

---

## Tema A2b Manufactura: Sistemas de Manufactura Asistida por computadora (CAM).

### “Comparación de software shareware para generación de programas en código G”

*Alejandro Campos T., Vicente Borja, Álvaro Ayala*

*Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito Exterior, Conjunto Sur Facultad de Ingeniería, Edificio X, Centro de Ingeniería Avanzada, C.U., Ciudad de México, C.P. 04510, México*

*alexcato96@yahoo.com.mx , vicenteb@unam.mx, maktub10@yahoo.com*

---

#### RESUMEN

Este artículo reporta un estudio comparativo para identificar diferencias entre diversos programas shareware para generar códigos G. Primero se consultaron varias revistas electrónicas para identificar los programas shareware de uso más extendido y, empleando diversos criterios, se realizó una selección. Con los softwares seleccionados se hicieron experimentos con la finalidad de probar su funcionalidad y resultados. Se tomaron como parámetros para la evaluación el número de selecciones (selección de opciones en menús por medio de “clics” de un ratón) requeridas de los usuarios para generar un programa CN, el número de líneas del programa generado por cada software y el tiempo necesario para el maquinado.

---

*Palabras Clave: CAM shareware, Sistemas CAM, Código G, Control numérico, Simulación.*

#### ABSTRACT

A comparative study of CAM- shareware was carried out, to identify differences between software tools to generate G part programs to manufacture a part. A survey on electronic journals was pursued to identify the most widely used shareware CAM programs. Several criteria were used to select programs to undertake further studies. Then, a series of test were made with the selected software in order to verify their functionality. The evaluation parameters employed were: the number of selections within the graphic interface (number of mouse clicks) required by the user to generate a part program; the number of CNC program lines generated by each software, and the time required for machining a case study part.

---

*Keywords: CAM shareware, CAM Systems, G-Code, Numerical Control, Simulation.*

---

#### 1. Introducción

Para quienes se desenvuelven en el campo de la manufactura de productos, es común saber que un gran porcentaje de empresas del área y aún las mismas instituciones educativas, no tienen la capacidad económica para adquirir las licencias de software de Manufactura Asistida por Computadora (CAM por sus siglas en inglés) que desearían para su utilización como herramienta de trabajo o de aprendizaje. Lo anterior, por lo general, es debido al alto costo de las licencias del software que llegan a ser prohibitivas. Considerando lo anterior como motivación, en este artículo se reporta un estudio comparativo de herramientas de software shareware de CAM disponibles en el internet.

En la actualidad, hay diversas opciones de paquetería CAM para la generación de código de control numérico. Aunque es común que en empresas e instituciones educativas predomine el uso de software comercial, también

existen programas que se pueden descargar de internet que no tienen ningún costo, aunque limitaciones en su uso.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de un estudio comparativo de shareware CAM. Los resultados del estudio reportados permiten conocer los programas shareware CAM más populares, así como identificar las características distintivas de ellos.

Lo anterior con el fin de facilitar una selección de software para automatizar la generación de código CNC, que sea de utilidad para académicos, alumnos e incluso personal de la industria.

La comparación se hace en particular para procesos de fresado e incluye un caso de estudio que considera el maquinado de una pieza sencilla, la selección de herramientas y estrategias de maquinado.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma. Primero se presentan generalidades sobre el software CAM.

Posteriormente se definen los criterios de comparación y las medidas para cuantificar dichos criterios considerados para la caracterización del shareware CAM.

Luego, se reporta un caso de estudio como parte del cual se desarrollan una serie de experimentos.

Por último, se realiza un análisis de los resultados para finalmente presentar las conclusiones.

## 2. Generalidades

### 2.1. Software

Según la RAE, la definición de software es: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora [1]. Básicamente, el software es un plan de funcionamiento para un tipo especial de máquina, una máquina “virtual” o “abstracta”. Una vez escrito mediante algún lenguaje de programación, el software se hace funcionar en ordenadores, que temporalmente se convierten en esa máquina para la que el programa sirve de plan [2].

Se puede clasificar al software de la siguiente forma [2, 3]:

- Software de sistema: Es aquel que permite que el hardware funcione.
- Software de programación: Es el conjunto de herramientas que permiten al programador desarrollar programas informáticos.
- Software de aplicación: Aquel que permite a los usuarios llevar a cabo una o varias tareas específicas. Aquí se incluye: el Software de Manufactura Asistida por Computadora (CAM).
- Sistema operativo: es un software de sistema, es decir, un conjunto de programas de computadora destinado a permitir una administración eficaz de sus recursos. Un sistema operativo desempeña 5 funciones básicas en la operación de un sistema informático: suministro de interfaz al usuario, administración de recursos, administración de archivos, administración de tareas y servicio de soporte y utilidades.

Otra clasificación hace referencia a la de propiedad del software (ver Fig. 1), [4,5]. El software no libre, también es llamado software propietario, software privativo, software privado o software con propietario. Se refiere a cualquier programa informático en el que los usuarios tienen limitadas las posibilidades de usarlo, modificarlo o redistribuirlo (con o sin modificaciones), o que su código fuente no está disponible o el acceso a éste se encuentra restringido.

El software libre (ver Fig.1), es el software que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. A grandes rasgos, significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software.

Es decir, el «software libre» es una cuestión de libertad, no de precio. Para entender el concepto, piense en «libre» como en «libre expresión», no como en «barra libre». En inglés, a veces en lugar de «free software» se dice «libre software», empleando ese adjetivo francés o español, derivado de «libertad», para mostrar que no se quiere decir que el software es gratuito.

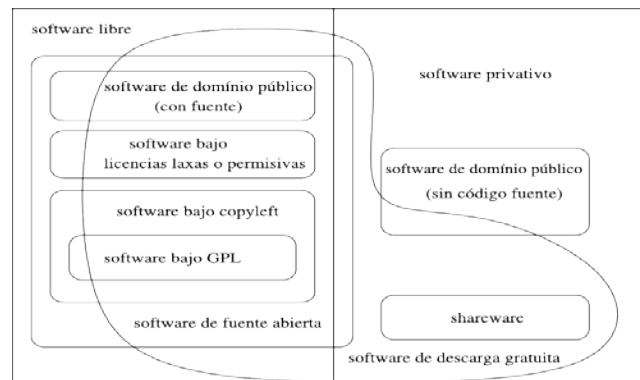


Figura 1. Diferentes categorías de software [5].

Un programa es software libre si los usuarios tienen las cuatro libertades esenciales [5]:

- La libertad de ejecutar el programa como se desea, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y cambiarlo para que haga lo que se quiera (libertad 1). El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.
- La libertad de redistribuir copias para ayudar a su prójimo (libertad 2).
- La libertad de distribuir copias de versiones modificadas a terceros (libertad 3).

Esto permite ofrecer a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones. El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.

### 2.2. Shareware

El término shareware se refiere al software del que se permite redistribuir copias, pero con limitaciones en el tiempo o en algunas de las formas de uso, o con restricciones en las capacidades finales. El software shareware no es software libre [5]:

- Para la mayoría de los programas shareware, el código fuente no está disponible, por lo tanto, no se pueden modificar;
- Para adquirir una licencia de software que permita el uso del software de manera completa se requiere de un pago, aunque también existe el llamado "shareware de precio cero", pero esta modalidad es poco común.

### 2.3. Sistemas CAM

La Manufactura Asistida por Computadora (CAM) es el uso de software para controlar una máquina-herramienta y maquinaria relacionada en la fabricación de piezas de trabajo. La mayoría de los mecanizados se llevan a cabo mediante cuatro etapas, cada una de las cuales es implementada por una variedad de estrategias, dependiendo del material y el software disponible [6].

Estas etapas son:

- Desbaste: Este proceso comienza con la materia prima, conocida como tocho, y realiza el corte muy aproximadamente a la forma del modelo final.
- Semi-acabado: Este proceso comienza con una pieza desbastada que se aproxima desigualmente al modelo y los cortes son realizados a una distancia de desplazamiento fijo del modelo.
- Acabado: El acabado implica un paso lento a través del material en pasos muy finos para producir la pieza acabada. En el acabado, el paso entre un paso y otro es mínimo.
- Fresado de contorno: En aplicaciones de fresado en hardware con cinco o más ejes, se puede realizar un proceso de acabado separado llamado contorneado.

Los sistemas CAM son software que permite la generación automática de programas de CNC [7]. Estos sistemas de CAM obtienen el programa de mecanizado en dos pasos.

En el primero de ellos no consideran datos de la Máquina-Herramienta ni del tipo de controlador CNC que tiene la máquina, únicamente se calcula la posición relativa de una herramienta respecto de la pieza, sin considerar el tamaño o la cinemática de la máquina (ver Fig. 2).

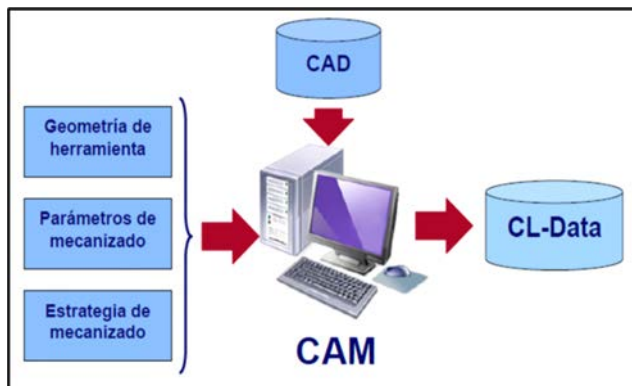


Figura 2. Estructura funcional de un sistema CAD-CAM [7].

Es necesario, en un segundo paso, convertir la información de ese archivo a un programa CNC para una máquina concreta. Para ello es necesario postprocesar este archivo utilizando un postprocesador (ver Fig. 3).

Un postprocesador es un módulo más de los sistemas de CAM, pero es el único que debe estar personalizado para cada máquina.

El postprocesador convierte las rutinas de ejecución de una operación en un código G que el control de la máquina pueda interpretar y ejecutar.

Como muchos otros paquetes de CAM, el postprocesador puede utilizarse en varias máquinas con el mismo tipo de control.

El postprocesador es un programa especial que transforma los datos técnicos generados por CAM en un NC para una máquina CNC concreta.

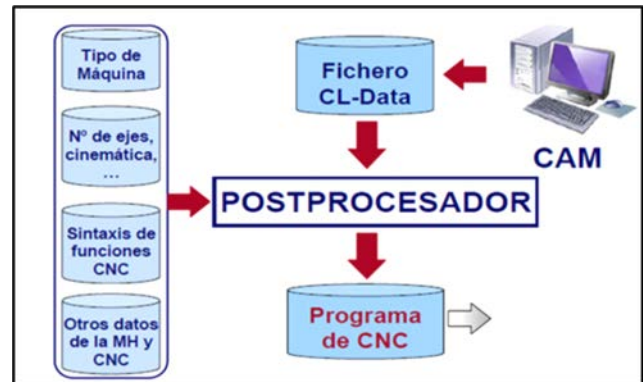


Figura 3. Estructura funcional de un postprocesador, en un sistema CAM [7].

### 3. Metodología

El estudio presentado en este artículo consta de la búsqueda, revisión, selección, análisis y aplicación de sistemas software CAM shareware. Se entiende a un software CAM shareware como una herramienta, adecuada para la creación de programas en código G, distribuidos en internet sin costo aunque con ciertas limitaciones. Para la realización del estudio se consultaron diferentes fuentes como páginas web, revistas electrónicas, foros o blogs abiertos, especializados en CAM que traten temas sobre software.

La selección de software, se realizó en dos fases: en la primera fase, tomando en consideración que el propósito del estudio es identificar herramientas que pudieran ser de fácil uso para alumnos y profesores, se seleccionaron los softwares CAM, ejecutables en el sistema operativo Windows®, por ser el más comúnmente empleado por usuarios de sistemas CAD-CAM. Por tal motivo, se eliminaron los softwares que se ejecutan bajo la plataforma Linux.

En la segunda fase de selección, se eligieron los softwares cuyos archivos descargados fueran fácilmente ejecutables (y relativamente seguros, es decir, que no presentaran riesgos de virus ocultos). Así también aquellos que se ejecutaban directamente en la plataforma Windows®. Un criterio más de la selección fue que los programas estuvieran vigentes como shareware, al día en que se realizó el estudio.

Durante el análisis de los softwares elegidos, ellos fueron caracterizados con base en sus atributos tecnológico y

gráfico. Con base en el análisis se elaboró un esquema comparativo.

Para la aplicación o uso de los programas CAM estudiados, primero se diseñó una pieza de estudio considerando las operaciones de fresado. A continuación, se definieron los criterios para cuantificar los parámetros observables en la comparación de los softwares CAM, con base en las investigaciones realizadas por Michalik [6]. Así se emplearon como parámetros a medir en la generación de programas de código G:

- Densidad de líneas en las trayectorias (número de líneas por región maquinada) de recorrido observadas en la operación de desbaste, generadas en la simulación realizada en TOPCAM® (MTS).
- El tiempo necesario para el maquinado, según una simulación realizada en el programa TOPCAM® (MTS) [9]. Los programas CN generados por cada software comparado, fueron cargados a TOPCAM®, para correr una simulación del maquinado. El tiempo requerido para correr el código, es decir, el necesario para maquinar la pieza, fue registrado.
- El número de selecciones en menús requeridas del usuario para generar el código de CN, medido por los clics del ratón durante la programación de operaciones. Como en todo programa computacional con una interfaz gráfica, en los programas comparados en este artículo, fue necesario utilizar los “clics” del ratón en las diferentes y determinadas operaciones tecnológicas con sus respectivas condiciones de corte. Se inició el conteo desde que se abrió el programa estudiado en el escritorio y se contabilizaron todos los clics requeridos para establecer las geometrías o el modelo a trabajar. Se finalizó el conteo hasta que se cerró la ventana en que se ejecutaba el programa.
- El número de líneas del programa CN generado por cada software que se estudió. El conteo del número de líneas del código G producido por cada herramienta se realizó a partir del primer renglón donde algunos softwares incluyen el símbolo (%) y también son consideradas las líneas que forma parte de la cabecera de programación junto con los comentarios que agrega cada software en particular, finalizando el conteo del código completo hasta la última línea generada que casi siempre terminó con el símbolo (%), o la línea con la función de fin de programa.

#### 4. Resultados

Según la metodología propuesta para la realización del estudio se consultaron:

- Las revistas electrónicas: AutoCAD Magazine, Cadalyst, mcadcafe, digitaleng. news, y CAD/CAM/CAE Observer.
- También se realizó una revisión de diversas páginas web y portales: Grupocarman, Comunidad Industrial y 3D CAD Portal, CNC.com, Okumathai, ICAM, Craftsmanspace, CNCzone.

De esta manera continuando con el proceso, en la primera fase se eliminaron los softwares que no cubrían los criterios establecidos en la sección 3. Los programas que superaron la etapa se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Softwares CAM que superaron la primera fase de selección.

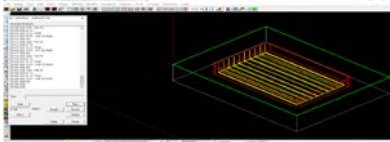
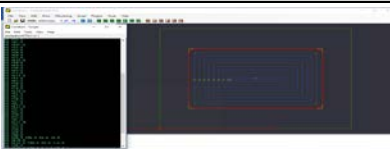
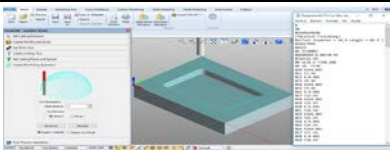
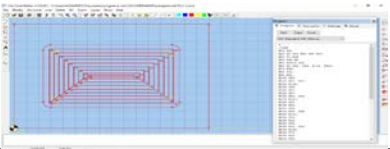
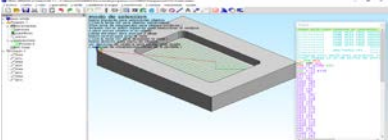
Softwares	Enlace de Descarga
G-SIMPLE	<a href="http://www.gsimple.eu/download.html">http://www.gsimple.eu/download.html</a>
GCAM - GNU	<a href="http://gcam.js.cx/files/gcam-win32-2010.07.27.zip">http://gcam.js.cx/files/gcam-win32-2010.07.27.zip</a>
GCNCCAM	<a href="https://sourceforge.net/projects/gcnccam/">https://sourceforge.net/projects/gcnccam/</a>
FREEMILL	<a href="https://mecsoft.com/freemill/">https://mecsoft.com/freemill/</a>
CAM BAM	<a href="http://www.cambam.info/downloads/">http://www.cambam.info/downloads/</a>
CNC CODE MAKER	<a href="http://www.creativecnc.net/downloads.html">http://www.creativecnc.net/downloads.html</a>
SIMPLE2D CAD/CAM	<a href="http://simple2dcadcam.sourceforge.net/">http://simple2dcadcam.sourceforge.net/</a>
CNC SIMULATOR	<a href="http://cnccsimulator.info/download">http://cnccsimulator.info/download</a>
HEEKSCNC	<a href="https://ln.sync.com/dl/56e0f9310#2xfdjsttm-mizvmpdt-ncbphipy-g823pk9c">https://ln.sync.com/dl/56e0f9310#2xfdjsttm-mizvmpdt-ncbphipy-g823pk9c</a>
CNCSIMPLE	<a href="http://www.e-cam.it/#Download">http://www.e-cam.it/#Download</a>
SHARPCAM 21/2 AXIS CAM	<a href="http://www.sharpcam.co.uk/Download-Demonstration.aspx">http://www.sharpcam.co.uk/Download-Demonstration.aspx</a>
COLLABCAD	<a href="https://www.collabcad.gov.in/register.html">https://www.collabcad.gov.in/register.html</a>
CAMOTICS	<a href="http://camotics.org/download.html">http://camotics.org/download.html</a>

Posteriormente en la segunda fase de selección, se volvieron a filtrar los softwares elegidos en la fase uno. El criterio de mayor peso en esta selección fue que los programas estuvieran vigentes como software shareware el día en que se realizó el estudio. Los programas que superaron esta fase se muestran en la Tabla 2.

Las características que se consideraron para la caracterización de los programas fueron:

- Tipo e idioma de la interface.
- Capacidad técnica como: el tipo de visualización de las piezas, el número de ejes manejado.
- Tipos de archivos manejado para la recepción o transmisión de información.

Tabla 2. Software CAM que superaron el segundo filtro.

Softwares	
<b>G-SIMPLE</b>	
<b>CAMBAM</b>	
<b>FREEMILL</b>	
<b>CNC CODEMAKER</b>	
<b>HEEKS CNC</b>	

Los resultados del análisis de las características de los softwares se sintetizan en la tabla 3. Esta fase, se realizó siguiendo un método de análisis y síntesis para el estudio de parámetros comparativos, empezando con una prueba práctica con los programas seleccionados para comprobar características de interés. Para tal fin, se practicó con cada programa hasta alcanzar un nivel básico como usuario suficiente para importar o modelar una pieza y realizar todas las operaciones necesarias para generar código G.

#### Pieza de estudio

La pieza de estudio para la comparación de programas CAM, se diseñó en un software CAD. Las geometrías de la pieza se crearon con este software, con el uso de características tecnológicas como sketch- extrusión y redondeo. La pieza de estudio fue un prisma rectangular con una cavidad (*pocket*) ya que es una geometría muy común en operaciones de fresado, cuya complejidad depende de los bordes de la caja y de sus superficies. Como se conocía poco de cada uno los softwares estudiados se optó por elegir sólo una operación de fresado de 3 ejes, cuya estrategia de maquinado dependería de las alternativas que cada uno de los softwares estudiados ofreciera (ver Fig. 4).

Tabla 3. Análisis comparativo de la caracterización de los softwares CAM.

CARACTERIS-TICA	PROGRAMAS				
	G-SIMPL E	CAM BAM	FREE-MILL	CNC CODE MAKER	HEEKs
Tipo de interfaz de usuario.	GUI	GUI	GUI	GUI	GUI
Idioma del interfaz.	Inglés	Inglés, español	Inglés, español	Inglés	Inglés, español
Tipo de visualización. (2D o 3D)	3D wireframe	2D y 3D wireframe	2D y 3D wireframe, 3D modelado o sólido	2D wireframe	2D y 3D wireframe, 3D modelado o sólido
Capacidad en el manejo de ejes para mecanizar.	3 ejes	3 ejes	3 ejes	3 ejes	3 ejes
Formatos de archivo admitidos importar.	2D: DXF	2D : DXF, 3D: STEP, STL, 3ds y RAW	2D : DXF, 3D: STEP, STL, 3ds y RAW	2D: DXF	2D : DXF, 3D: STEP, STL, 3ds y RAW
Formatos de archivo admitidos exportar.	2D: DXF	DXF	2D : DXF, 3D: STEP, STL, 3ds y RAW	2D: DXF	2D : DXF, 3D: STEP, STL, 3ds y RAW
Opción de editar postprocesador .	SI	SI	SI	SI	SI

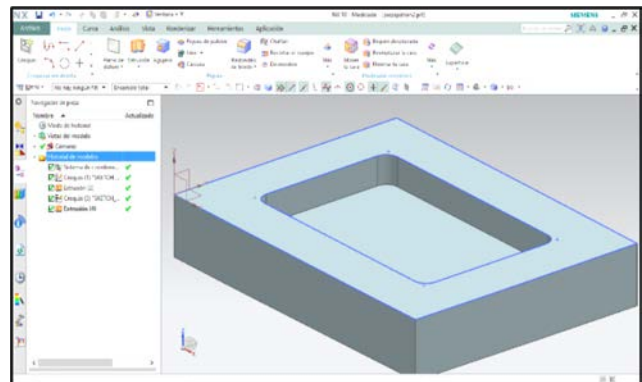


Figura 4. Pieza de estudio modelada en el entorno gráfico del software CAD.

La herramienta utilizada en el caso de estudio para generar el código G, fue un cortador vertical de desbaste de  $\varnothing 10$  mm con 4 filos. Considerándose para los cálculos de los parámetros de corte, una pieza de acero 1045 con dimensiones de 160 mm X 120 mm X 25 mm. Los parámetros de corte mostrados en la Tabla 4 se usaron para realizar los programas CNC en cada uno de los softwares estudiados y se incluyeron al configurar cada herramienta y estrategia (trayectoria o método) de corte. Los parámetros fueron definidos con base en las recomendaciones del fabricante de la herramienta.



Tabla 4. Parámetros de corte.

Características	C.Vert.
Velocidad de corte (m/min)	150
Avance (mm/min)	530
Profundidad de corte (mm)	1.0
Velocidad del husillo (RPM)	5300

Se estableció como parte del análisis práctico que, en los cinco softwares estudiados, se utilizaran los mismos valores de los parámetros de corte.

Cabe mencionar que para la distancia entre pasada y pasada de la herramienta de corte o traslape (*stepover*), se eligió el mismo valor en todos los softwares estudiados para tener más control en las características de las trayectorias seguidas en el experimento. El valor utilizado para el traslape en los programas que se generaron tuvo que ser referido como una distancia absoluta o como un porcentaje del diámetro de la herramienta, dependiendo del software utilizado.

El modelo CAD de la parte en estudio se guardó en formato STEP (\*.step) y Archivo de Autodesk (\*.dxf), para ser importados a los diferentes ambientes de los softwares CAM libres estudiados.

Más adelante, de manera breve, se comenta la funcionalidad observada durante el entrenamiento llevado a cabo empleando cada programa para generar los programas CN de las trayectorias de corte, según la figura 5.

### Trayectoria de corte.

El primer criterio evaluado en cada software estudiado se basó en la observación de las trayectorias generadas por la simulación. Pudiéndose verificar que existe una relación proporcional entre la densidad de líneas de las trayectorias trazadas con el mayor tiempo en la simulación de maquinado del programa TOPCAM® (ver Fig. 5), a mayor densidad de líneas mayor tiempo. A continuación, se comenta el uso de cada software:

a) G-SIMPLE. Este software tiene un comando para generar cajas (pockets), partiendo de una geometría 3D de la pieza en estudio, que tiene que ser seleccionada con clics del ratón del modelo sólido creado con anterioridad con comandos del mismo software en la misma interfaz, pero no tiene opciones para elegir la estrategia de corte a utilizar para desbastar la cavidad, así que por default el programa realiza el corte con el método One Way. Con esta estrategia de corte (ver Fig. 5a), la herramienta da una pasada, hace retracción con movimiento rápido, mueve de nuevo al principio del corte (líneas diagonales en la trayectoria), y empieza otro paso en la misma dirección. Todos los pasos se hacen en la misma dirección como se puede observar en la figura. La región rectangular que tiene la densidad de las líneas de la trayectoria corresponde a la caja maquinada en la simulación.

b) CAMBAM. Este software también tiene un comando para generar cajas (pockets). En este programa se parte de una geometría 2D (polilínea) de la pieza en estudio, que incluye la caja por maquinarse y que debe ser seleccionada con varios clics del ratón sobre la geometría generada con anticipación, sin embargo, no tiene opciones para elegir la estrategia de corte para realizar el desbaste en la caja. Por default el programa realiza el corte con el método *Constant Overlap Spiral*. Con esta estrategia de corte (ver Fig. 5b), se crea una pasada de desbaste, se determina el material restante, y se vuelve a calcular considerando los valores de traslape seleccionados basándose en el nuevo material restante. Este proceso se repite hasta que se maquina toda la caja. También la densidad de las líneas de la trayectoria se marca con una región rectangular que en esta ocasión se describe por un grupo de líneas paralelas, que igual corresponde a la caja maquinada en la simulación.

c) FREEMILL. Este software que ofrece una interfaz muy intuitiva cuando se tiene una licencia de propietario, en su opción de software libre reduce en exceso las opciones para la programación. Una ventaja que tiene es que puede trabajar con varios formatos de importación de archivos, así que se inició trabajando con un modelo sólido de la pieza en estudio importado en formato STEP. Posteriormente sólo permitió seleccionar los campos más importantes sobre los parámetros de corte para generar el código. El software no permite que el usuario seleccione la geometría que determine las fronteras de la caja, realizando el reconocimiento de forma automática (ver Fig. 5c), donde se observa un mayor número de líneas en las trayectorias recorridas comparadas con los demás softwares pudiendo confundirse con un posible error o cambio del valor del traslape. Sin embargo, lo que ocurrió fue que el software reconoció toda la superficie de trabajo del bloque junto con la caja a maquina, cuyas líneas de la trayectoria se ubican en la parte central de la figura obtenida en la simulación. Por tal razón, de lo que se observa en la figura podemos afirmar que la estrategia de corte utilizada es la de Zigzag. Esta estrategia mueve la herramienta hacia atrás y adelante a través de la pieza. La herramienta corta de ida y de regreso desbastando la cavidad en un movimiento lineal, aclarando que cuando se ubica en la zona de maquinado de la caja realiza un descenso para maquina la profundidad de la caja.

d) CNCCODEMAKER. En este programa se parte de una geometría de la pieza 2D dibujada con los comandos del software, la diferencia en la programación estriba en que en este software hay que dibujar en 2D, los recorridos de las trayectorias que el diseñador determine debe seguir la herramienta de corte sobre el área a maquina y luego generar el programa CNC realizando la selección de los trazos previamente dibujados (ver Fig. 5d). Teniendo que ser seleccionada con clics del ratón la geometría en el plano generado también con anticipación, sin embargo, por tal motivo se descarta la posibilidad de elegir la estrategia de corte para realizar el desbaste en la caja.

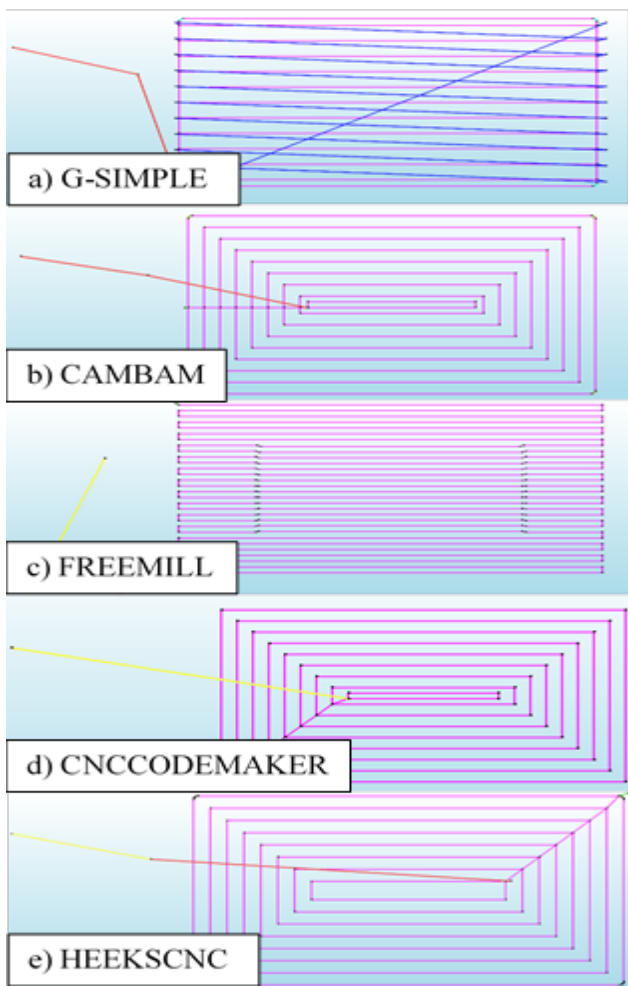


Figura 5. Trayectorias generadas en la simulación de maquinado para el código de cada software CAM.

e) HEEKSCNC. Este software ofrece una interfaz algo intuitiva y la ventaja sobre los demás de poder trabajar con un mayor número de formatos de importación de archivos, también iniciando la parte de trabajo con un modelo sólido de la pieza en estudio importado en formato STEP. Tiene un comando para generar cajas, añadiendo la ventaja de que este software es el único que incluye dos opciones a elegir en la estrategia de corte a utilizar (que son *Constant Overlap Spiral* y *Zigzag*). En la etapa de pruebas del estudio reportado en este artículo, se eligió la estrategia de corte de *Overlap Spiral* por ser la que se utilizó con otros softwares. Posteriormente se permite seleccionar los campos importantes sobre los parámetros de corte para generar código. El software también deja que el usuario seleccione la geometría que determine las fronteras de la caja (ver Fig. 5e).

Con base en las trayectorias generadas por los softwares estudiados, las cuales se muestran en la Figura 5, se redujo el número de programas a comparar, a sólo tres, ya que corresponden a los que describen trayectorias recorridas similares en la simulación. Siendo entonces los programas

seleccionados para realizar la comparación: CAMBAM, CNCCODEMAKER y HEEKSCNC.

#### Tiempo de ejecución del maquinado en la simulación.

Después de la generación de los códigos G y su manejo con el postprocesador particular de cada uno de los tres programas analizados con este criterio, se insertaron dichos códigos en el programa de simulación TOPCAM®.

La Tabla 5, muestra el tiempo total necesario para el maquinado de la pieza de estudio de acuerdo a las simulaciones realizadas con el programa TOPCAM®, empleando los códigos G generados por cada uno de los softwares estudiados. El menor tiempo de simulación que se registró, con 204 segundos correspondió al código generado por el software HEEKSCNC. El segundo lugar lo tomó el software CAMBAM, con un tiempo de 217 segundos.

Tabla 5. Tiempo empleado en el maquinado de la pieza en la simulación.

VALOR DE COMPARACIÓN	SOFTWARE		
	CAM BAM	CNC CODE MAKER	HEEKS
TIEMPO DE EJECUCIÓN EN SIMULACIÓN (seg)	217	236	204

#### Número de clics del ratón durante la programación.

En la medición del conteo de clics, se siguieron las mismas condiciones para todos los softwares. La Tabla 6, sintetiza la información obtenida en el experimento.

Tabla 6. Número total de clics necesarios para la creación del Código G.

VALOR DE COMPARACIÓN	SOFTWARE		
	CAM BAM	CNC CODE MAKER	HEEKS
CANTIDAD TOTAL DE CLICS	30	70	45

Se puede observar en la Tabla 6, que hay una gran diferencia en el número de clics necesarios para obtener el código G en los diferentes softwares, incluyendo la preparación de la figura geométrica.

#### Número de líneas generadas en código G.

Al contabilizar las líneas de cada uno de los programas en el código G generados, se obtuvieron los resultados reportados en la Tabla 7.

Tabla 7. Número total de líneas generadas en el código –G.

VALOR DE COMPARACIÓN	SOFTWARE		
	CAM BAM	CNC CODE MAKER	HEEKS
NUMERO DE LÍNEAS EN EL CÓDIGO G.	71	54	86

El valor considerado del número de líneas abarca toda la información del código G, tal cual lo generó cada uno de los softwares analizados.

## 5. Conclusiones

En este artículo se presenta una comparación de softwares shareware CAM. En primer lugar, se hizo una selección de programas reportados en revistas y sitios web especializados en el tema, considerando aquellos programas que corren en sistema operativo Windows®. Posteriormente se identificó cuáles de los programas seleccionados eran vigentes como shareware, y luego se definió una pieza como caso de estudio para la cual se generaron trayectorias de corte. Fueron escogidos para comparaciones posteriores tres programas basándose en la generación de trayectorias de corte similares. De los últimos tres softwares obtenidos se compararon los programas G generados. El estudio presentado reporta características técnicas y operativas, de los softwares shareware estudiados.

Los resultados obtenidos en el número de clics de un ratón y con el número de líneas que se generan en cada código, no deben usarse para determinar si un software es más fácil que otro en su manejo pues los resultados obtenidos no dan información puntual sobre los pasos que se siguieron en cada software para obtener los diferentes códigos G. Esto será un trabajo posterior en el que se debe plantear un análisis con mayor síntesis sobre las operaciones necesarias para llevar a cabo la elaboración de un programa CNC, bajo un conjunto de ordenes estandarizadas y homologadas para obtener el código G con cada software estudiado.

A partir de los resultados obtenidos con el estudio reportado, se puede concluir que, para alumnos, profesores e ingenieros de manufactura, es factible recomendar el uso de software shareware como una alternativa viable, que cumple con los requerimientos mínimos de desempeño, sin tener que incurrir en altos costos. En particular, son recomendables los tres programas incluidos en la última parte del estudio reportado, considerando, que el último de ellos (HEEKSCNC) ofreció dos alternativas de estrategias de

corte para generar las trayectorias de la herramienta de corte y requirió el menor tiempo de maquinado en la simulación. Además, fue de los programas con más opciones de visualización y formato de archivo de exportación.

Un inconveniente general de los programas estudiados es la interfaz gráfica de usuario poco amigables. Su uso requiere cierta practica además de consulta de tutoriales en video disponibles en internet.

## Agradecimientos

La investigación reportada en este artículo fue realizada gracias a los Programas de Apoyo a Proyectos UNAM-DGAPA-PAPIIT IT101816 y UNAM-DGAPA-PAPIIT IT102617.

## REFERENCIAS

- [1] Real Academia Española (2017). «Significado de la palabra Software». Diccionario de la Lengua Española, XXII<sup>o</sup> Edición. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=YErIG2H>
- [2] Pressman, Roger S. (2010). Ingeniería del Software, un enfoque Práctico (Septima edición edición). Mexico, Ed.Mc Graw Hill.
- [3] IEEE Std, IEEE Software Engineering Standard: Glossary of Software Engineering Terminology. IEEE Computer Society Press, 1993.
- [4] Free Software Foundation (2017). Recuperado de: <https://www.fsf.org/about/>.
- [5] What is free software? (2017). Recuperado de: <https://www.gnu.org/philosophy/essays-and-articles.en.html>.
- [6] Michalik (2016), P. et al. Comparison of programming production of thin walled parts using different cam systems, Adv. Sci. Lett 19. 2013, pp 369–373.
- [7] Postprocesadores y softwares de simulación y optimización de mecanizado cnc (2017), recuperado de : <http://www.maquinariainternacional.com/maquinaria/d/i/cam-technologies.asp?nombre=455&hoja=0&sesion=1>.
- [8] Popma, M. G. R (2010). Computer Aided Process Planning for High-speed Milling of Thin-walled Parts. Strategy-based Support, University of Twente, 2010.
- [9] TOPCAM®, Software CNC y CAM para la formación profesional y para uso industrial (2017). Descarga de : <http://mts-cnc.com/deutsch/download.htm>.
- [10] Jaramillo, Karen (2011). “Estudio Comparativo de herramientas de software libre y propietario para modelado 3D. Caso práctico Modelado de Rostros Humanos”. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- [11] Alonso G. J.M (2014). Análisis Comparativo de Herramientas Informáticas CAD-CAM-CAE Utilizadas en Ingeniería Mecánica E Nuclear. XX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. AEIM.