

## Determinación de fuentes de incertidumbre en la sujeción de piezas en el torno

**P.X. Aristimuño Osoro, G. Arrizabalaga Arizti, P.J. Arrazola Arriola**

*Dpto. de Mecánica y Producción Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Mondragón*  
paristimuno@mondragon.edu

*En el diseño de procesos de fabricación, el ingeniero de procesos de fabricación tiene que decidir los tipos de sujeción de pieza a emplear en la fabricación de la pieza. El tipo de sujeción empleado puede limitar la precisión del mecanizado obtenido, o las condiciones de corte empleadas ya sean por el nivel de fuerzas y deformaciones aplicado como por el nivel de vibración generado.*

*El sistema de sujeción de piezas en el torneado puede deformar las piezas de paredes delgadas (anillos, discos, casquillos,...) provocando errores de redondez, o también es bastante habitual tener que fabricar superficies con requerimientos de concentricidad o coaxialidad en diferentes amarres de pieza. En estos casos el sistema de amarre es uno de los factores clave limitantes de la precisión obtenible en la pieza.*

*En este artículo se analiza el segundo caso, es decir la concentricidad o coaxialidad que nos pueden asegurar los sistemas de amarre más habituales en el torneado (plato de garras autocentrante con garras duras o blandas).*

*De los resultados obtenidos cabe destacar que los amarres realizados con garras blandas muestran un nivel de concentricidad más elevado que las garras duras. A su vez, cuanto mayor es la longitud de contacto en el amarre mayor es la concentricidad. Por otro lado, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la dificultad de obtener concentricidades menores de 0.02 mm a una distancia igual al diámetro desde el amarre.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En el diseño de procesos de fabricación, una de las decisiones más importantes que ha de tomar el ingeniero de procesos de fabricación una vez seleccionada la máquina en la que se procesara el material, es el tipo de sujeción de pieza que se empleara para fabricar la pieza.

Si las paredes de la pieza son delgadas, se corre el riesgo de deformar la pieza con el consabido error de redondez [1,2] (Figura 1). Si se disminuye la fuerza de amarre para disminuir la deformación, se tienen que reducir las condiciones de corte para así generar menores fuerzas de corte y no superar las fuerzas de amarre. De lo contrario, la pieza puede escaparse del amarre con el consecuente riesgo de accidente laboral y destrozo de herramientas y útiles.

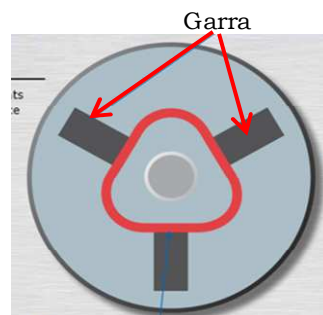


Figura 1. Deformación de la pieza por la fuerza de amarre [1]

Si las especificaciones requieren que todas las superficies de revolución de la pieza fabricada tengan el mismo eje de rotación y sean coaxiales, la forma más segura es mecanizar todas las superficies en la misma sujeción. Esta situación es bastante habitual en la fabricación de piezas por decoletage, donde las piezas se fabrican en el extremo de una

barra siendo la última operación de mecanizado es el seccionado de la pieza del extremo de la barra.

Sin embargo, las piezas torneadas generalmente tienen dos caras, es decir, se han de mecanizar por ambos extremos de la pieza. Ello supone tener que realizar el mecanizado de cada extremo en una sujeción distinta.

El tipo de sujeción empleado puede limitar la precisión del mecanizado [3], y la rigidez del mismo afecta a la precisión [4]. Chevalier *et al.* [5] relacionan la dispersión de coaxialidad con el tipo sistema de amarre, dando como valores orientativos dispersiones de 0.1 a 0.2 mm con garras duras (acero templado de dureza 60 HRC) y de 0.02 a 0.04 mm con garras blandas (acero suave torneable en la propia máquina). Otros autores relacionan la rigidez del amarre con la precisión del mecanizado, Prado *et al.* [6] desarrollan modelos de la rigidez del sistema de amarre, Topal *et al.* [7] además de predecir la deflexión desarrollan un método para la compensación del mismo.

En el torneado de piezas que tienen superficies con requerimientos de concentricidad o coaxialidad en diferentes amarres de pieza (Figura 2), el tipo de amarre tiene un gran impacto en la precisión del mecanizado [3]. Por lo tanto, una mala elección del sistema de amarre repercute negativamente en la calidad y rentabilidad del producto.

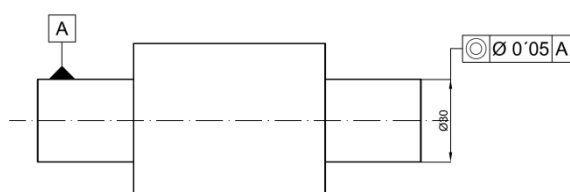


Figura 2. Pieza de revolución con requerimiento de coaxialidad

El plato hidráulico de 3 garras autocentrantes es ampliamente utilizado para el amarre de piezas en tornos de CNC. Ema *et al.* [8] estudiaron el efecto de parámetros como fuerza de amarre y longitud, diámetro y conicidad de amarre en variables como rigidez, precisión de concentricidad y estabilidad dinámica del corte. En este trabajo se concluye que la fuerza de amarre, diámetro y conicidad de la superficie de amarre de las garras tienen una influencia positiva en la rigidez del amarre. Sin embargo, el análisis de la precisión es menos exhaustivo, concluyendo que la influencia de la fuerza de amarre es poco influyente y que el método habitual de trabajo (superficie de amarre cilíndrica del mismo diámetro que la pieza) es el más preciso.

Este plato de garras puede emplear además de garras de acero templado que mantienen sus dimensiones a lo largo del tiempo (excepto por el desgaste o deterioro sufrido por el uso prolongado), garras de acero suave que se tornan en la propia máquina (Figura 3), razón por la cual se obtiene una gran coaxialidad de las superficies de amarre con el eje de giro.

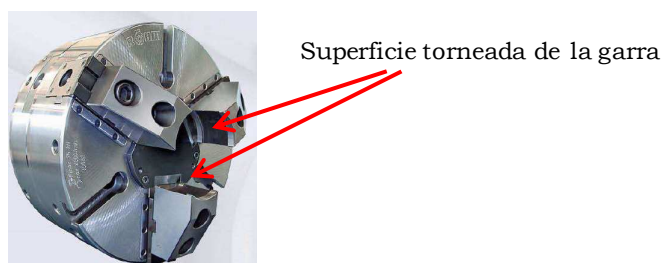


Figura 3. Plato hidráulico con garras blandas torneadas [1]

La coaxialidad de las superficies de amarre de las garras templadas con el eje de giro, depende además de la calidad de fabricación de las garras y del estado de desgaste de las mismas, del proceso de montaje de éstas en la máquina. De esta forma podemos decir que cada vez que se montan las garras en la máquina tienen un error distinto.

Cuando el amarre con el plato de garras no ofrezca las suficientes garantías de obtener la coaxialidad necesaria, se pueden emplear otras técnicas de amarre de piezas, como por ejemplo entre-puntos con uñas de arrastre frontal (Figura 4).

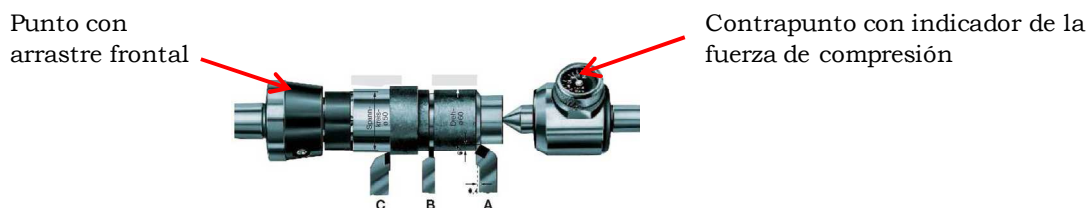


Figura 4. Sistema de amarre de piezas entre-puntos con uñas de arrastre frontal [1]

Este tipo de amarre permite el mecanizado de todas las superficies en el mismo amarre, sin soltar la pieza, y por tanto con el mismo eje de giro garantizando así una gran coaxialidad [9]. Sin embargo, la rigidez de este amarre es muy inferior al amarre con garras, por lo que se suele reservar casi exclusivamente a operaciones de acabado. Por ello, habitualmente la primera opción consiste en el amarre con garras, y si esta no garantiza la coaxialidad suficiente, se opta por el amarre entre puntos.

Por lo tanto, una información muy valiosa para el diseño de procesos de mecanizado de piezas de torneado es el nivel de coaxialidad obtenible mediante el amarre de plato hidráulico de garras autocentrantes, tanto empleando garras de acero templado como empleando garras de acero suave.

La coaxialidad obtenida con el amarre de plato hidráulico es función de varios factores, como por ejemplo, del error de giro del eje del cabezal, de la calidad del acoplamiento del plato hidráulico al eje del torno (cono de ajuste), de la calidad del plato (corredera) y estado de conservación así como la calidad de las garras (dentado) (Figura 5).

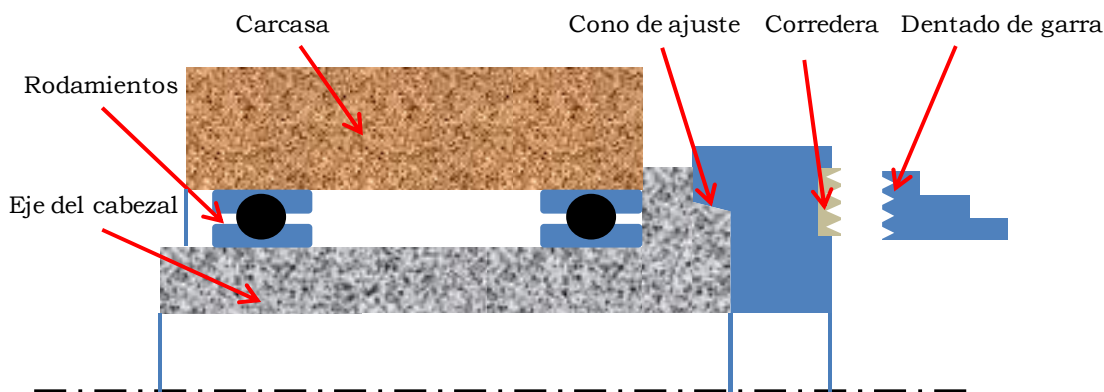


Figura 5. Errores de concentricidad acumulables en el amarre de piezas de torno

El estudio de la coaxialidad haciendo variar a todas estas variables resulta poco menos que imposible, ya que ello supondría modificar la calidad de giro del eje del cabezal o el estado de conservación del plato de garras entre otras cosas.

Por ello, en este trabajo se realizara el estudio fijando la coaxilaidad de giro del cabezal (se empleara la misma máquina en un intervalo de tiempo reducido), se fijara la calidad del acoplamiento del palto al eje de la máquina (el plato no será desmontado mientras dura el experimento) y la calidad del plato y su estado de conservación no variara (se usara el mismo plato en un intervalo de tiempo reducido).

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el grado de coaxialidad obtenible en piezas torneadas empleando amarres de 3 garras autocentrantes tanto de garras duras como blandas.

## 2. SET UP EXPERIMENTAL

Las variables que se han estudiado en este trabajo son el empleo de garras de acero templado y garras de acero suave torneadas en la misma máquina, la longitud de la superficie de amarre, fuerza de amarre y la distancia a la cual se mide la excentricidad.

La parte experimental ha sido ejecutada en un torno CNC Danobat Danobar-65 equipado con plato de garras hidráulico. Como pieza patrón se utilizara una columna templada y rectificada para troqueles de diámetro 40 mm cortada a una longitud de 100 mm con la superficie del corte rectificada perpendicularmente a su eje y con la arista achaflanada para que no interfiera con el radio interior que se genera al mecanizar las garras blandas por su interior con la correspondiente herramienta de interiores. Esta superficie rectificada será la que haga contacto con el tope regulable.

Para garantizar que en todos los amarres realizados con garras duras la longitud del voladizo es la misma se utilizara un tope regulable que se ajusta en el eje del torno como se ve en la Figura 6. El torno será programado para que una vez amarrada la pieza, ésta comience a girar a 10 r.p.m., y el reloj comparador se posicione en los diferentes puntos donde se quiere medir el salto (Figura 7).

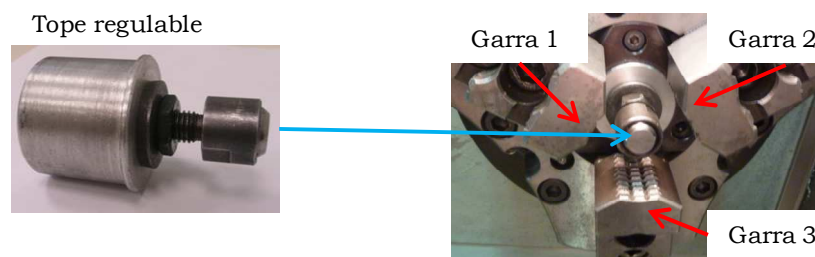


Figura 6. Tope regulable que se utiliza junto con las garras templadas

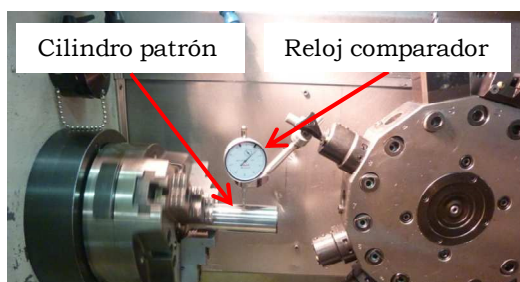


Figura 7. Reloj comparador señalando el salto de la pieza mientras esta gira

Por último señalar que toda la parte experimental la realiza el mismo operario, siguiendo el mismo protocolo en el amarre de la pieza así como en la lectura del salto radial.

## 3. PLAN DE ENSAYOS

La variable que se desea analizar es la excentricidad que coge la pieza dependiendo de las condiciones de amarre. En el set up experimental se han fijado todas aquellas variables que se mantendrán constantes a lo largo de todos los ensayos.

Las variables de entrada y los valores de éstas a aplicar en el análisis experimental quedan recogidos en la Tabla 1.

Variable de entrada	Nivel de la variable		
Tipo de amarre	Garra dura		Garra blanda
Presión de amarre	20 bar (75 KN)		40 bar (125 KN)
Distancia de medida (D)	10 mm		50 mm
Longitud de amarre (L)	10 mm	25 mm	40 mm

Tabla 1. Variables de entrada

Para realizar el análisis de las variables se ha realizado un análisis factorial completo, 3 variables con dos niveles (8) y una cuarta variable con tres niveles (8x3), lo que resulta en un total de 24 ensayos. Cada ensayo se repetirá 10 veces con el objeto de verificar la repetibilidad del ensayo.

A continuación se describen las variables de entrada que se modificaran de ensayo a ensayo.

### 3.1. Tipo de amarre

El tipo de amarre que se va a estudiar en este trabajo son el amarre en plato hidráulico de garras autocentrantes con garras duras y con garras blandas. Cuando se emplean garras duras, estas están templadas y no se les modifican ni su forma ni sus dimensiones, dependiendo la concentricidad de la superficie de amarre del montaje de la garra en el plato. Sin embargo, cuando se emplean garras blandas, estas son de acero suave y se tornea la superficie de amarre una vez montadas en plato, consiguiendo una buena concentricidad de la superficie de amarre de la garra con el eje de giro.

Además de la concentricidad de las superficies de amarre con el eje de giro, hay una diferencia en el contacto entre la pieza y garra ya sea esta dura o blanda. En la garra dura el contacto se produce sobre una línea (en realidad una pequeña superficie debido a la deformación elástica), mientras que en la garra blanda, al estar torneada al mismo diámetro de la pieza a amarrar, el contacto se produce sobre una superficie.

En la Figura 8 se aprecia la diferencia en el amarre de la pieza con garras duras y garras blandas.

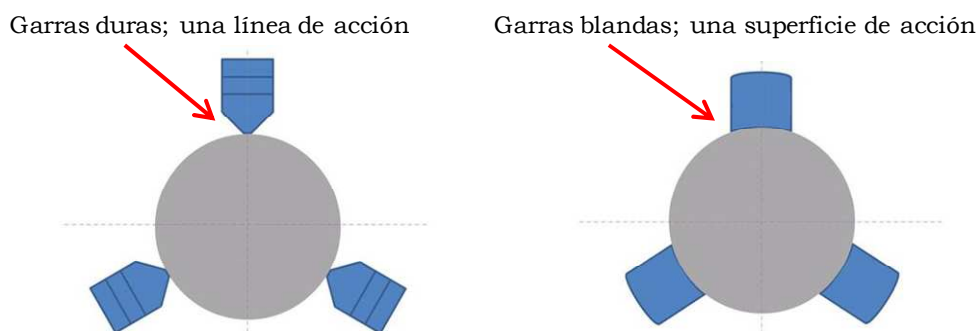


Figura 8. Amarre con garras duras y garras blandas

### 3.2. Longitud de amarre

La longitud de amarre se refiere a la longitud de la pieza que está introducida en las garras del plato.

Se definen tres longitudes de amarre (10, 25 y 40 mm) que sirvan tanto para las garras templadas como para las blandas.

Para mantener estas longitudes de amarre constantes, con las garras templadas se recurre a un tope axial y con las garras blandas, al ser estas mecanizadas interiormente, se genera la superficie que hace de tope para la pieza patrón como se puede apreciar en la Figura 9.



Figura 9. Longitud de amarre

### 3.3. Presión de amarre

La presión de amarre del plato hidráulico se puede regular mediante la válvula reguladora de presión correspondiente y verificarla mediante un manómetro situado en el grupo hidráulico.

La fuerza de amarre correspondiente a la presión aplicada se ha medido con un sensor específico (Figura 10), y se ha comprobado que una presión de 20 bar corresponde a una fuerza de amarre de 75kN y una presión de 40 bar a 125 kN.

Sensor de fuerza de amarre.



Indicador de la fuerza de amarre



Figura 10. Sensor e indicador de la fuerza de amarre

### 3.4. Distancia de medición

La distancia desde el extremo del amarre hasta el punto de medición es una variable que afecta al resultado. Si el valor de excentricidad no varía con la distancia, significa que el eje de giro es paralelo al eje geométrico del cilindro patrón. La variación del valor de excentricidad con la distancia nos indica el error de orientación del eje de giro respecto del eje geométrico del cilindro patrón.

## 4. RESULTADOS

Los resultados de los ensayos, tanto la media como la desviación estándar de las diez repeticiones, se recogen en las Tablas 2, 3, 4 y 5.

En cada tabla se recogen los resultados para un tipo de amarre (garras duras-blandas) y presión de amarre determinado (20-40 bar).

Se aprecia en los resultados de cada tabla representados en la Figura 11, que a mayor longitud de amarre de la pieza (L) menor es la excentricidad, y también es menor la desviación estándar. Este resultado se aprecia tanto a una distancia de 10 mm del amarre como a 50 mm.

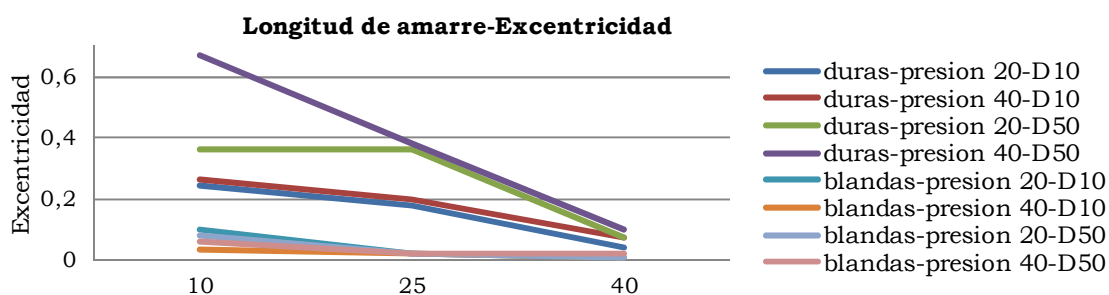


Figura 11. Influencia de la longitud del amarre en la excentricidad

En cuanto a la influencia del empleo de garras duras o blandas, en los resultados se aprecia que con garras blandas el amarre es más concéntrico. Por un lado se consiguen mayores niveles de concentricidad y por otro, la variabilidad es menor, los resultados están más concentrados (Figura 12).

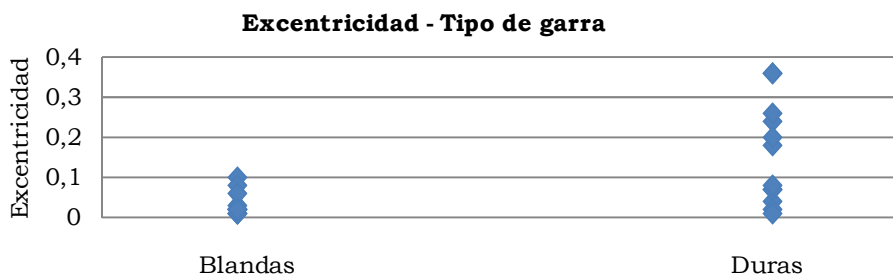


Figura 12. Influencia del tipo de garra en la excentricidad

Por otro lado, cabe señalar que los resultados muestran que con garras duras, al aumentar la presión de amarre la excentricidad tiende a aumentar ligeramente. No así con garras blandas, que muestra una ligera tendencia a disminuir la excentricidad. De todas formas, esta variación es tan ligera, que en los niveles de presión empleados, se puede decir que no se aprecia influencia significativa (Figura 13).

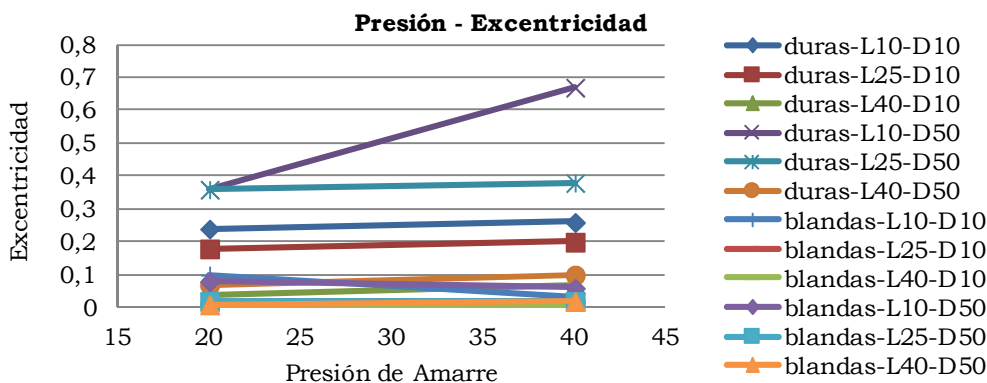


Figura 13. Influencia de la presión de amarre en la excentricidad

Longitud Amarre (L)	Distancia de medida (D)			
	10 mm		50 mm	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
10 mm	0.24 mm	0.2 mm	0.36 mm	0.2 mm
25 mm	0.18 mm	0.1 mm	0.36 mm	0.2 mm
40 mm	0.04 mm	0.03 mm	0.07 mm	0.05 mm

Tabla 2. Excentricidad con Garras duras y presión de amarre de 20 bar

Longitud Amarre (L)	Distancia de medida (D)			
	10 mm		50 mm	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
10 mm	0.26 mm	0.06 mm	0.67 mm	0.2 mm
25 mm	0.2 mm	0.09 mm	0.38 mm	0.2 mm
40 mm	0.07 mm	0.03 mm	0.1 mm	0.04 mm

Tabla 3. Excentricidad con Garras duras y presión de amarre de 40 bar

Longitud Amarre (L)	Distancia de medida (D)			
	10 mm		50 mm	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
10 mm	0.10 mm	0.04 mm	0.08 mm	0.03 mm
25 mm	0.02 mm	0.01 mm	0.02 mm	0.01 mm
40 mm	0.01 mm	0.005 mm	0.01 mm	0.005 mm

Tabla 4. Excentricidad con Garras blandas y presión de amarre de 20 bar

Longitud Amarre (L)	Distancia de medida (D)			
	10 mm		50 mm	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
10 mm	0.03 mm	0.02 mm	0.06 mm	0.03 mm
25 mm	0.02 mm	0.01 mm	0.02 mm	0.01 mm
40 mm	0.01 mm	0.005 mm	0.02 mm	0.01 mm

Tabla 5. Excentricidad con Garras blandas y presión de amarre de 40 bar

## 5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de este trabajo es evaluar el grado de coaxialidad obtenible en piezas torneadas empleando amarres de 3 garras autocentrantes tanto de garras duras como blandas, tras el análisis experimental realizado podemos concluir lo siguiente para el rango de valores analizado:

1. El empleo de garras blandas permite obtener mejores resultados de coaxialidad que el empleo de garras duras. Esto es básicamente porque a las garras blandas se les tornea la superficie de amarre una vez montadas en la máquina.
2. A mayor longitud de amarre de la pieza se garantiza una mayor coaxialidad.
3. La presión o fuerza de amarre no tiene una influencia de primer orden.

Por último, cabe resaltar los valores máximos de coaxialidad obtenidos. Con garras duras el mejor resultado obtenido ha sido de 0.04 mm con una desviación estándar de 0.03 mm, y con garras blandas 0.01 mm con una desviación estándar de 0.005 mm. Lo cual cuantifica las ventajas de coaxialidad obtenibles empleando garras blandas en lugar de garras duras y da un valor de referencia muy valioso para el diseño de procesos de mecanizado.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Gobierno Vasco el apoyo económico recibido en los proyectos PROFUTURE I (Código IE10-271) y PROFUTURE II (Código IE11-308), el cual ha permitido la realización de este trabajo de investigación.

## 7. REFERENCIAS

- [1] [www.rohmiberica.com](http://www.rohmiberica.com)
- [2] J. H. Lee, S. K. Lee, Chucking compliance compensation with a linear motor-driven tool system, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 23, (2004), 102-109
- [3] Chuck checkout (lever-type chucks), *Cutting Tool Engineering*, V60, (2008), ISSN:011-4189
- [4] L. Slatineanu, M. Coteata, I. Besliu, M. Boca, N. Pop, Considerations concerning the elastic deformation of the workpiece at turning, *ModTech International Conference*, (2010)
- [5] A. Chevalier, J. Bohan, *Tecnología del diseño y fabricación de piezas metálicas*, Noriega Editores, (2004)
- [6] Y. Prado, G. Valiño, D. Blanco, C.M. Suarez, B.J. Alvarez, Model for stiffness characterization of the spindle-chuck system in a CNC lathe for prediction of deflections in CAPP, *Proceedings of the 2010 IEEE*, (2010)
- [7] E. S. Topal, C. Cogun, Computer-based estimation and compensation of diametral errors in CNC turning of cantilevers bars, *J. Intell. Manuf.*, (2011), 853-865
- [8] S. Ema, E. Marui, Chucking performance of a Wedge-Type Power Chuck, *Transactions of the ASME* 116 (1994), 70-77
- [9] J. Michael, Fundamentals of face driving (workholding developments- cutting operation in a lathe), *Cutting Tool Engineering*, V56, (2004)