

## Adaptadores trigonales para máquinas multitarea fabricados en máquinas multitarea

A. Calleja Ochoa<sup>(1)</sup>, A. Fernández Valdivielso<sup>(1)</sup>, L.N. López de Lacalle<sup>(1)</sup>, U.J. Ugalde Martínez<sup>(2)</sup>

(1) Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)  
amaia\_calleja@ehu.es

(2) Susensa S.A.

---

*La situación actual, coincidente con la reciente liberación de la patente a la que estaban sometidos los adaptadores trigonales, supone una perspectiva de futuro ideal para este tipo de producto, que presenta una previsión ascendente en su uso. Este tipo de acoplamiento se utiliza cada vez más en máquinas de alta velocidad, máquinas multiproceso, tornos y centros de mecanizado de grandes dimensiones, cuya demanda ha aumentado en gran número, principalmente por parte de países emergentes. Por lo tanto, se plantea una oportunidad de fabricación de este tipo de acoplamientos para muchas empresas de producción y mecanizado que a su vez necesitan realizar mejoras en el proceso de diseño y fabricación, produciendo portaherramientas poligonales de bajo coste.*

*El amarre poligonal ofrece unas características idóneas para responder a los más exigentes requisitos de la producción metal mecánica por arranque de viruta. El sistema, permite un cambio de amarre rápido que responde eficientemente a las necesidades de automatización de la producción contribuyendo así a la reducción de los tiempos y costes de no operatividad de máquinas. Además, se caracteriza por la precisión y la elevada rigidez que se confiere a la herramienta. Por lo tanto, es la respuesta tecnológica cuando se busca un cambio de herramienta rápido, de alta repetibilidad, gran rigidez y versatilidad. En cuanto a su uso, es un sistema de sujeción compatible con todo tipo de operaciones de mecanizado, sin hacer distinciones entre máquinas (tornos o fresadoras) ni herramientas (rotativas o estáticas). Por este motivo, es el sistema idóneo a introducir en la totalidad de las máquinas multitarea actuales, que realizan operaciones que involucran tanto a herramientas rotativas como operaciones con herramienta estática. Este tipo de amarre no presenta limitaciones de uso sea cual sea la operación de mecanizado a realizar.*

*En el presente artículo se estudia el proceso de fabricación de adaptadores trigonales para máquinas multitarea que a su vez son fabricados en máquinas multitarea. Para ello, se tiene en cuenta todo el proceso, desde el diseño y la fabricación, hasta la medición final del porta-herramientas.*

---

### 1. INTRODUCCIÓN

La perspectiva de futuro para los adaptadores trigonales tras la reciente liberación de la patente a la que se encontraban sometidos [1], es una previsión ascendente en el uso de este tipo de portaherramientas que por sus características se utiliza cada vez más en máquinas de alta velocidad, máquinas multitarea, tornos y centros de mecanizado de grandes dimensiones, habiendo aumentado la demanda de fabricación de este tipo de máquinas, principalmente en los países emergentes. El planteamiento de fabricación de este tipo de dispositivos se realiza con el convencimiento de que muchas empresas de producción y mecanizado tendrán que plantearse mejorar sus prestaciones: por una parte invirtiendo en máquinas multiproceso (con la tendencia al alza de que tengan cabezales con sistema de amarre poligonal del portaherramientas) y con un coste más reducido (adquiriendo portaherramientas poligonales *low-cost*).

El desarrollo de este nuevo producto permite a empresas fabricantes de máquina herramienta y a empresas mecanizadoras disponer de un nuevo producto que les permite llevar a cabo las operaciones de mecanizado, tanto de torneado como de fresado, de una manera más eficaz obteniendo así resultados de mayor calidad.

Una de las ventajas de utilizar portaherramientas de alta calidad y precisión es la reducción de las vibraciones que se pueden producir durante la operación de mecanizado. Ello contribuye directamente a reducir las solicitaciones de la máquina, que se traduce directamente en un aumento de la vida de la máquina además de en una reducción del consumo energético de la misma. Esto contribuye directamente a la reducción del efecto invernadero, consecuencia de la emanación al medioambiente de gases tales como CO<sub>2</sub> [2].

A su vez, la fabricación optimizada de los portaherramientas permite aumentar la vida de este, reduciendo así los costes de sustitución de estos elementos.

Otra gran ventaja de esta optimización, es la obtención de un mecanizado más limpio, reduciendo el número de errores de mecanizado y mejorando el acabado. Disponer de un porta-herramientas centrado y preciso, evita el descentramiento de la herramienta de corte que a su vez produce errores de mecanizado. El disponer de una herramienta centrada permite que la operación de mecanizado sea más estable y que las características del mecanizado sean mejores.

También evita la posible rotura de la herramienta producida por dicho descentramiento [3], aumentando así la vida de la herramienta. Minimizar los posibles errores, por una parte reduce el consumo de energía utilizado durante las operaciones de mecanizado y re-mecanizado, y a su vez evita la generación de residuos en forma de piezas desechadas.

Un portaherramientas de buena calidad presenta una mayor flexibilidad [4] que un producto de menor calidad, por lo que posibilita que los cambios sean más rápidos [5] y que consecuentemente el consumo de energía se reduzca. A su vez, un portaherramientas de buena calidad tiene una vida superior a un porta-herramientas de menor calidad.

Por último, la reducción de las vibraciones permite disponer de un proceso de mecanizado más silencioso. Esto repercute directamente en el beneficio de los trabajadores mejorando la calidad de vida tanto del usuario de la máquina, como de las personas que trabajan en el taller de mecanizado.

En resumen, el desarrollo de este trabajo permite la optimización de la fabricación de portaherramientas poligonales de cambio rápido basándose en una mejora de los procesos de diseño y mecanizado. Para ello, se tienen en cuenta todas las etapas presentes en cualquier proceso de fabricación industrializado: diseño [6], fabricación y control de calidad.

## **2. PROCESO DE FABRICACION DE ADAPTADORES TRIGONALES**

En primer lugar, se ha realizado una revisión de la situación de los portaherramientas poligonales actuales y sus correspondientes características. De este modo, se han determinado los requerimientos de diseño y de fabricación necesarios, las técnicas y las condiciones de mecanizado y rectificado, y los sistemas de verificación y medida. A continuación se detallan los resultados obtenidos en las diferentes tareas.

### **2.1. Diseño**

#### **Principales características y requerimientos de los portaherramientas**

Las herramientas de mango poligonal fabricadas con acero de herramientas deben ser tratadas térmicamente mediante temple para lograr un endurecimiento y conseguir los requisitos de resistencia a tracción, dureza, tenacidad y resistencia al desgaste exigidos de la norma ISO 26623. Esta norma impone que la zona cónica poligonal, el canal interno de sujeción y la superficie de contacto axial deben poseer una dureza mínima de 42 HRC, mientras que la pinza externa requiere una dureza mínima de 51 HRC.

El sistema requiere de unas estrechas tolerancias dimensionales que deben garantizar que el acoplamiento poligonal transmita el par eficientemente proporcionando unas características de estabilidad adecuadas. El estrecho ajuste por presión garantiza que no haya holgura en el acoplamiento. La carga se distribuye simétricamente, sin verse afectada por picos o rotación, sin perder la altura del centro.

Además, variaciones de la conicidad tanto del mango poligonal como de la hembra donde se aloja la herramienta dentro de los límites especificados de tolerancia, harán que la porción de la fuerza de sujeción que actúa sobre la superficie cónica pueda variar. Sin embargo, las fuerzas de sujeción propuestas (Tabla 1) asegurarán que la actuación sobre la superficie cónica no sea nunca inferior al 80% del total. De este modo, el contacto es decisivo para la rigidez de la zona cónica poligonal y para el buen funcionamiento del sistema.

Tamaño nominal	32	40	50	63	80	80X
Fuerza de amarre, kN	15	20	25	30	40	40

Tabla 1: Fuerza de amarre

Fuerzas de sujeción bajas pueden ser suficientes cuando las cargas operacionales son bajas (por ejemplo, fuerzas de corte en el proceso de acabado). Por el contrario, el aumento de las fuerzas de sujeción puede ser necesario cuando se producen las altas cargas de funcionamiento (por ejemplo, fuerzas de corte en un proceso de desbaste).

**Estudio de los requerimientos de dureza**

Con el objetivo de determinar si tanto en la zona trigonal como en la zona de apoyo de la plaquita los portaherramientas llevan un tratamiento térmico de temple, se ha realizado la medición de dureza de varias herramientas dotadas del sistema CAPTO® para su amarre. La medición se ha realizado en dos zonas diferenciadas: la zona trigonal y la zona de apoyo de la plaquita. Para ello se han elegido tres herramientas disponibles en el mercado, en este caso dos correspondientes a SANDVIK® y la tercera a MITSUBITSI®.

La medición de dureza ha sido realizada con un sistema ECOTIP® basado en el principio de rebote. Ante la dificultad de una buena medición de la huella debido a la forma de las herramientas cuya dureza debe ser medida, para poder contrastar los resultados obtenidos con este método, se han realizado de nuevo las mediciones de dureza con un microdurómetro.

En la Figura 1 se observan los portaherramientas en los que se ha realizado la medición de dureza con ambos métodos.



Figura 1. Herramientas sobre las que se ha realizado la medición de dureza.

La medición mediante el sistema ECOTIP® se realiza tres veces en cada zona a medir obteniéndose el resultado directamente en la pantalla del dispositivo en HB que debe ser posteriormente traducida a HRC. Por su parte, la medición en el microdurómetro se ha repetido tres veces en cada zona. En este sistema la huella utilizada es de tipo knop realizada con 2000g de carga y debe ser posteriormente medida mediante el sistema de medida incorporado en el propio microdurómetro, obteniéndose la medida en HRC del dispositivo. Tras llevar a cabo la medida en ambos sistemas para las tres herramientas se han obtenido los resultados que se muestran en la Tabla 2, donde la zona A el apoyo de la plaquita y la zona B el apoyo trigonal.

DUREZAS (HRC)						
Pieza	1		2		3	
Zonas	A	B	A	B	A	B
Media	48.5	56.5	54.5	61	51	54.5
HRC	49	56	55	61	51	54

Tabla 2. Durezas obtenidas

De los resultados obtenidos se puede concluir que, teniendo en cuenta cierto margen de error debido a la realización de las mediciones de dureza, tanto la zona trigonal como la zona de apoyo de plaquita deben poseer una dureza que se puede considerar alta, lo que obliga al tratamiento térmico de la pieza mecanizada y a su posterior acabado utilizando procesos abrasivos como puede ser el rectificado.

### Estudio de los requerimientos de contacto

Para comprobar las zonas del trigono que entran en contacto durante el amarre con la hembra se ha llevado a cabo la comprobación mediante un proceso real de amarre. Para ello se ha manchado de Azul de Prusia la hembra introduciendo de forma perpendicular el macho y realizando el apriete. A continuación, se saca perpendicularmente y se comprueba qué zonas han quedado manchadas de azul. Se realiza la misma prueba para 3 herramientas diferentes, las 3 de SANDVIK®, introduciéndolas dentro de la hembra y comprobando cuales son las zonas del trigono que hacen contacto durante el amarre.

El sistema de amarre está basado en un acoplamiento poligonal cónico y un perfil especial. La forma poligonal transmite el par sin la presencia de piezas móviles como pasadores o llaves, y por ello el acoplamiento tiene características de estabilidad sobresalientes. El estrecho ajuste por presión garantiza que no haya holgura en el acoplamiento. La carga se distribuye simétricamente, sin verse afectada por picos o rotaciones, sin perder así la altura respecto del centro.

En la *Figura 2* se observa el sistema de amarre descrito.

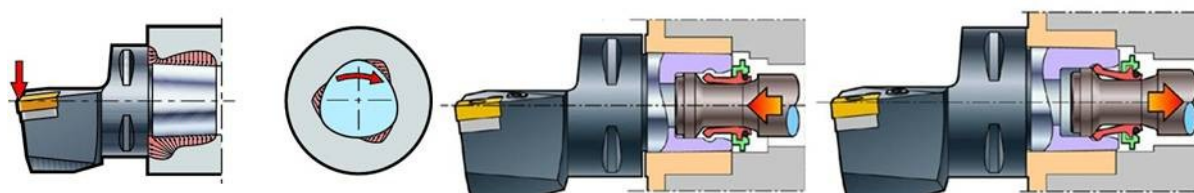


Figura 2. Amarre sistema capto. Posición anclada y desanclada. (Guía técnica Sandvik Coromant®)



Figura 3. Imágenes de las zonas de contacto (Sandvik®).

En vista de las imágenes tomadas tras la aplicación del Azul de Prusia (Figura 3) se puede concluir que la zona trigonal hace contacto con todas sus zonas, tanto en los puntos más externos como en los más internos en las tres caras.

## 2.2. Mecanizado

El proceso de mecanizado comprende las tareas de programación y fabricación de los prototipos en la máquina Mori Seiki® modelo NT. Se definen los parámetros tanto de amarre como de proceso y la programación y ejecución de los primeros elementos.

### Programación. Estrategias de CAM

La fabricación de estos adaptadores trigonales en máquinas multitarea permite hacer uso del ventajoso sistema de dos husillos disponible en este tipo de cinemáticas. De este modo, es posible fabricar la pieza en dos atadas dentro de la misma máquina sin perder precisión sobre la posición respecto al sistema de referencia. Inicialmente se coloca la máquina en el husillo principal (izquierdo) (Figura 4) de la máquina, y se realizan las operaciones de refrentado, cilindrado, punteados y taladros, fresado de superficies y la operación más crítica de estas piezas que corresponde al mecanizado de la zona trigonal. Posteriormente se traslada la pieza al otro husillo donde se termina la pieza y se ejecutan los programas de mecanizado correspondientes a la zona de apoyo de la plaquita de mecanizado.

Son muchos los programas y herramientas necesarios para la fabricación de esta pieza, sin embargo el mayor interés radica en la complicada operación de la zona trigonal de amarre que se realiza mediante una operación de torno-fresado tangencial con todo el flanco de la herramienta.

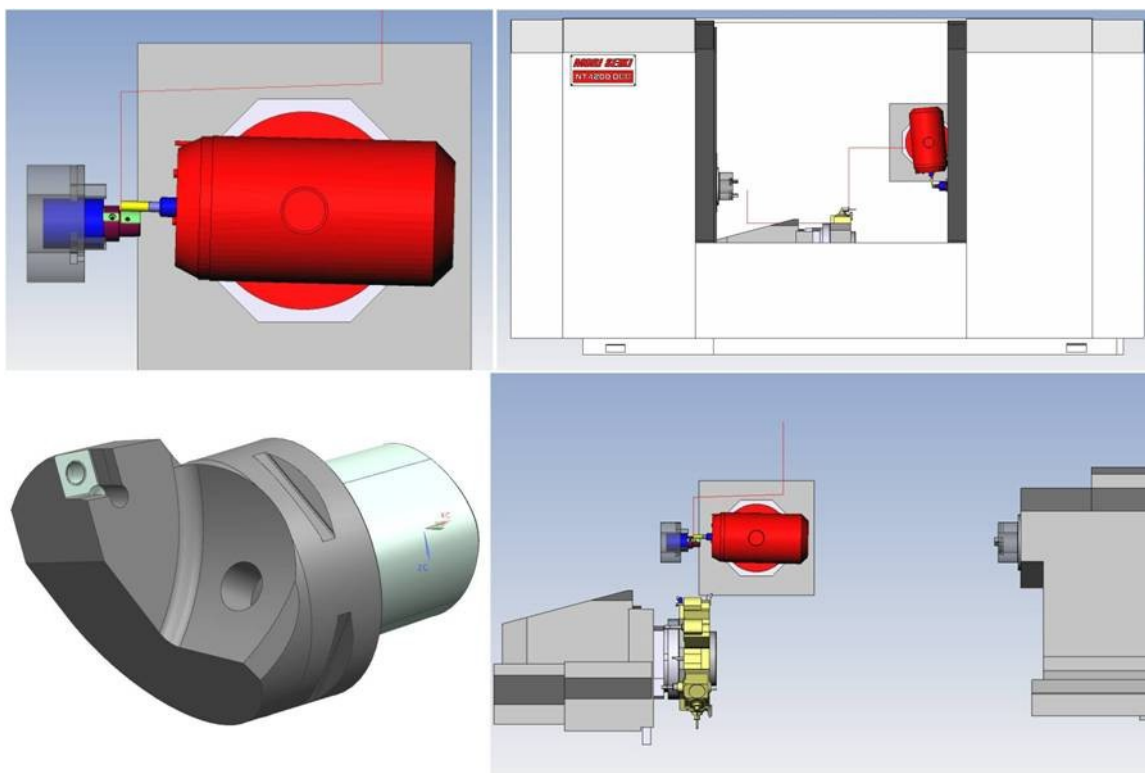


Figura 4. Mecanizado superficie trigonal. Verificación virtual en Mori Seiki® NT.

### Primeros mecanizados. Resultados de observación de la superficie mecanizada

Las primeras pruebas de la superficie mecanizada se han realizado en poliestireno (Figura 25) hasta obtener un resultado bueno en lo referente al cumplimiento de tolerancias requeridas. En vista de los errores de forma obtenidos se han realizado cambios en las trayectorias y operaciones de mecanizado para evitar esos errores y cumplir con los requisitos de diseño. Las últimas pruebas de mecanizado una vez medidas demuestran que se ha alcanzado el objetivo en lo referente a diseño. En la Figura 6 se observan las mediciones realizadas sobre estas pruebas de mecanizado.



Figura 2. (Izq.) Primer prototipo erróneo (Dcha.) Prototipos buenos resultados.

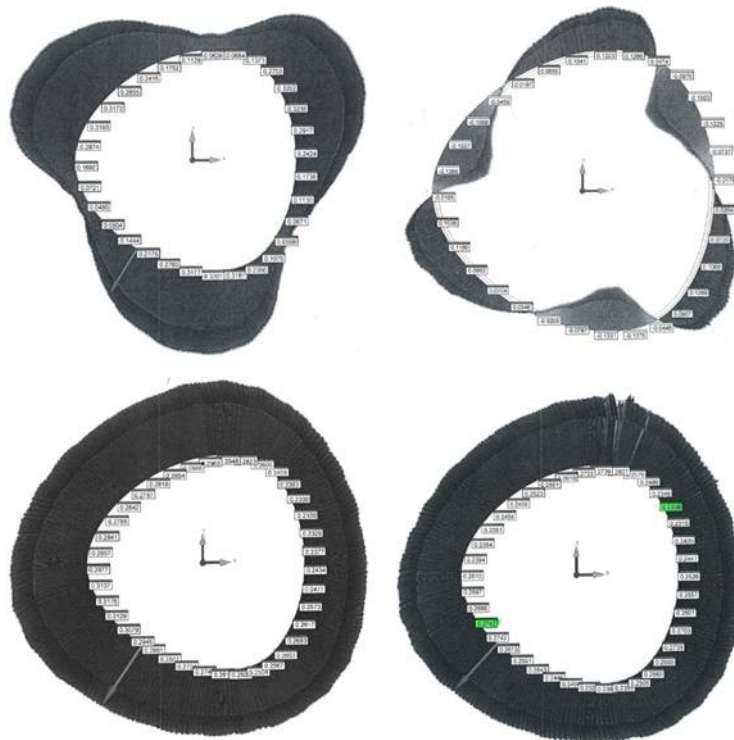


Figura 6. Perfiles de forma, superficie y redondez. (Arriba: defectos graves) (Abajo: resultados satisfactorios).

### **Mecanizado de acabado. Rectificado**

El proceso de rectificado es esencial en este tipo de piezas que requieren un acabado en lo referente a calidad superficial y dimensión muy exigente. Para rectificar los primeros prototipos realizados se han empleado dos máquinas: la rectificadora de STUDER SCHAUDT® y la máquina de rectificado de DANOBAT®. Una vez acabados los prototipos, para validar el proceso de rectificado llevado a cabo y asegurar además que se cumplen los requerimientos de calidad necesarios, se han realizado las medidas oportunas, cuyos resultados se detallan en el siguiente apartado.



### 2.1. Medición

El objetivo del proceso de medición, realizado en este caso con el equipamiento y en las instalaciones de Sariki® S.A., es la verificación de los prototipos dimensional y funcionalmente, y la definición de errores y de cotas sensibles. La zona trigonal de los primeros prototipos ya fabricados y mecanizados ha sido medida para comprobar su validez según los requerimientos impuestos por la norma. Se ha procedido a verificar dimensionalmente 5 prototipos, de los cuales 4 corresponden a los prototipos portaherramientas mecanizados y uno corresponde al prototipo del portaherramientas rectificadas. Para la verificación se ha utilizado una máquina tridimensional Mitutoyo® modelo Crysta Apex S 9106 en ambiente con una temperatura (20+/- 0.2/0.3 °C) y una humedad (50%+/- 5%) controladas para garantizar la máxima fiabilidad y precisión de las mediciones.

Utilizando MCOSMOS® como software de medición/simulación 3D para CMM se han dado cortes/secciones al modelo CAD nominal y se han comparado los 2D según las tolerancias de diseño.

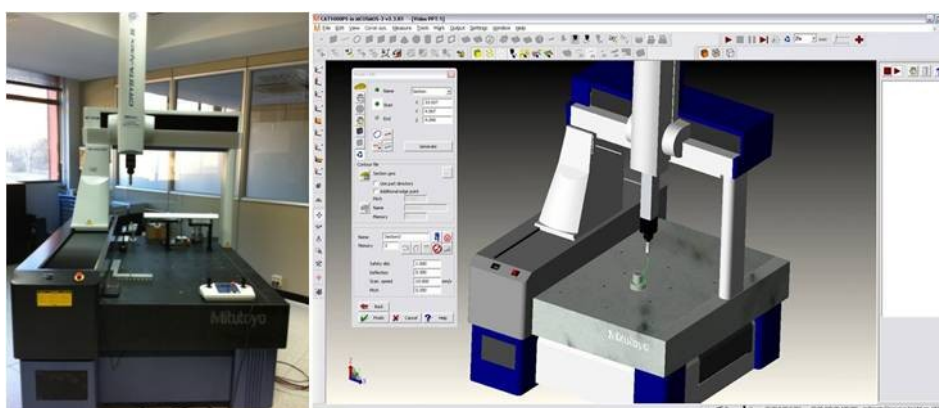


Figura 7. Máquina tridimensional empleada para las mediciones y software de medición/simulación.

### Resultados de validación dimensional

Los resultados obtenidos tanto para los prototipos mecanizados como para los prototipos rectificados están dentro de las especificaciones de forma del contorno según las tolerancias de diseño y en consonancia con los datos obtenidos para la misma pieza. Los prototipos mecanizados presentan un sobre material medio de 0.3mm y uno de ellos de 0.1mm para poder realizar la posterior operación de rectificadas. Esta diferencia de espesor depende de los parámetros/programa utilizados para el mecanizado.

Para los prototipos mecanizados se ha realizado una única sección a 4mm de la cara de referencia y para los prototipos rectificados se han realizado 3 secciones a 3/18/33mm de la cara de referencia para verificar la forma del contorno y 6 secciones para controlar el ángulo del perfil.

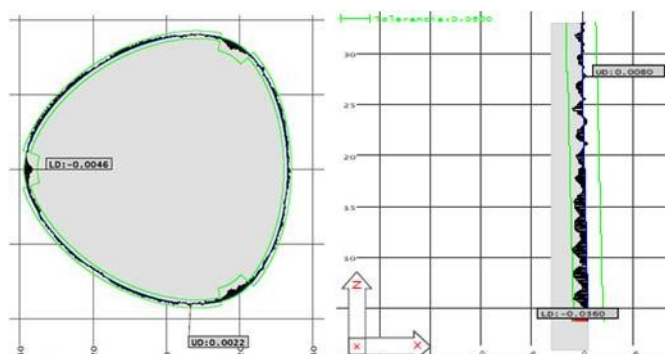


Figura 8. Resultados obtenidos con el prototipo rectificadas a 18 mm de la cara de referencia y comparación 2D del ángulo del perfil con offset de 0.1mm.

### 3. CONCLUSIONES

Analizada la perspectiva a futuro del uso de portaherramientas poligonales de cambio rápido fabricados por máquinas multitasking y que luego van a ser utilizados en las mismas máquinas multitasking, empuja a las empresas dedicadas a su fabricación a trabajar hacia la innovación en los procesos de mecanizado y hacia la mejora de procesos ya existentes.

Los portaherramientas poligonales de cambio rápido llevan siendo fabricados desde hace tiempo, pero la liberación de la patente que los tenía limitados abre la puerta a muchas empresas para su fabricación buscando los vacíos existentes en el mercado de este tipo de producto. Hoy en día se deben centrar los esfuerzos en la fabricación de un producto de bajo coste, caracterizado por su buena calidad y alta precisión.

Con la realización de este trabajo, se busca la especialización en temas referentes al mecanizado de portaherramientas poligonales de cambio rápido, destinados a su uso en tornos, centros de mecanizado y máquinas multitasking.

Los buenos resultados obtenidos permiten seguir trabajando en el tema tratando de seguir mejorando e innovando en lo referente a la fabricación de portaherramientas poligonales de cambio rápido.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer su apoyo al Departamento de Universidades e Investigación y al Departamento de Industria del Gobierno Vasco. Se agradece a Susensa<sup>®</sup> SL, Diviprec<sup>®</sup> y Tecnalía<sup>®</sup> y Sariki<sup>®</sup> su colaboración en el proyecto Gaitek Trygonpy y especialmente a Iñaki Okariz.

### 5. REFERENCIAS

- [1] Sandvik (2009) *Coromant Capto Modular Tooling System (catalogue)*. <http://www2.coromant.sandvik.com> (última entrada 5/02/2012).
- [2] M.Mori, M.Fujishima, Y.Inamasu, Y.Oda, *A study on energy efficiency improvement for machine tools*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60/1 (2011), 145-148.
- [3] Ch-S. Deng, J-Ch. Huang, J-H. Chin, *Effects of support misalignments in deep-hole drill shafts on hole straightness*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 41/8 (2001), 1165-1188.
- [4] I. Eugene, N. Charlotte, M. Tokyo, *Tooling structure: Interface between cutting edge and machine tool*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 49/2 (2002), 591-634.
- [5] G. Gest, S.J. Culley, R.I. McIntosh, A.R. Mileham, G.W. Owen, *Review of fast tool change systems*, Computer Integrated Manufacturing Systems, 8/3 (1995), 205-210.
- [6] B. Bossmanns, J.F. Tu, *Conceptual design of machine tool interfaces for high-speed machining*, J. of Manufacturing Processes, 4/1 (2002), 16-27.