

# Desarrollo del maquinado en 4 ejes en la empresa R&R Precisión

Fecha de recepción: 07/05/2008

Fecha de aceptación: 12/05/2008

Carmen Elena Madriz Quirós<sup>1</sup>

Carlos L. Espinoza Gutiérrez<sup>2</sup>

*La empresa R & R Precisión logró el dominio de la tecnología de maquinado en 4 ejes, adquiriendo nuevos contratos de nuevos clientes, así como nuevos contratos de su cartera actual de clientes.*

## Palabras clave

Maquinado, 4 ejes, manufactura asistida por el computador CAM, diseño asistido por el computador CAD, fresadora CNC.

## Key words

4 axes machining, computer aid manufacturing, computer aid design, CNC Mill.

## Resumen

A continuación se presenta el resumen del proyecto de investigación denominado *Transferencia de Tecnología de Maquinado en 4 ejes*, el cual fue realizado con el aporte principal del Fondo de Proyectos Concursables del (CONICIT), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del (ITCR) Instituto Tecnológico de Costa Rica y una inversión de contrapartida de la empresa R & R Precisión, ubicada en Santo Domingo de Heredia, empresa donde se realizó la transferencia de tecnología.

El proyecto inició con una capacitación en Estados Unidos sobre el maquinado en 4 y

5 ejes, mediante un distribuidor autorizado del software Master Cam. Luego se realizó las inversiones en la versión 9 del software, el *driver* del 4º eje y las herramientas necesarias para el maquinado. Se continuó con el estudio del software, para lo cual se adquirió una versión académica con fondos del ITCR y luego se inició un período de instalación del software en la empresa, las prácticas de diseño y posteriormente, de maquinado de piezas en 4 ejes. Como uno de los grandes resultados del proyecto, la empresa R & R Precisión logró el dominio de la tecnología de maquinado en 4 ejes, adquiriendo nuevos contratos de nuevos clientes, así como nuevos contratos de su cartera actual de clientes. Como otro resultado importante, se recomendó a la empresa la búsqueda de piezas de repuestos industriales genéricos que se puedan fabricar por volumen, así como también la penetración en nuevos mercados en Centroamérica, principalmente. El Salvador y Guatemala.

## Abstract

This paper presents the summary of the research project named *Transference of*

1. Profesora de la Escuela Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Teléfono: (506) 2550-2628. Correo electrónico: *cmadriz@itcr.ac.cr*.
2. Profesor de la Escuela Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Teléfono: (506) 2550-2462. Correo electrónico: *cespinoza@itcr.ac.cr*.

*El presente proyecto se concibe dentro de la política de apoyo al desarrollo y a la transferencia de tecnologías, para fomentar las exportaciones y la atracción de inversiones.*

Technology of 4 Axes Machining, which was funding by el Fondo de Proyectos Concursables del CONICIT Contest Project Program, el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) and an investment as a counterpart of R & R Precisión company. This company is located in Santo Domingo of Heredia and it was also the company where the technology transference was carried out.

The project begins with a training in the United States in the modules of 4 and 5 axes machining of the Master Cam software. Then, an investment was made in order to buy the version 9 of Master Cam and the drivers needed for the CNC machines to produce in 4 axes. The ITCR also made an investment for the academic version of the software. Practice and prototypes were elaborated for the team in charge before the real production starts in the company. As an important result of this process, the R & R Precision company learns and produces new parts that made it more competitive. The company is getting new markets in Central American and USA due to the high volume that it is able to produce now.

## Introducción

Tradicionalmente, el maquinado de 5 ejes se ha utilizado sólo para partes de una exclusiva lista, a saber, partes aeroespaciales, componentes de generación de poder y una variedad de herramientas. Y ése es el caso todavía hoy. Sin embargo, un camino importante para el maquinado de 5 ejes es que la tecnología se está volviendo más barata y fácil de usar. Como resultado, la exclusividad del maquinado de 5 ejes puede que llegue a desaparecer. Un acceso más fácil a esta tecnología –combinado con la eficiencia que los ejes rotatorios pueden brindar a las partes simples– puede resultar en que el maquinado de 5 ejes sea adoptado por negocios en muchas industrias.

Todavía no hemos llegado a ese punto. Sin embargo, el tipo de tecnologías que se puede desarrollar con el uso expandido del maquinado de 5 ejes ha empezado a aparecer.

El concepto de maquinado en 5 ejes está convirtiéndose en una práctica cada vez más común, debido al ahorro de tiempo y dinero que esta técnica de maquinado representa para las industrias. El maquinado en 4 y 5 ejes no requiere de la gran cantidad de ajustes necesitados por las máquinas tradicionales, y además permite el maquinado en áreas donde la máquina convencional no lo permite, pero sí un programa complejo de 5 ejes que maneje más memoria CNC que un programa comparable de 3 ejes, tan sólo porque hay 2 ejes más que definir. En el mercado se puede encontrar diferentes softwares que pueden ayudar a la programación del maquinado en 4-5 ejes, por ejemplo, Anvil Express, Edge Cam, Master Cam, etc.

El presente proyecto se concibe dentro de la política de apoyo al desarrollo y a la transferencia de tecnologías, para fomentar las exportaciones y la atracción de inversiones.

## Conceptos de maquinado

El maquinado es un proceso de manufactura donde se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una pieza de trabajo, de tal manera que el remanente sea la forma deseada. La acción predominante involucra la deformación en cortante del material de trabajo, lo cual produce la viruta que, al ser removida, deja expuesta la nueva superficie (Groover, 1997).

El maquinado no es solamente un proceso, sino una familia de procesos. La característica común es el uso de la herramienta de corte que forma una viruta, la cual se remueve de la pieza de trabajo. Para realizar la operación, se requiere del movimiento relativo que

se logra, en la mayoría de los casos, por medio de un movimiento primario llamado VELOCIDAD y un movimiento secundario denominado AVANCE. Hay muchas operaciones de maquinado, cada una de las cuales es capaz de generar cierta geometría y textura superficiales. Los tres tipos más comunes de maquinado son: torneado, fresado y taladrado.

Stenerson (1997) establece que, para realizar una operación de maquinado, es necesario que se dé un movimiento relativo de la herramienta y la pieza de trabajo. El movimiento primario se realiza a una cierta velocidad de corte. Además, la herramienta debe moverse lateralmente a lo largo del trabajo. Éste es un movimiento mucho más lento, llamado AVANCE. La dimensión restante del corte es la penetración de la herramienta de corte dentro de la superficie original de trabajo, llamada PROFUNDIDAD DE CORTE. Al conjunto de velocidad, avance y profundidad de corte se llama: CONDICIONES DE CORTE.

## Desarrollo

### Compañía R & R Precisión

R & R Precisión S.A. se dedica a la fabricación profesional de partes mecánicas de precisión, moldes, troqueles, micro piezas, y servicios de electroerosión

por hilo y convencional, maquinado por control numérico (CNC) e inyección de plástico. El sistema de producción de R & R se basa en la fabricación de partes, siguiendo procesos de manufactura avanzados y usados en el mundo como el Diseño Asistido por Computadora (CAD) (Figura 1), con el cual diseñan moldes, troqueles y todo tipo de piezas requeridas en las diversas ramas de la industria, teniendo como ventaja la visualización del producto antes de ser fabricado con extrema exactitud. Debido a las cualidades de desarrollo y de potencial tecnológico que presenta la empresa R & R Precisión, el proyecto tuvo todo el potencial para desarrollarse.

En el proceso automatizado de manufactura se utiliza el Sistema Asistido por Computadora, que consiste en aplicar el diseño para desarrollar programas que serán ejecutados en las máquinas de Control Numérico Computarizado y las electroerosionadoras de hilo, obteniendo piezas con tolerancias del 0.0001 en las formas más sofisticadas que se requiera (McMahon y Browne, 1998). La empresa cuenta con dos centros de maquinado marca Hardinge con 4 ejes, una fresadora CNC, un torno CNC y máquinas de electroerosionado por hilo (Figura 1).

La calidad del servicio ofrecido durante los años que tiene de operar en el mercado nacional, le ha brindado la oportunidad

*En el proceso automatizado de manufactura se utiliza el Sistema Asistido por Computadora, que consiste en aplicar el diseño para desarrollar programas que serán ejecutados en las máquinas de Control Numérico Computarizado y las electroerosionadoras de hilo, obteniendo piezas con tolerancias del 0.0001 en las formas más sofisticadas que se requiera (McMahon Y Browne, 1998).*

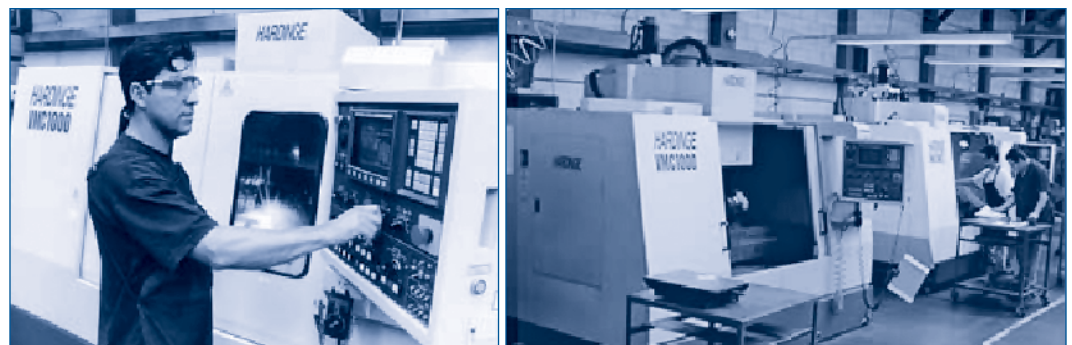


Figura 1. Vista de los diferentes centros de maquinado CNC.

*La prueba de que la tecnología había sido asimilada por la empresa fue la realización de una geometría más elaborada, con características más complejas. Ésta consiste en un troquel para las Calcomanías Chiquita Brand, empresa a la cual R & R brinda diferentes servicios.*

de exportar al mercado centroamericano, México, Puerto Rico y los Estados Unidos, donde se tiene clientes importantes como Bourns Inc. México, Emerson Manufacturing en Puerto Rico, Baxter Healthcare tanto en Costa Rica como en Puerto Rico, Caribe General Electric en Puerto Rico, y Delmed C. V. S.A. en El Salvador, entre otros.

El factor del recurso humano es un aspecto muy importante en el proceso de R & R Precisión, por lo que se mantiene convenios especiales con los proveedores del equipo en los Estados Unidos, lugar donde el personal se ha especializado en el sistema de electroerosión por hilo (WED), así como convenios de asistencia con la Universidad de Costa Rica y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, y a nivel de preparación técnica, con el Instituto Nacional de Aprendizaje.

#### **Desarrollo del maquinado en 4 ejes**

Es importante mencionar que la empresa posee únicamente el aditamento para el cuarto eje conocido como *index*, el cual

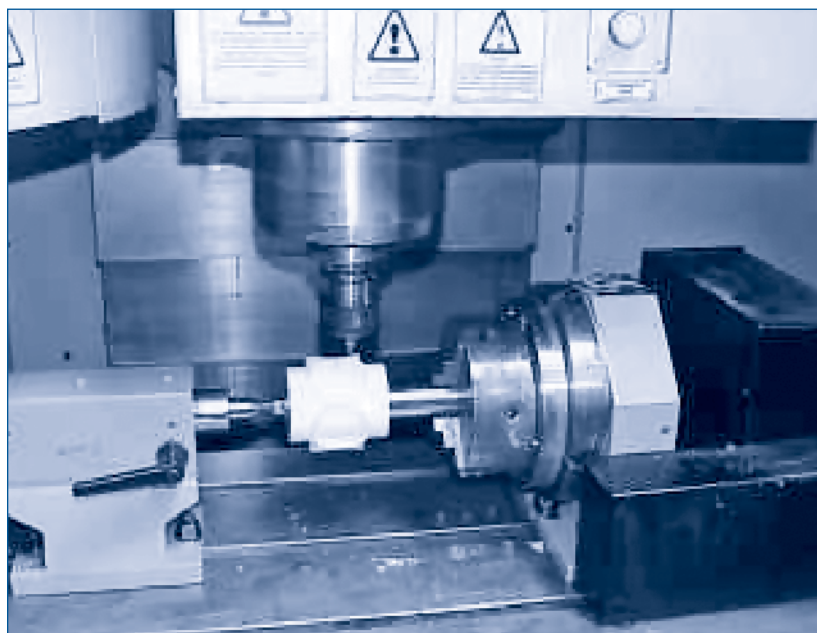


Figura 2. Aditamento del cuarto eje.

funciona en el eje B y necesita, al igual que los demás ejes, de su *set-up* respectivo. La figura 2 muestra dicho aditamento.

El primer proyecto que se realizó fue un cilindro al cual se aplicó tanto la técnica de posicionamiento como la de sustitución de ejes. Las características geométricas que posee son básicas. Este proceso se apoyó en los manuales de Lendel (2001) para el software Master Cam. Inicialmente, se realizó un ciclo de taladrado para los orificios en el extremo izquierdo, el cual se programa utilizando la técnica de posicionamiento, en este caso, rotando sobre el eje X. Los agujeros del extremo derecho se realizan utilizando la técnica de sustitución del eje, sustituyendo el eje Y con el eje de rotación X. Esta misma técnica se utilizó para el grabado de los números de la geometría. Las ranuras del cilindro son realizadas por medio del contorno de una de las ranuras realizadas en la geometría básica del dibujo y posteriormente, se realiza una copia de ésta mediante una transformación de operaciones.

El código que la máquina herramienta recibirá, se genera para ser editado y corregido si fuera el caso. Por ejemplo, el eje de rotación o cuarto eje es el B, pero el post-procesador lo traduce como A, lo cual requiere de un cambio en todo el programa de este parámetro. Asimismo, las velocidades de corte y de avance son revisadas nuevamente.

La prueba de que la tecnología había sido asimilada por la empresa fue la realización de una geometría más elaborada, con características más complejas. Ésta consiste en un troquel para las Calcomanías Chiquita Brand, empresa a la cual R & R brinda diferentes servicios.

Esta pieza es un cilindro con cuatro troqueles de corte, los cuales tienen una forma elíptica con filos en sus bordes superiores para efectos de corte. El maquinado de la pieza inicia con un desbaste del cilindro para la formación de



las islas de los troqueles. Posteriormente, se realiza el desbaste interno de cada isla para ir formando el troquel. Con operaciones de contorno, se da el filo final requerido con las especificaciones de ángulo y grosor.

La siguiente figura muestra la simulación realizada por el software, una vez realizados tanto la geometría como el maquinado.

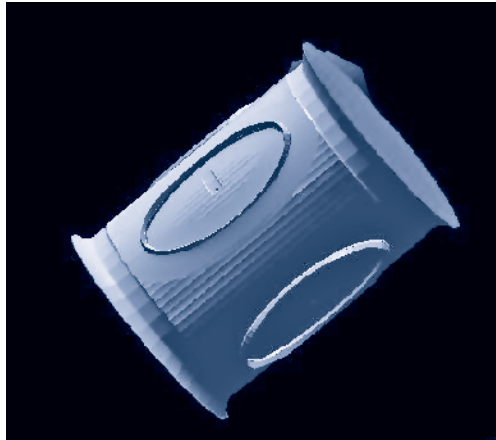


Figura 3. Simulación del troquel.

Cuadro 1. Salida parcial del código generado para el maquinado del troquel.

```
O0000
(PROGRAM NAME - CHIQUITA)
N100G21
N102G0G17G40G49G80G90
(3/4 BALL ENDMILL TOOL - 1 DIA. OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - .75)
N104T1M6
N106G0G90G54X-2.108Y0.A-11.247S713M3
N108G43H1Z6.M8
N110Z2.1
N112G1Z1.75F6.4
N114X2.108
N116A-15.517F210.1
N118X.853F6.4
N120X.985A-16.707F55.9
N122X1.114A-18.132F67.1
N124X1.24A-19.787F78.1 .....
```

El código generado para ser leído por la máquina consta de un total de 6362 líneas requeridas para el maquinado la salida parcial del código se presenta en el (Cuadro 1).

### De la computadora a la máquina CNC

Una vez editado el código, se realiza la preparación de la máquina y de las herramientas previamente seleccionadas. El material utilizado para esta pieza es el nylon. Este proceso requiere de la experticia de los operarios para el montaje de la pieza, del aditamento y de los puntos cero del material. Es importante mencionar que las velocidades y avances calculados por el procesador del software no siempre fueron los utilizados, pues debieron ser corregidos de acuerdo también con la experiencia de los operarios.

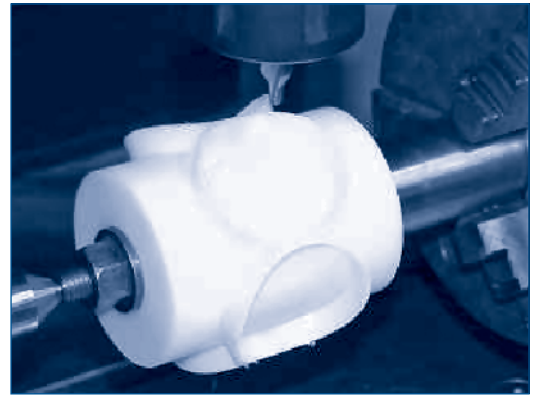
En la figura 4, se presenta una secuencia de imágenes del maquinado de la pieza en el centro de maquinado Hardinge.

### Conclusiones y recomendaciones

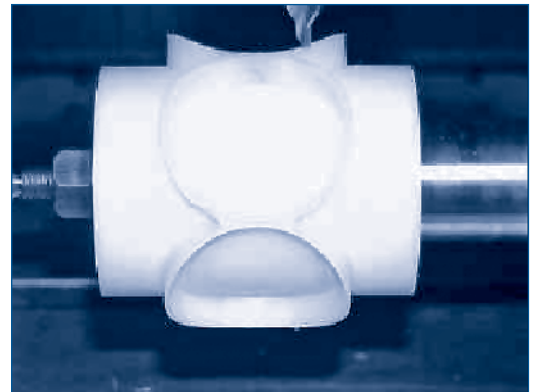
En Costa Rica existe demanda de maquinado de moldes y piezas de alta precisión y formas complejas que requieren maquinado en 4 y 5 ejes, tecnología que ninguna industria ni universidad domina. Además, existe una demanda similar de esos productos en países como Estados Unidos, la cual podría ser atendida por parte de las industrias de nuestro país. Estas piezas y productos tienen un valor monetario superior por su complejidad, en comparación con productos maquinados en 2 y 3 ejes.

Ocho meses después de iniciado el proyecto, se puede afirmar que la empresa ha logrado un nivel de estabilidad en la curva de aprendizaje de la nueva tecnología de maquinado en cuatro ejes.

El maquinado en 4 ejes permite atender una oportunidad de mercado muy especializado



a. Montaje de materia prima en la máquina. b. Desbaste externo.



c. Formación de islas.

d. Formación de filo.

*La industria metalmecánica debe evolucionar en cuanto a tecnología y pasar del maquinado convencional al maquinado CNC, para poder competir en el mercado internacional.*

Figura 4. Imágenes del proceso de maquinado del troquel.

para fabricar piezas de repuestos de formas complejas, con superficies cóncavas o esféricas, bordes en curva, troqueles para confitería y galletería, y otras piezas que requieren maquinados de formas diversas.

En Costa Rica existe una demanda de servicios de fabricación de piezas con maquinado en 4 ejes que puede ser atendida por las empresas nacionales, pero se requiere asumir el riesgo de la inversión en tecnología y el Gobierno debe continuar el esfuerzo de apoyar este tipo de inversión.

La industria metalmecánica debe evolucionar en cuanto a tecnología y pasar

del maquinado convencional al maquinado CNC, para poder competir en el mercado internacional.

Dada la alta inversión realizada por la empresa R & R Precisión, se le recomendó explorar la posibilidad de fabricar piezas de repuestos industriales genéricos, piezas de alta demanda o algunas piezas de repuesto para automóviles, que le permitan cubrir costos fijos en períodos de baja demanda.

El nivel tecnológico actual de la empresa R & R Precisión le permite apoyar al Gobierno de Costa Rica en la política de atracción de inversiones de empresas de alta tecnología extranjeras.

## Bibliografía

Groover, Michael. 1997. Fundamentos de Manufactura Moderna. Prentice Hall. México.

Lendel, Mariana. 2001. Manual de MasterCAM. Mill Training Tutorials V8. Estados Unidos.

McMahon, Chris; Browne, Jimmie. 1998. CAD/CAM: Principles, Practice and Manufacturing Management. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts.

Stenerson, Jon. 1997. Computer Numerical Control. Prentice Hall. Estados Unidos.