



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

## “CONSTRUCCION DE LA MAQUINA-HERRAMIENTA PARA EL MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD”

AUTORÍA <b>SEBASTIÁN DÍAZ BECERRO</b>
TEMÁTICA <b>FABRICACIÓN MECÁNICA</b>
ETAPA <b>FORMACIÓN PROFESIONAL</b>

### Resumen

La máquina-herramienta es la herramienta fundamental de las técnicas de mecanizado que se imparten en la Familia Profesional de Fabricación Mecánica. Más concretamente en el ciclo de grado medio de Mecanizado y en el ciclo de grado superior de Producción por Mecanizado. El mecanizado de alta velocidad exige a la máquina unas características constructivas específicas que la diferencia en algunos aspectos de la máquina-herramienta tradicional.

### Palabras clave

Mecanizado de alta velocidad, máquina-herramienta, ciclo formativo, fabricación mecánica, familia profesional, módulo profesional.

### 1. INTRODUCCIÓN.

La Familia Profesional de Fabricación Mecánica está compuesta por dos subfamilias, “Desarrollo y Fabricación de Productos” y “Construcciones Metálicas”, y la conforman los siguientes sectores o actividades: Industrias de la Construcción de Maquinaria y Equipo Mecánico, Industrias de Fabricación de Material de Transporte, Construcciones Metálicas e Industria Pesada.

Dentro de la primera subfamilia: “Desarrollo y Fabricación de Productos” se encuentran el ciclo formativo de grado medio Mecanizado y el de grado superior Producción por mecanizado.

El mecanizado de alta velocidad es una estrategia de operación que consiste en sustituir pocas pasadas lentas de gran profundidad de corte por muchas pasadas rápidas de menor profundidad de corte, obteniéndose así un importante incremento en la cantidad de material desalojado. Ello se consigue mediante la utilización de elevadas velocidades de giro del cabezal, estando ampliamente aceptado considerar alta velocidad al mecanizado con cabezales que posean un rango de funcionamiento por encima de las 8.000 rpm. Es habitual encontrar máquinas con velocidades de



**ISSN 1988-6047    DEP. LEGAL: GR 2922/2007    Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008**

cabezal del orden de 20.000 rpm, pudiendo llegar incluso a 50.000 rpm en algunas máquinas comerciales y a 100.000 rpm en prototipos de laboratorio.

El incremento de la velocidad de giro del cabezal debe ir acompañado de un incremento de la velocidad de avance de los ejes. De todos modos, es más importante disponer de valores altos de aceleración que de velocidad, con valores típicamente del orden de 1g, aunque pueden existir también máquinas con 2g e incluso más.

La capacidad de aumentar de forma notable la velocidad de arranque de viruta conlleva la clara ventaja de disminuir el tiempo de mecanizado. Este factor es especialmente importante en aplicaciones que involucran operaciones de mecanizado de contornos complejos, como es el caso de los moldes.

Por otro lado, el empleo de una mayor velocidad de corte permite reducir el grosor de la viruta arrancada sin pérdida de tiempo en el proceso de producción, lo que revierte en el incremento de la vida de las herramientas, y en el incremento de la precisión del mecanizado, pudiendo así eliminarse etapas finales de acabado superficial.

## **2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS.**

Básicamente las estructuras y elementos de las máquinas se han hecho siempre de fundición gris, con todas sus variantes de composición y por tanto de calidad. Hoy en día existen los materiales polímeros que mejoran algunas características de la fundición.

Para producciones reducidas, se utilizan estructuras soldadas que eventualmente se pueden llenar de hormigón y algunos elementos de la máquina pueden estar hechos con materiales como el aluminio para disminuir el peso y mejorar así la respuesta dinámica. Intentamos en este apartado analizar las ventajas y los inconvenientes de todas estas soluciones.

### **2.1. Fundición.**

La fundición gris es el material más utilizado en la construcción de estructuras y elementos de las máquinas herramienta.

La fundición ofrece la posibilidad de conformar el material mediante unas estructuras de madera que imitan la forma final del elemento de fundición en una caja. Estas se llenan de arena que se compacta formando lo que será el molde de la fundición. Se extraen entonces las maderas interiores y se llena de la fundición. Una vez la fundición se solidifica se abre la caja y se deshace la arena vibrando el conjunto y limpiando la superficie.

La fundición entonces pasa a una fase de estabilización necesaria para que una vez el elemento de la estructura esté montado su deformación sea mínima. Esta fase de estabilización es muy importante en cuanto más precisión necesita la máquina.

La empresa americana Moore, líder en fabricación de rectificadores en coordenadas de alta precisión, hace descansar las estructuras de fundición más de un año al aire libre para estabilizarlas. Además



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

mantiene una política de recuperación de las estructuras con sus clientes que le hace fabricar nuevas máquinas con tecnología de control numérico y electrónica de última generación aprovechando la estructura de una máquina con 10, 15 o 20 años. Después de todo este tiempo la estabilidad de la estructura está más asegurada.

Los elementos de fundición son posteriormente mecanizados para conformar las zonas de unión entre los diferentes elementos estructurales y entre los elementos estructurales y los accionamientos. La maquinabilidad de la fundición hace fáciles estas operaciones.

## 2.2. Estructuras soldadas.

La solución de la fundición es demasiado cara para la construcción de máquinas especiales de más baja producción para la amortización de los moldes de fundición. En estos casos se elige una solución constructiva a base de elementos de acero soldados. El diseño y fabricación de las estructuras se transforma entonces en simple y flexible.

Estos tipos de estructuras tienen inconvenientes que las hacen inviables en máquinas de precisión. La estabilidad y predicción de los elementos soldados bajo cargas mecánicas y térmicas son difíciles debido a la presencia de las soldaduras. Estas son de difícil ejecución y los elementos son, en consecuencia, heterogéneos. Todo esto hace que las flexiones y torsiones mecánicas o térmicas sean muy superiores a las de la fundición.

Además, la amortiguación a las vibraciones de estas estructuras es muy pequeña por estar constituida, fundamentalmente, por elementos de acero. Esto limita la aplicación de estas estructuras en procesos de desbaste, donde las vibraciones producidas por la herramienta necesitan ser amortiguadas para asegurar la estabilidad del proceso.

Una solución parcial al problema de la baja amortiguación es llenar las estructuras de acero soldado con hormigón. Esto le da capacidad de amortiguación. Es importante mantener siempre el contacto entre el acero y el hormigón para no perder capacidad de amortiguación. Se utilizan en estos casos aceros con relieve (al estilo de las barras de construcción para el hormigón armado) y se intenta vibrar el hormigón para que llene perfectamente todo los volúmenes, aumentando así la zona de contacto acero-hormigón.

En esta solución la estabilidad térmica es fundamental, por el hecho de que el acero y el hormigón tienen coeficientes de expansión térmica diferentes y, por tanto, a diferentes temperaturas la absorción de vibraciones puede ser también distinta.

## 2.3. Materiales poliméricos.

Como alternativa se pueden utilizar los materiales poliméricos.

Éstos han sido utilizados desde hace años en alguno de los elementos de la máquina-herramienta. La ventaja fundamental respecto a la fundición es su capacidad de absorción de vibraciones, que es unas 10 veces superior.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Esta característica hace que este material sea ideal para bases o bancadas de máquina. Sus características elásticas y resistentes no lo hacen, pero no es aconsejable para la construcción de elementos sometidos a altas cargas de compresión, tracción y flexión.

Hay que destacar el coeficiente térmico de expansión, ya que en los materiales poliméricos es prácticamente idéntico al de la fundición. Esta característica evita problemas mecánicos y de precisión en las uniones fundición-polímero, lo que hace a los materiales poliméricos ideales para ser combinados con la fundición y dar así más capacidad de absorción de vibraciones al conjunto del sistema.

### **3. ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA-HERRAMIENTA.**

La estructura de una máquina sirve para otorgarle rigidez y amortiguación a las vibraciones, a la vez que condiciona la precisión y la estabilidad térmica. Además ha de facilitar la carga y descarga de la pieza, en aras de la ergonomía para el operador.

#### **3.1. Parámetros de diseño.**

Las máquinas-herramienta de alta velocidad, como ya se ha indicado, requieren de una gran rigidez y una elevada respuesta dinámica.

La rigidez es función de los materiales utilizados en la construcción, de la estructura interna o de los enervados de los elementos constructivos y de las dimensiones de los carros.

De los materiales de construcción se ha hablado anteriormente. Suponiendo el material de fundición gris, la estructura interna de los elementos constructivos se caracteriza por la gran cantidad de nervios que lo conforman, con el fin de otorgarle rigidez interna minimizando el peso, siempre importante para la respuesta dinámica, y el por precio/kg. de la fundición. Estas estructuras enervadas se diseñan con la ayuda de métodos de elementos finitos.

En las dimensiones de diseño es importante evitar al máximo los voladizos, con las dimensiones máximas de guía, y las mínimas distancias entre los husillos de bolas de los accionamientos y la herramienta de trabajo.

Los problemas de rigidez más importantes en una máquina-herramienta son debidos a los esfuerzos de flexión o torsión, más que a los de compresión o tracción.

#### **3.2. Guías.**

Los componentes de guía son fundamentales en la dicotomía rigidez-amortiguación de una máquina.

Las guías son el único elemento de discontinuidad en el sistema estructural de la máquina y, por tanto, suponen uno de los puntos débiles en la rigidez total del sistema. Por otro lado, esta discontinuidad puede dotar al sistema de una capacidad de absorción de las vibraciones importante. El sistema de guías determina, en parte, las aplicaciones de la máquina-herramienta.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Básicamente, las guías pueden ser de tres tipos: guías de fricción hidrodinámicas, guías de rodadura y guías de fricción hidrostáticas.

- Guías de fricción hidrodinámicas.

Las guías de fricción hidrodinámicas eran las únicas guías comúnmente utilizadas hasta hace 10 años. Se trata de dos superficies planas o inclinadas, rectificadas y tratadas térmicamente para aumentar la dureza superficial, que incorporan una película intermedia de aceite para mejorar el deslizamiento.

Estas guías se ajustan mediante planos inclinados que acercan o separan las superficies. Con el desgaste estos planos inclinados pueden reajustarse, pero las guías hidrodinámicas tienen una vida limitada a 10-12 años, después de los cuales se tendrían que volver a rasquetear las superficies.

Estas guías presentan una buena absorción de las vibraciones para la película de aceite, y el coeficiente de amortiguación es proporcional a la superficie de contacto. Esta característica las hace ideales para aplicaciones de gran esfuerzo y corte interrumpido, y en aplicaciones donde el acabado superficial es crítico.

Se presentan algunos problemas con estas guías. El cizallamiento del aceite produce resistencia al movimiento, por lo que es necesario un motor más grande que con otros sistemas para conseguir las mismas aceleraciones y movimientos en rápido.

Además, se produce un efecto de “stick-slip” debido a la diferencia de valor del coeficiente estático y dinámico de fricción. Cuando la máquina se para, el espesor de aceite disminuye aumentando la fricción del sistema. Este efecto es muy perjudicial para los servosistemas cuando se producen constantes cambios de sentido en los ejes, ya que se presenta una resistencia diferente al movimiento cuando el eje justo empieza a moverse y después de comenzar. De aquí el nombre de “stick-slip” o pegar-deslizar. Este efecto no favorece, en principio, a las máquinas que deben describir trayectorias de 3D de grandes precisiones.

- Guías de rodadura.

Las guías de rodadura se basan en el mismo concepto de un rodamiento de bolas. El elemento fijo monta unas guías rectificadas con unas superficies donde ruedan las bolas o cilindros, que dan vueltas a un circuito contenido en un bloque precargado y que se fija al elemento móvil de la máquina. Para cada guía se monta un mínimo de dos bloques. Cuanto más largo sea el elemento móvil, más bloques habrá que montar. Estas guías no necesitan ajuste, y su vida es presumiblemente mayor que la de las guías hidrodinámicas, si bien no se dispone todavía de valores estadísticos suficientes para asegurarlo.

Las guías de rodadura presentan una mayor rigidez que las guías hidrodinámicas del mismo tamaño, pero la capacidad de absorción de las vibraciones es mucho más pobre. El coeficiente de fricción es mucho más bajo y, se pueden conseguir respuestas dinámicas más cortas y mejores precisiones en trayectorias de 3D.

Estas guías son hoy en día la solución casi exclusiva a las máquinas de producción que requieren aceleraciones y velocidades muy elevadas para reducir los tiempos de posicionamiento. Como ejemplo se muestra el centro de mecanizado vertical de la fotografía siguiente. Este centro tiene movimientos en



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

rápido de 40 m/min, y está destinado básicamente a la producción de pequeñas piezas de aluminio profundido.

### 3.3. Ejes.

La cadena cinemática de los ejes está formada por el soporte del motor, la unión motor-husillo, los rodamientos de soporte del husillo a bolas, el mismo husillo de bolas y la unión con el carro del eje. Este sistema determina la respuesta dinámica de la máquina y la precisión de posicionamiento, junto al servomotor de mando y el sistema de captación de posición.

#### 3.3.1. Uniones.

Las uniones del motor con los husillos a bolas son importantes, porque son las primeras en transmitir el par del motor. Las uniones pueden ser básicamente directas o indirectas.

- Uniones indirectas.

Las uniones indirectas incorporan un sistema polea-correa-polea entre el motor y el husillo a bolas. Esta solución se adopta básicamente para problemas de espacio en el montaje del motor o bien para multiplicar el par o la velocidad de salida del motor con una proporción reductora o multiplicadora respectivamente.

Esta solución no es recomendable en una máquina de alta velocidad, porque la transmisión a correa rebaja la rigidez del sistema debido a la elasticidad de la correa y, especialmente, a frecuencias de trabajo altas.

Además también afecta a la precisión del eje, si bien el error cometido depende mucho del montaje del sistema de medida.

La ventaja más importante de estos montajes es el aislamiento térmico del motor, cosa que evita evacuar con tanta urgencia el calor que genera.

- Uniones directas.

Las uniones directas consisten en una unión doble que fija los extremos del husillo y del eje del motor. Estas uniones pueden tener diferentes grados de rigidez.

Las uniones más rígidas son simplemente una pieza sólida de acero. Éstas proporcionan mucha precisión, pero obligan a un montaje muy preciso porque no absorben ninguna desalineación de los ejes motor y husillo.

Esta desalineación crea un esfuerzo cíclico, que puede producir la rotura de alguno de los ejes por fatiga.

Para evitar estos problemas se utilizan unas uniones que proporcionan cierta flexibilidad radial y axial, pero en cambio tienen mucha rigidez torsional. Éstas son, sin duda, las más utilizadas en las máquinas de alta velocidad.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

### 3.3.2. Husillos de bolas.

Los husillos de bolas son los encargados de convertir el movimiento rotativo del motor en movimiento lineal de la hembra del husillo. En la rosca se rectifican las superficies de contacto de las bolas que corren por la hembra. Ésta suele ser doble con moldes intermedios que compensan la holgura con las pistas del husillo.

El paso del husillo es un elemento básico de diseño que determinará el par necesaria para mover determinada carga y la velocidad máxima lineal, dada una velocidad máxima angular del motor. La aplicación de la máquina influirá entonces en la determinación de este parámetro.

La precisión del rectificado del husillo puede influir en la precisión del eje, especialmente si se utilizan sistemas de medida rotativos. Esta precisión se especifica con el grado C del husillo.

Básicamente uno de los extremos del husillo puede estar:

- *Libre*: o sin ningún soporte.
- *Soportado*: con un rodamiento radial que lo fija radialmente pero lo deja libre axialmente.
- *Fijo*: con un juego de 2 o más rodamientos angulares en oposición que lo fijan radial y axialmente.

En general, las soluciones a las máquinas de alta velocidad son extremos fijo-soportado o fijo-fijo (extremo del motor en primer plano). La solución fijo - fijo es la mejor cuando se requiere una gran rigidez.

La esbeltez ( $L/D$ ) del husillo es fundamental a la hora de calcular su rigidez. Pensemos que el diámetro no se puede aumentar indiscriminadamente, porque en los montajes horizontales un peso excesivo hace tambalear el husillo lo que puede provocar vibraciones al sistema por la rotación de la masa desequilibrada.

### 3.4. Cabezal.

El cabezal es el corazón de la máquina-herramienta. El diseño de la máquina depende de la capacidad del cabezal, o sea de la velocidad angular máxima, la potencia, y el par que necesitamos desarrollar para una aplicación determinada. El diseño del cabezal es un continuo compromiso entre las características funcionales y la vida y coste del mismo.

La rigidez de un cabezal depende fundamentalmente del tamaño, precarga y tipo del rodamiento utilizado. Por tanto hay que estudiar con detalle las opciones que ofrece el mercado con el fin de obtener el mejor rendimiento en la aplicación sometida a estudio. Para aplicaciones de taladrado y roscado habrá que optimizar la rigidez axial, mientras que para las operaciones de fresado es más importante la rigidez radial. La rigidez, por tanto, es determinada por la aplicación y potencia que se desee desarrollar.

Dada una aplicación y las características del rodamiento, las revoluciones máximas del cabezal dependen fundamentalmente del tipo de lubricación de sus rodamientos.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

#### **3.4.1. Cabezal con transmisión de engranajes.**

Este tipo de cabezal es la evolución de los antiguos cabezales de motor continuo, donde la velocidad se controlaba variando la relación de las poleas de fricción cónicas. Hoy en día, los motores empleados son motores de inducción con control vectorial - en muchos casos con feedback de posición - y las transmisiones están realizadas con ruedas dentadas - y, en general, con dos gamas.

La ventaja de estas transmisiones es su capacidad para multiplicar el par del motor, a menudo por cuatro. Además, el motor está aislado del cabezal y, por tanto, es más fácil controlar el calor generado por las dos unidades separadas.

Los inconvenientes más destacables son la poca eficiencia (70%), el ruido y las vibraciones generadas en el corte. Además, la velocidad máxima en punta de herramienta no supera nunca las 8000 rpm.

Este tipo de cabezales son ideales para aplicaciones de alta velocidad donde hace falta mucha potencia a bajas revoluciones: o sea un gran par. En algunas condiciones de corte de titanio, por ejemplo, con herramientas de diámetros grandes pueden ser necesarios de 1000 a 2000 Nm.

#### **3.4.2. Cabezal con transmisión para correas.**

Esta construcción del cabezal es probablemente la más utilizada hoy en día en centros de mecanizado convencionales. Es fácil de montar, y por tanto muy económica. Además, dependiendo de las correas y la relación de poleas que se instalen, podemos obtener un cabezal con un alto par a bajas revoluciones o un cabezal con velocidades de hasta a 15.000 rpm con un nivel de vibraciones y ruido aceptable para muchas aplicaciones.

El inconveniente de estos sistemas es que, precisamente al ser versátil, ni la potencia a bajas revoluciones es suficiente en las aplicaciones con más requerimientos de par, ni el nivel de vibraciones a altas revoluciones es aceptable en aplicaciones donde los acabados superficiales sean críticos.

Además, dependiendo de las correas, se genera bastante calor, que está sin embargo siempre aislado en el motor y en el cabezal. Pero el punto más débil del cabezal es el rodamiento de soporte posterior: las correas ejercen una fuerza radial que limita mucho casos la vida de este rodamiento.

Este cabezal, con mejoras en la transmisión por correas (para reducir el ruido y las vibraciones) y un montaje con doble rodamiento entre los cuales se sitúa la polea de transmisión (para evitar el fallo), se utiliza todavía en muchas máquinas resultado de la evolución de otras convencionales para hacer MAV.

#### **3.4.3. Cabezal con acoplamiento directo.**

Este tipo de cabezal elimina las vibraciones y los ruidos de las transmisiones, por lo que se puede llegar a velocidades de hasta a 20.000 rpm con muy buenos acabados superficiales.

En este montaje el motor debe estar bien equilibrado, y la alineación del motor y el cabezal ha de ser excelente para evitar desequilibrios que induzcan fuerzas radiales a los rodamientos posteriores del cabezal.





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

También hay que tener en cuenta el aislamiento térmico del motor y la absorción por parte del acoplamiento del posible alargamiento del eje de éste hacia abajo y las del cabezal hacia arriba. Si no, podrían aparecer fuerzas.

Con todas estas consideraciones, el precio de estos cabezales es relativamente bueno, sobretodo respecto al coste de los cabezales integrados.

#### **3.4.4. Cabezal integrado.**

Éstos son, sin duda alguna, los cabezales más utilizados en las máquinas-herramienta de alta velocidad del mercado actual.

Este concepto integra el motor dentro de la estructura del cabezal, con el fin de evitar cualquier tipo de transmisión y, por tanto, reducir al máximo las vibraciones generadas. En los motores para esta aplicación se venden el estator y el rotor por separado, con el rotor vacío para integrar los mecanismos del cabezal. El motor queda en medio de los rodamientos frontales y posteriores.

Las limitaciones de velocidad de estos cabezales son las de los rodamientos. Se encuentran ejemplos de todas las velocidades y potencias. Sus características de vibración son excelentes (menos de 2 µ pico a pico en muchos casos) y el ruido es mínimo.

Los dos grandes inconvenientes de estos tipos de motor son su precio y la evacuación del calor generado por el motor.

El precio de compra es elevado por la complejidad del montaje, aunque cuando se extienda todavía más, los precios de los motores vacíos deberían bajar. También es costosa la reparación del cabezal, porque cuando aparece un problema en el cabezal (rodamientos) o en el motor la consecuencia es la misma: hay que sustituir todo el conjunto. Esta característica obliga a los fabricantes a tener un servicio de reposición de estos cabezales eficaz, extenso y por tanto caro.

Con respecto al calor, en este cabezal, además de extraer el calor de la parte exterior de los cabezales, hay que extraer el calor del estator del motor, aumentando la potencia refrigeradora y haciendo los circuitos más complejos. Además, en los cabezales de inducción los rotores generan mucho calor en la chapa apilada, que se transmite directamente al eje rotativo del cabezal. Por tanto, el gradiente es todavía más difícil de controlar.

Otra de las problemáticas tanto de este tipo de cabezales como de los de acoplamiento directo era la imposibilidad de obtener buenos pares a bajas y a altas revoluciones. Este problema se ha resuelto incorporando motores de doble bobinado, que utilizan uno de 6 pulsos a bajo régimen y otro de 2 pulsos para régimen elevado. Es como si se cambiara el motor dependiendo de las revoluciones de trabajo. Este cambio se controla electrónicamente, y se realiza por tanto de forma dinámica.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

## 4. BIBLIOGRAFÍA.

### 4.1. Bibliografía.

Coca Rebollero, P. y Rosique Jiménez, J. (2002). *Tecnología mecánica y metrotecnica*. Madrid: Editorial Pirámide.

Lasheras Esteban, J.M. (1997). *Tecnología mecánica y metrotecnica*. San Sebastián: Editorial Donostiarra.

Morris, J. (1961). *Procesos modernos de fabricación*. Barcelona: Editorial Labor.

Wirt Suárez, F. (1957). *Tecnología mecánica*. Madrid: Editorial Aguilar.

### 4.2. Legislación.

- D. 13/1996, de 16 de enero, por el que se establecen las enseñanzas correspondientes al Título de Formación Profesional de Técnico Superior en Producción por Mecanizado en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

- D. 12/1996, de 16 de enero, por el que se establecen las enseñanzas correspondientes al Título de Formación Profesional de Técnico en Mecanizado en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

- R.D. 1635/1995, de 6 de octubre, por el se adscribe el profesorado de los Cuerpos de Profesores de Enseñanza Secundaria y Profesores Técnicos de Formación Profesional a las especialidades propias de la Formación Profesional Específica.

- R.D. 777/1998, de 30 de abril, por el que se desarrollan determinados aspectos de la ordenación de la formación profesional en el ámbito del sistema educativo.

- O. de 25 de septiembre de 1997, por la que se establecen orientaciones y criterios para la elaboración de proyectos curriculares, así como la distribución horario y los itinerarios formativos de los Títulos de Formación Profesional Específica, que se integran en la Familia Profesional de Fabricación Mecánica.

### Autoría

---

- Sebastián Díaz Becerro
- I.E.S. La Rosaleda, Málaga, Málaga.
- E-mail: [sedibec@gmail.com](mailto:sedibec@gmail.com)