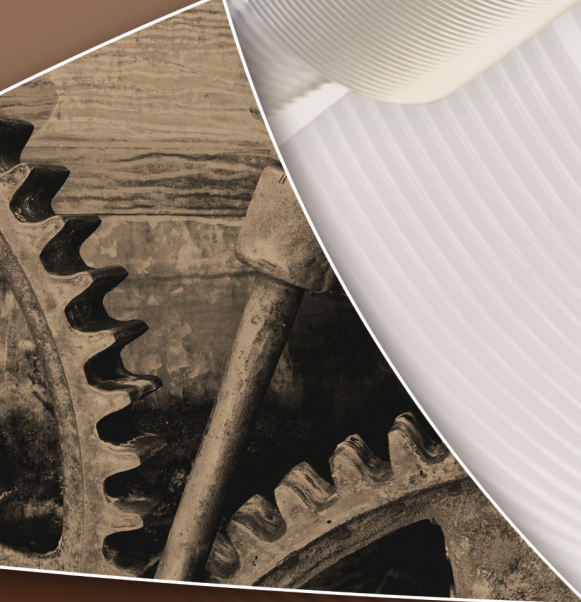


**a**  
acadèmica

# **Control numérico** **Marco y fundamentos**

**2ª Edición**

**Francisco González Contreras**  
**Pedro Rosado Castellano**



EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Francisco González Contreras  
Pedro Rosado Castellano

# **Control numérico marco y fundamentos**

**2ª edición**

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales de la UPV

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: GONZÁLEZ CONTRERAS, F., [et al] (2015). *Control numérico : marco y fundamentos*. Valencia: Universitat Politècnica de València

© Francisco González Contreras  
Pedro Rosado Castellano

© 2015, Editorial Universitat Politècnica de València  
*distribución*: Telf.: 963 877 012 / [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0465\_06\_02\_20

Imprime: By print percom. sl

ISBN: 978-84-9048-408-1

Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

# ÍNDICE

<b>TEMA I. MARCO DEL CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>I.1. INTRODUCCIÓN AL CICLO PRODUCTIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>I.2. LA FLEXIBILIDAD EN LA FABRICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
I.2.1. ESTRATEGIAS PARA SISTEMAS DE FABRICACIÓN.....	12
I.2.2. TRANSPORTES.....	15
I.2.3. ALMACENES.....	15
I.2.4. ORGANIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS .....	15
<b>I.3. EL ORDENADOR EN LA FABRICACIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4. CONCEPTO DE FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR.....</b>	<b>19</b>
I.4.1. CONTROL DEL PROCESO.....	20
I.4.2. PLANIFICACIÓN DEL PROCESO .....	21
I.4.3. PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....	23
I.4.4. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	23
<b>TEMA II. INTRODUCCIÓN AL CONTROL NUMÉRICO.....</b>	<b>25</b>
<b>II.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>II.2. CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>26</b>
<b>II.3. ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA MÁQUINA DE CN.....</b>	<b>26</b>
<b>II.4. CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>28</b>
<b>II.5. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....</b>	<b>29</b>
<b>II.6. VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>30</b>
<b>II.7. IMPLANTACIÓN DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO.....</b>	<b>32</b>
<b>TEMA III. MÁQUINAS HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO....</b>	<b>35</b>
<b>III.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>III.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CONTROLES ...</b>	<b>36</b>
III.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLES SEGÚN EL CONTROL DE POSICIONAMIENTO .....	36
III.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLES SEGÚN EL TIPO DE CONTROL .....	40
<b>III.3. ELEMENTOS DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO.....</b>	<b>44</b>
III.3.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO .....	44

III.3.2. ACCIONAMIENTOS.....	46
III.3.3. BUCLE DE SERVOMECANISMO O CONTROL DE POSICIONAMIENTO .....	52
III.3.4. SISTEMAS DE MEDIDA. ....	54
III.3.5. AUTOMATISMOS.....	60
<b>TEMA IV. CONCEPTOS PARA PROGRAMACIÓN DE MAQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>67</b>
<b>IV.2. EJES Y SISTEMA DE REFERENCIA.....</b>	<b>67</b>
IV.2.1. NORMATIVA DE EJES Y MOVIMIENTOS.....	68
IV.2.2. SISTEMAS DE REFERENCIA .....	77
<b>IV.3. CORRECTORES DE LAS HERRAMIENTAS.....</b>	<b>80</b>
IV.3.1. CORRECTORES DE LAS HERRAMIENTAS ROTATIVAS.....	81
IV.3.2. CORRECTORES DE LAS HERRAMIENTAS DE TORNEADO .....	82
<b>IV.4. COMPENSACIÓN DEL RADIO DE HERRAMIENTA.....</b>	<b>85</b>
<b>TEMA V. PROGRAMACIÓN MANUAL BÁSICA CON CONTROL NUMÉRICO .....</b>	<b>91</b>
<b>V.1. FASES DE LA PROGRAMACIÓN MANUAL.....</b>	<b>91</b>
<b>V.2. FORMATOS DE PROGRAMACIÓN .....</b>	<b>92</b>
<b>V.3. FORMATO ISO DE PROGRAMACIÓN.....</b>	<b>94</b>
V.3.1. CARACTERES RESERVADOS.....	94
V.3.2. FORMATOS NUMÉRICOS .....	95
V.3.3. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS BLOQUES.....	96
V.3.4. PROGRAMACIÓN DE VELOCIDADES DE AVANCE Y DE ROTACIÓN .....	104
V.3.5. PROGRAMACIÓN DE HERRAMIENTAS Y SUS CORRECTORES .....	105
V.3.6. FUNCIONES AUXILIARES.....	105
<b>V.4. PROGRAMACIÓN AVANZADA.....</b>	<b>106</b>
<b>TEMA VI. EJERCICIOS RESUELTOS.....</b>	<b>109</b>
<b>VI.1. EJEMPLO CNC FRESADO 1.....</b>	<b>109</b>
VI.1.1. PLANO DE LA PIEZA Y MATERIAL DE PARTIDA.....	109
VI.1.2. OPERACIONES Y HERRAMIENTAS.....	110
VI.1.3. PROCEDIMIENTOS DE MECANIZADO.....	111
VI.1.4. ORIGEN PIEZA .....	114
VI.1.5. PROGRAMA CNC .....	115
<b>VI.2. EJEMPLO CNC FRESADO 2.....</b>	<b>118</b>
VI.2.1. PLANO DE LA PIEZA Y MATERIAL DE PARTIDA.....	118
VI.2.2. OPERACIONES Y HERRAMIENTAS.....	118

---

VI.2.3. PROCEDIMIENTOS DE MECANIZADO.....	120
VI.2.4. ORIGEN PIEZA .....	122
VI.2.5. PROGRAMA CNC .....	122
<b>VI.3. EJEMPLO CNC TORNEADO 1.....</b>	<b>127</b>
VI.3.1. PLANO DE LA PIEZA Y MATERIAL DE PARTIDA.....	127
VI.3.2. OPERACIONES Y HERRAMIENTAS.....	128
VI.3.3. PROCEDIMIENTOS DE MECANIZADO.....	130
VI.3.4. ORIGEN PIEZA .....	134
VI.3.5. PROGRAMA CNC .....	134
<b>VI.4. EJEMPLO CNC TORNEADO 2.....</b>	<b>138</b>
VI.4.1. PLANO DE LA PIEZA Y MATERIAL DE PARTIDA.....	138
VI.4.2. OPERACIONES Y HERRAMIENTAS.....	139
VI.4.3. PROCEDIMIENTOS DE MECANIZADO.....	140
VI.4.4. ORIGEN PIEZA .....	141
VI.4.5. PROGRAMA CNC .....	142
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>145</b>



# TEMA I. MARCO DEL CONTROL NUMÉRICO

## I.1. INTRODUCCIÓN AL CICLO PRODUCTIVO

Dentro del sistema económico, las empresas de la industria manufacturera son importantes unidades generadoras de riqueza. Su actividad fundamental consiste en la producción de productos y/o bienes de equipo, a partir de unos materiales brutos o de partida.

Para ello, se aplican sobre éstos unos procesos de transformación que involucran toda una secuencia de operaciones de fabricación, generalmente compleja, entre las que se incluyen operaciones de conformado, de montaje, de transporte, de inspección, etc. Cada una de estas operaciones requiere el empleo o asistencia de un equipo, máquina, trabajador, o cualquier combinación de estos recursos. Todos estos recursos forman el sistema de fabricación que la empresa necesita para producir.

Sin embargo, las tareas que una empresa necesita realizar para producir, no están representadas únicamente por estas operaciones aplicadas sobre el material, sino que incluyen otras muchas que deben garantizar la supervivencia de la empresa y que dan lugar al ciclo productivo básico.

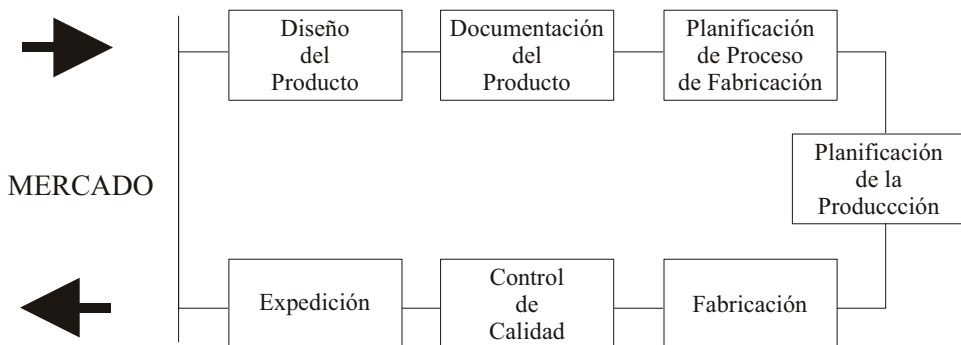


Figura 1-1. Ciclo productivo.



En la Figura 1- 1 se puede observar de forma simplificada este ciclo productivo, que comienza con el diseño y definición del producto a fabricar. Para su éxito, este diseño debe dar respuesta a unas necesidades detectadas en los futuros compradores y cumplir las restricciones que imponga el mercado en forma de calidades, precios, utilidad, etc. Una vez diseñado el producto, se procede a la generación de toda la documentación necesaria del mismo (planos de definición, pliegos de condiciones, etc.). Obtenida esta información, se puede realizar la planificación del proceso, es decir, determinar los materiales de partida, las secuencias de operaciones, las herramientas y utillajes, etc. para llevar a cabo la fabricación del producto. Definido el plan de proceso, el producto puede ser lanzado a la planta de fabricación donde entrará en competencia con el resto de las piezas y productos que se están fabricando para la utilización de los recursos necesarios (máquinas, herramientas, operarios, etc.). La planificación de la producción será la encargada de determinar los instantes de tiempo en que tendrá disponibles esos recursos y, por tanto, en que momentos se efectuarán las etapas de fabricación. Una vez realizadas todas las operaciones necesarias y obtenido el producto final, se realizan sobre el mismo los controles necesarios para validar su calidad, quedando en disposición de ser expedido al mercado.

Esta simplificación del ciclo productivo que se ha expuesto, tiene como comienzo y final el mercado, cuya interacción con la empresa se convierte en un factor de importancia decisiva. Este mercado se caracteriza por una fuerte competencia en precios, diversidad de productos, calidades, cortos plazos de desarrollos y entrega, etc. que lleva a las empresas a la necesidad de configurar sistemas productivos que sean capaces de:

- Mejorar la calidad integral de los productos.
- Reducir los costes de fabricación y ofertar productos más competitivos.
- Racionalizar el diseño de los productos, para incidir en la reducción de su coste de fabricación.
- Acortar los ciclos de desarrollo de nuevos productos, para dar una mayor respuesta a los cambios y necesidades del mercado.
- Mejorar los sistemas productivos para reducir los tiempos y aumentar la calidad en la producción.
- Disminuir el trabajo en proceso.
- En general, aumentar la flexibilidad del sistema productivo para incidir en cada uno de los aspectos mencionados anteriormente.

La respuesta a esta situación ha sido el cambio a sistemas productivos caracterizados por el uso de equipos automáticos y programables. Con ello se

consigue por una parte, un aumento importante de la productividad motivado por la automatización, y por otra, un incremento de la flexibilidad marcado por el funcionamiento programado. Al mismo tiempo, estos equipos automáticos y programables, conllevan un aumento de la calidad por la disminución de la variabilidad del proceso.

Para explotar al máximo un sistema productivo con esas características, es necesario no sólo coordinar y controlar cada uno de los equipos que lo forman, sino que, además, hay que trabajar en la automatización y flexibilización del conjunto de tareas de soporte a la fabricación, como son la planificación de procesos, la planificación y programación de la producción, el control integral del sistema productivo, etc.

Este conjunto de tareas de soporte, junto con la actuación sobre el propio sistema de fabricación, son el objeto de la Ingeniería de Producción, cuya misión representa un gran porcentaje del trabajo realizado dentro de una empresa manufacturera.

## **I.2. LA FLEXIBILIDAD EN LA FABRICACIÓN**

Es importante señalar dos de las características básicas que debe poseer un sistema productivo moderno, una alta productividad y flexibilidad, que le van a permitir competir en el mercado en precios, plazos de entrega, variedad de productos, etc. Ambas características están muy unidas y es en el fondo el uso de una automatización programable la que posibilita tanto la flexibilidad como el aumento de la productividad.

Resulta conveniente definir qué se entiende por flexibilidad. En una primera aproximación, por flexibilidad se entiende la capacidad para fabricar un amplio abanico de piezas, aunque en la actualidad el concepto va más allá. De hecho los talleres tradicionales no automatizados poseen una gran flexibilidad, pues son capaces de fabricar un amplio abanico de piezas. Sin embargo, no tienen la posibilidad de cambiar rápidamente de programa de producción para responder al mercado, etc. A ese concepto de flexibilidad se deben añadir otras características deseables como: la flexibilidad para realizar las preparaciones, para contemplar planes alternativos, para trabajar con lotes de piezas pequeños, para conseguir tiempos de estancia cortos, etc., es decir, el concepto de flexibilidad se extiende y abarca muchas más características, siempre combinadas con el mantenimiento de unos buenos niveles de productividad.

Esos distintos aspectos que implica en la actualidad la flexibilidad y que suponen mayores requerimientos para un sistema productivo, se pueden agrupar en:

- Flexibilidad respecto a las órdenes. Esto implica una gran capacidad para producir eficientemente órdenes con distintos tamaños de lote, mezcla de productos, etc.
- Flexibilidad respecto al producto. Implica un diseño del sistema productivo con capacidad para procesar distintas variantes de un producto y reaccionar rápidamente a los cambios en la demanda del mercado.
- Flexibilidad respecto al propio sistema. Esta flexibilidad es necesaria cuando el sistema necesita ser rediseñado para alcanzar mayores tasas de productividad o cuando es necesario el cambio de los procesos de fabricación existentes o la introducción de nuevos.

Remarcamos por último, que para alcanzar una alta flexibilidad del sistema productivo en su conjunto, no sólo es necesaria la utilización de equipos automáticos y programables, sino que se debe incidir de forma muy importante sobre las funciones de apoyo necesarias, como la planificación, la gestión y el control simultáneo de todos ellos.

### **I.2.1. ESTRATEGIAS PARA SISTEMAS DE FABRICACIÓN**

Uno de los factores que influyen en las estrategias a adoptar por las empresas para determinar el sistema de fabricación a utilizar, es el sector del mercado en el que se sitúan que puede ser muy variado, desde empresas dedicadas a la fabricación de productos a medida, hasta empresas dedicadas a la producción masiva. En cualquier caso, es necesaria una flexibilidad, que marca entre otros aspectos la selección de los recursos productivos a utilizar, que de forma general deben ser equipos que puedan ser reprogramados para fabricar diversos productos con distintas características.

Los sistemas modernos de fabricación, utilizan básicamente tres sistemas básicos de fabricación que se muestran en la Figura 1- 2, en la que se comparan atendiendo a tasas de producción y la variación en el tipo de piezas a fabricar. La flexibilidad de cada sistema depende de su posición, aumentando de derecha a izquierda. Por su parte, la productividad tiene una variación en sentido contrario.

El primero de esos sistemas básicos de fabricación está representado por las máquinas de control numérico, que como se observa presentan una gran flexibilidad, motivada por su funcionamiento basado en una programación y sus características como máquinas universales. Sin embargo, no son apropiadas para la fabricación de series cortas, ya que hay unos costes fijos de programación y preparación. Dentro de estas máquinas, se pueden presentar distintos grados de automatización, desde las que simplemente realizan el proceso automáticamente, hasta las que incluyen otros automatismos que

permiten la carga/descarga y manipulación de piezas, dotando a la máquina de una mayor autonomía de funcionamiento.

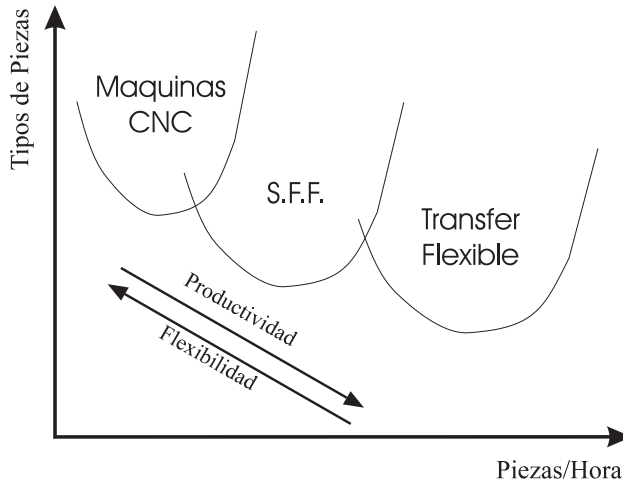


Figura 1- 2. Productividad y flexibilidad de distintos sistemas productivos.

El siguiente sistema básico de fabricación son los llamados sistemas de fabricación flexible (SFF), que están formados por máquinas de control numérico interconectadas por sistemas de transporte y manipulación de las piezas, que posibilitan su desplazamiento a lo largo de las máquinas y almacenes de acuerdo a distintas rutas (Figura 1-3). Para ello, es necesaria una programación y secuenciación del uso de los recursos (máquinas, transportes, etc.), que resultará más compleja y crítica, en el caso de un flujo general de las piezas. Dentro de los sistemas de fabricación flexible se puede considerar el caso particular de las Células de Fabricación Flexible. Las Células son SFF autónomos y permiten la fabricación completa de las piezas.

Por último el sistema transfer flexible utiliza los antiguos principios de la fabricación masiva, en la que los puestos de trabajo se desarrollan a medida con máquinas automáticas rígidas, que una vez puestas a punto son autosuficientes (Figura 1-3 y 1-4). Las máquinas utilizadas en los transferes flexibles, sustituyen los accionamientos y su regulación rígida por controles numéricos, que las dotan de una mayor flexibilidad. Con ello añaden a la gran productividad que puede conseguir un transfer para la fabricación de un tipo de pieza, la flexibilidad que le ofrece su control programado que les permite una mayor variedad en el espectro de piezas a procesar.



*Figura 1- 3. Ejemplo de sistema de fabricación flexible <sup>1</sup>.*



*Figura 1- 4. Ejemplo de sistema transfer flexible <sup>2</sup>.*

<sup>1</sup> <http://www.kntmfg.com/2011/10/horizontal-cell-systems/>

<sup>2</sup> <http://www.kaufmanmfg.com/machinery/kaufmanflex.htm>

### **I.2.2. TRANSPORTES**

En una fábrica es necesario realizar operaciones de transporte para la materia prima, el trabajo en proceso, las piezas terminadas y los equipos (recursos) de fabricación. Se va a distinguir entre dos tipos de transportes: Transportador y AGV (Automatic guided vehicle).

Los transportadores son sistemas de transporte que permiten que los objetos transportados recorran un camino concreto. Se utilizan en grandes volúmenes de producción y para rutas fijas de transporte. Los hay de diferentes tipos: líneas de rodillos, bandas y cadenas de arrastre, y perchas montadas en altura.

Los vehículos guiados automáticamente (AGV) son vehículos que se mueven de manera automática, sin conductor. Este sistema garantiza el transporte de materiales en una ruta, de manera discreta y sin la intervención directa del hombre. Se utiliza cuando el recorrido es variado y las distancias son grandes. Hay múltiples sistemas de guiado: láser (por reflectores), puntos o líneas magnéticas (filo guiado) y visión artificial.

### **I.2.3. ALMACENES**

El almacén de un sistema productivo tiene por objetivo guardar materiales (materia prima, trabajo en proceso, producto terminado, recursos, etc.) por un cierto periodo de tiempo. Los sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos, son almacenes automatizados que permiten mejorar la velocidad y la capacidad en el almacenamiento y recuperación. También permiten un almacenamiento de alta densidad ya que se puede trabajar con apilamientos de muchos estantes en altura. Para su funcionamiento necesitan sistemas automáticos de colocación y retirada de los estantes, así como un control de todo el sistema. Estos sistemas permiten realizar con una gran eficiencia la función de almacenaje.

### **I.2.4. ORGANIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS**

La forma en que se organizan las distintas máquinas y equipos necesarios para la fabricación va a depender tanto del tipo de producto, la fabricación que este necesita, así como del volumen de producción. El volumen de producción es un factor condicionante, por lo que serán distintos los sistemas productivos necesarios para una producción de pocas unidades, un número medio de unidades o para las grandes series. Las posibles organizaciones de los sistemas productivos son cuatro:

**Para seguir leyendo haga click aquí**