

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN**  
**“OSCAR LUCERO MOYA”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CENTRO DE ESTUDIOS CAD/CAM**



**SELECCIÓN AUTOMATIZADA DE LA PIEZA EN BRUTO Y LA FORMA DE LA  
HERRAMIENTA DE CORTE EN SISTEMAS CAPP DE MAQUINADO**

Tesis presentada en opción del título de Máster en CAD/CAM

**YUSIMIT KARINA ZAMORA HERNÁNDEZ**

**Holguín 2011**

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN**  
**“OSCAR LUCERO MOYA”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CENTRO DE ESTUDIOS CAD/CAM**



**SELECCIÓN AUTOMATIZADA DE LA PIEZA EN BRUTO Y LA FORMA DE LA  
HERRAMIENTA DE CORTE EN SISTEMAS CAPP DE MAQUINADO**

Tesis presentada en opción del título de Máster en CAD/CAM

AUTOR: ING. YUSIMIT KARINA ZAMORA HERNÁNDEZ

TUTORES: DR. C. ROBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

DR. C. RICARDO ÁVILA RONDÓN

**Holguín 2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre y mi abuela por nunca perder la fe en mí.

A mis directores de tesis Roberto Pérez Rodríguez y Ricardo Ávila Rondón por orientarme el camino a lo largo de esta investigación.

A Arlys M. Lastres Aleaga por su apoyo incondicional y sincera amistad.

A los profesores del Centro de Estudios CAD/CAM, por su enseñanza y gran ayuda y en especial a Raúl Santana Milán.

## **DEDICATORIA**

A mi madre y abuela.

## **RESUMEN**

El actual nivel de competitividad empresarial y la inevitable globalización de los mercados exigen a las empresas industriales, como uno de sus objetivos principales, la reducción de los costos de producción a través de la reducción paulatina de los tiempos de fabricación. La presente investigación comprende el estudio acerca de la disminución de los volúmenes de maquinado, con una correcta selección de la pieza en bruto combinada con la selección de la herramienta de corte para mecanizar la pieza. Como resultado práctico se ha obtenido una aplicación soportada sobre AutoCAD y creada a través del lenguaje de programación AutoLISP orientada a un sistema CAD/CAPP para el maquinado de piezas rotacionales simétricas.

Palabras clave: Selección, Piezas en bruto, CAPP, Herramienta de corte.

## **ABSTRACT**

The current level of managerial competitiveness and the unavoidable globalization of the markets demand to the industrial companies, like one of their main objectives, the reduction of the production costs through the gradual reduction of the times of production. The present investigation understands the study about the decrease of the volumes machining, with a correct selection of the workpiece combined with the selection of the cut tool to mechanize the piece. As a result practical an application has been obtained supported on AutoCAD and created through the programming language AutoLISP guided to a system CAD / CAPP for machining of pieces symmetrical rotacionales.

Key Words: Selection, Workpieces, CAPP, Cut Tool.

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
1 CARACTERÍSTICAS Y REGULARIDADES DE LOS ELEMENTOS DE FORMA EN LOS SISTEMAS CAPP .....	4
1.1 ANTECEDENTES FUNDAMENTALES RELACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (SISTEMAS CAPP) .....	4
1.1.1 Aspectos generales de la integración CAD/CAPP/CAM.....	5
1.1.2 Planificación de los procesos de manufactura.....	7
1.2 ANTECEDENTES FUNDAMENTALES RELACIONADOS CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE FORMA .....	10
1.3 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS EN BRUTO .....	13
1.4 CONCLUSIONES.....	14
2 CONCEPCIÓN DE LA HERRAMIENTA AUTOMATIZADA PARA LA SELECCIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO CON LA FORMA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE .....	15
2.1 INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO CON LA FORMA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE .....	15
2.1.1 Obtención de la información geométrica del modelo.....	17
2.1.2 Determinar el área de la sección transversal máxima .....	19
2.1.3 Selección de la pieza en bruto.....	20
2.1.4. Determinación de la operación de elaboración .....	21
2.1.5 Seleccionar la herramienta de corte .....	22
2.1.6 Selección de la calidad y el radio de la punta del inserto .....	25
2.1.7 Algoritmo del sistema de selección de las piezas en bruto y de las herramientas de corte.....	27

2.2	CONCLUSIONES.....	29
3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA SELECCIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO Y LAS HERRAMIENTAS DE CORTE.....	30
3.1	JUSTIFICACIÓN DEL SOPORTE DE SOFTWARE PARA LA HERRAMIENTA.....	30
3.2	INTERFACE DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	32
3.3	VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS ECONÓMICO Y SOCIAL .....	40
3.4	CONCLUSIONES.....	41
	CONCLUSIONES GENERALES.....	42
	RECOMENDACIONES .....	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## **INTRODUCCIÓN**

El actual nivel de competitividad empresarial y la inevitable globalización de los mercados exigen a las empresas industriales como uno de sus objetivos principales, la reducción de los costos de producción a través de la reducción paulatina de los tiempos de fabricación. Es por ello que cada vez toman más importancia, no únicamente las tecnologías derivadas directamente de los procesos productivos (FMS, CNC, CIM), sino también las empleadas en la ayuda del diseño y la toma de decisiones y más concretamente en la planificación de la producción. La tendencia actual a utilizar sistemas cada vez más automatizados, que prescindan al máximo de la acción humana en el ambiente productivo, llevan a la aparición de sistemas asistidos (CAD/CAM/CAE/CAPP) garantizando un mayor nivel de integración en la gestión.

La planificación de procesos de una pieza mecánica consiste en la preparación de un plan que especifica las rutas del proceso, operaciones tecnológicas, máquinas herramienta, elementos de fijación y herramientas para fabricar la pieza. La preparación de estos planes es una tarea compleja porque requiere el manejo de una base de conocimientos formada por una gran cantidad de datos, reglas y ecuaciones, con el objetivo de encontrar los planes más eficientes y económicos. El propósito de los sistemas CAPP consiste en la preparación de los planes de fabricación mediante el computador basado en las especificaciones de diseño, de manera que optimice el costo de manufactura, el tiempo de fabricación, la producción o la calidad del componente.

Uno de los grandes problemas que se encuentran en la integración entre el CAD y el CAPP es la interpretación indispensable de la geometría. La solución más factible es realizarla a través de elementos de forma, entendidos éstos como patrones específicos a la aplicación destino, para disponer de un modelo de la pieza que se corresponda con operaciones de mecanizado, no de diseño.

La selección de la geometría o característica de la pieza en bruto es un parámetro a tomar en cuenta en la ejecución del CAPP, por tanto, es importante la correcta

selección, que defina la obtención de una pieza con el menor costo posible y por consiguiente un producto competitivo en el mercado. Los ingenieros responsables de la planificación realizan este proceso de forma inexacta, es por ello que surge la necesidad de desarrollar una herramienta automatizada para la selección de la pieza en bruto y las herramientas de corte que permita un proceso de planificación de la fabricación asistida por computadoras para piezas tipo árbol. De aquí el siguiente **problema de investigación**:

¿Cómo seleccionar la adecuada pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte que permita un proceso de planificación de la fabricación asistida por computadoras para piezas tipo árbol?

**Objeto:** Proceso de maquinado en el torno.

**Campo:** La fabricación de las piezas tipo árbol.

**Hipótesis:** Con el desarrollo de una herramienta automatizada que garantice una adecuada selección de la pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte, se favorecerá el proceso de planificación de la fabricación asistida por computadoras para las piezas tipo árbol.

**Objetivo general:** Desarrollar una herramienta automatizada que permita una correcta selección de la pieza en bruto y de la forma de las herramientas de corte en sistemas CAPP para el maquinado de piezas tipo árbol.

**Tareas de investigación:**

- Revisar las normas existentes relacionadas con la selección de las piezas en bruto.
- Estudiar la bibliografía relacionada con el desarrollo de los elementos de forma en el diseño de productos y en los sistemas de planificación asistida por computadoras.
- Desarrollar una base de datos que contenga perfiles de piezas en bruto y características de las herramientas de corte.

- Desarrollar una herramienta automatizada para la selección de la pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte en sistemas CAPP para maquinado de piezas tipo árbol.

**Novedad científica:** La integración en una herramienta informática soportada en un ambiente CAD de la selección de piezas en bruto y las formas de las herramientas de corte, orientado a los sistemas CAPP de maquinado.

### **Métodos de investigación**

- Método histórico – lógico.

Permitió hacer una evaluación histórica del objeto de estudio a partir de los antecedentes teóricos del mismo.

- Criterio de expertos.

La programación de consultas con expertos en el tema para una correcta proyección de la investigación.

- Análisis y síntesis.

La presente investigación utilizó este método para llegar a un nuevo conocimiento a partir de la revisión bibliográfica.

- Programación algorítmica.

Para el desarrollo de la herramienta informática.

## **1 CARACTERÍSTICAS Y REGULARIDADES DE LOS ELEMENTOS DE FORMA EN LOS SISTEMAS CAPP**

Este capítulo presenta una visión general del trabajo de investigación en el proceso de planificación asistida por computadoras (CAPP) y enfocado principalmente en la parte del reconocimiento de características de forma en los sistemas CAD/CAM. En cada una de las temáticas de investigación se resaltan los autores más representativos y los aspectos más relevantes.

### **1.1 Antecedentes fundamentales relacionados con los sistemas de planificación de la producción (Sistemas CAPP)**

La preocupación sobre la planificación de procesos y sobre las metodologías utilizadas para su implantación es muy amplia. La planificación de procesos entendida como el acto de preparar instrucciones de operaciones detalladas para convertir un diseño de ingeniería en una pieza final contiene una riqueza de datos de fabricación importante, tales como la identificación de las máquinas herramienta, utillajes, selección de los parámetros de mecanizado, operaciones y requerimientos del diseño. Esta situación ayudó en su momento al desarrollo de un sistema para resolver la tarea de la planificación de procesos, lo que derivó en los sistemas conocidos como CAPP.

La Planificación de Procesos Asistida por Computadoras ha sido reconocida como una de las tareas más importantes en la investigación de la ingeniería de fabricación, en el esfuerzo de unir varios modelos en el ambiente de Fabricación Integrada por Computadoras (CIM) [Gecevska, V., Cus, F., Dukovski, V y Kusinovski, M.; 2006].

Los sistemas CAPP han sido desarrollados por innumerables investigadores para ayudar a establecer un puente entre el diseño asistido por computadoras (CAD) y la manufactura asistida por computadoras (CAM) a través de la mejora en la planificación de procesos [Zhou, X., Qiu, Y., Hua, G., Wang, H., Ruan, X.; 2007].

Bajo la estrategia de la manufactura integrada por computadora (Sistemas CIM) se ha desarrollado una estructura de integración que apoya el flujo de información entre los sistemas CAD, CAPP y con las actividades de control numérico (NC) dentro de la empresa [Lu, S., Cao, X., Cai, Z., Zeng, G., y Liu, T.;2007].

La revisión bibliográfica denota un considerable esfuerzo de investigación en la integración de la planificación asistida por computadora con el diseño asistido por computadora. Un componente importante de esta tarea es la extracción de las características de forma, relacionadas con el mecanizado en la representación CAD del producto. Este es un paso esencial para mejorar el reconocimiento donde la información de diseño es convertida en instrucciones de fabricación durante la planificación de procesos. Esta sección examina algunas de las contribuciones de las investigaciones más relevantes en este campo.

#### **1.1.1 Aspectos generales de la integración CAD/CAPP/CAM**

La integración en el contexto del CAD/CAPP/CAM se identifica como el enlace automático de las tareas de diseño y del proceso de producción. Las características principales de esta integración son: [Chandra, R.; 1997], [Ávila, R.R.; 1998].

- Los datos son transferidos automáticamente entre los diferentes módulos y grupos de usuarios del sistema.
- El sistema es controlado por un nivel superior con funciones de chequeo y control del flujo de datos entre los módulos.
- Los módulos del sistema funcionan en una interface común.

Frecuentemente se pasa por alto la planificación de procesos como un paso en la integración del CAD/CAM. Los sistemas CAD son orientados a generar datos gráficos y llegan incluso a identificar el material que debe ser maquinado durante la fabricación. A fin de producir instrucciones de Control Numérico Computarizado (CNC) para el equipamiento CAM, deben tomarse algunas decisiones básicas como: qué equipo se debe utilizar, qué herramientas y qué secuencia de

operaciones se deben seleccionar. Estas preguntas responden precisamente a la función del CAPP. Sin los elementos que componen los sistemas CAPP, no podría haber integración CAD/CAM [Crow, K.; 2000].

Se puede afirmar que la planificación de las operaciones tecnológicas representa el enlace entre la ingeniería de diseño y el taller de manufactura y determina el comportamiento de los indicadores de eficiencia de la fabricación. La brecha entre el CAD y el CAM se puede acortar considerablemente al desarrollar mejores sistemas para la planificación de las operaciones tecnológicas.

Los sistemas CAD/CAPP/CAM hay que ubicarlos dentro de su contexto en la fábrica moderna y el CIM. Una arquitectura CIM presupone, mediante el uso de computadoras, la automatización total o parcial de todas las etapas que participan en la creación del producto, tales como: marketing y estudio de mercado, diseño (CAD), planificación de procesos (CAPP), fabricación (CAM), gestión y dirección de la producción (PDM), planificación de recursos materiales (MRP / MRP II) y ensamble [Cheng, G., Sun, H., Shahid, I. Butt., Gao, Z.; 2006].

En la actualidad la solución de los problemas de incompatibilidad entre las diferentes etapas se resuelve, definitivamente, mediante la aplicación de nuevos conceptos de modelado que permiten la obtención de un modelo único del producto orientado al proceso, donde se integra toda la información que se necesita en cada una de las etapas del ciclo de obtención del producto. Montecinos *et al.* desarrollaron una metodología que considera el problema de comunicar el modelo sólido del diseño de una pieza y el software para la planificación de los procesos. En este caso, esta transferencia de información se realiza a través de componentes (features). Este método permite generar un ordenamiento previo de los componentes al momento en que el usuario modela la pieza y los datos de asignación de operaciones y herramientas [Montecinos, J. R., Machacuay, J. A., Fantozzi, C., Granchi, M.; 2007].

### **1.1.2 Planificación de los procesos de manufactura**

Anteriormente a los sistemas CAPP la manufactura intentaba superar el problema de la planificación manual de los procesos mediante una clasificación básica de las piezas en familias y desarrollar algún tipo de estandarización de su planificación. Cuando una nueva pieza era introducida, la planificación del proceso para esta familia era manualmente reescrita.

Un sistema CAPP comprende esencialmente dos módulos funcionales:

1. Uno para describir y representar la geometría de la pieza y sus atributos, tales como elementos de forma, dimensiones, tolerancias, rugosidad superficial, etc.
2. Otro que incluye la lógica de decisión y los algoritmos de tecnología para una planificación automática de las operaciones de fabricación.

La literatura documenta diversos sistemas CAPP desarrollados, estos se basan fundamentalmente en técnicas como la planificación de variantes, la planificación generativa, los sistemas expertos y las técnicas de la inteligencia artificial. Una comparación crítica de los diferentes enfoques de los sistemas CAPP puede encontrarse en diversos artículos [Ahmad, N., Anwarul, A. F. M., y Hasin, A. A.; 2001], [Nageswara, P., y Siva, R. K.; 2001] [Nwokah, O. D. I., y Hurmuzlu, Y.; 2001].

Los sistemas CAPP se clasifican en dos tipos básicos: el variante y el generativo. Los CAPP de tipo variante son los más utilizados y desarrollan un plan que modifican a uno previamente existente, eligiendo éste y utilizando criterios de tecnología de grupos y de clasificación. Estos atributos le permiten al sistema seleccionar una planificación de procesos iniciales para la familia de piezas y lograr un noventa por ciento del trabajo de planificación. El diez por ciento restante se le atribuye al esfuerzo que debe realizar el planificador para afinar la planificación. Las planificaciones de procesos, almacenadas en la computadora previamente, son introducidas de forma manual en la computadora personal y

están basadas en la experiencia acumulada de muchos planificadores y tecnólogos.

El generativo incorpora el concepto de inteligencia artificial, al usar sus conocimientos sobre las capacidades de la planta. Basado en la descripción de la pieza (geometría y material) y sus especificaciones, el computador elige el mejor método para producir la pieza y genera automáticamente el plan.

El CAPP desde sus inicios evolucionó como un tipo de almacén electrónico de planificación de procesos, que una vez creado daba la posibilidad de recuperar y modificar, debido a la introducción de una nueva pieza e imprimir la planificación hecha.

El método híbrido es una combinación de los dos métodos anteriores.

Las técnicas de inteligencia artificial y en particular las basadas en el conocimiento han aportado soluciones eficaces al problema. Ellas han sido capaces de expresar la heurística comúnmente utilizada por los expertos. Además, los sistemas basados en el conocimiento permiten una fácil actualización de la ruta tecnológica cuando cambian las facilidades de manufactura y surjan nuevos procesos. La mayor dificultad radica en la formalización del conocimiento declarativo y funcional relacionado con el problema.

En la actualidad existen más de 1000 prototipos de sistemas CAPP, entre los que se destacan: GARI, TOM, SIPS, TURBO CAPP, CMPP, DCLASS. La dificultad en el desarrollo de sistemas CAPP confiables se atribuye a la naturaleza cualitativa de muchas de las decisiones involucradas en concebir una tecnología y al gran número de variables que interactúan y que el tecnólogo debe considerar. Se pueden establecer algunas analogías entre las fases del diseño conceptual y las fases del proceso de la manufactura [Acosta, M., G.; 2007].

Entre las **funciones** de la planificación de las operaciones tecnológicas reportadas en la literatura se destacan [Casadesús, M., De Castro, R., Giménez, G.; 2007]:

1. El plano de detalle del producto a fabricar.

2. Las tolerancias y acabado requerido del producto.
3. Material del producto.
4. La especificación y parámetros de los trabajos de mecanización.
5. Los procesos de fabricación y sus incompatibilidades.
6. Las máquinas-herramienta, herramientas a utilizar y sistemas de sujeción.
7. Cantidad requerida.
8. Control y verificación.

Aunque muchos de los sistemas CAPP han sido desarrollados de manera adecuada para cumplir con las funciones antes mencionadas, existen un conjunto de limitaciones que deben ser tratadas. En el caso de los sistemas CAPP se han reportado diversas técnicas de modelación, por ejemplo, lenguajes especiales para la descripción de las piezas [Stryczek, R.; 2008], [Xiaoliang, J.; 2008], [Zhang, F., Xiao, Y., Shangguan, J., Sun, H., I, S.; 2008] extracción de características de las bases de datos del CAD [Butdee, S., Noomtong, C., y Tichkiewitch, S.; 2008] y sistemas expertos [Wang, H., Meng, C., LI, L., y Zhang, Y. ; 2008], etc. En estos enfoques se aprecia la falta de métodos que aborden la adecuada selección de las piezas en bruto en función de la geometría de las piezas.

Actualmente, se utilizan diversas técnicas de inteligencia artificial orientadas a los sistemas CAPP. Se reporta la utilización de algoritmos genéticos para la integración de la planificación de procesos con los sistemas de producción en sistemas flexibles [Ismail, N., Musharavati, F., Hamouda, A. S. M., y Ramli, A. R.; 2008], [Zhan-Jie, W., Ju, T., y Wen, C.; 2009] y aplicados a piezas prismáticas [Haddadzade, M., Razfar, M. R., y Farahnakian, M.; 2009]; la aplicación de algoritmos evolutivos en sistemas CAPP [Bing, S., Chen, J., y Li, Z.; 2008], [Musharavati, F., Ismail, N., Majid, A., y Rahman, A. ; 2008], entre otros [Huan-Min, X., & Dong-Bo, L.;2008]. Estos análisis no reflejan la incorporación de la selección de las piezas en bruto en función de las herramientas de corte y de los volúmenes de maquinado.

## **1.2 Antecedentes fundamentales relacionados con las características de los elementos de forma**

Son diversos los investigadores que han abordado los aspectos relacionados con los elementos o características de forma, con la finalidad de determinar los parámetros que influyen sobre la planificación de procesos.

En estudios realizados por [Kyprianou, L.K.; 1980], [Joshi, S.B.; 1987], [Sakurai, H., y Gossard, D.C.; 1990], [Falcidieno, B. y Giannini, F.; 1989], [De Floriani, L.; 1989], [Chuang, S.H. y Henderson, M.R.; 1990], [Houten, F. y Erve, V.; 1989], [Corney, R.C.; 1993] llegan a conclusiones importantes acerca del reconocimiento de elementos de forma basado en gráficos. Plantea que la filosofía básica del enfoque es representar el modelo y los elementos de forma como gráficos.

Un estudio satisfactorio del problema relacionado con la suma de volúmenes de maquinado es la presentada por [Woo, T.; 1982], [Kim, Y.S. y Wilde, D.J.; 1992], quienes representan la descomposición resultante como una serie de volúmenes convexos con signos alternativos. Este enfoque no siempre resultaba, por que cuando habían repeticiones sucesivas, el algoritmo pasaba a ser un ciclo infinito.

En 1982, [Chang, T.C. y Tipps.; 1982] realizan estudios preliminares de reconocimiento interactivo, enfoque que depende del usuario para seleccionar los elementos de forma (bordes o caras) a través de una interfaz gráfica.

Por otra parte [Kyprianou, L.K.; 1980], [Jakubowski, R.; 1982], [Liu, R.C. y Srinivasan, R.; 1984], [Choi, B.K.; 1982], trabajaron en el reconocimiento de patrones sintácticos, relacionados con las técnicas basadas en gráficos, en el reconocimiento de la configuración sintáctica donde se desarrolla un lenguaje para representar el modelo de la pieza. Las características son reconocidas encontrando combinaciones literales dentro de la presentación de la pieza.

Una solución satisfactoria es presentada por Henderson [Henderson, M.R.; 1984], [Dong, X.; 1988], [Vandebrande, J.H.; 1990] acerca del reconocimiento de elementos de forma basado en el conocimiento (su enfoque usa reglas de

producción).

En 1998, [Tseng, Y.; 1998] utiliza la descripción de la pieza y la planificación del maquinado. El propósito de esta investigación es desarrollar un sistema de análisis de fijación basado en elementos de forma.

En el 2001, [Somashekar, R.; 2001] presenta métodos heurísticos basados en la descomposición y la composición de volúmenes. En el 2003, [Liu, H. y Maekawa, T.; 2003] presenta una metodología paramétrica basada en elementos de forma para el diseño de sólidos con control de composición local. Este enfoque permite que el diseñador edite la geometría simultáneamente cambiando los parámetros hasta un resultado satisfactorio.

En el 2005, [Ke, Y. y Fan, S.; 2005] desarrollan la estrategia de la función de la superficie de base, esta se basa en las diferencias de estimación de atributos geométricos y diversas técnicas de extracción de características. En el 2006, [Cardone, A. y Gupta, S.K.; 2006], presenta un algoritmo para la identificación de la piezas para el maquinado consultando en una base de datos que se basa en las características de las piezas.

En el 2007 Arai y Wakamatsu describen un sistema de planificación de proceso flexible teniendo en cuenta las intenciones de los diseñadores y las condiciones de fabricación en el proceso de producción [Arai, E. y Wakamatsu, H.; 2007].

Estos estudios revelan la profundidad en el tema de las características o elementos de forma, pero se demuestra la falta de métodos que utilicen este enfoque para garantizar la selección adecuada de las piezas en bruto y las herramientas de corte en función de la geometría de las piezas.

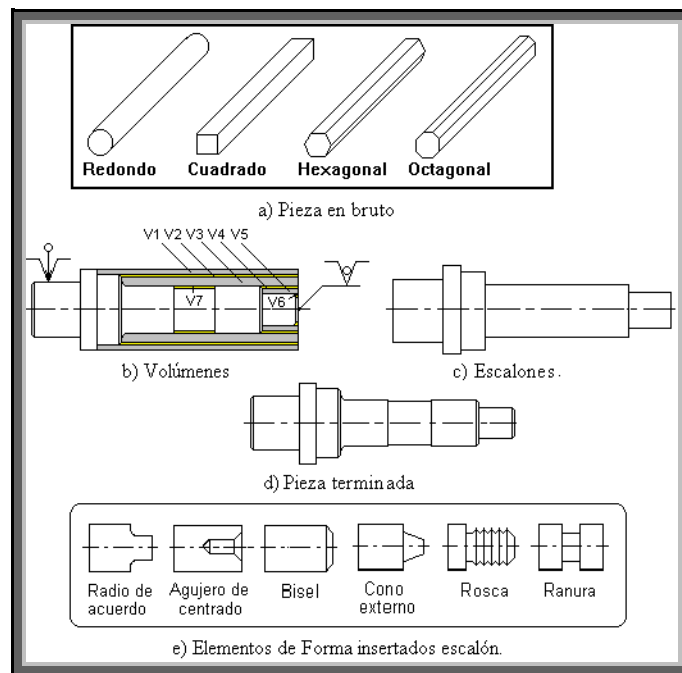
### **Búsqueda de los objetos**

Para diseñar una pieza cualquiera de un conjunto de piezas posibles, se requiere utilizar la unión de un grupo ordenado y paramétrico de elementos de forma. En la implementación de un sistema CAPP para el maquinado se establece la siguiente definición del objeto elemento de forma:

"Un elemento de forma: es un objeto que contiene información sobre sus dimensiones, funcionalidad, posición, representación, material de la pieza, tolerancias, relación con otros elementos a través de las exigencias de forma y posición. A este objeto se le añaden propiedades no geométricas tales como: la prioridad de la operación tecnológica para su manufactura y comportamiento en dependencia del ambiente donde este objeto es usado. Además, contiene información sobre las herramientas y máquinas herramienta con las cuales se puede fabricar" [Ávila, R.R.; 1999].

Con ésta definición se da un paso importante en la creación de un modelo único de la pieza, factor decisivo en lo que se denomina como integración CAD/CAPP/CAM. De acuerdo con esta definición se establecen varios niveles de abstracción para los elementos de forma que se utilizan en el proceso de dibujo y de modelado del producto.

En este trabajo se entiende como producto una pieza que se manufactura en un torno. Estos niveles son: pieza en bruto, pieza terminada, escalón (por lo general en torno), elemento de forma insertado en escalón. Estos niveles de abstracción se pueden apreciar en las cinco partes de la Figura 1.1.



**Figura 1.1.** Niveles de los elementos de forma [Ávila, R.R.; 1999].

### 1.3 Tipos y características de las piezas en bruto

Las piezas en bruto para fabricar elementos de máquinas pueden ser.

- Piezas de fundición gris, de acero, de metales no ferrosos y de materiales plásticos.
- Piezas forjadas y estampadas.
- Artículos laminados de aceros (en caliente y estirados en frío) y de metales no ferrosos.

La selección del tipo de piezas en bruto depende de las formas estructurales de las piezas, su aplicación, condiciones de su trabajo en la máquina ensamblada y los esfuerzos que soportan. Las piezas en bruto del material laminado (redondo, cuadrado y hexagonal) se utilizan para la fabricación de piezas cuando no existe una diferencia considerable en las secciones transversales y cuando durante la obtención de su forma acabada se puede evitar el arranque de gran cantidad de

metal. Las piezas que se fabrican de productos laminados, menos los árboles, tienen dimensiones relativamente pequeñas.

#### **1.4 Conclusiones**

- Debido a las limitaciones expuestas en la revisión bibliográfica, los enfoques CAPP actuales carecen de métodos apropiados para una selección de las piezas en bruto en función de las características geométricas del CAD y su vinculación con los útiles de corte.
- La selección correcta de la pieza en bruto es un parámetro importante a tomar en cuenta en la ejecución del CAPP, porque define la obtención de una pieza con el mínimo volumen de maquinado a remover. Por tanto, es necesario desarrollar una herramienta automatizada que permita una correcta selección de la pieza en bruto y de la forma de las herramientas de corte en sistemas CAPP para el maquinado de piezas tipo árbol.

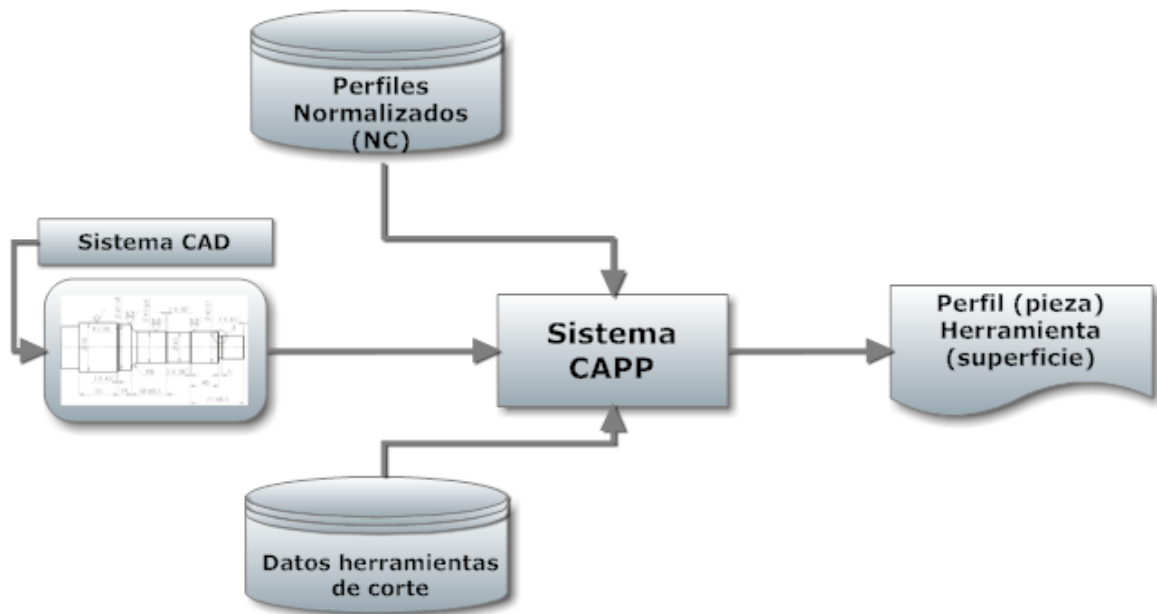
## **2 CONCEPCIÓN DE LA HERRAMIENTA AUTOMATIZADA PARA LA SELECCIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO CON LA FORMA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE**

Este capítulo tiene por objetivo fundamentar la concepción de una herramienta que permita la integración del proceso de selección de la pieza en bruto con la forma de las herramientas de corte necesarias para disminuir el volumen de maquinado, orientado a un sistema CAPP para el maquinado.

### **2.1 Integración del proceso de selección de la pieza en bruto con la forma de las herramientas de corte**

El mecanizado es parte de los procesos tecnológicos que se utilizan en la industria mecánica con el objetivo de obtener piezas, artículos y máquinas que cumplan con su destino de servicio para el cual fueron diseñadas. En este proceso es esencial tener un buen rendimiento, con el fin de conseguir productos competitivos. En muchos casos la elección de la pieza en bruto a mecanizar, que incluye el tipo de material y las dimensiones, representa un considerable costo. Para mejorar este indicador es necesario reconocer la geometría de la pieza y seleccionar las dimensiones que garanticen el menor volumen a remover. Aparejado a esto el mecanizado también puede ser mejorado en gran medida por medio del uso de las herramientas de corte correctas para el tipo de superficie específica reconocida en el proceso de selección de la pieza en bruto.

A continuación se propone un procedimiento que facilita al tecnólogo la adecuada selección de la pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte para cada operación a realizar (Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Esquema del sistema CAD/CAPP asociado a las tareas de selección de la pieza en bruto y las herramientas de corte.

Actualmente existen una creciente variedad de materiales, cada uno con sus características, aplicaciones, ventajas y limitaciones. La disponibilidad de las materias primas, de los materiales procesados y de los componentes manufacturados son preocupaciones importantes en la manufactura. Si estos no existen en las formas, dimensiones y cantidades deseadas, se requerirán sustitutos o procesamiento adicional, lo que puede afectar significativamente el costo del producto. Por ejemplo si necesitamos una barra redonda de cierto diámetro y no está disponible, tendríamos que comprar una más grande y reducir su diámetro por algún medio, como por ejemplo maquinado o estirado de una matriz.

Para la correcta selección de la forma de la plaquita hay que tener en cuenta el material de la pieza, el tipo de operación tecnológica a realizar, el tipo de soporte para la herramienta, el tipo de porta-herramienta, la geometría de la pieza, etc.

Teniendo en cuenta estos requerimientos se plantea el siguiente procedimiento que se describe a continuación:

1. Obtención de la información geométrica del dibujo de la pieza (material, dimensiones, rugosidad superficial, etc.).
2. Determinar el área de la sección transversal máxima.
3. Selección de la pieza en bruto.
4. Determinación de la operación de elaboración tecnológica.
5. Seleccionar la forma de la herramienta de corte.
6. Seleccionar la calidad del inserto y radio de la punta del inserto.
7. Generación de la información tecnológica.

#### **2.1.1 Obtención de la información geométrica del modelo**

La información geométrica y tecnológica (formas, rasgos, elementos de formas y material, rugosidad superficial) se pueden expresar como una colección de entidades geométricas tales como superficies, curvas y puntos que tienen significado en la planificación del proceso.

El diseño basado en formas es un método de modelado del producto que incorpora tanto información geométrica como no geométrica en la definición del producto (pieza). Los sistemas CAD/CAM actuales brindan ayuda muy limitada a las actividades de ingeniería y manufactura [Ávila, R.R.; 1999], [Liu, Z., y Wang, L.; 2007]. Esto se debe a lo limitado de los tipos de información que soportan los modelos. La definición de un producto incluye: geometría, topología, tolerancias, rugosidad superficial, elementos de forma, especificación de los procesos (operaciones), propiedades del material y otros datos relativos a las características del producto.

Los datos del producto tales como especificaciones del proceso, propiedades del material y confiabilidad no son datos geométricos y a veces son muy abstractos.

Muchos de los sistemas CAD/CAM de hoy, presentan dificultad en soportar las tolerancias en toda su complejidad, los procesos de maquinado y otros datos.

El diseño basado en formas ha sido desarrollado a partir de la aspiración de vencer estas dificultades (Tabla 2.1). El método brinda un modo lógico de asociar a la geometría del producto definiciones de alto nivel, tales como propiedades del material, rugosidad superficial, operaciones de maquinado, desempeño y características de operación. La información de alto nivel frecuentemente denominada rasgos, es integrada a la descripción de la pieza y puede ser utilizada para la evaluación del diseño, la manufactura y otros propósitos.

**Tabla 2.1.** Comparación de los métodos para tratar las formas [Ávila, R.R.; 1999].

<b>Métodos de tratar las formas</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
Reconocimiento de elementos de forma	El diseñador tiene completa libertad para utilizar el modelador como le parezca conveniente.	El reconocimiento inequívoco de elemento de forma en piezas de 3D es un problema difícil y generalmente, el número de elementos de forma que se pueden reconocer es limitado.
Diseño mediante elementos de forma	Reconocimiento inmediato, no hace falta algoritmos de reconocimiento geométrico.	Se obliga al diseñador a utilizar un conjunto restringido de formas geométricas, lo que limita su libertad al diseñar.

Basándose en aspectos relativos a la forma, situación y accesibilidad de las superficies, se estructuran éstas según un modelo de características no ligadas al diseño o a la fabricación de la pieza, sino a la inspección de la misma. Se trata de características que conllevan una información básica acerca de la accesibilidad del palpador a las superficies que las forman, y por tanto, se diferencian de las características que manejan los módulos CAD paramétricos y asociativos en el diseño de la pieza. Con el fin de conseguir un proceso automático, se procede a la

extracción de la información que proporcionan estos módulos para el conformado de una estructura de características orientadas a la inspección.

Esta obtención de la información geométrica y tecnológica del modelo es un paso importante debido a que estos elementos serán utilizados como elementos determinantes en la elección de las características de la herramienta de corte y en la determinación de las dimensiones máximas de la pieza.

### **2.1.2 Determinar el área de la sección transversal máxima**

Uno de los problemas fundamentales que deben solucionarse durante el diseño del proceso tecnológico de maquinado es el dimensionamiento de la pieza en bruto a partir de la cual se obtendrá la pieza terminada.

De lo dicho se infiere que cualquier pieza en bruto se fabrica con sobremedidas respecto a las dimensiones de las piezas terminadas, se entiende pues por sobremedidas tecnológicas la capa de material que ha de ser eliminada por el corte para que las superficies de las piezas en bruto adquieran los requisitos de exactitud y calidad superficial que deben poseer la pieza terminadas.

En la mayor parte de los procesos tecnológicos las piezas pasan por diferentes sistemas tecnológicos hasta llegar a la pieza terminada, de ahí la necesidad de determinar los valores de las sobremedidas para cada paso tecnológico. En el caso del procedimiento planteado las sobremedidas no serán calculadas sino que estarán a consideración del tecnólogo.

Para obtener el área de la sección transversal es necesario determinar el máximo diámetro de la pieza terminada. Este se obtuvo del reconocimiento automático de las dimensiones, descritas en el acápite anterior, luego se le agrega las sobremedidas y con este diámetro se procede a calcular el área de la sección transversal del cuerpo en revolución empleada como patrón en la selección de la pieza en bruto normalizada.

Hoy en día en el mecanizado el costo de producir una pieza se compone de varios factores, uno de ellos es el costo de las herramientas de corte. En cualquier empresa al analizar cada costo de la producción podrá verse que el valor de las herramientas de corte representa un porcentaje muy pequeño.

El costo de la máquina herramienta es más o menos el mismo en todo el mundo mientras que los costos por operarios varían. Pero incluso si el costo de la mano de obra es comparativamente pequeño y la máquina es vieja y está amortizada, se obtendrá mayor eficacia al utilizar las herramientas de corte más modernas.

El objetivo de la productividad en el mecanizado es mostrar el camino de mejorar la utilización de los tiempos productivos y recursos, aumentando la eficiencia del mecanizado.

### **2.1.3 Selección de la pieza en bruto**

Las dimensiones de la pieza en bruto constituyen un elemento del proceso de fabricación de piezas. De tal forma, la búsqueda consiste en seleccionar en el almacén de piezas en bruto las dimensiones de los perfiles existentes, teniendo en cuenta un orden de prioridad de los tipos de perfiles (redondos, hexagonales, cuadradas y triangulares respectivamente) (Figura 2.2). Para seleccionar la pieza en bruto del almacén es necesario conocer su diámetro máximo y se calcula de la manera siguiente (1):

$$Db_{\text{máx}} = D_{\text{mpieza}} + S \quad (1)$$

Donde:

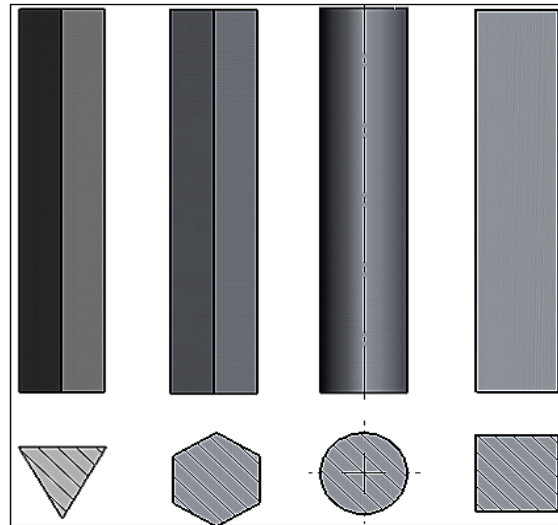
$Db_{\text{máx}}$ : Diámetro máximo de la pieza en bruto (mm).

$D_{\text{mpieza}}$ : Diámetro mayor de la pieza (mm).

$S$ : Sobremedidas (mm).

El diámetro mayor de la pieza a fabricar se calculó en el epígrafe anterior y las sobremedidas las introduce el tecnólogo. Con este valor se obtiene la barra de las Normas Cubanas [NC 5739:84; 1984] para piezas en bruto, se utiliza un orden

basado fundamentalmente en la cantidad mínima de volumen a remover. Al tener la pieza en bruto seleccionada se está en condiciones de seleccionar las herramientas de corte para cada superficie (features), pero antes es importante conocer que método de elaboración se le aplicará, debido a la utilización diferente de las herramientas de corte para cada uno de ellos.



**Figura 2.2.** Tipos de pieza en bruto.

#### **2.1.4. Determinación de la operación de elaboración**

Una vez conocido el tipo de pieza en bruto a partir de la cual se obtendrá la pieza terminada es necesario conocer los métodos de elaboración que serán aplicados a cada superficie hasta asegurar los requisitos de rugosidad superficial y de exactitud establecidos para cada una de ellas.

En esta etapa de la proyección tecnológica hay que asegurar que los métodos de elaboración utilizados garanticen los requisitos y exigencias técnicas indicados en el plano constructivo de la pieza (fundamentalmente las tolerancias y rugosidades superficiales).

Para la elaboración de superficies exteriores se utilizan las operaciones representadas en la Figura 2.3. Para utilizar el torneado longitudinal la superficie a elaborar debe de estar situada paralela al eje de la pieza, para el perfilado la

superficie estará a un ángulo distinto de  $0^{\circ}$  y  $180^{\circ}$  del eje de la pieza. En el caso del refrentado la superficie estará situada de forma perpendicular a la referencia (eje de la pieza) y las ranuras son un caso especial del torneado longitudinal con la diferencia de tener una longitud menor y de situarse a una distancia menor con respecto al eje que la superficie adyacente. Estos factores son importantes tenerlos en cuenta porque influyen en la forma de herramienta de corte a seleccionar.



**Figura 2.3.** Operaciones exteriores en el torneado [Sandvik AB Coromant.; 2002].

En el caso de las operaciones para interiores (Figura 2.4) se reconocen de igual manera que las exteriores, con la diferencia que la superficies van a estar situadas a un radio menor que la superficie exterior.



**Figura 2.4.** Operaciones interiores en el torneado [Sandvik AB Coromant.; 2002].

### **2.1.5 Seleccionar la herramienta de corte**

La selección y la aplicación de las herramientas de tornear pueden llevarse a efecto mediante una serie de pasos lógicos basados en un número de factores relevantes, que describen la pieza, la máquina herramienta y las operaciones concernientes. Equipado con un plano de la pieza, las especificaciones del material de la misma, la máquina herramienta así como la información necesaria de las herramientas de corte, puede seguirse una rutina de selección y aplicación.

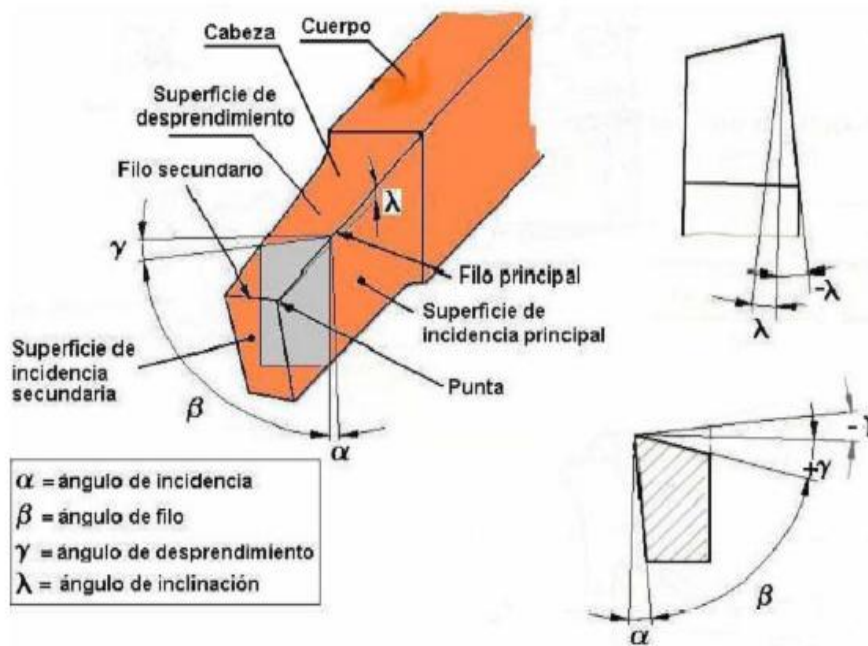
El aumento de la productividad no necesariamente es posible al cambiar las máquinas, este objetivo se alcanza al utilizar también las herramientas modernas. Así que en la mayoría de los casos, solamente al utilizar plaquitas intercambiables seleccionadas correctamente, se traduce en un mayor número de piezas producidas por operario en el mismo tiempo.

Para una correcta selección de las herramientas de corte en el torneado es necesario tener en cuenta las siguientes variables:

- **Diseño de la pieza y sus limitaciones:** tolerancias y acabado superficial. Esto será determinante para el camino a seguir en el establecimiento de las herramientas en orden a conseguir las distintas operaciones a realizar. Las direcciones y avance, profundidades de corte, paradas, etc. han de ser planificadas con detalle.
- **Tipo de operación a realizar:** desbaste, semi-acabado y acabado, roscado, ranurado, tronzado, etc. Esto afectará al tipo de herramienta a seleccionar y a los datos de corte necesarios. En el torneado, también esto determinará el modelo de plaquita que se necesitará para cubrir las demandas del mecanizado.
- **Torneado exterior e interior:** cada una de estas operaciones requieren herramientas de tipo distinto, así como diferentes reglajes en la máquina.
- **Las condiciones del mecanizado y la estabilidad:** son factores críticos para el resultado de cualquier operación de mecanizado en cuanto a la selección de las herramientas.
- **Las máquinas herramientas:** varían considerablemente en diseño, tamaño, potencia y posibilidades operativas.
- **Material de la pieza a trabajar:** el acero (P) acero inoxidable (M) y la fundición (K), representan los principales grupos de materiales de viruta larga y viruta corta así y junto con los inoxidables forman la base para seleccionar los tipos de herramientas necesarios.

### 2.1.5.1 Geometría de las herramientas de corte

Cuando se realiza el maquinado es muy importante conocer la geometría de las herramientas de corte, esta es importante para obtener exitosamente la pieza deseada con la calidad exigida. Los ángulos de las cuchillas son determinantes para la selección de las herramientas (Figura 2.5).




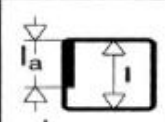
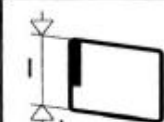
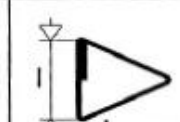
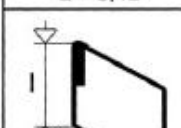
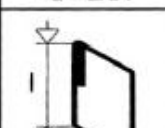
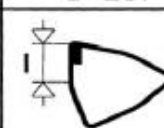
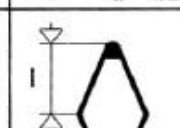
**Figura 2.5.** Superficies y aristas de la herramienta [Royo, J. E.; 2004].

El ángulo de posición principal varía normalmente entre 45 y 95 grados e incluso mayores en algunos casos, cuando queda determinado por el portaherramientas y la arista de la plaquita. En mecanizados ligeros, el radio de la punta de la plaquita actuará como el ángulo de posición de la plaquita; en el caso de 90 grados en profundidades pequeñas el radio hará variar este ángulo. Este es un importante ángulo de la herramienta porque afecta no sólo a la formación de la viruta, sino además, a la dirección de las fuerzas de corte, espesor de la viruta y la longitud de la arista de corte en contacto con la pieza. También en la forma en que la arista de corte hace contacto con la pieza a mecanizar tanto a la entrada como en la salida.

La accesibilidad de la herramienta de corte, las diferentes direcciones de avances y la forma de plaquita están también influenciadas por el ángulo de posicionamiento. La arista de corte y el ángulo de la punta de la herramienta (Tabla 2.3) varían considerablemente desde la plaquita de 35 grados a la redonda. Entre estos dos extremos están las plaquitas cuadradas, triangulares y rómbicas con ángulos en la punta de 55, 60, 80 y 90 grados. Esto va a proporcionar desde la mayor resistencia con la placa redonda a la mayor accesibilidad para perfilar con placas de 35 grados. Con una arista de corte muy resistente nos va a dar como resultado una mayor posibilidad de vibraciones durante el proceso de mecanizado y una mayor potencia requerida. Con una arista muy accesible durante el mecanizado vamos a tener un corte más suave.

Con el fin de conseguir una producción satisfactoria en cuanto a seguridad es importante determinar las profundidades de corte ( $a_p$ ) mayores para determinar la longitud de corte efectiva. En la Tabla 2.2 se muestra la longitud de la arista mínima para cada forma.

**Tabla 2.2.** Longitud efectiva de la arista de corte [Royo, J. E.; 2004].

 $l_a = 0,4d$	 $l_a = 2/3 l$	 $l_a = 2/3 l$	 $l_a = 1/2 l$
 $l_a = 1/2 l$	 $l_a = 1/2 l$	 $l_a = 1/4 l$	 $l_a = 1/4 l$

### 2.1.6 Selección de la calidad y el radio de la punta del inserto

La correcta selección del material de la herramienta en combinación con la geometría de corte, son imprescindibles para cubrir las demandas de la operación de maquinado.

El radio de la punta de la plaquita es un factor clave en operaciones de torneado y una de las consideraciones necesarias a tener en cuenta a la hora de elegir la plaquita correcta. Las plaquitas están disponibles en varios radios desde 0,2 mm hasta 2,4 mm (según Sandvik), no todos los radios se encuentran disponibles en todas las formas y tamaños de plaquitas. En las operaciones de desbaste el radio de la punta debe seleccionarse lo más grande posible, siempre evitando la tendencia a las vibraciones.

El tipo de material de la pieza a maquinar y las condiciones de corte serán considerados para determinar el tamaño del radio de la plaquita. En las operaciones de torneado interior se suele requerir frecuentemente un radio de punta pequeño con el fin de minimizar la tendencia a las vibraciones debido al mayor voladizo de las barras portaplaquitas.




























































































Para el desbaste se elegirá siempre el mayor radio de punta posible para garantizar la seguridad de la producción. Un gran radio permite grandes gamas de avances y con ello conduce a una alta productividad. Para las operaciones de acabado la profundidad del perfil está directamente determinada por la combinación del avance y el radio de la punta.




Además de los ángulos principales están los ángulos secundarios, los que desempeñan un importante papel para seleccionar las herramientas de corte.

La selección del tipo de portaplaquitas y la forma de la plaquita está basada principalmente en el tipo de pasada, del ángulo de posición y la accesibilidad o versatilidad exigida a la herramienta, en la capacidad de la máquina herramienta, su potencia y en el tamaño de las herramientas.

La Tabla 2.3 resume algunos factores a considerar para seleccionar la forma de la plaquita.

**Tabla 2.3.** Factores para elegir la forma de la plaquita [Royo, J. E.; 2004].

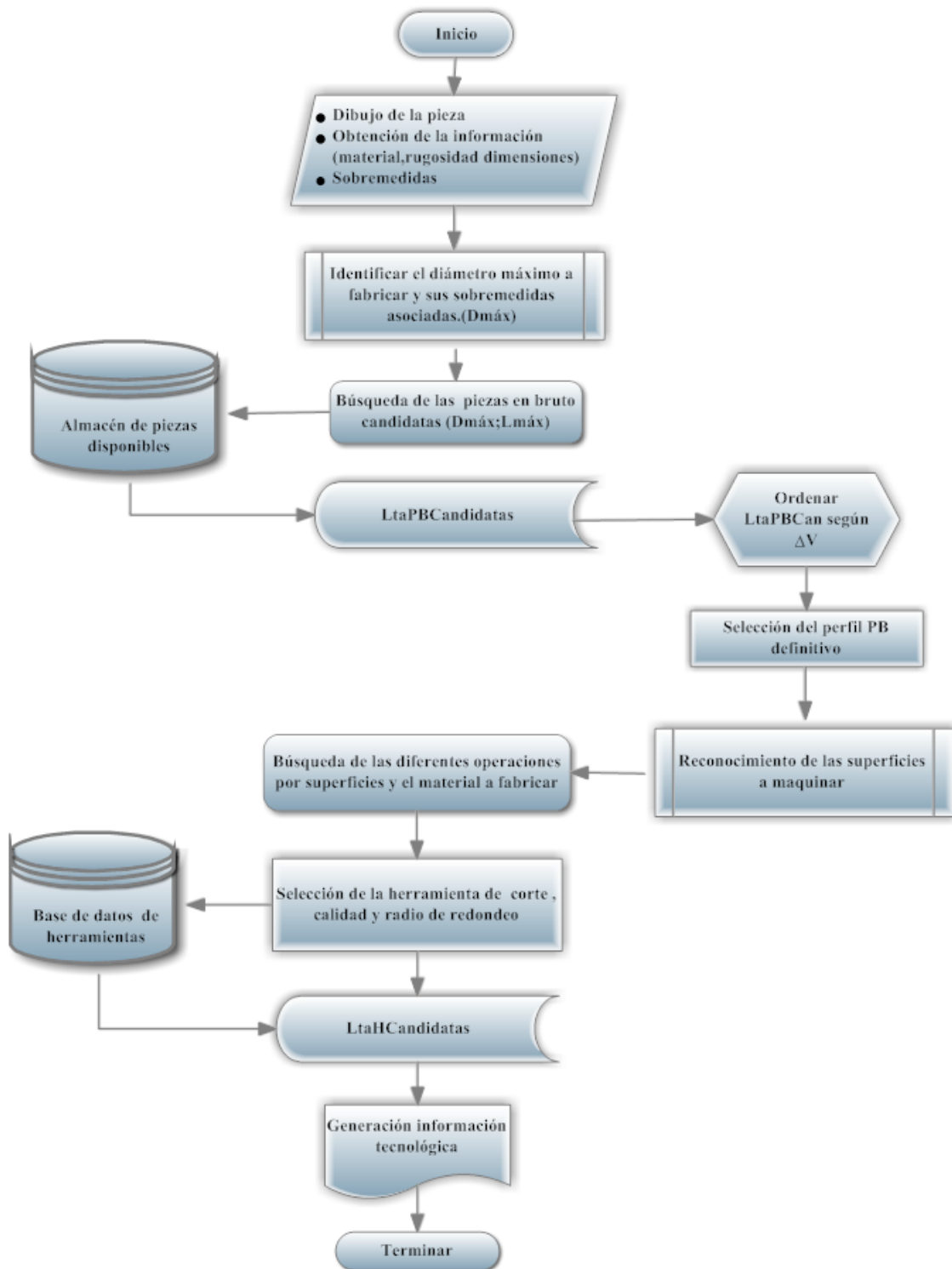
<b>Factores a considerar al elegir la forma de plaquita</b>	<b>R</b> 	<b>90</b> 	<b>80</b> 	<b>80</b> 	<b>60</b> 	<b>55</b> 	<b>35</b> 
Desbaste (tenacidad)							
Desbaste ligero/Semi-acabado (No. de filos)							
Acabado (No. de filos)							
Torneado y Refrentado (direcciones de avance)							
Perfilado (Accesibilidad)							
Versatilidad operacional							
Potencia de máquina limitada							
Tendencia a vibración (reducción)							
Material duro							
Mecanizado Intermitente							
Angulo de posición grande							
Angulo de posición pequeño							

 = Adecuado     
  + Adecuado     
  Adecuado

Todo el procedimiento anteriormente descrito en cada una de los pasos se estructura de forma organizada y coherente en el algoritmo presentado en el siguiente acápite.

### 2.1.7 Algoritmo del sistema de selección de las piezas en bruto y de las herramientas de corte

El algoritmo general del sistema, como se muestra en la Figura 2.6 comienza su tratamiento a través de la entrada de datos, en el cual se introducen de forma manual o automática, las dimensiones de la pieza, la rugosidad superficial, el material y las sobremedidas. Después de terminada la fase inicial, se procede a identificar el diámetro máximo a fabricar con sus respectivas sobremedidas asociadas. A continuación se realiza una búsqueda en el almacén de piezas disponibles y esto a su vez genera una lista de piezas candidatas, que serán ordenadas según el delta volumétrico del perfil. Luego de los pasos anteriores, se realiza la selección semiautomática del perfil definitivo de la pieza en bruto, seguido de un reconocimiento automático de las superficies a maquinar.



**Figura 2.6.** Esquema del algoritmo general del sistema para la selección de la pieza en bruto y las herramientas de corte.

Tras este reconocimiento se hará una búsqueda de las operaciones por superficies y el tipo de material a mecanizar, lo que a su vez culminará con la selección semiautomática de la herramienta de corte, su grado de calidad y el radio de punta de la plaquita. Todo este proceso de selección se resume mediante la generación automática de la información tecnológica que se concebirá a través de un reporte que brinda la documentación.

## **2.2 Conclusiones**

1. Se estableció un procedimiento que integra la selección de la pieza en bruto con la selección de las herramientas de corte para utilizarse en un sistema de Planificación Asistida por Computadora (CAPP) para el maquinado de piezas tipo árbol.
2. Se elaboró un algoritmo general para la selección de las piezas en bruto y las herramientas de corte que estructura el procedimiento desarrollado para el sistema de Planificación Asistida por Computadora (CAPP) para el maquinado de piezas tipo árbol.

### **3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA SELECCIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO Y LAS HERRAMIENTAS DE CORTE**

En el presente capítulo se expone los aspectos fundamentales de la concepción que soporta la herramienta informática desarrollada en AutoCAD, siguiendo el procedimiento expresado en el Capítulo 2. Se describen los principales diálogos que definen la herramienta desarrollada y su aplicación al caso de la selección de la pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte. La herramienta desarrollada permite un aumento en la calidad en el proceso de selección de la pieza en bruto y la forma de las herramientas de corte.

#### **3.1 Justificación del soporte de software para la herramienta**

Dadas las características de las investigaciones desarrolladas y las insuficiencias de los sistemas automatizados, fue necesario establecer una estructura para el desarrollo de un sistema computacional encargado de automatizar la selección de la pieza en bruto y a la vez la selección de las herramientas de corte necesarias para cada superficie a maquinar.

Luego de un estudio minucioso se determinó como plataforma de trabajo el paquete gráfico AutoCAD, para la implementación y desarrollo de la herramienta automatizada. Los parámetros fundamentales que se tomaron en consideración para esta selección fueron los siguientes [AUTODESK.; 2008]:

1. AutoCAD es un paquete para el diseño, que brinda todas las facilidades gráficas para este proceso. Además, la posibilidad de utilizar un ambiente de trabajo común para las actividades de diseño y de planificación del proceso de fabricación del producto facilita la integración de estas etapas y reduce los tiempos de adiestramiento del personal en el uso del sistema.
2. Soporta lenguajes computacionales para el desarrollo de aplicaciones, (AutoLISP, ARX, ObjectARX, VBA), lo que le confiere al sistema CAD más potencialidad desde el punto de vista de programación.

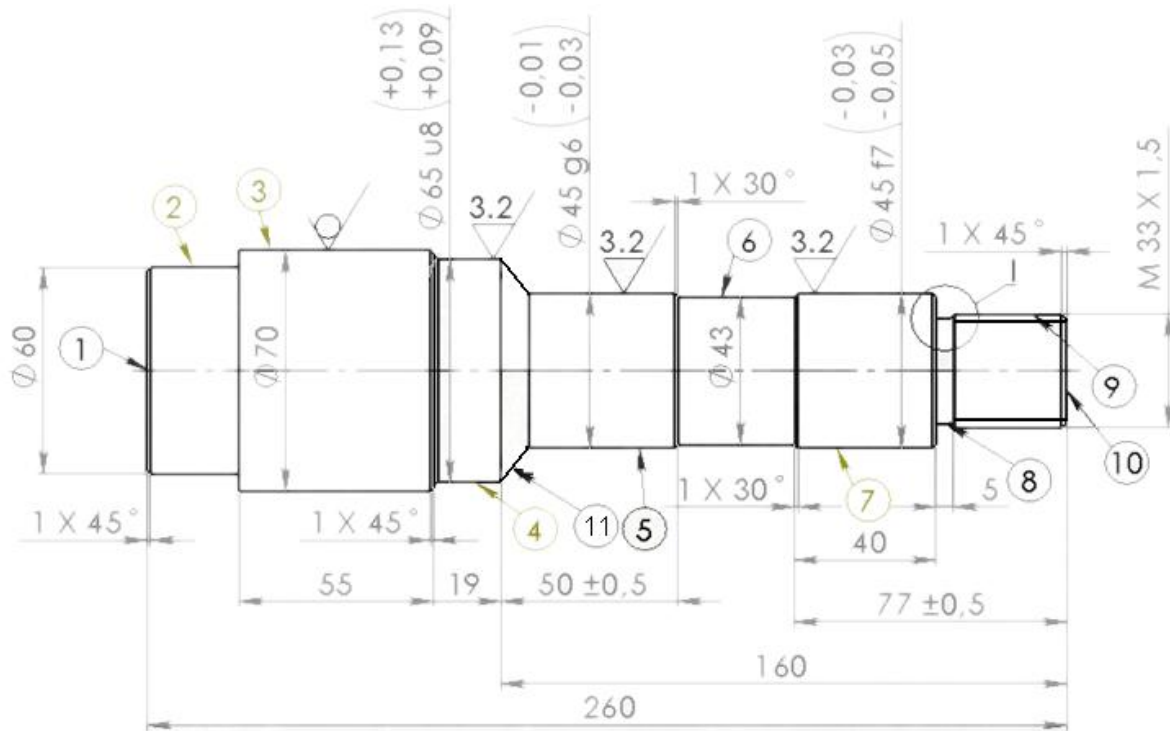
3. Posee una base de datos que almacena toda la información gráfica y permite asociar a la misma información alfanumérica.
4. Además de contar con la base de datos, es también un administrador de la misma, pues tiene implementados mecanismos que permiten la creación, acceso y modificación de la información almacenada.
5. Soporta los principales tipos de representación, por lo que incluye el modelo de sólidos, así como el trabajo con superficies idealizadas.
6. Es el paquete CAD más ampliamente difundido en el mundo para microcomputadoras y se encuentra instalado en prácticamente todas las empresas cubanas dedicadas a la actividad de diseño.
7. Trabaja sobre formato de archivo DWG (OpenDWG), compatible con los de otros sistemas CAD como MicroStation, IntelliCAD, SolidWork y SolidEdge, también muy difundidos internacionalmente. Además, exporta e importa archivos en formato DXF y SAT, estándares para la comunicación con diversos sistemas de múltiples aplicaciones.
8. Es un paquete CAD competitivo y respaldado por Autodesk, cuarta firma mundial productora de software con grandes recursos invertidos en la investigación y desarrollo, lo que asegura la asimilación de los últimos avances experimentados en la gráfica por computadoras y en la ingeniería de software, cuestión que es posible utilizar automáticamente por los sistemas implementados bajo su ambiente.

La limitación que se le puede señalar a esta decisión es que el usuario del sistema tiene necesariamente que utilizar el paquete AutoCAD, pero consideramos que las razones anteriormente señaladas argumentan la elección.



### Obtención de la información geométrica del modelo

La información viene especificada en el plano de la pieza (Figura 3.2): material, rugosidad superficial, dimensiones y tolerancias. Esta se determina mediante la interpretación del plano por el usuario a través de los diálogos correspondientes. Las sobremedidas se dejan a decisión del usuario.



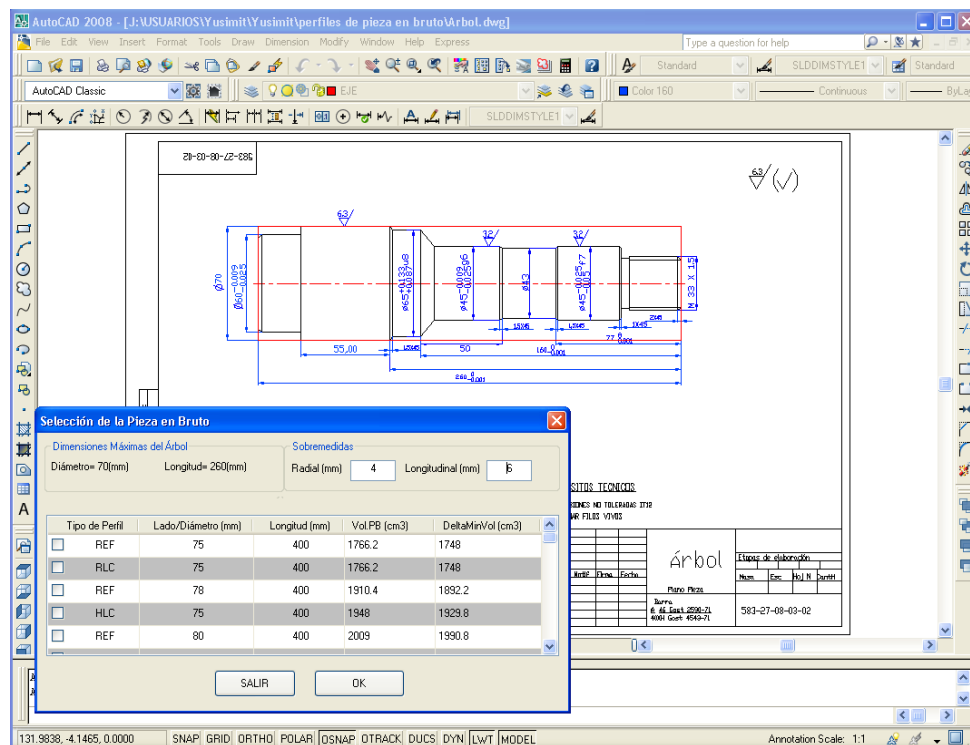
**Figura 3.2.** Árbol con las superficies a maquinar.

Para cada superficie se determina la rugosidad superficial, las dimensiones y el material. Se agrupan según aparecen en la Tabla 3.1. Esta información es utilizada posteriormente para la correcta definición de los pasos tecnológicos para el maquinado de la pieza.

**Tabla 3.1.** Características de las superficies del árbol a maquinar.

Pieza: Árbol			Material: Acero 45	
Sup.	Tipo de superficies	Rugosidad superficial (Ra)	Dimensiones	
			Diámetro (mm)	Longitud(mm)
1	Plana	12,5	60	-
2	Cilíndrica	6,3	60	26
3	Cilíndrica	6,3	70	55
4	Cilíndrica	3.2	65	19
5	Cilíndrica	3.2	45	50
6	Cilíndrica	6,3	43	33
7	Cilíndrica	3.2	45	40
8	Cilíndrica	6,3	30,6	5
9	Cilíndrica	3.2	33	24
10	Plana	12,5	60	-

Con el dibujo en el software profesional AUTOCAD, se carga el sistema y se ofrece el diálogo de la Figura 3.3. En el mismo se visualiza la lista de perfiles existentes en el pañol.



**Figura 3.3.** Diálogo para la selección de la pieza en bruto.

En el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 3.4 se representan de forma automática las dimensiones de la pieza, largo y diámetro de la sección mayor. Estas características están representadas en el recuadro en color rojo.

**Selección de la Pieza en Bruto**

**Dimensiones Máximas del Árbol**  
 Diámetro= 70(mm)      Longitud= 260(mm)

**Sobremedidas**  
 Radial (mm)    0      Longitudinal (mm)    0

Tipo de Perfil	Lado/Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Vol.PB (cm3)	DeltaMinVol (cm3)
<input type="checkbox"/> REF	70	400	1538.6	1520.4
<input type="checkbox"/> RLC	70	400	1538.6	1520.4
<input type="checkbox"/> REF	75	400	1766.2	1748
<input type="checkbox"/> RLC	75	400	1766.2	1748
<input type="checkbox"/> REF	78	400	1910.4	1892.2

SALIR      OK

**Figura 3.4.** Diálogo para la representación de las dimensiones máximas del árbol.

En la Figura 3.5 son completados los datos de las dimensiones de las sobremedidas consideradas por el tecnólogo: radiales y longitudinales.

**Selección de la Pieza en Bruto**

**Dimensiones Máximas del Árbol**  
 Diámetro= 70(mm)      Longitud= 260(mm)

**Sobremedidas**  
 Radial (mm)    4      Longitudinal (mm)    6

Tipo de Perfil	Lado/Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Vol.PB (cm3)	DeltaMinVol (cm3)
<input type="checkbox"/> REF	75	400	1766.2	1748
<input type="checkbox"/> RLC	75	400	1766.2	1748
<input type="checkbox"/> REF	78	400	1910.4	1892.2
<input type="checkbox"/> HLC	75	400	1948	1929.8
<input type="checkbox"/> REF	80	400	2009	1990.8

SALIR      OK

**Figura 3.5.** Diálogo para la representación de las sobremedidas.

En el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 3.6 se representan las diferentes variantes propuestas por el sistema descritas por el código del tipo de perfil que las identifica. Estas variantes son organizadas de acuerdo al menor volumen a remover, en este caso con sobremedidas de 4 mm para el diámetro máximo. El usuario seleccionará la pieza en bruto o los perfiles que le sean convenientes.

**Selección de la Pieza en Bruto**

Dimensiones Máximas del Árbol: Diámetro= 70(mm) Longitud= 260(mm)

Sobremedidas: Radial (mm) 4 Longitudinal (mm) 6

Tipo de Perfil	Lado/Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Vol.PB (cm3)	DeltaMinVol (cm3)
<input checked="" type="checkbox"/> REF	75	400	1766.2	1748
<input checked="" type="checkbox"/> RLC	75	400	1766.2	1748
<input checked="" type="checkbox"/> REF	78	400	1910.4	1892.2
<input type="checkbox"/> HLC	75	400	1948	1929.8
<input type="checkbox"/> REF	80	400	2009	1990.8

SALIR OK

**Figura 3.6.** Diálogo para la selección de la pieza en bruto.

En la Figura 3.7 se muestra el diálogo para la selección de la herramienta de corte, el cual permite interactuar con las superficies de la pieza.

**Herramienta / Superficie**

Árbol

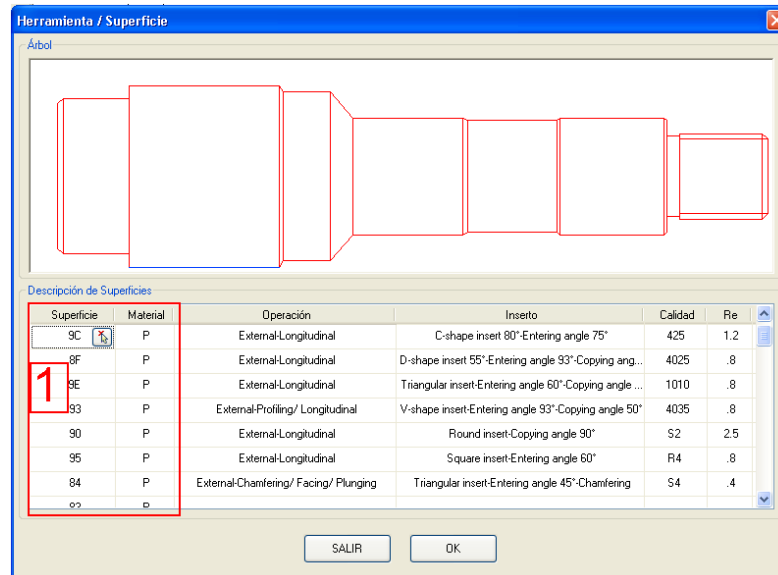
Descripción de Superficies

Superficie	Material	Operación	Inserto	Calidad	Re
9C	P	External-Longitudinal	C-shape insert-Entering angle 75°	425	1.2
8F	P	External-Longitudinal	D-shape insert 55°-Entering angle 93°-Copying ang...	4025	.8
9E	P	External-Longitudinal	Triangular insert-Entering angle 60°-Copying angle ...	1010	.8
93	P	External-Profiling/ Longitudinal	V-shape insert-Entering angle 93°-Copying angle 50°	4035	.8
90	P	External-Longitudinal	Round insert-Copying angle 90°	S2	2.5
95	P	External-Longitudinal	Square insert-Entering angle 60°	R4	.8
84	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 45°-Chamfering	S4	.4
92	P				

SALIR OK

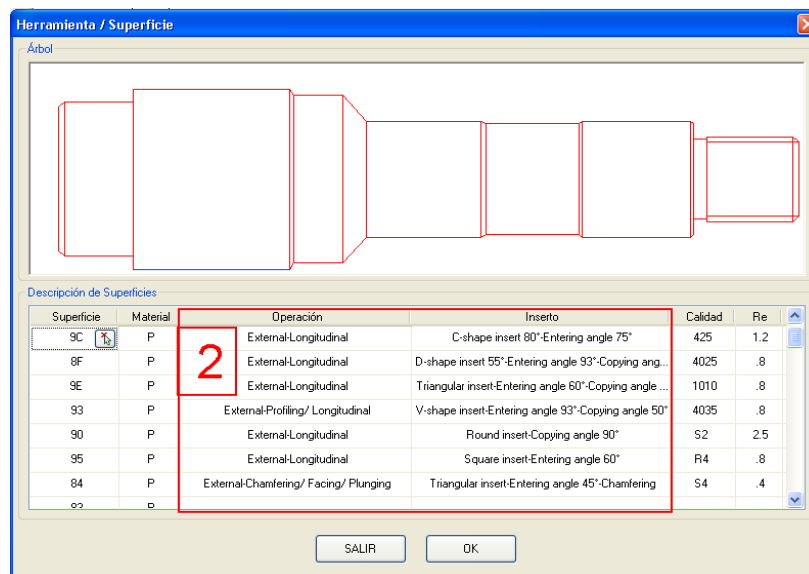
**Figura 3.7.** Diálogo de selección de la herramienta y superficie.

En la Figura 3.8 se presenta un reconocimiento automático de la superficie a maquinar y el material (espacio representado en rojo).



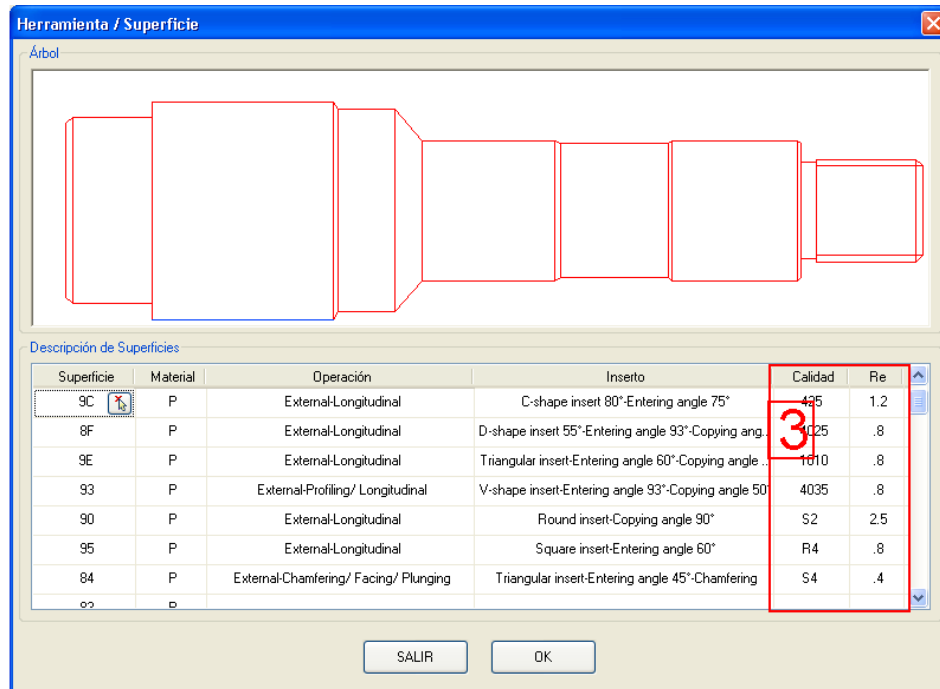
**Figura 3.8.** Reconocimiento automático de la superficie a maquinar y el material.

El cuadro de diálogo de la Figura 3.9 presenta una selección de la operación y el inserto, que estará estrechamente relacionada con la superficie escogida anteriormente para maquinar.



**Figura 3.9.** Diálogo para la selección de la operación y el inserto.

En la Figura 3.10 se representa la selección de la calidad del inserto y el radio de punta de la plaquita. Este diálogo permite además de su visualización, su almacenamiento.








**Figura 3.10.** Diálogo para seleccionar la calidad y radio de la punta.

En la Figura 3.11 se muestra el reporte realizado por el sistema, el cual genera todo el cúmulo de información obtenida después de la interacción del tecnólogo con el sistema para la fabricación de la pieza en cuestión.

2:30 AM 07/02/11

### Datos de la Pieza en Bruto

IM	Tipo de Perfil	Lado/Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Vol. PB. (mm <sup>3</sup> )	DeltaMinVol(mm <sup>3</sup> )
	REF	75	400	1766.2	1748
	RLC	75	400	1766.2	1748
	REF	78	400	1910.4	1892.2
	HLC	75	400	1948	1929.8
	REF	80	400	2009	1990.8

### Herramienta/Superficies

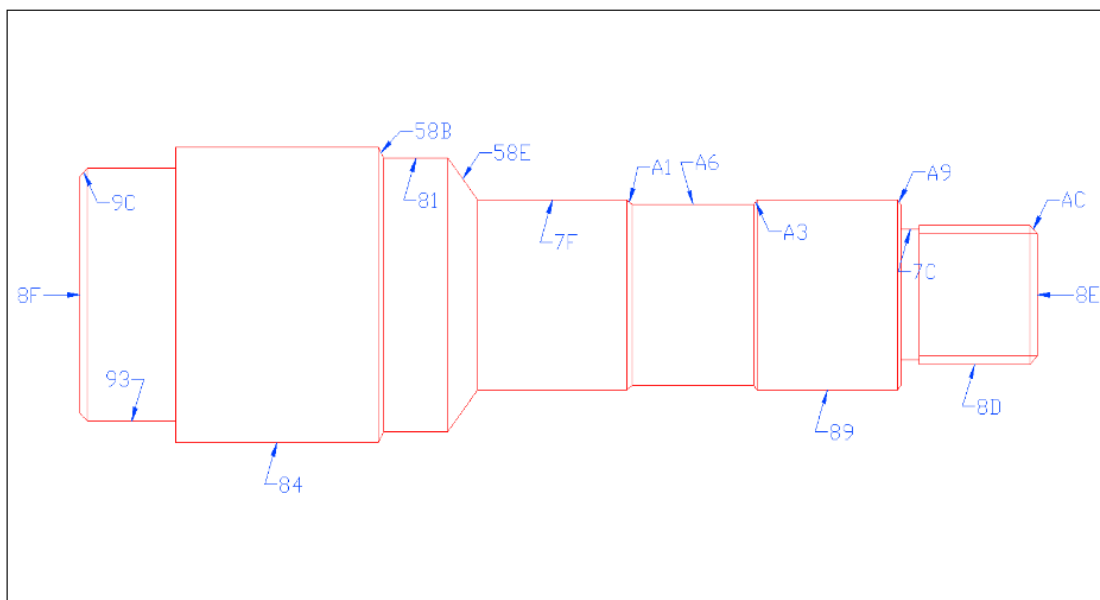


Figura 3.11. Reporte del sistema de los datos.

Superficie	Material	Operación	Inserto	Calidad	Re
9C	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 45°-Chamfering	215	.8
8F	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Square insert-Entering angle 45°-Chamfering	1525	1.2
93	P	External-Longitudinal	C-shape insert 80°-Entering angle 95°	215	.8
84	P	External-Longitudinal	C-shape insert 80°-Entering angle 95°	215	1.2
58B	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 45°-Chamfering	4025	.4
81	P	External-Longitudinal	D-shape insert 55°-Entering angle 93°-Copying angle 27°	4035	.8
58E	P	External-Profiling/ Longitudinal	D-shape insert 55°-Entering angle 63°-Copying angle 57°	235	.8
7F	P	External-Longitudinal	Round insert-Copying angle 27°	515	3
A1	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 90°-Facing	415	.4
A6	P	External-Longitudinal	Round insert	4015	4.76
A3	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 90°-Facing	5015	.4
89	P	External-Longitudinal	Round insert-Copying angle 40°	4015	4.76
A9	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 45°-Chamfering	4015	.4
7C	P	Parting and Grooving	Grooving, deep	2145	
8D	P	External-Threading	UN 60°	4125	
AC	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Square insert-Entering angle 45°-Chamfering	235	.8
8E	P	External-Chamfering/ Facing/ Plunging	Triangular insert-Entering angle 90°-Facing	S4	.4

**Figura 3.11.** Reporte del sistema de los datos (continuación).

### 3.3 Valoración de los impactos económico y social

Las metas principales de la automatización en instalaciones de manufactura es integrar diversas operaciones con lo que se pretende aumentar la calidad, uniformidad y productividad, así como, la reducción de los tiempos de la producción y los costos asociados a la fabricación del producto.

#### **Análisis sobre el impacto económico**

El enfoque de solución propuesta para la integración de la selección de la pieza en bruto con la forma de las herramientas de corte, representan una vía para incrementar el ahorro de material en el ámbito industrial. Además, la implementación del procedimiento en una herramienta informática permite el

aumento de la productividad y la reducción de los tiempos de preparación de la fabricación.

### **Análisis sobre el impacto social**

Los resultados obtenidos de la presente investigación contribuyen de manera directa en la profesionalización de la labor del tecnólogo y del personal especializado en el proceso de selección de piezas en bruto y herramientas de corte. El trabajo con la herramienta desarrollada simplifica la tarea de planeación del proceso y permite la concentración del personal en el análisis, evaluación y toma de decisiones sobre las propuestas de solución a la tarea técnica.

### **3.4 Conclusiones**

- Se implementó en AutoCAD la herramienta para la selección automatizada de las piezas en bruto y de las herramientas de corte orientada a los sistemas CAPP de maquinado de piezas tipo árbol.
- Se aplicó a varios casos de estudio, demostrándose la validez de la herramienta desarrollada.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- Debido a las limitaciones expuestas en la revisión bibliográfica, los enfoques CAPP actuales carecen de métodos apropiados para una selección de las piezas en bruto en función de las características geométricas del CAD y su vinculación con los útiles de corte.
- Se elaboró un algoritmo general del sistema para la selección de las piezas en bruto y las herramientas de corte orientados a los Sistemas de Planificación Asistidos por Computadora (CAPP) para el maquinado de piezas tipo árbol.
- Se desarrolló una herramienta automatizada que permite una correcta selección de la pieza en bruto y de la forma de las herramientas de corte en sistemas CAPP para el maquinado de piezas tipo árbol.

## **RECOMENDACIONES**

- Desarrollar una herramienta automatizada similar a la descrita en esta investigación para piezas prismáticas.
- Continuar con la incorporación de parámetros tecnológicos que mejoren la toma de decisiones en el proceso de planificación de la producción asistida por computadoras.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ACOSTA, M., G.; 2007. "Software CAPP para la Generación de Tecnologías de Maquinado" [Tesis de maestría]. Universidad de Holguín.
- AHMAD, N., ANWARUL, A. F. M., y HASIN, A. A.; 2001. "Current Trend in Computer Aided Process Planning". Paper presented at the Proceedings of the 7th Annual Paper Meet and 2nd International Conference The Institution of Engineers, Bangladesh.
- ARAI, E. y WAKAMATSU, H.; 2007. "Flexible process planning system considering designers' intentions and manufacturing conditions 18<sup>th</sup> International Conference on Production Research".
- AUTODESK.; 2008. "Manual de AutoCAD 2008". Manual de referencias de programadores en AutoLISP, Inc. USA, 2008.
- ÁVILA, R.R.; 1998. "CAPP, Elemento de Integración entre el CAD y el CAM. CYTED". Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. RIBAMEC. Red Iberoamericana de Automatización de los Procesos de Mecanizado. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Del 13 al 16 de Julio.
- ÁVILA, R.R.; 1999. "Planificación óptima multiobjetivo del maquinado en tornos CNC". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Holguín 1999.
- BING, S., CHEN, J., y LI, Z.; 2008. "Microrobot based micro-assembly sequence planning with hybrid ant colony algorithm". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38, 1227–1235.
- BUTDEE, S., NOOMTONG, C., y TICHKIEWITCH, S.; 2008. "A Process Planning System with Feature Based Neural Network Search Strategy for Aluminum Extrusion Die Manufacturing". *AIJSTPME*, 1(1), 27-53.

- CARDONE, A. y GUPTA, S.K.; 2006. "Machining feature-based similarity assessment algorithms for prismatic machined parts Computer-Aided Design". 38 954–972.
- CASADESÚS, M., DE CASTRO, R., GIMÉNEZ, G.; 2007. "Planteamiento de la Estructura para el Diseño de un DSS (decision support system) para la Planificación de los Procesos Productivos CAPP (Computer Aided Process Planning) " I Workshop de Ingeniería de Organización. Bilbao, 21-22 de septiembre.
- CORNEY, R.C.; 1993. "Graph-Based Feature Recognition". Ph.D. dissertation, Heriot-Watt University, Edinburg.
- CROW, K.; 2000. "COMPUTER- AIDED PROCESS PLANNING, DRM Associates". USA.
- CHANDRA, R.; 1997. "Intelligent Generative Process Planning for Computer Integrated Manufacturing". 13<sup>th</sup> ISPE/IEE International Conferences on CAD/CAM Robotics & Factories of the Future CARS & FOF'97. Colombia.
- CHANG, T.C. y TIPPS.; 1982. "A Totally Integrated Process Planning System". Ph.D. dissertation, Blacksburg Virginia Polytechnic Institute.
- CHENG, G., SUN, H., SHAHID, I. Butt., GAO, Z.; 2006. "Research on Intelligent CAPP System Based on PDM" International Technology and Innovation Conference.
- CHOI, B.K.; 1982. "CAD/CAM Compatible, Tool-Oriented Process Planning for Machining Center". Ph.D.dissertation, Purdue University, Lafayette.
- CHUANG, S.H. y HENDERSON, M.R.; 1990. "Three-dimensional pattern recognition using vertex classification and vertex-edge graphs". Computer-Aided Design, 22, 6, 377–387.

- DE FLORIANI, L.; 1989. "Feature extraction from boundary models of three-dimensional objects". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11, 8, 785–798.
- DONG, X.; 1988. "Geometric Feature Extraction for Computer-Aided Process Planning". Ph.D. Dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, Albany.
- FALCIDIENO, B. y GIANNINI, F.; 1989. "Automatic recognition and representation of shape-based features in a geometric modeling system". Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 48, 93–123.
- GECEVSKA, V., CUS, F., DUKOVSKI, V Y KUSINOVSKI, M.; 2006 "Modelling of manufacturing activities by process planning knowledge representation" Int. Journal. Simul.model.5 (2), 69-81.
- HADDADZADE, M., RAZFAR, M. R., y FARAHAZAKIAN, M.; 2009. "Integrating Process Planning and Scheduling for Prismatic Parts Regard to Due Date". World Academy of Science, Engineering and Technology, 51, 64-67.
- HENDERSON, M.R.; 1984. "Extraction of Feature Information from Three-Dimensional CAD Data". Ph.D. dissertation, Purdue University.
- HOUTEN, F. y ERVE, V.; 1989. "A feature based CAPP System". Presented at the 21<sup>st</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Stockholm, and 1989.
- HUAN-MIN, X., y DONG-BO, L.; 2008. "A meta-modeling paradigm of the manufacturing resources using mathematical logic for process planning". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36, 1022–1031.
- ISMAIL, N., MUSHARAVATI, F., HAMOUDA, A. S. M., y RAMLI, A. R.; 2008. "Manufacturing process planning optimisation in reconfigurable multiple parts flow lines". Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 31(2), 671-677.

- JAKUBOWSKI, R.; 1982. "Syntactic characterization of machine parts shapes, Cybernetics and Systems". An International Journal, 13, 1–24.
- JOSHI, S.B.; 1987. "CAD Interface for Automated Process Planning". Ph.D. Dissertation, Purdue University, Lafayette, Indiana.
- KE, Y. y FAN, S.; 2005. "Feature-based reverse modeling strategies Computer-Aided Design". 38, 485–506.
- KIM, Y.S. y WILDE, D.J.; 1992. "Local cause of non-convergence in a convex decomposition using convex hulls". ASME Journal of Mechanical Design, 114, 468–476, September.
- KYPRIANOU, L.K.; 1980. "Shape Classification in Computer Aided Design". Ph.D. Thesis, Christ's College, University of Cambridge, Cambridge, U.K., July.
- LIU, H. y MAEKAWA, T.; 2003. "Methods for feature-based design of heterogeneous solids Computer-Aided Design". 36, 1141–1159.
- LIU, R.C. y SRINIVASAN, R.; 1984. "Generative process planning using syntactic pattern recognition". Computers in Mechanical Engineering, March, 63–66.
- LIU, Z., y WANG, L.; 2007. "Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning". Computers in Industry 58 295–303.
- LU, S., CAO, X., CAI, Z., ZENG, G., y LIU, T.; 2007 "Application and Execution of CNCbCAD&CAPP Technology in INC" Mediterranean Conference on Control and Automation, July 27-29, Athens-Greece.
- MONTECINOS, J. R., MACHACUAY, J. A., FANTOZZI, C., GRANCHI M.; 2007. "Planificación del Proceso de Mecanizado de Piezas a Partir del Modelado Sólido Basado en Componentes" 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco, 23 al 25 de Octubre.

- MUSHARAVATI, F., ISMAIL, N., MAJID, A., y RAHMAN, A.; 2008. "A Metaheuristic Approach to Manufacturing Process Planning in Reconfigurable Manufacturing Systems". *Jurnal Teknologi*, 48(A), 55-70.
- NAGESWARA, P., y SIVA, R. K.; 2001. "Computer-Aided Process Planning (CAPP) in Manufacturing Systems and Their Implementation". In C. Leondes (Ed.), *Operational Methods in Computer-Aided Design (Vol. III)*: CRC Press.
- NC 5739:84. *Misceláneas Aceros y sus laminados. Aceros resistentes a la corrosión, termo refractarios y termoresistentes*. La Habana ed. Vol. 2. 1984. 260 p.
- NWOKAH, O. D. I., y HURMUZLU, Y.; 2001. "Computer-Aided Process Planning for Machining Mechanical Systems Design Handbook". *The Modeling, Measurement, and Control*: CRC Press.
- ROYO J, E.; 2004. "Herramientas de corte, Materiales y Geometría".
- SAKURAI, H., y GOSSARD, D.C.; 1990. "Recognizing shape features in solid models". *IEEE Computer Graphics and Applications*, 10, 5, 22–32.
- SANDVIK AB COROMANT.; 2002. "Productividad en el Mecanizado". Suecia.
- SOMASHEKAR, R.; 2001. "A method for generation of machining and fixturing features from design features computers in Industry". 47 269-287.
- STRYCZEK, R.; 2008. "Ptri Net-Based Knowledge Acquisition Framework for CAPP". *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 32(2), 21-38.
- TSENG, Y.; 1998. "Fixturing design analysis for successive feature-based machining Computers in Industry". 38 249–262.
- VANDEBRANDE, J.H.; 1990. "Automatic Recognition of Machinable Features in Solid Models". Ph.D. dissertation, University of Rochester.

- VANDEBRANDE, J.H.; 1990. Automatic Recognition of Machinable Features in Solid Models, Ph.D. dissertation, University of Rochester.
- WANG, H., MENG, C., LI, L., y ZHANG, Y.; 2008. "The Boiler CAPP System Based on the Expert System Technology". Paper presented at the IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application.
- WOO, T.; 1982. "Feature Extraction by Volume Decomposition". Technical Report No. 82-4, Department of Industrial and Operations Engineering, University of Michigan, Ann Arbor.
- XIAOLIANG, J.; 2008. "Process Planning Knowledge Discovery Based on CAPP". Database for Mechanical Manufacturing Enterprise. Journal of Computer, 3(10), 50-57.
- ZHANG, F., XIAO, Y., SHANGGUAN, J., SUN, H., y I, S.; 2008. "Research on Object Oriented Information Modeling in Manufacturing Planning for CAPP". Paper presented ZHAN-JIE, W., JU, T., y WEN, C.; 2009. "Integration of process planning and production scheduling based on genetic algorithm". Journal of Communication and Computer, 6(6), 12-16.at the Proceedings of the 2008 IEEE IEEM.
- ZHOU, X., QIU, Y., HUA G., WANG H, RUAN. X.; 2007. "A feasible approach to the integration of CAD and CAPP" Computer-Aided Design 39 324–338.