

**TITULO:** Sistema CAPP para la Generación de tecnologías de maquinado.

**TITLE:** CAPP System for Machining Technology Generation.

**AUTORES:**

Ing. Geordán Acosta Méndez (1)

Dr.C. Ricardo Ávila Rondón. Profesor Titular (1)

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN:** Se presenta el desarrollo de un software CAPP, para la generación de tecnologías de procesos de manufactura para el torneado, taladrado y fresado, que responde a la diversidad tecnológica existente en Cuba. El desarrollo de este sistema se basa en el empleo de las técnicas de programación orientada a objeto (OOP) en C++, la utilización de bibliotecas gráficas independientes, y la conectividad con bases de datos.

**PALABRAS CLAVES:** MANUFACTURA, CAPP, TECNOLOGIAS DE MAQUINADO.

**ABSTRACT:** This paper presents the development of a CAPP computer program for the generation of manufacture processing technologies related to latheing, drilling and cutting, in correspondence with the technological diversity existent in Cuba. The development of this system entails the employment of object oriented programming (OOP) techniques used in C++, as well as the use of independent graphic libraries, and database connectivity.

**KEY WORDS:** MANUFACTURING, CAPP, MACHINING TECHNOLOGY.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico en los últimos tiempos alcanza un salto significativo en el ámbito de los procesos de manufactura. La informática, los avances en la mecatrónica, la robótica, el surgimiento de nuevos materiales y las nuevas tecnologías de fabricación, revolucionan la capacidad generativa de las industrias; que se enmarcan ahora en un entorno colaborativo, distribuido y global, mediante el uso de la Internet o red de redes. Por otro lado, la creación de aplicaciones informáticas que asistan a los proceso de fabricación en las etapas del desarrollo del producto se hace indispensable para lograr obtener el grado de automatización necesario.

Este avance en la informática permite el surgimiento y desarrollo de las tecnologías CAD/CAPP/CAM; que se convierten en un requisito indispensable para la industria actual, que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costos y acortar los tiempos de diseño y producción. La única alternativa para conseguir este triple objetivo es la de utilizar la potencia de las herramientas informáticas actuales en conjunto con la Ingeniería Concurrente para desarrollar softwares CAPP capaces de lograr esto.

Desde el punto de vista económico, se pueden evaluar globalmente las ventajas competitivas que brinda el uso de la tecnología CAD/CAPP/CAM aquí se evidencia un aumento de la productividad del trabajo, la calidad de los productos, así como, la reducción de los costos de diseño y fabricación.

A pesar de las ventajas de las aplicaciones CAPP, estos y otros sistemas estudiados poseen limitaciones. La política económica de nuestro país hace énfasis en el desarrollo de la innovación tecnológica. En este sentido, se reconoce la importancia de la difusión de tecnologías CAD/CAPP/CAM, para alcanzar un desarrollo tecnológico superior en la industria. Por tanto, ante la diversidad de las máquina herramientas existentes en la industria cubana, con un fuerte componente en las máquinas convencionales y poca implementación de las tecnologías CNC, además de los altos precios de los softwares existentes en el mercado internacional que impiden su adquisición por parte de nuestras empresas con carencias de mayor prioridad; surge la necesidad de desarrollar en el país un software CAPP para la generación de tecnologías de procesos de manufactura.

Frecuentemente ocurre que 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 metal que debe ser removido durante la fabricación. A fin de producir instrucciones de CN para el equipamiento CAM; deben tomarse algunas decisiones básicas como: qué equipo se debe usar, qué herramientas y qué secuencia de operaciones. Estas preguntas responden, precisamente, a la función del CAPP. Sin elementos del CAPP, no podría haber integración CAD/CAM.

Así como el CAD define Qué se debe producir, y la planificación de la producción (programación o gestión de la producción) define Cuándo se debe fabricar, la preparación del trabajo determina Cómo se debe fabricar. 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 proveen datos gráficos a los sistemas CAPP para usarse en la realización de dibujos de ensambles. Estos datos gráficos se pueden introducir en la máquina herramienta por medio de soporte magnético o por instrucciones escritas.

La implementación del CAPP resulta en beneficios significativos. En una encuesta realizada en 20 grandes y pequeñas compañías que implementan el CAPP en EE.UU, se obtuvieron estos resultados.

1. 58% de los esfuerzos en la planificación de procesos
2. 10% de ahorro en labores directas
3. 4% ahorro en material
4. 10% ahorro en desechos
5. 12% ahorro en herramientas

Y como beneficios intangibles:

1. Reducción del tiempo principal en la planificación de procesos y rápida respuesta a los cambios ingenieriles.
2. Mayor consistencia en la planificación del proceso y acceso de la información para actualizar una base de datos central.
3. Mejoramiento en el procedimiento para estimar costos y menores errores de cálculos.
4. La planificación de procesos es más completa y detallada.
5. Mejoras en la planificación de la producción y su capacidad de aprovechamiento.
6. Mayor habilidad para introducir nuevas tecnologías de manufactura y rápida actualización de la planificación de los procesos de las mismas.

## **MATERIALES Y METODOS.**

En el presente artículo se exponen algunos aspectos del software CAPP, específicamente los que están relacionados con la las clases principales que forman el sistema, algunas de las características de la base de datos. Los criterios que se usan para seleccionar las herramientas de corte, así como, las expresiones de cálculo para los regímenes de corte del torneado, fresado y taladrado.

La actividad de generación de tecnologías de maquinado es compleja y en ella se involucran una serie de factores que influyen de forma positiva o negativa para que esta tarea se lleve a cabo correctamente. Dentro de estos factores se pueden citar los siguientes:

1. El factor humano: los conocimientos que tenga el tecnólogo sobre los procesos tecnológicos de maquinado tiene un peso considerable. El desconocimiento de estos procesos conduce a un índice elevado de ineficiencia.
2. La pieza a obtener: es muy importante conocer el destino de servicio y el material de la misma; las características técnicas de la pieza determinan la(s) máquina(s) y las herramientas con las que se fabrica.
3. La(s) máquina(s) herramientas: desempeñan un papel importante en el éxito del proceso de obtención de la pieza. La rigidez y las características técnicas de la máquina deben garantizar obtener la pieza con las exigencias técnicas especificadas por el diseñador.
4. Las herramientas utilizadas: deben poseer las características físicas y la geometría necesaria para obtener la pieza final dependiendo del material y su forma. Esto se debe lograr atendiendo a la vida útil de la herramienta y los regímenes de corte establecidos por el fabricante.
5. Factor económico: la tecnología generada tiene que garantizar un consumo mínimo de energía, materiales, herramientas, tiempo y recursos que se traducen en un ahorro de dinero. Todo esto a tenor del factor ecológico.

Se presentan, además, el diagrama de clases en UML, donde se resaltan las clases principales escritas en C++ que intervienen en el sistema, así como su

interacción. En este se deben incluir todas las clases que sea necesarias para satisfacer una responsabilidad, las clases que utilizan los servicios ofrecidos y las relaciones entre ellas.

Esta aplicación CAPP constantemente interactúa con una base de datos por lo que el diagrama se representa con tres capas o niveles. Una capa a nivel de usuario, representada por las clases que forman los diálogos, otra llamada lógica o de cálculo y una la última que representa la conexión con base de datos.

Como se muestra abajo en el Gráfico 1 la capa a nivel del usuario está formada por las clases de los diálogos, los cuales heredan de la superclase CDialog; esto está representado en el gráfico con líneas continuas con flechas de cabeza cerrada, según notación UML. Estos diálogos están asociados al diálogo principal representados por líneas discontinuas.

La capa de acceso a datos no es más que la clase en donde están las líneas de código que enlazan la base de datos con el diálogo principal, esto está representado por líneas continuas con cabezas de flechas abiertas y significa una unión por instanciación. La tercera capa es donde están los cálculos que la aplicación efectúa la cual esta asociada al dialogo donde se selecciona los tipos de herramienta que se usan en una operación.

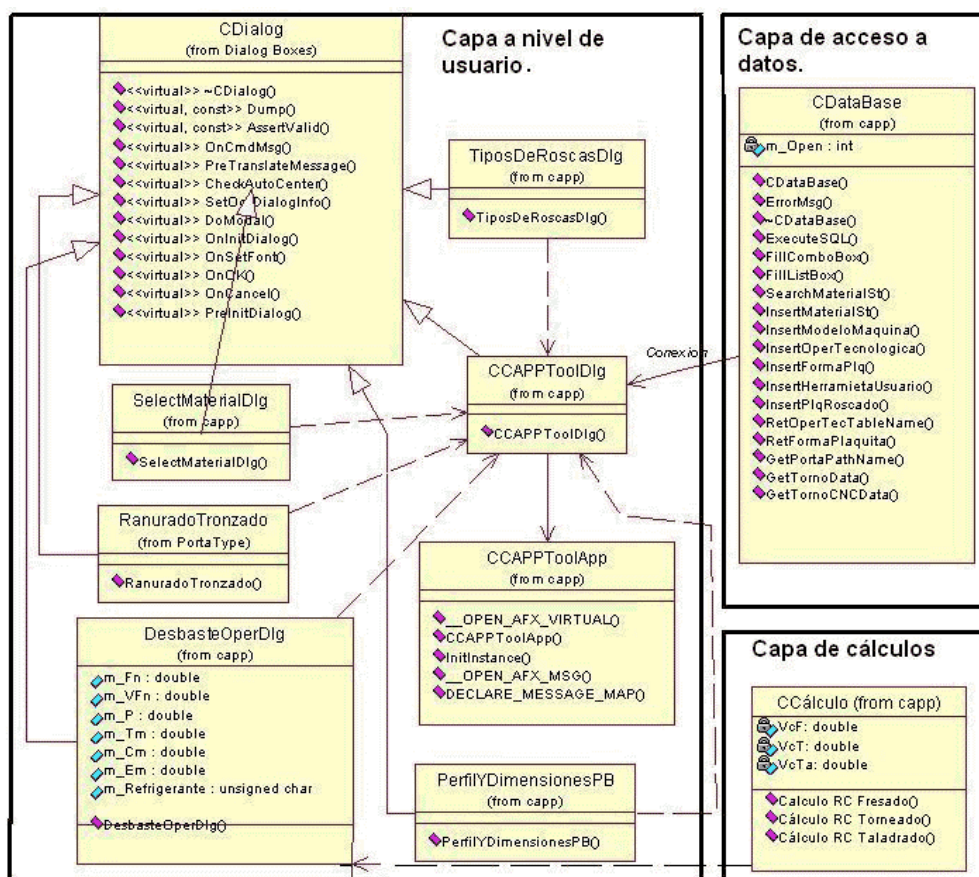
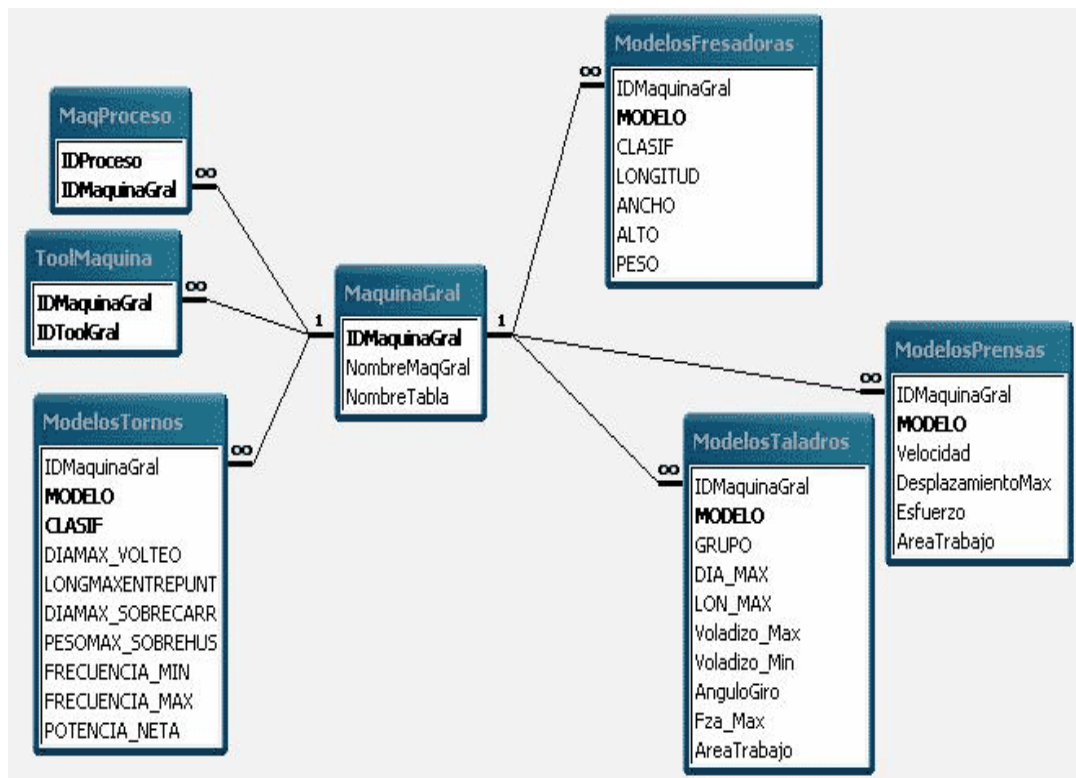


Gráfico 1. Gráfico con las principales Clases de C++ del Software.

Para lograr la implementaron de de un software CAPP se requiere de la utilización de Bases de Datos (BD) y de los Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD) que dirigen su manipulación.

La metodología para el diseño de la base de datos, consta de los siguientes pasos:

1. Determinación de entidades y atributos
2. Normalización de entidades
3. Determinación de relaciones (DER ver Gráfico 2)
4. Obtención del modelo lógico global de los datos
5. Diseño físico de la BD



**Gráfico 2.** Fragmento del Diagrama Entidad-Relación de la base de datos del software.

Para asegurar la correcta integración de las actividades de CAD/CAPP/CAM, hay que contar entre sus elementos con una Base de Datos, la misma está dividida de manera ficticia en dos partes, una parte almacena los datos pasivos, estos no se modificaran con frecuencia y se refiere a la información relacionada con entidades como máquinas, herramientas, materiales, operaciones, paso tecnológico, tolerancias, rugosidades y otras. La otra parte almacena los datos que tienen un movimiento mayor, o sea, están sujetos a modificaciones frecuentes, esta parte contiene información relativa a las tecnologías generadas por el sistema CAPP.

Las fuentes de procedencias de la información relacionada con las herramientas que contiene la Base de Datos provienen en su mayoría de manuales de herramientas de los fabricantes de éstas. Así, las cuchillas de

cortes fabricadas por SANDVIK Cormant, en sus manuales contienen los regímenes de trabajo. Estos regímenes de trabajo son obtenidos a través de experimentos realizados a los materiales de las herramientas. Este modelo de datos está estrechamente relacionado con el Sistema de Gestión de Datos que es el encargado de todos los accesos a la Base de Datos, es decir, es el responsable de las acciones de actualización (extracciones, cambios, supresiones) de la información, chequeos de autorización y validaciones de restricciones impuesto en el modelo.

Las cuchillas de corte se clasifican según los pasos tecnológicos que realizan en cuchillas de: cilindrado, refrentado, ranurado, roscado y otras. Según la superficie con las que tienen contacto se dividen en: interiores, exteriores. Estos dos aspectos son los que se tienen en cuenta dentro del modelo de la Base de Datos.

Para tratar la información relacionada a las cuchillas de corte en el modelo, se dividen en las siguientes entidades plaquitas y soportes.

### **Plaquita**

Esta entidad contiene atributos como: forma geométrica, radio de la punta, espesor, longitud entre otros.

La entidad plaquita está muy relacionada con entidades como material de la pieza a trabajar, material de la plaquita (también conocido como calidad), régimen de trabajo, paso tecnológico y soporte. Los materiales a trabajar se tratan por la norma ISO y por una codificación equivalente (CMC) que emplea el fabricante de herramientas SANDVIK, la norma ISO clasifica los materiales en tres grupos denominados P, K, M. La correcta selección del material de la plaquita (calidad) depende del material a trabajar, del paso tecnológico y su geometría. Esta geometría no se refiere a la forma geométrica de la plaquita, sino a la geometría de la superficie de la plaquita. Para conocer la plaquita y la calidad de ésta, se parte de la operación y luego se conoce la geometría, es entonces que, a partir de ella se obtienen los materiales que se pueden trabajar con dicha geometría. Luego, estos materiales se relacionan con las plaquitas y calidades respectivas. La calidad de la plaquita está estrechamente relacionada con los regímenes de trabajo. A partir de la calidad de la plaquita se relacionan los diferentes rangos de velocidades de corte, así como los rangos de avances para las diferentes calidades.

### **Soporte de la plaquita.**

Estos se clasifican en interiores y exteriores. En dependencia del sentido de corte se clasifican en soportes a izquierda, derecha, o neutros. Otro aspecto que se considera dentro del modelo de la Base de Datos es la relación que existe entre el soporte y la plaquita, existe una relación entre el medio del sistema de sujeción que presenta la plaquita y el soporte. Este sistema de sujeción puede ser de los siguientes tipos: T\_MAXP, T\_MAXU, CERA\_CBN.

Las herramientas desempeñan una función muy importante para generar tecnologías de maquinado. Tomando en cuenta los pasos a seguir para la selección de herramientas de cortes de acuerdo a Sandvik, una vez que se tenga la forma dimensiones del perfil a maquinar, el tipo de operación a realizar, el material de la pieza, el acabado de la superficie y en que máquina herramienta se realizará; se podrá escoger que tipo de plaquita se va utilizar y con la misma se restringe la selección del mango de la herramienta.

Seguido se realiza el cálculo del número de pasadas y por cada pasada se comprueba si la potencia calculada es permitida en la máquina escogida. Estos criterios son traducidos en el software mediante sentencias SQL.

El cálculo de regímenes de corte es uno de los pasos de la generación de tecnologías para maquinado; no es más que una serie de parámetros que se establecen o se calculan con el fin de obtener una pieza terminada en correspondencia con las exigencias técnicas de la misma. Cuanto mejor sean estos parámetros, mayor será la productividad con un menor costo.

La implementación de las ecuaciones de cálculo (Gráfico 3.) en C++ es bastante sencillo, incluso todo el código que contiene estas ecuaciones puede compilarse y convertirse en un fichero de encabezamiento (Header) e incluirse dentro de la librería que usa el sistema, haciendo que el programa de la aplicación sea más compacto y se ejecute más rápido.

```
const double PI = 3.14159265358979323846;

//Frezado
double Reg_VCal( int Z, int n, double A, double L, double D, double H ,
double *S, double *N, double *T) {
    double V;
    V = (PI * D * n);
    *N = (1000 * V)/(PI * D); //Número de rev. De la freza
    *S = N * Z * H;          // Avance por min de la freza
    *T = L/(A * N);
    return V;
}

//Taladrado
double Reg_VCal( int n, double Srev, double D, double *Sz, double *Sm,
double *t, double *Fz) {
    double V;
    V = (PI * D * n)/ 1000.0;
    *Sz = Srev / 2.0;
    *Sm = Srev * n;
    *t = D / 2.0;
    *Fz = (Sz * D) / 4.0;
    return V;
}
```

**Gráfico 3.** Fragmento de código para el cálculo de regímenes de corte.



## RESULTADOS DEL TRABAJO

El software CAPP que se trata en este trabajo es asistido y deberá ser usado por un tecnólogo. El que deberá tener la última palabra a la hora de tomar decisiones tales como, ¿qué máquina herramienta escoger para realizar una operación determinada, de las posibles herramientas que da el sistema que pueden ser utilizadas cual escoger?

Además, si el sistema no tiene las máquinas herramienta y herramientas de corte de un taller determinado estas pueden incluirse dentro en su base datos para poder ser usadas por el ingeniero planificador.

El sistema cuenta con varios módulos para realizar la tarea de generar una tecnología de maquinado, atendiendo a las operaciones, colocaciones, posición, pasos tecnológicos y herramientas necesarias para la elaboración de la pieza, a continuación se describen estos módulos.

### Interfaz de usuario.

1. Área gráfica del sistema: Es donde se carga uno o varios ficheros DXF los que deben mostrar las exigencias técnicas de la pieza: rugosidad des a obtener, dimensiones, especificaciones de errores y posición detalles además debe mostrar las superficies a maquinar con números. Cuando esta información no viene solamente en un dibujo puede cargarse otros y minimizarse los mismos en el área gráfica a fin de que el tecnólogo tenga toda la información necesaria.
2. Selección del material en bruto de la pieza: Se selecciona el material si es laminado, fundido o forjado, elige el tipo de acuerdo a las normas existentes de los fabricantes, la longitud que tiene el material entre otros.
3. Selección de la máquina herramienta a utilizar: aquí el usuario elige que tipo de máquina herramienta va utilizarse para la operación que se va a realizar. La colocación y operación tecnológica se seleccionan también. Los datos técnicos de la máquina son recogidos de la base de datos.
4. Selección de las herramientas de corte de acuerdo al tipo de operación: Se selecciona la plaquita a utilizar y su mango, se introducen algunos datos como longitud a maquinar, diámetro, espesor, velocidad de corte, frecuencia de rotación y se hace el cálculo de los regímenes de corte por cada pasada, los que se recogen en forma de tabla en la parte gráfica inferior de la ventana.
5. Área donde se recoge la tecnología que se va generando de acuerdo a los datos seleccionados previamente: En el árbol tecnológico se recoge la tecnología. Esta área cuenta además con unos botones en la parte inferior que se utilizan para añadir algunos datos de la tecnología como son: el tipo de máquina, colocación (que puede ser A, B, C...), el número de la superficie a maquinar (Sup. 1, o 2,3...) etc. Otros botones se usan para borrar todo o parte del árbol o para introducir información arriba o debajo de donde se esté parado.

Una vez que el usuario ejecute la aplicación se abre el dialogo principal del software (Gráfico.4) Desde esta ventana se accede a todos los módulos de la



aplicación; la que debe ser usada únicamente por especialistas en tecnología de fabricación.

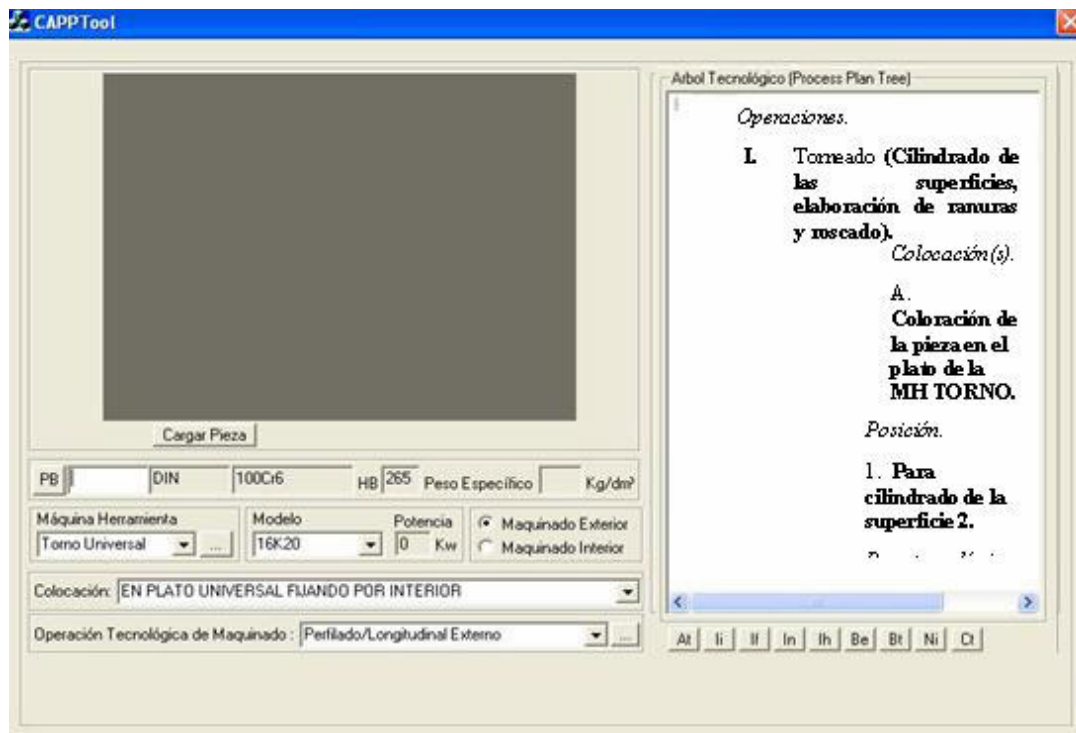


Gráfico 4. Diálogo principal del software.

Requerimientos de hardware del Software para utilizarlo:

- Mínimo un Pentium III
- SO Windows 98/Milenios/2000/Xp
- Memoria RAM 256Mbyte como mínimo
- Espacio en disco duro 300Mbyte
- Memoria de video 4Mbyte

## CONCLUSIONES

- 1- El lenguaje C++ se asume como soporte de las clases específicas para realizar la aplicación partiendo de las ventajas que el mismo tiene sobre otros lenguajes.
- 2- Se implementó una base de datos con una gran cantidad de información necesaria para que el sistema funcione adecuadamente, protegida y verificada por medio del Sistema de Gestión de Datos Microsoft Access 97.
- 3- Con la utilización de este software CAPP capaz de generar tecnologías de maquinado atendiendo a las operaciones tecnológicas, colocaciones, posición, pasos tecnológicos y herramientas necesarias para la elaboración de piezas, se incrementará la producción de las industrias del país.

## RECOMENDACIONES

- Poner el software sobre una plataforma Web, con fines educativos e industriales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bengoa, G. A. Introducción a la preparación del trabajo asistido por ordenador. Bolivia: CYTED: RIBAMEC, 1998. 125p.
2. Chang H. C. A dynamic programming based process planning selection strategy considering utilization of machines / H. C. Chang, F. F. Chen. New York: McGraw-Hill Book Company, 2002. 45p.
3. Cordobés, A. Manual para el trabajo de Curso de Tecnología de Construcción de Maquinaria. Holguín; ISTH, 1993. 50 h.
4. Fu, MW... [et al.]. An approach to identify design and manufacturing features from a data exchanged part model. **Comput Aided Des** (EEUU) 35: 979–993, 2003.
5. González, F; Gutiérrez, S.C; Meseguer, A. General and flexible methodology and architecture for Computer-Aided Process Planning. **Información Tecnológica** (España) 15 (4): 3-8, 2004.
6. González, F; Rosado, P. General information model for representing manufacturing features in CAPP systems. **International Journal of Production Research** (EEUU) 42 (9): 1815-1842, 2004.
7. Kaldor, S; Venuvinod, K. Macro level optimization of cutting tool geometry. **Manufacturing Science and Engineering** (EEUU) 119(1): 1-9, 1998.
8. Kumar, Manish; Rajotia, Sunil. Integration of process planning and scheduling in a job shop environment. **Int J Adv Manuf Technol** (EEUU) 28: 109–116, 2006.
9. Kumar M, Rajotia S. Integration of scheduling with computer aided process planning. **J Mater Process Technol** (EEUU) 138:297–300, 2003.
10. LiWD Ong, S. K; Nee, AYC. Recognizing manufacturing features from a design-by-feature model. **Comput Aided Des** (EEUU) 34:849–868, 2002.
11. López de Lacalle, L. N... [et al.]. Process planning for reliable high speed machining of moulds. **International Journal of Production Research** (EEUU) 40(12): 2789 - 2809, 2002.
12. Pozo Rodríguez, Rafael J. Marco general de Integración CAD/CAPP/CAM. Holguín; Universidad de Holguín, 2002. 90 h. (Tesis para optar por el grado de Master en CAD CAM).
13. Sadaiah, M; Yadav, R. D; Mohanram, V. P. Generative Computer-Aided Process Planning System for Prismatic Components, **Int J Adv Manuf Technol** (EEUU) 19:805–811, 2002.

## DATOS DE LOS AUTORES

### Nombre:

Ing. Geordán Acosta Méndez (1)

Dr.C. Ricardo Ávila Rondón. Profesor Titular (1)

### Correo:

[yordan@cadcam.uho.edu.cu](mailto:yordan@cadcam.uho.edu.cu)

[ricardo@cadcam.uho.edu.cu](mailto:ricardo@cadcam.uho.edu.cu)

### Centro de trabajo:

(1) Universidad de Holguín. Centro de Estudios CAD/CAM Teléfono: 482678