

## Diseño de una Aplicación Informática Flexible para Ayudar a la Creación de Procesos de Troquelado

De Castro, R.<sup>1</sup>, Giménez, G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dr. Ingeniero Industrial [rudi.castro@udg.es](mailto:rudi.castro@udg.es). <sup>2</sup>Dra. Ingeniero Industrial  
Universitat de Girona – EPS. Av. Lluís Santaló s/n 17071 Girona

### RESUMEN

*En el presente trabajo se pretende desarrollar y concretar una herramienta informática que asista al ingeniero de planificación en el momento de decidir el proceso de fabricación de las piezas que se deben troquelar. El objetivo del presente trabajo es implementar sobre una aplicación informática los trabajos realizados bajo un enfoque de planificación de procesos (CAPP) que considere las variables tecnológicas (caracterización de las piezas y parámetros de los recursos) para determinar las rutas óptimas en el proceso de troquelar. La aplicación se ha concretado en una empresa de productos de cartón y adhesivos en la que sus productos deben sufrir un proceso de troquelado. Los resultados que se han hallado corresponden a la determinación del proceso de fabricación, esto es, la concreción de la máquina a usar, entre los recursos disponibles del sistema productivo y los utillajes necesarios para llevar a cabo el proceso.*

### 1. Introducción

El artículo plantea el problema de la definición de la ruta de fabricación de una pieza a troquelar a partir de sus características geométricas y de composición material, así como de las máquinas y herramientas disponibles en una planta de producción. A su vez, profundiza en la utilización de los sistemas CAPP (Computer Aided Process Planning), y en la necesidad de integrar la información referente a los recursos, utillajes, máquinas y materias primas a usar, para poder optar a la mejor ruta de fabricación en el proceso de troquelado.

Como Planificación de Procesos se entiende el acto de preparar instrucciones de operaciones detalladas para convertir un diseño de ingeniería en una pieza final [1], lo que implica la necesidad de traducir las especificaciones de diseño de una pieza a instrucciones de operaciones de fabricación requeridas, para convertir desde una materia primera de partida en una pieza en su estado final [2].

La Planificación de Procesos contiene una riqueza de datos de fabricación considerable, como la identificación de máquinas, herramientas, bridas, selección de parámetros de mecanizado (en el caso de arranque de viruta), operaciones, etc ([3], [4]). Todos estos datos deben de ser evaluados para seleccionar una secuencia de operaciones que conformará lo que se denomina hoja de ruta. La secuencia es obtenida acorde a objetivos particulares, como puede ser el tiempo más corto y/o el mínimo coste.

El enfoque tradicional para resolver la tarea de planificación de procesos es lo que sucede en una empresa manufacturera típica cuando pasan los planos a expertos en el proceso de fabricación y éstos deben especificar los procedimientos para conformar los productos. Los planificadores del proceso, apoyándose en su conocimiento y experiencia, generan las instrucciones para fabricar los productos basándose en las especificaciones de diseño, las

instalaciones y operarios disponibles. La poca cantidad de planificadores de proceso experimentados, y el hecho que si diferentes programadores realizaran la planificación del proceso de una misma pieza obtendrían probablemente diferentes planes, indica la heterogeneidad en la planificación de procesos. Así pues, la planificación correcta y consistente, requiere de ambos factores: el conocimiento de los procesos de fabricación y la experiencia.

Esta situación ha llevado al desarrollo de los sistemas Computer Aided Process Planning (CAPP), que cada vez más toman más importancia frente a los métodos tradicionales de planificación de procesos

## 1.1 Introducción a los sistemas CAPP

Inicialmente, el inicio del CAPP se sitúa como un puente entre diseño y fabricación, conectando el vacío existente entre el CAD y el CAM ([2], [5], [6], [7], [8], [11]). Los sistemas CAPP han evolucionado partiendo del enfoque tradicional / manual hacia dos enfoques reconocidos en la literatura: el enfoque variante y el enfoque generativo, así como combinaciones de ambos enfoques. Para más información sobre los diferentes enfoques nos remitimos al trabajo de G.-Romeu [9] donde se ha llevado a cabo una vasta recopilación.

El resultado o la salida de un sistema CAPP, como ya se ha dicho, es una hoja de ruta. La hoja de ruta es la secuencia de operaciones de fabricación donde están detalladas todas las características de las mismas. Esta secuencia tiene que ser resultado de unos objetivos fijados y por lo tanto la óptima. No obstante el plan de procesos óptimo podría no garantizar el mejor desempeño de la pieza en la planta, debido que provoque la sobrecarga de una máquina o la infrutilización de algunas máquinas provocando cuellos de botella [10]. De ahí la necesidad de señalar que la generación de un único plan no es recomendable [6].

La investigación en Planificación de procesos ha sido dirigida mayoritariamente hacia industrias de arranque de viruta, aunque hay investigadores que han desarrollado estudios sobre planificación de procesos y sistemas CAPP en otros campos de la industria, como es la conformación de chapa

En el presente artículo se estudia el proceso de troquelar, y más concretamente la operación de corte. Es un proceso con unas características diferentes a los procesos de arranque de viruta, no obstante es posible enfocarlo bajo una perspectiva CAPP, parecida a los procesos de arranque.

Es necesario, pues, un estudio para conocer y integrar la información necesaria de los elementos que componen el proceso de fabricación y de este modo crear un procedimiento sistematizado para poder determinar las características del mejor proceso de fabricación. El criterio a optimizar será el coste por unidad o el tiempo total de fabricación.

## 1.2 *Features* como base de la planificación

El tema de las *features* y su rol en el diseño de producto, planificación del proceso y otras actividades ampliadas al ciclo de vida de producto total han generado mucha controversia, interés y algunas discusiones acaloradas en los años recientes [5]. Se ha definido “feature” como sets de información que se refieren a aspectos de forma o otros atributos de una pieza [11]. El creciente uso de las “*features*” en las comunidades de diseño y planificación de

procesos es causada porque las “*features*” captan mejor la funcionalidad asociado con un diseño de una pieza [6]. De manera que el reconocimiento de *features* es transformado en la columna vertebral del CAPP y ha ido ganando importancia. Durante la fase de diseño conceptual, altamente creativo, el diseñador confía en el conocimiento acumulado y la intuición, y en la experiencia para seleccionar *features* de diseño que puedan conseguir las funciones deseadas.

Es común identificar el proceso de fabricación con las *features* que se crean oportunas de la pieza a fabricar. En el caso que se desarrolla consistirá en clasificar las *features* asociadas a la pieza a troquelar y, de esta forma desarrollar el Sistema de decisión en base a estas características del producto.

### 1.3 Objetivos

En los objetivos se concreta el trabajo que se pretende llevar a cabo. A partir de las características de una pieza y de los recursos disponibles se pretende desarrollar un DSS (Decision Support System) capaz de proporcionar diferentes alternativas de fabricación para cada una de las máquinas. Además, para cada opción planteada, que indique el desperdicio, el coste de la pieza, la ocupación de los recursos utilizados y el diseño del utillaje para troquelarla.

En el mercado actual existen máquinas troqueladoras que ya incorporan un software parecido de forma opcional. Aún así debido a su alto coste, este software permite obtener, a partir de un utillaje único, un proceso con un aprovechamiento máximo del material. Éste se consigue con un sistema de palpado que resigue el contorno de la pieza a troquelar. Estos sistemas sólo sirven para la máquina donde están instalados. El sistema a diseñar puede añadir un nuevo objetivo consistente en flexibilizar el proceso de troquelado a todas las máquinas que se pudiesen incorporar al sistema productivo

Los diferentes pasos, que se desarrollarán seguidamente, han sido:

1. Estudio y descripción del proceso de troquelado
2. Identificación de las variables y parámetros que influyen en la velocidad de troquelado.
3. Análisis y obtención del tiempo de proceso y la estructura de cálculo del coste del proceso.
4. Diseño del DSS basándose en un algoritmo de cálculo de desperdicios mínimos, diseño de utillajes, cálculo de costes y de necesidades de recursos.

Con esta herramienta se pretende facilitar la tarea de planificación y diseño para el proceso de troquelado. También se quiere que el software ofrezca diversas alternativas al usuario, y sea él quién, en última instancia, escoja el proceso adecuado y la máquina más conveniente. Además es importante que el software permita la incorporación de nuevas máquinas para dotar de flexibilidad el sistema de planificación. Se pretende que introduciendo los parámetros de la nueva máquina y los tiempos de proceso, los resultados muestren las diferentes posibilidades incluyendo la nueva máquina.

En el presente trabajo sólo se contempla el caso de piezas de geometría rectangular y circular. Esto es debido a la voluntad de focalizar el estudio en la investigación de las variables comunes a todos los recursos posibles (máquinas troqueladoras), más que en complicar los aspectos matemáticos concernientes a la geometría plana. Existen trabajos más enfocados en este sentido [11]

## 2. Estudio y descripción del proceso de troquelado

El proceso de troquelado es un proceso de corte con el que se obtienen piezas de diferentes formas a partir de un material en bobina o en plancha pero siempre actuando sobre dos dimensiones. La tercera dimensión de la pieza es el espesor que ya viene marcado por la materia prima. Este proceso se realiza mediante prensas hidráulicas. Para poder fabricar las piezas deseadas se precisa un utillaje que será el objeto cortante y que tiene que tener la forma deseada de la pieza final. Cuando la prensa hace el movimiento de descenso, troquea el material con el utillaje y queda cortada la pieza.

El proceso se ilustra en la figura 1. Aparece el troquel en la parte superior y con movimiento de ascenso y descenso, el fleje (parte cortante del troquel) y el material (representado en movimiento). Las líneas discontinuas representan la proyección del recorrido del fleje cada vez que se repite un golpe de la prensa y muestran la incisión que realiza éste en la posición inferior del cabezal cuando entra en contacto con el material.

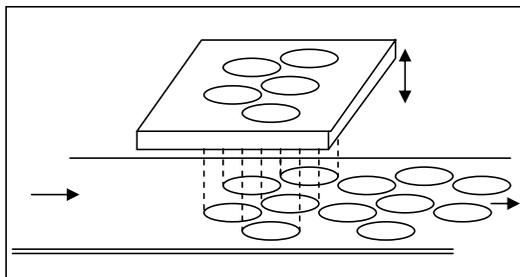


Figura 1. Esquema del proceso de troquelado

Como se puede observar en el troquelado es muy importante hacer un diseño del troquel adecuado para obtener un provecho del material máximo o, desde otro punto de vista, una minimización del desperdicio de material.

Las operaciones que son necesarias en el proceso de troquelado se pueden diferenciar en dos grupos: operaciones de preparación y operaciones de corte.

Las operaciones están catalogadas en la

Tabla 1. Cabe destacar dos aspectos concernientes al proceso: 1) Se puede aplicar la materia primera en formato bobina o en formato plancha y 2) La diferencia en el proceso si se trata de cortar el material a corte completo o sólo a medio corte. En la mayoría de casos, a medio corte, se trata de material adhesivo y posteriormente la salida del producto acabado que se llevará a cabo mediante bobinas.

En el caso del proceso a medio corte las máquinas que lo lleven a cabo tienen que tener un alto nivel de precisión, por lo que será una de los atributos a tener en cuenta en el momento de caracterizar los recursos a utilizar.

<b>Operaciones de Preparación</b>
Colocación del troquel
Preparación de la materia prima*
Ajuste del corte
<b>Operaciones de corte</b>
Operación de troquelado
Cambio de materia prima*
Cambio de bobina del producto acabado**
* se diferenciará si es en formato plancha o bobina
** sólo si el producto es a medio corte y en tal formato

Tabla 1: Operaciones del proceso de troquelado

## 3. Identificación de las variables a considerar

El objetivo es poder tratar la variable principal (troqueladas por minuto) que caracteriza el recurso, condicionada por la pieza y por las características de la orden de trabajo. En cierto modo se trata de buscar las *features* necesarias para incluirlas en el sistema de decisión. Es

necesario caracterizar el diseño a troquelar para poder determinar la ruta de fabricación óptima para llevar a cabo su proceso de fabricación.

Para el diseño del troquel se partirá de las principales características geométricas de la pieza y los atributos de la orden de fabricación que acompañe la pieza a troquelar, que se ajusta a la definición de *features* enunciada anteriormente. Para la determinación de los parámetros de todo el proceso se debe añadir la parametrización de los recursos. Tanto o más importante que la caracterización de la orden de trabajo será la caracterización de los recursos que llevarán a cabo la fabricación.

### 3.1 *Features* del trabajo a realizar

Se separan en dos grupos: los referidos directamente a la pieza y a las características de las órdenes de trabajo.

1. En cuanto a la pieza se tiene: Ancho y Largo (en el caso rectangular), o diámetro (en el caso circular) y espesor en ambos casos para controlar la tercera dimensión.
2. En cuanto a la caracterización de las órdenes, afectarán al concepto de aprovechamiento o desperdicio del proceso de fabricación. Se tendrán en cuenta:
  - Número de piezas
  - Gap, separación mínima entre figuras circulares de los utillajes. Suele ser 3 mm, pero debe ser mayor en caso de materiales muy gruesos.
  - Margen entre golpes (Cadencia), distancia de seguridad para evitar troquelar en la pieza anterior
  - Longitud interior
  - Pieza adhesivada
  - Medio corte
  - Número de bobinas de Producto Acabado

### 3.2 Caracterización de los recursos

Es importante caracterizar los recursos mediante los parámetros comunes de las máquinas troqueladoras. Estos parámetros serán los que marcarán las restricciones de las rutas de fabricación posibles en función de las órdenes de fabricación a desarrollar. En la Tabla 2 se muestra una relación de los parámetros que actuarán como restricciones de las decisiones.

<b>Caracterización de los Recursos</b> Ancho útil de la alimentación MP Obertura máxima de los corrones Presión de corte Largo útil de corte Dimensiones de anclaje del troquel Unidad mínima de desplazamiento vertical Posibilidad de Troquelar en lateral
---

A parte del uso de los parámetros de las máquinas para las restricciones de las rutas de fabricación es necesario determinar la variable principal para calcular el tiempo de operación de troquelado: el número de golpes por minuto.

Tabla 2. Caracterización de los recursos (máquinas troqueladoras)

#### 4. Cálculo de los tiempos y costes de proceso

A partir de los resultados de la aplicación de las restricciones a las órdenes de trabajo y los recursos disponibles, se implementó un algoritmo que recorre las posibles combinaciones de posición y colocación del utillaje para las diferentes máquinas troqueladoras y materia primas compatibles.

El algoritmo se debe aplicar a la obtención directa sobre la materia primera o bien sobre los semielaborados que se pueden obtener haciendo una operación simple sobre la materia prima.

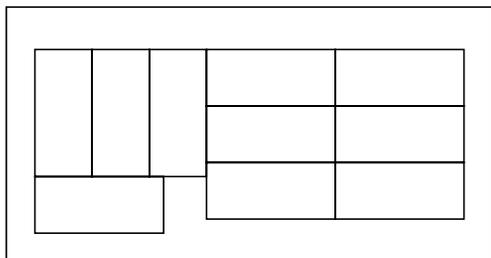


Figura 2: Ejemplo de troquel en el recorrido del algoritmo. Según la nomenclatura NL =1; NFL =4; NLGL =3; NFLGL = 2; NLGI = 1; NFLGI =1.

En la figura 2 se muestra la aplicación para el caso de pieza rectangular para bobina donde, a partir de una nomenclatura, el algoritmo resigue diferentes posibilidades. La nomenclatura consiste en NL, número de líneas de figuras en posición normal, NFL, número de figuras por línea en posición normal; NLGL, número de línea de figuras en posición girada lateral; NFLGL, número de figuras por línea en posición girada lateral; NLGI, número

de líneas de figuras en posición girada inferior; y NFLGI, número de figuras por línea en posición girada inferior. A su vez se repite el cálculo sobre los semielaborados posibles a partir de la materia prima, aunque en este caso después se deberá contabilizar la operación de corte para conseguir dichos semielaborados.

El siguiente paso consistirá en calcular el coste asociado a cada una de las opciones que son consideradas como las mejores. Cuando se hayan evaluado todas las posibilidades, incluso considerando los posibles semielaborados, se deberá calcular el coste de la orden de trabajo que se está buscando. Este coste total se compondrá del coste de la materia prima, el coste de la mano de obra y el coste de la máquina

El coste de la materia prima está, normalmente, en función de unidades monetaria (u.m.) por superficie. El cálculo tendrá que tener en cuenta el número de bobinas o planchas que se deben usar y la superficie que supone. En esta partida es donde se considerará el sobrecoste debido al desperdicio de dicha materia.

El coste de la mano de obra se asociará a los tiempos de preparación en los cuales la máquina estará parada. Entre estos tiempos se debe tener en cuenta los tiempos de colocación del troquel, de preparación de la materia prima y colocación de cada bobina o plancha necesaria, el tiempo de ajuste del corte y, finalmente, el tiempo de cambio de bobina de producto acabado si ha lugar.

El coste de la máquina asociado en funcionamiento estará claramente asociado a las troqueladas por minuto que pueda hacer la máquina que realiza la operación. También tendrá que considerar dos parámetros que dependerán de la ruta escogida: la posibilidad de hacer troquelada laterales, donde la materia prima no avanza y el trabajo extra que supone hacer semielaborados antes de pasar a les operaciones de troquelados para conseguir las piezas definitivas.

Con el coste de las posibles opciones de trabajo calculadas, es posible establecer los criterios de elección del Sistema de Ayuda a la Decisión. El criterio principal será el coste unitario de cada pieza, no obstante se pueden sacar otras salidas de la aplicación desarrollada que pueden caracterizar la productividad de cada proceso: factor de desperdicio de la materia prima, ratio de tiempo de máquina frente tiempo total, etc.

## **5. Pasos del sistema de trabajo. Aplicación DSS**

A partir de los datos especificados anteriormente, se deberá llevar a cabo una serie de pasos que conducirán a la determinación de los utillajes y los recursos más convenientes.

Los pasos son: 1) elección de la materia prima a utilizar, 2) elección de la máquina y 3) evaluación de las restricciones que compatibilizan las tres entidades (orden de trabajo, materia prima y recurso a utilizar).

Las restricciones condicionan las capacidades técnicas referentes a la planificación del proceso. Éstas son:

- 1) Compatibilidad entre la pieza que necesita medio corte y las posibilidades de la máquina. La precisión de las máquinas capaces de llevar a cabo este tipo de operación es mayor.
- 2) Compatibilidad entre las dimensiones de la pieza, sea rectangular o circular) y el cabezal de la máquina troqueladora.
- 3) Compatibilidad entre el grueso de la pieza a troquelar y la altura máxima de alimentación que permite la máquina troqueladora.

## **5. Conclusiones y futuras líneas de investigación**

Actualmente existen algunos autores que están desarrollando investigación en el tema de troquelado. El trabajo aporta nuevas ideas en esta línea de trabajo. Este trabajo se ha llevado a cabo en un entorno de producción real y se ha concretado en una aplicación que puesta en funcionamiento ha dado buenos resultados.

La filosofía que se ha perseguido es la misma del enfoque CAPP, limitando las posibles rutas de fabricación a los parámetros tecnológicos marcados por las materia prima usada y los recursos utilizados en dicho entorno.

El establecimiento de un marco de decisión claro ha aumentado el tiempo de determinación de las alternativas de producción y de los utillajes a utilizar para cada recurso. A su vez se ha sistematizado el sistema de Decisión por la cual cosa se permite incluir la experimentación del planificador de procesos dentro del entorno de un sistema de información. No obstante, la traducción de estas ventajas aportadas en valores monetarios es muy difícil de hallar.

Es evidente que la aparición de los sistemas CAPP han supuesto un conjunto de ventajas. A destacar: Reducción de tiempo de producción, Promoción de la estandarización, Reducción

del trabajo manual y de los errores manuales, Mejora en la productividad de planificación de procesos. [3],[4]

A la vez, se constata que la implantación o penetración de los sistemas CAPP comercialmente sufre un retardo y se produce de una manera lenta. La literatura no revela nada de los sistemas utilizados en la industria con resultados aplicables, no se ha producido una metodología de implantación sólida a pesar de la existencia de muchos sistemas de cada enfoque (variante y generativo) [2] [5] [6] [12]. Su restringida aplicación invita a pensar en la necesidad de una mejora substancial y la generalización de todas sus capacidades

Los sistemas más recientes adoptan muchas técnicas y enfoques avanzados como son la modelización basada en *features*, programación orientada a objetos, interficie de usuario grafica, bases de datos tecnológicas y el uso de métodos de computador avanzado concluyendo sistemas expertos y inteligencia artificial

No obstante se continua centrándose en el arranque de viruta y muchas preguntas queden sin respuesta y muchos temas aun han de ser resueltos. En casi las dos décadas de investigación en CAPP, aún no se ha producido una metodología de implantación sólida y los expertos se preguntan si realmente se entiende la Planificación de Procesos para transformarla en una forma asistida por ordenado [6].

## Referencias

- [1] Gu, P., Norrie, D.H. "Intelligent Manufacturing Planning" Ed. Chapman & Hall (1995)
- [2] Steudel H. "Past, present and future the CAPP systems." International Journal of Production Research, 22 (2) 253-266 (1984)
- [3] Ulusoy,Gündüz Uzsoy, Reha "Computer-Aided Process Planning and Material Requirements
- [4] Granville C., "Computer-Aided Process Planning" Computer-Aided Engineering 8 (8) 46-48 (1989)
- [5] ElMaraghy H.A. "Evolution and future perspectives of CAPP." Annals of the CIRP 42 (2) Keynote paper 739-751 (1993)
- [6] Quiao,Li-Hong, Yang,Zhi-Bing, Wang, Ben "A Computer-Aided Process Planning Methodology" Computers in Industry 25 (1) 83 (1994)
- [7] Dhamjia,D, Koonce,A., Judd,R.P. "Development of a Unified Data Meta-Model for CAD-CAPP-MRP-NC verification integration." Computers and Industrial Engineering 33 (1-2) 19-22 (1997)
- [8] Aldakhilallah K.A. and Ramesh R. "Integrated Framework for Automated Process Planning: design and analysis" International Journal of Production Research, 36 (4) 939-956 (1998)
- [9] García-Romeu ,M.L Report de Recerca "Antecedents i Tendències de la Planificació de Processos Assistida per Ordinador. (2001)
- [10] Hou, T. Wang,B. "Integration of a CAPP system and an FMS" Computers and Industrial Engineering 20 (2) 231-242 (1991)
- [11] Jagirdar,R. Jain, V.K. Dhande,S.G "Characterization of shearing features for sheet metal components in 2-D layout" International Journal of Production Research, 34 (1) 157-191 (1996)
- [12] Gu,Z, Zhang,Y.F, Nee,A.Y.C. "Identification of important features for mahining operations sequence." International Journal of Production Research, 35 (8) 2285-2307 (1997)