diente (desbaste)	fz1	0.15	mm/diente Catálogo Mitsubishi
Avance por diente (acabado)	fz2	0.08	mm/diente Catálogo Mitsubishi
Profundidad de pasada (desbaste)	ap1	5	mm Por cada pasada
Profundidad de pasada (acabado)	ap2	1	mm Por cada pasada final
Ancho de corte	ae	60% D = 30	mm Fracción del diámetro de la fresa
Longitud de pasada	L	100	mm Recorrido total de fresado
Coefficiente Kc	Kc	1800	N/mm² Constante del material (acero carbono)

Nombre de Cota	Valor (mm)	Tipo
RD1@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	50	Longitud
RD2@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	100	Longitud
RD3@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	5	Radio
RD4@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	5	Radio
RD5@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	5	Radio
RD6@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	5	Radio
RD7@Vista de dibujo1@Pieza 3 (5).Drawing	15	Radio

4.2. Segundo algoritmo

4.2.1. Codificación de la segunda algoritmo

Option Explicit

Sub GenerarHojaProceso()

Dim sh As Worksheet

Dim fila As Long

' Crear hoja nueva

Set sh = Sheets.Add

sh.Name = "PROCESS"

' =====

' ENCABEZADO

' =====

sh.Range("A1").Value = "HOJA DE PROCESO"

sh.Range("A3").Value = "CODIGO DE PLANO"

sh.Range("B3").Value = "PZA-001"

sh.Range("D3").Value = "HOJA N°"

sh.Range("E3").Value = 1

sh.Range("A4").Value = "MATERIAL"

sh.Range("B4").Value = "Acero carbono"

sh.Range("A5").Value = "DIMENSIONES EN BRUTO"

sh.Range("B5").Value = "100 x 50 x 20 mm"

sh.Range("D4").Value = "FECHA"

sh.Range("E4").Value = Format(Date, "dd/mm/yyyy")

sh.Range("D5").Value = "CODIGO"

sh.Range("E5").Value = "PROC-01"

```
' === BORDES ENCABEZADO ===
```

```
sh.Range("A1:E5").Borders.LineStyle = xlContinuous
```

```
fila = 7
```

```
' =====
```

```
' CABECERAS DE TABLA
```

```
' =====
```

```
sh.Range("A" & fila).Value = "M"
```

```
sh.Range("B" & fila).Value = "P"
```

```
sh.Range("C" & fila).Value = "OPE"
```

```
sh.Range("D" & fila).Value = "DESIGNACION"
```

```
sh.Range("E" & fila).Value = "OPERACION"
```

```
sh.Range("F" & fila).Value = "CROQUIS"
```

```
sh.Range("G" & fila).Value = "HERRAMIENTAS"
```

```
sh.Range("H" & fila).Value = "N (rpm)"
```

```
sh.Range("I" & fila).Value = "LF"
```

```
sh.Range("J" & fila).Value = "TCT (min)"
```

```
' === BORDES CABECERA TABLA ===
```

```
sh.Range("A" & fila & ":J" & fila).Borders.LineStyle = xlContinuous
```

```
fila = fila + 1
```

```
' =====
```

```
' DATOS
```

```
' =====
```

```
Dim Operaciones As Variant
```

```
Operaciones = Array("Desbaste Superior", "Desbaste Intermedio", "Acabado Superior", "Acabado Final")
```

Dim Imagenes As Variant

Imagenes = Array("opera 1.png", "opera 2.png", "opera 3.png", "opera 4.png")

Dim Herramientas As Variant

Herramientas = Array("Fresa Ø50 – ASX445", "Fresa Ø50 – ASX445", "Fresa Ø50 – AXD4000",
"Fresa esférica Ø10")

Dim Descripciones As Variant

Descripciones = Array("Remoción del material principal", "Perfilado general", "Acabado fino",
"Acabado de curvaturas")

Dim ParamN As Variant: ParamN = Array(2500, 2500, 3000, 3200)

Dim LF As Variant: LF = Array(0.2, 0.18, 0.15, 0.12)

Dim ruta As String

ruta = "C:\Users\USER\Desktop\operaciones\"

Dim i As Long, tiempoTotal As Double, tiempo As Double

Dim celda As Range, pic As Picture, imgPath As String

' AJUSTES

sh.Columns("F").ColumnWidth = 20

sh.Columns("A:J").WrapText = True

' =====

' INSERCIÓN DE OPERACIONES

' =====

For i = 0 To UBound(Operaciones)

sh.Rows(fila).RowHeight = 80

sh.Range("A" & fila).Value = "Fresa CNC"

```

sh.Range("B" & fila).Value = "Fresado"
sh.Range("C" & fila).Value = i + 1
sh.Range("D" & fila).Value = Descripciones(i)
sh.Range("E" & fila).Value = Operaciones(i)
sh.Range("G" & fila).Value = Herramientas(i)
sh.Range("H" & fila).Value = ParamN(i)
sh.Range("I" & fila).Value = LF(i)

tiempo = (100 / (ParamN(i) * LF(i))) * 5
tiempoTotal = tiempoTotal + tiempo
sh.Range("J" & fila).Value = Round(tiempo, 2)

sh.Range("A" & fila & ":J" & fila).WrapText = True

' === INSERTAR IMAGEN ===
imgPath = ruta & Imagenes(i)
Set celda = sh.Range("F" & fila)
Set pic = sh.Pictures.Insert(imgPath)

With pic
    .ShapeRange.LockAspectRatio = msoTrue
    .Width = celda.Width - 10
    .Height = celda.Height - 10
    .Left = celda.Left + (celda.Width - .Width) / 2
    .Top = celda.Top + (celda.Height - .Height) / 2
    .Placement = xlMoveAndSize
End With

fila = fila + 1
Next i

```

4.2.2. Resultados de la segunda macro

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	HOJA DE PROCESO												
2													
3	CODIGO DE PLANO	P2A-001		HOJAN°	1								
4	MATERIAL	Acero carburo		FECHA	20/11/2025								
5	DIMENSIONES EN BRUTO	100 x 50 x 20 mm		CODIGO	PROC-01								
6													
7	M	P	OPE	DESIGNACION	OPERACION	CROQUIS	HERRAMIENTAS	N (rpm)	LF	TCT (min)			
8	Fresa CNC	Fresada	1	Formación del material principal	Desbaste Superior		Fresa Ø50 - ASH445	2500	0.2	1			
9	Fresa CNC	Fresada	2	Perfilado general	Desbaste Intermedia		Fresa Ø50 - ASH445	2500	0.18	1.11			
10	Fresa CNC	Fresada	3	Acabado fina	Acabado Superior		Fresa Ø50 - ASH4000	3000	0.15	1.11			
11	Fresa CNC	Fresada	4	Acabado de curvaturas	Acabado Final		Fresa esférica Ø10	3200	0.12	1.3			
12													
13													
14	1.- Total de Herramientas	4											
15	2.- Tiempo de Cambio H	2											
16	3.- Tiempo total	4.52											

CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA

5.1. Anexos

La planificación manual implica que un especialista revise cada plano y determine los procesos necesarios. Esta actividad demanda un tiempo considerable y genera un costo directamente proporcional a las horas invertidas. Toda operación que requiera intervención humana incrementa el costo debido al consumo de tiempo estándar y recursos asociados.

En contraste, el algoritmo CAPP desarrollado automatiza tareas como la lectura geométrica, la selección de herramientas y la generación de hojas de proceso. Esto reduce el tiempo requerido para la revisión, por lo que el costo también disminuye. Al analizar 100 datos reales de tiempos de revisión manual, se observa un tiempo entre 30 - 50 minutos por plano.

Con el uso del algoritmo, este tiempo se reduce a menos de 8 minutos, lo que representa una disminución superior al 85% en el costo asociado a la planificación. Por ello, la implementación del sistema CAPP resulta económicamente más favorable frente al proceso manual.

Costo hora - hombre (Ingeniero): S/ por hora.

Tiempo manual promedio obtenido de los 100 datos:

→ 40 minutos por plano.

Tiempo usando CAPP:

→ 6 minutos por plano.

ID	Tiempo_min
1	6.325
2	3.13
3	4.43
4	4.161
5	6.83
6	6.519
7	7.639
8	3.452
9	5.194
10	3.155
80	4.282
81	5.919
82	4.366
83	6.04
84	7.669
85	5.077
86	5.9
87	8.187
88	5.65
89	3.473
90	3.245
91	3.57
92	6.263
93	7.119
94	5.4
95	3.33
96	4.984
97	8.18
98	5.751
99	8.05
100	7.476
TOTAL =	551.336
X =	6

Conversión a horas:

Tiempo manual a horas:

40 minutos x 1 hora / 60 minutos = 0,67 horas

Tiempo usando CAPP:

6 minutos x 1 hora / 60 minutos = 0,10 horas

5.2. Variables

- **Variable independiente**

Implementación de algoritmo CAPP

- **Variable dependiente**

Automatización de la hoja de proceso para mecanizar el fresado

5.3. Cuadro de variables

	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES
GENERAL	¿Cómo influye la implementación de un algoritmo CAPP en la mejora de la productividad en el proceso de planificación de operaciones de fresado en una empresa del sector manufacturero?	Diseñar e implementar un algoritmo CAPP que permita mejorar la planificación de los procesos de fresado de piezas de acero al carbono, reduciendo los tiempos de preparación y mejorando la productividad.	Si se implementa un algoritmo CAPP para operaciones de fresado, se logrará una mejora en la productividad y una reducción del tiempo de planificación en los procesos de mecanizado de piezas de acero al carbono.	VI: Implementación del algoritmo CAPP VD: Productividad y tiempo de planificación
ESPECÍFICO 1	¿De qué manera la implementación de un algoritmo CAPP contribuye a mejorar la organización y secuencia de las operaciones de fresado en piezas de acero al carbono?	Elaborar un algoritmo CAPP que organice y defina las operaciones básicas del proceso de fresado.	La implementación de un algoritmo CAPP permitirá mejorar la eficiencia en la secuencia y selección de operaciones de fresado, contribuyendo a una mayor eficiencia del proceso productivo.	VI: Organización y secuencia mediante CAPP VD: Eficiencia de operaciones
ESPECÍFICO 2	¿De qué manera influye el uso de un algoritmo CAPP en la reducción del tiempo para la eficiencia del proceso de planificación y la precisión de los parámetros de mecanizado durante el proceso de fresado?	Evaluar la eficiencia del algoritmo CAPP en la reducción del tiempo de preparación durante la planificación de procesos.	El uso de un algoritmo CAPP facilitará la generación estructurada de hojas de proceso, reduciendo los tiempos de preparación y aumentando la precisión en las decisiones de mecanizado.	VI: Generación de hojas de proceso mediante CAPP VD: Tiempo de preparación y precisión de mecanizado

5.4. Diagrama de Gantt

N°	Actividad	Tarea	TIEMPO DE DESARROLLO DEL PROYECTO (SEMANAS)												
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1	Detección del problema	Detección de la necesidad de automatización													
		Determinación de integrar el sistema de CAPP													
		Redacción del problema													
		Justificación del problema													
2	Beneficios en función a la mejora mediante el algoritmo	Análisis de los beneficios al implementar el algoritmo													
		Definir el software a utilizar													
		Redacción de la hipótesis													
		Redacción de los objetivos													
3	Diseño del algoritmo	Definición de entradas: plano o archivo de la pieza													
		Definición de salidas: Hoja de proceso													
		Construcción de reglas lógicas a utilizar en la codificación													
		Validación lógica del flujo													
4	Codificación y prueba del algoritmo	Dibujo de la pieza a mecanizar													
		Creación de la base de datos para la primera MACRO													
		Programación para la obtención de datos de la primera MACRO													
		Extracción de los datos en la primera MACRO													
		Creación de la base de datos para la segunda MACRO													
		Programación para la obtención de datos de la primera MACRO													
		Ejecución del algoritmo con el archivo o plano de la pieza													
5	Validación del algoritmo	Comparación de los resultados con una Hoja de procesos hecha a mano													
		Análisis de los resultados													
		Ajustar a partir de las observaciones													
		Conclusiones a partir de los resultados													

Referencias bibliográficas

- Chang, T. C., Wysk, R. A., & Wang, H. P. (2006). *Computer-Aided Manufacturing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Groover, M. P. (2012). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (5th ed.). Wiley.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.
- Lynch, M. (2017). *Computer Numerical Control for Machining*. McGraw-Hill Education.
- S-DC Publications. (2021). *SOLIDWORKS 2021 and Engineering Graphics: An Integrated Approach*. SDC Publications.
- Toogood, R. (2015). *SOLIDWORKS 2015: A Tutorial Approach*. SDC Publications.
- Duque Méndez, N. D., Hernández Leal, E. J., Pérez Zapata, Á. M., Arroyave Tabares, A. F., & Espinosa Gómez, D. A. (2016). *Modelo para el proceso de extracción, transformación y carga en bodegas de datos. Una aplicación con datos ambientales*. Ciencia e Ingeniería

DOCS USADOS

Papers:

- <https://eprints.uklo.edu.mk/id/eprint/9375/1/An%20Example%20of%20Applicat%20ion%20for%20Custom%20Design.pdf>
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2015/425689>
- https://www.researchgate.net/publication/277041013_Sistema_CAPP_para_la_Generacion_de_tecnologias_de_maquinado

Libros:

- <https://es.scribd.com/document/288947799/Computer-AIDED-Manufacturing>

- [https://www.academia.edu/43136552/Fundamentals of Modern Manufacturing Mat](https://www.academia.edu/43136552/Fundamentals_of_Modern_Manufacturing_Mat)
- <https://dl.ojocv.gov.et/admin /book/Manufacturing%20Engineering%20And%20Technology%20Seventh%20Edition%20By%20Steven%20R.%20Schmid%20and%20Serope%20Kalpakjian.pdf>
- [https://www.academia.edu/33391677/Computer Numerical Control Machines An Account of Programming Methods and Techniques](https://www.academia.edu/33391677/Computer_Numerical_Control_Machines_An_Account_of_Programming_Methods_and_Techniques)
- <https://static.sdcpublications.com/pdfsamples/978-1-63057-407-9-2-fw95cch1nj.pdf>
- <https://static.sdcpublications.com/pdfsamples/978-1-63057-423-9-3-op3fz2fy0e.pdf>
- <https://static.sdcpublications.com/pdfsamples/978-1-58503-924-1-1.pdf>
- <https://es.scribd.com/document/382619391/Ingenieria-Industrial-Niebel-Libro>
- <https://www.redalyc.org/journal/911/91146925006/html>