

# Metodologías de formación de familias considerando la minimización de los tiempos de cambio de partida. Aplicación a la secuenciación en empresas cerámicas.

Andrés C<sup>1</sup>, Vicens E<sup>2</sup>, Lario FC<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Organización de Empresas, ETSII, Camino de Vera s/n, UPV, candres@omp.upv.es

<sup>2</sup>Departamento de Organización de Empresas, ETSII, Camino de Vera s/n, UPV, evicens@omp.upv.es

<sup>3</sup>Departamento de Organización de Empresas, ETSII, Camino de Vera s/n, UPV, fclario@omp.upv.es

## RESUMEN

*En este artículo se presentan los resultados finales de un estudio realizado sobre la creación de familias de piezas en empresas del sector cerámico. En este sector, la elevada personalización de los productos demandados por los clientes, ha llevado a la aparición de una gran variedad de éstos con una reducida demanda produciendo serios problemas de gestión de los trabajos en planta. Ello ha obligado a establecer herramientas de agrupación para facilitar la función de Programación de Producción. Entre ellas, se encuentra el desarrollo que se presenta.*

### 1. Introducción.

El sector azulejero español (cuya mayor concentración de empresas se da en la Comunidad Valenciana) es reconocido en el ámbito nacional e internacional como ejemplo de dinamismo exportador y alta capacidad de inversión en tecnología avanzada.

Sin embargo, la evolución permanente de los mercados, entre los que el de pavimentos y revestimientos cerámicos es uno más, ha propiciado un aumento en la variedad de productos a fabricar, la personalización creciente de los mismos y la necesidad creciente de reducir los plazos de entrega. Estos hechos han propiciado la aparición de una serie de posibilidades de mejora debido a que el sistema de fabricación de azulejos se caracteriza por estar muy enfocado en el producto y ser relativamente poco flexible a la posibilidad de variación en el mix de producción (cambios en el conjunto de referencias a producir o en su volumen de fabricación).

El Grupo de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción de la Universidad Politécnica de Valencia lleva, desde hace más de seis años, colaborando con diferentes empresas del sector en el análisis y mejora de los sus sistemas de gestión de producción, con el objetivo de mejorar su flexibilidad frente a cambios en el mix de Producción\*.

### 2. El sector de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos

La industria de la cerámica española engloba una amplia gama de actividades con el denominador común de fabricar productos derivados de la arcilla que, una vez moldeada y tratada, se somete a cocción. Produce materiales para la construcción, para uso industrial y para uso doméstico, empleando procesos de producción muy distintos, con actividades

---

\* Este trabajo se enmarca dentro de las actuaciones realizadas en el proyecto CICYT TAP97-0749

tradicionales y prácticamente artesanales y otras muy industrializadas y de alto contenido tecnológico.

La producción total de productos cerámicos superó en 1995 los 382.000 millones de pesetas, de los que el 86 % corresponde a azulejos y pavimentos cerámicos. Siendo la Unión Europea el primer productor mundial, con cerca del 50% del total. Este sector presenta una gran vocación exportadora, pues más del 20 % de su producción se vende a terceros países.

Sin embargo, en los últimos años, se está asistiendo a un incremento de la competencia a escala mundial, debido al aumento de la capacidad productiva de países del Extremo Oriente, principalmente China y Taiwan, si bien en el caso del primero la producción se destina básicamente a uso interno. Además, hay que destacar que la producción ha disminuido en los Estados Unidos, que se ha convertido en un importador neto.

Dentro del volumen de producción mundial, España se sitúa en segundo lugar en cuota de producción, detrás de Italia y delante de Brasil, manteniéndose esta situación durante toda la última década.

La producción se distribuye fundamentalmente entre productos de monococción porosa (40 %) y monococción de pavimentos (40 %). Les sigue en importancia la bicocción rápida (10 %), ocupando posiciones más reducidas el pavimento no esmaltado o extruido y la bicocción tradicional.

El número total de empresas españolas era de 216 en 1997, de las que un 82 % se concentraban en la provincia de Castellón, concretamente en la zona delimitada por Onda, Villareal, Alcora y Castellón. Esto ha sido justificado por [1] mediante las siguientes razones:

- Proximidad de los lugares de extracción de arcillas.
- Abundancia de empleados técnicos especializados.
- Posibles economías de escala derivadas de una red empresarial.

Este cúmulo de empresas, junto con las empresas químicas auxiliares, representaba en 1994 el 81 % de las exportaciones de la provincia de Castellón. Esta proporción no ha variado significativamente en los últimos años.

En cuanto a la tendencia de crecimiento, el sector ha aumentado su producción en los últimos años (sobre todo respecto al principal competidor que es Italia) merced a las fuertes inversiones realizadas, esta mejora de la productividad se ha centrado en la automatización de las máquinas. Así, desde 1992 se viene registrando un importante crecimiento que, en cinco años, ha posibilitado que la producción se haya incrementado en un 77 % y su valor prácticamente se haya doblado.

Sin embargo, este rápido ritmo de crecimiento ha propiciado la aparición de una serie de problemas que, la mayoría de las veces, han supuesto un excesivo énfasis en la mejora tecnológica de los procesos dejando de lado la mejora y modernización de su gestión. Esto se

ha agravado porque, en los últimos años, se ha producido un estancamiento en los precios y un progresivo aumento de los inventarios.

Se ha observado un interés creciente en integrar a todos los eslabones de la cadena logística que intervienen en la elaboración del producto. Esto implica que, para mantenerse en los mercados, además de fabricar buenos productos a un precio asequible y en unos plazos razonables, es necesario que los proveedores y distribuidores sincronicen sus actividades con las de la empresa. En este campo cobra cada vez más importancia el concepto de integración empresarial que pretende lograr este objetivo último a partir de una modelización y análisis global de los diferentes procesos desarrollados en las empresas.

En los próximos años se continuarán estas tendencias, puesto que cada vez se acentúa más la expansión global de los mercados fruto de las políticas comunitarias, y la personalización de los productos para clientes cada vez más exigentes y distintos propician la aparición de una gran variedad de productos con baja demanda, que obligan a la empresa (y en particular al subsistema productivo) a ser flexible para adaptarse rápidamente a los cambios en las necesidades de los clientes.

### **3. Elementos a mejorar en el sistema productivo.**

En el proceso fabricación de gres se puede hablar de dos tipos de procesos, denominados de monococción y bicocción. En cada tipo de proceso productivo se pueden distinguir varios tipos de formatos (tamaño). A su vez, cada formato posee diferentes modelos que serán función de la forma y de las aplicaciones que reciben (dibujo, esmaltes, etc,...).

El análisis planteado se ha realizado sobre los productos fabricados mediante el proceso de monococción porosa. Constituyen 142 modelos diferentes agrupados en tres formatos (20x20, 20x25, 20x30). Este proceso se caracteriza por que el producto solamente pasa una vez por los hornos, abaratando los costes de su fabricación.

Así, a partir de arcillas molidas y atomizadas se produce el denominado bizcocho (bloque de arcilla que constituye el cuerpo del azulejo). Sobre el bizcocho se van aplicando sucesivamente una serie de esmaltes y acabados que conformarán el aspecto visible del producto final. A continuación se cuece el producto en un horno túnel donde, debido a las elevadas temperaturas alcanzadas el las aplicaciones se vitrifican sobre la arcilla, obteniéndose un producto de elevada dureza. Por último se clasifica y se embala el producto final, listo para ser enviado a los clientes. En la figura 1 se observan un esquema del proceso de fabricación mediante monococción:

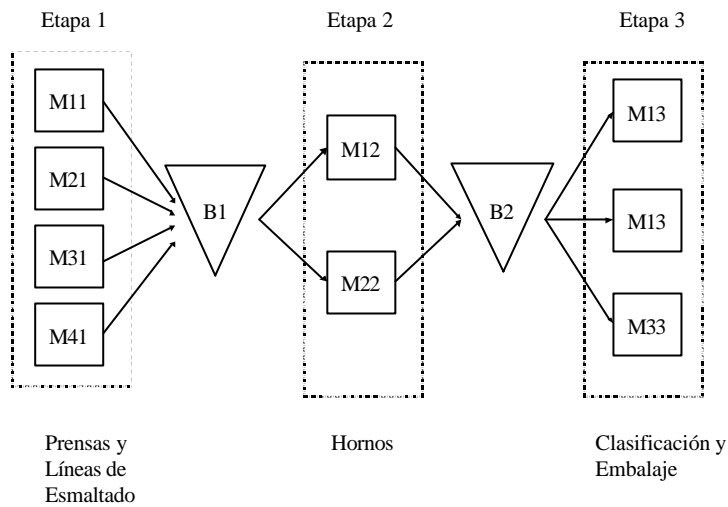


Figura 1. Proceso general de monococción porosa

### 3. El problema de los tiempos de cambio de partida en las empresas cerámicas.

Dentro del sistema productivo descrito, y en distintas fases del mismo, aparecen unos tiempos de ajuste al inicio de cada nueva orden de fabricación. Estos tiempos de ajuste son necesarios para calibrar las máquinas de manera que se obtenga el producto deseado. A estos tiempos de ajuste se les deben de añadir los tiempos invertidos en modificar las máquinas y su posición en la línea, denominados tiempos de preparación, con lo que la suma de ambos origina lo que se denomina tiempo de cambio de partida.

Inicialmente, cuando el catálogo de las empresas cerámicas no era muy extenso, el sistema productivo era muy eficiente puesto que en la misma línea se fabricaban uno o dos modelos. Sin embargo, hoy en día en una misma línea de esmaltado (y debido a su gran automatización y coste), se deben fabricar gran diversidad de productos. Para ello, se tienen que cambiar y ajustar las máquinas situadas en la misma. Estos tiempos de cambio de partida pueden llegar a ser muy elevados y, por lo tanto, se hace necesario una gestión adecuada de los mismos que minimice su impacto sobre la capacidad del sistema productivo y su flexibilidad.

A continuación se va a hacer una breve referencia al tratamiento de los tiempos de cambio en la literatura, del que se infiere que es un tema en el que debe aún de profundizarse más.

### 4. El problema de los tiempos de cambio en la literatura.

En la literatura relativa a la Programación de Producción, el tiempo de preparación se considera una cantidad de tiempo durante la que el recurso está inactivo con posterioridad a la finalización de un trabajo y previamente a la ejecución de otro trabajo diferente. Se suele expresar al inicio de la operación (tiempo de ajuste S), al final (tiempo de desmontaje R) o ambos. Normalmente, se definen los tiempos de cambio en función de los trabajos a realizar o la máquina donde se van a realizar. Así se puede distinguir :

- Tiempos de cambio fijos. Su valor es idéntico sea cual sea el trabajo a secuenciar o el recurso donde se secuencian. En estos casos, el tiempo de cambio se puede incluir o no dentro del tiempo de procesamiento del trabajo. Como caso particular se puede considerar el valor nulo.
- Tiempos de cambio variables. Su valor es diferente en función de los trabajos o máquinas donde se secuencian. A su vez se pueden clasificar en dos subtipos:
  - Los tiempos de montaje/desmontaje independientes de la secuencia pero dependientes del recurso, denominados  $Snsd / Rnsd$  (non sequence dependent Setup/Removal Times). El tiempo de montaje/desmontaje que inmoviliza el recurso antes o después de una operación  $i$  y que no depende de  $i$ , se denomina  $S_i / R_i$ . Estos tiempos de cambio representan la duración de las operaciones de ajuste, fijación o preparación de máquina antes de empezar un nuevo producto (o al finalizar un producto en el caso de tiempos de desmontaje). En algunos casos, un tiempo de cambio dependiente de la secuencia se puede descomponer fácilmente en el par  $Snsd / Rnsd$ , de tal forma que aunque por separado no sean dependientes de la secuencia su suma sí lo sea.
  - Los tiempos de preparación dependientes de la secuencia y dependientes del recurso, denominados  $Ssd$  (sequence dependent Setup Times). En [2] se plantea que los tiempos de preparación dependientes de la secuencia son una característica definitoria de la secuenciación en taller mecánico general. El tiempo de preparación necesario entre dos operaciones  $i$  y  $j$  que depende a la vez de la operación precedente  $i$  y de la operación sucesora  $j$ . Se denomina  $S_{ijk}$ . En este caso se considera como un todo, el conjunto de operaciones de montaje y desmontaje puesto que no admiten fácilmente una separación. Para un problema concreto se define el conjunto  $\{S_{ijk}\}_k$  definido por una matriz de tiempos de preparación del recurso  $k$ . También pueden existir tiempos de cambios cuyo valor no sólo depende de la secuencia y de las máquinas sino además de otros recursos auxiliares como pueden ser mano de obra involucrada (tipo y cantidad), utillaje o sistemas de transporte (tipo, velocidad,...). En función de las características de la matriz de tiempos de cambio se puede tener:
    - La matriz de cambios admite una buena agrupación por familias de piezas. En estos casos se aplican los planteamientos basados en conceptos de tecnología de grupos (TG) [3] y [4]. Así, se pueden plantear dos partes del tiempo de ajuste. Un tiempo de ajuste grande (mejor setup) que significa la duración entre familias, y un tiempo de ajuste pequeño o inferior al mayor setup (minor setup) que considera las pequeñas pérdidas de tiempo por ajustes entre trabajos de la misma familia. Este tipo de problemas se denotan por  $maj, min$  o también TG. En estos contextos, la agrupación de los trabajos en familias es deseable, debido a restricciones tecnológicas

(se requiere el mismo utillaje) o para mejorar la capacidad del proceso (minimizar las pérdidas por una gran cantidad de ajustes mayores) [5].

- La matriz de tiempos de cambio no admite una buena agrupación por familias. Este es el caso más general y complejo, aunque raramente se encuentra en la práctica ni tampoco en la literatura.

Dentro de los diferentes problemas de programación con tiempos de cambio de partida, es necesario indicar si la preparación puede ser realizada con antelación a la llegada de las piezas a la máquina. Si la preparación no puede ser anticipada se definen como tiempos de cambio unidos al tiempo de proceso y se incorporan al mismo a efectos de cálculo [6]. Mientras que si la preparación puede ser anticipada, se habla entonces de tiempos de preparación separados del tiempo de ejecución y no se deben tratar junto a los tiempos de proceso [7], existiendo la posibilidad de insertar tiempos muertos entre el tiempo de preparación y el de operación. Esto posibilita que la máquina ya esté preparada cuando la pieza llega de la operación anterior. Muchas veces esto no sólo depende de las características de los trabajos o máquinas sino más bien de la forma de gestión del taller. Si hasta el último momento no se toma la decisión de secuenciación, no es posible preparar con antelación la máquina. Esto sucede en sistema de control de talleres muy descentralizados donde las decisiones de secuenciación no dependen demasiado de un sistema de programación central, sino que son tomadas por los operarios de los diferentes puestos con un periodo de anticipación muy bajo.

Si el problema de los tiempos de cambio dentro de la gestión de producción ha sido poco trabajado, aún lo ha sido menos los aspectos relacionados con su definición. En efecto, solamente [8] han propuesto un procedimiento de cálculo original basado en una ecuación de predicción de los tiempos de preparación. Para ello, se efectúa una descripción detallada de las diversas operaciones de preparación que pueden darse en una actividad de preparación. A partir de diversas observaciones se genera una ecuación de predicción de los tiempos de setup en función de las diversas operaciones de preparación mediante técnicas de regresión. Esta ecuación se usa para predecir la duración de un cambio en función de las operaciones realizadas. En general los estudios asumen que los tiempos de cambio son valores conocidos.

Esto puede ser un problema, puesto que el tiempo de cambio es un factor difícilmente medible debido a que no ocurre muy a menudo y por lo tanto puede que nunca sea posible observar y mediar los tiempos de cambio entre todos los productos de la empresa.

Es por ello que con el presente trabajo se pretende mostrar una metodología de análisis y cálculo de tiempos de cambio de partida aplicable a cualquier tipo de industria. Los resultados obtenidos se han integrado en una serie de procedimientos generales de programación de producción.

### 3. Metodología de definición de tiempos de cambio.

El parámetro definido como tiempo de cambio representa el tiempo necesario para instalar, preparar y ajustar máquinas en las distintas etapas de fabricación, así como el tiempo necesario para realizar las pruebas iniciales hasta que el producto obtenido tenga las características y calidad deseadas.

De la observación y análisis de las operaciones que definen el tiempo de cambio entre lotes consecutivos se ha concluido que vienen definidas por un cambio entre productos de diferentes formatos (tamaño), mientras que otras operaciones corresponden a productos del mismo formato pero de diferente modelo.

En la tabla 1 se muestran los factores que influyen en estos tiempos de cambio. Estos factores pueden ser descritos de manera cualitativa diferenciando entre cambios entre trabajos compuestos por productos de distinto formato y cambios entre trabajos compuestos por productos con el mismo formato (distinto modelo).

| <b>Recurso</b>      | <b>Cambio de Formato</b>   | <b>Cambio de Modelo</b>   |
|---------------------|--|---|
| Prensas             | Cambios de marco. Ajuste de dispositivos de expulsión de las piezas. Calibración.  | Cambios de punzón superior y/o inferior.                            |
| Líneas de esmaltado | Variación del ancho de las guías y ajustes de las mismas   | Cambio de alguna máquina de aplicación y ajuste de tonos y colores. |
| Hornos              | Máquina de descarga al horno, entrada al horno, salida del horno y máquina de carga a la salida del horno  | Ajuste de la curva de cocción (despreciable)                        |
| Clasificación       | Máquinas de descarga a la línea de clasificación, cambio y ajuste de las líneas de clasificación, reprogramación y ajuste del sistema de paletización automático (despreciable). |   |

Tabla 1. Factores considerados en el análisis de los tiempos de cambio

### 4. Aplicación al caso real.

En las empresas cerámicas se observa que el tiempo de cambio entre formatos es una cantidad independiente de la secuencia mientras que el tiempo de cambio entre modelos sí depende de la secuencia fabricada. Es por ello que, en este último caso, se ha usado una matriz asimétrica de diagonal nula. Cada posición de la matriz (i, j), (que representa el tiempo de cambio necesario (en horas) para pasar de fabricar una referencia i a una referencia j), ha sido calculada teniendo en cuenta tres aspectos: los cambios en la distribución de las máquinas utilizadas fundamentalmente en las líneas de esmaltado, la sustitución de unas máquinas por otras y los ajustes y pérdidas de tiempo debidas al abastecimiento de materias primas a las prensas y máquinas de esmaltado.

Todo ello, ha permitido crear una herramienta que permite calcular los tiempos de cambio, conocidas las características de los productos secuenciados sucesivamente en la línea. Para ello se parte de la descripción del proceso de fabricación de cada producto, en ella se

determina que configuración debe de establecerse en cada etapa del sistema productivo. Las características de la configuración se clasifican en función de la posición que ocupan en las líneas de fabricación. Para cada posición, se establece el tiempo promedio que es necesario para realizar el cambio esa característica. Obteniéndose como suma de todos los anteriores, el tiempo de cambio total entre configuraciones. Finalmente, se añaden los tiempos necesario para realizar los ajustes generales y cambios de material.

Esta manera de calcular la matriz de tiempos de cambio de partida, posibilita que se puedan añadir productos nuevos y determinar los tiempos de cambio de los mismos sin que sea necesario medir directamente el proceso de cambio.

Una vez obtenida la matriz de tiempos de cambio, se ha definido una matriz de coeficiente de similitud entre productos que permite una agrupación de los mismos en familias. En estos coeficientes de similitud se considera que (respecto a la secuenciación), dos productos son similares si el tiempo de cambio entre ellos es pequeño o si pueden ser considerados como el mismo producto a la hora de pasar a fabricar un tercer producto diferente.

A partir de los coeficientes de similitud se resuelve un sencillo modelo de programación lineal en variables enteras que permite la agrupación de los diferentes productos.

Los resultado obtenidos presentan entre otras ventajas, la facilidad de reactualización de los cálculos frente a cambio en el catálogo y la determinación rápida de familias de productos similares a secuenciar, convirtiéndose en una herramienta muy útil para la toma de decisiones en gestión de fabricación.

## Referencias

- [1] De Miguel, E., (1996); 'Estructura de las PYMES en la Comunidad Valenciana'. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- [2] Baker, K. R., (1974); 'Introduction to sequencing and scheduling', Ed. Wiley (N. Y.).
- [3] Burbidge, J. L., (1963); 'Production flow analysis', Production engineer, 42, 742.
- [4] Potts, C. N. y Van Wassenhove, L. W., (1992); 'Integrating scheduling with batching and lot sizing: A review of algorithms and complexity', Journal of Operational Research Society, 43, 395-406.
- [5] Webster, S. y Baker, K. R., (1995); 'Scheduling groups of jobs on a single machine', Operations Research, 43, 4.
- [6] Johnson, S. M., (1954); 'Optimal two-and three -stage production schedules with setup times included', Naval Research Quarterly, 1, 61-68.
- [7] Yoshida, T. e Hitomi, K., (1979); 'Optimal two-stage production scheduling with setup times separated', AIIE Transactions, 11, 261-263.
- [8] White, C. H. y Wilson, R.C., (1977); 'Sequence dependent set-up times and job sequencing' International Journal of Production Research, 15, 191-202.