

Desarrollo de un algoritmo de agrupamiento de pedidos y su aplicación a redes de distribución para las empresas cerámicas

M^a Victoria de la Fuente¹, Lorenzo Ros¹

¹ Dpto. de Economía de la Empresa. ETSI Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar, 30202 Cartagena. marivi.fuente@upct.es , lorenzo.ros@upct.es

Resumen

La gestión de los pedidos es uno de los objetivos prioritarios, afectando no sólo al área de fabricación, sino también a la logística (distribución y entrega a tiempo). La necesidad de técnicas y criterios para el agrupamiento de los pedidos, que contemplen aspectos tales como la disminución de stock en almacén, reducción de tiempo de servicio del pedido, así como la optimización de la carga en los diferentes medios de transporte, plantean el desarrollo de algoritmos de cálculo que faciliten la asignación de vehículos, con el objetivo de aumentar la eficacia y eficiencia en la utilización de éstos. Se presenta el estudio realizado en el sector azulejero español, desarrollando un algoritmo de agrupación de pedidos, así como los resultados obtenidos.

Palabras clave: redes de distribución, agrupamiento de pedidos, algoritmos matemáticos

1. Introducción

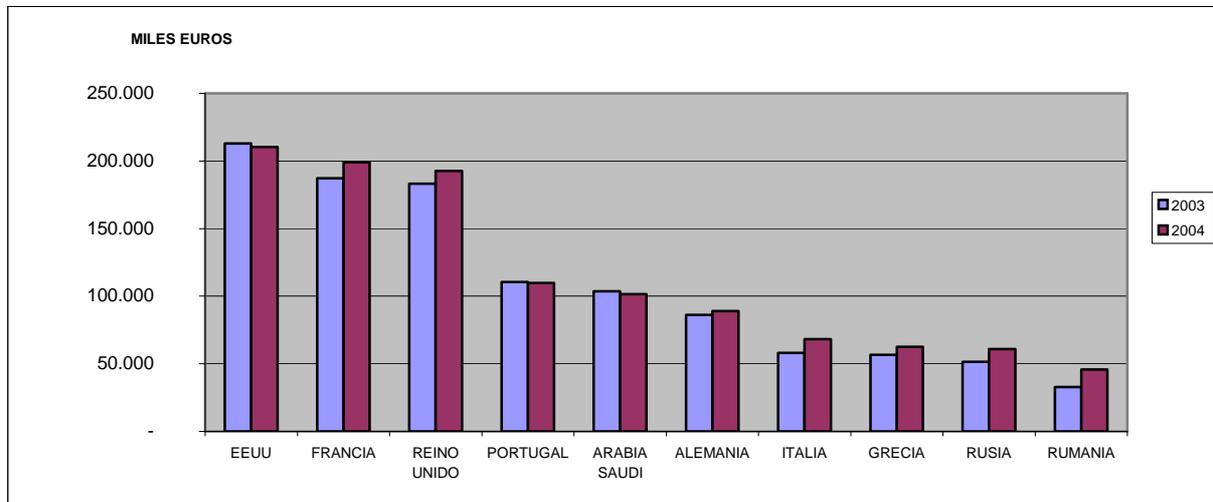
El sector azulejero español se caracteriza por su alta concentración industrial en la provincia de Castellón, cuyas empresas comprenden todas las fases necesarias para que la baldosa cerámica llegue a manos del consumidor final. Así mismo se trata de un sector en continuo crecimiento, y de relativa importancia en la industria española, ya que en el año 2004 el sector daba empleo directo a 25.500 trabajadores, un 1.2% más que en el año 2003. La mayoría de las empresas son pymes, pues cuentan con menos de 500 trabajadores y con plantillas medias entre 25 y 50 trabajadores, existiendo sólo 25 empresas que superan los 500 trabajadores.

Aunque tradicionalmente Italia ha sido el principal productor mundial de baldosa cerámica (descartando la confusa situación de la producción china), España ha finalizado el s.XX siendo líder mundial en producción de baldosas cerámicas, aumentando su cuota de producción mundial en detrimento de la producción italiana. Esto se refleja en las ventas tanto a nivel nacional, como en las exportaciones, alcanzando los 2.000 millones de euros en el 2004, los principales destinos de las exportaciones españolas, correspondientes a los años 2003 y 2004, se pueden observar en la figura 1.

La producción azulejera española mantiene un crecimiento positivo desde 1982, acentuando su progresión ascendente en la década de los noventa. Pero el incremento de la producción debe sostenerse con crecimientos similares en la distribución y las ventas. Por ello, en las últimas décadas el sector azulejero ha visto la necesidad de mejorar un aspecto que afecta

seriamente a su competitividad: el servicio logístico al cliente, convirtiéndose la gestión logística es uno de los factores clave de la competitividad de las empresas cerámicas.

Figura 1. Principales destinos exportaciones Españolas Sector Cerámico. (Fuente: ASCER)



En la empresa cerámica, la gestión de los pedidos es uno de los objetivos prioritarios, afectando tanto al área de fabricación como al área logística (distribución y entrega a tiempo). Por ello, se hace necesario el desarrollo de técnicas y criterios para el agrupamiento de los pedidos, que contemplen aspectos tales como la disminución de stock en almacén, reducción de tiempo de servicio del pedido, así como la optimización de la carga en los diferentes medios de transporte. Todos ellos claros ejemplos de una necesidad logística creciente en este sector.

1.1. La Distribución o la Cadena de Suministro en el Sector Cerámico.

Se están produciendo importantes cambios en la distribución de baldosas cerámicas en la mayoría de los países Occidentales. Estos cambios afectan de forma importante a los fabricantes, ya que cada canal exige un trato diferente. Se pueden mostrar los criterios más habituales de compra/distribución de los canales de comercialización en España:

- **Los distribuidores tradicionales:**
 - Calidad.
 - Comercialización de los productos.
 - Relación que se establece con el proveedor.
 - Mejora en la distribución y disminución de los tiempos de entrega.
 - Precio.
- **Gran superficie de bricolaje en España:**
 - Cumplir una serie de criterios que permiten adquirir la autorización para poder proveer (tras un examen por el fabricante).
 - Disminución de los tiempos de entrega.
 - Gama.
 - Precio.
- **Constructores españoles:**
 - Precio.

- Plazo de pago.
- Disponibilidad del material.
- Minimizar el tiempo de respuesta ante pedidos.

A pesar de que cada mercado implica requisitos diferentes, muchos de éstos pueden extrapolarse a mercados como los europeos, ajustándolos a las características particulares de cada uno. Así por ejemplo, en mercados de calidad como el europeo, el norteamericano, o el australiano, se rigen por las siguientes premisas:

- **Compradores de mercados de calidad:**
 - Adaptación al mercado (Pasta blanca, formatos, etc).
 - Disponibilidad; esto es, que el proveedor pueda proveer de stocks sin roturas.
 - Servicio y relación de ganancia mutua.
 - Piezas hechas para los gustos específicos del mercado.
 - Precio.

- **Grandes almacenes de mercados de calidad (showrooms, floorcovering, etc):**
 - Disponibilidad.
 - Servicio Logístico.
 - Calidad y Diseño.
 - Precio.

Se observa, con referencia a las Cadenas de Suministro en el Sector Cerámico un proceso de concentración en las mismas, dicho proceso se está haciendo de diversas formas condicionadas por la zona y el tipo de consumidor final. A nivel internacional, la gran excepción a este proceso era España e Italia, donde la progresión era lenta debido fundamentalmente a la presencia de una extensísima red de distribución, tradicional y fragmentada que llegaba al consumidor a través de miles de detallistas diferentes. Actualmente en la empresa cerámica española, la gestión de pedidos es uno de los objetivos prioritarios, afectando tanto al área de fabricación como al área logística (distribución y entrega a tiempo). Haciendo necesario el desarrollo de técnicas y criterios para el agrupamiento de los pedidos, que contemplen aspectos tales como la disminución de stock en almacén, reducción de tiempo de servicio del pedido, así como la optimización de la carga en los diferentes medios de transporte. Todos ellos son claros ejemplos de una necesidad logística creciente en el sector.

2. El tratamiento de la información para la optimización del proceso logístico.

El problema de la optimización de los recursos logísticos obliga con frecuencia a las empresas a invertir tiempo y recursos en uno de los procesos clave: el tratamiento de la información (fundamental para realizar el agrupamiento de pedidos). Dicho proceso que engloba una serie de variables más o menos complejas: conocimiento de capacidades máximas transportables por cada uno de los medios, análisis de las rutas de distribución, situación de las empresas a las que se desea abastecer, número máximo de proveedores a visitar por cada medio de transporte según ruta, etc.

El operador logístico nace con el fin de agrupar pedidos de diferentes proveedores y realizar la distribución en el menor tiempo posible con los menores costes. De esta forma las empresas clientes del operador logístico reciben un mejor servicio (disminución de tiempos de entrega) a la vez que les permite reducir su stock en almacén.

Las principales variables que afectan al problema de agrupación de pedidos, que contemplando aspectos como la disminución de stocks de almacén, reducción de tiempo de servicio del pedido así como la optimización de la carga en los diferentes medios son:

- Medios de transporte y posibles cargas.
- Numero máximo de proveedores a visitar por cada vehículo.
- Zonas y rutas de distribución (ubicación proveedores/clientes).

que permitirá el adecuado tratamiento de la información realizando la planificación y control de la agrupación y distribución de los pedidos de forma óptima para el operador logístico y para el cliente.

3. Estudio del problema. Desarrollo del algoritmo matemático.

Tras la definición y análisis de las principales variables que afectan al problema (ver apartado 2) el estudio nos lleva a la obtención de un algoritmo matemático que permite realizar la planificación y control de la agrupación y distribución de los productos bajo pedido de forma óptima para el operador logístico y para el cliente.

Para ello se ha dividido el área de reparto en varias zonas, en las que se ubican todas las empresas que trabajan con el operador logístico, permitiendo el trazado de las correspondientes rutas de recogida y entrega de pedidos, optimizando tiempos de entrega y carga de los transportes.

Para poder proceder al desarrollo del algoritmo fue necesaria la definición de las siguientes variables:

- T_i variable que representa los tipos de transportes
- Pr_i variable que representa el número de proveedores
- R_i variable que representa las rutas existentes
- Pr_{ik} variable que representa el número de proveedores asociados a cada ruta
- P_{ij} variable que representa el número de pedidos asociado a cada proveedor
- B_i variable que representa el coste de cada tipo de transporte (T_i)

La ruta estará compuesta por el conjunto proveedores asociados a cada ruta, si se expresa de forma matemática, se puede representar por:

$$\forall Pr_i \in R_i \rightarrow Pr_i(R_k) = \{ Pr_{ik}, \dots, Pr_{nk} \}$$

$$\forall_i \rightarrow i = \{1, \dots, n\} \text{ y } \forall_k \rightarrow k = \{1, \dots, n\}, \text{ donde } k = \text{indicador de ruta}$$

El algoritmo comienza por el cálculo de las cargas, para cada proveedor (1) y cada ruta (2):

$$C \text{ arg } a(Pr_{ik}) = \sum_{j=1}^n C \text{ arg } a(P_{ij}) \text{ (Kg.)} \quad (1)$$

$$C \text{ arg } a(R_k) = \sum_{j=1}^n C \text{ arg } a(Pr_{ik}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C \text{ arg } a(P_{ij}) \text{ (Kg.)} \quad (2)$$

Procediendo a continuación a la asignación de los medios de transporte, para cada tipo de transporte y para ruta. Se asignarán los tipos de transporte (T_i) en orden decreciente según la carga de cada una de las rutas, asignándose un tipo de transporte si la carga de la ruta k es menor o igual a la capacidad de transporte i :

$$C \arg a(R_k) \leq \text{Capacidad}(T_i) \quad (3)$$

En el caso contrario de que la carga de la ruta k sea mayor que la capacidad del transporte i (4), se realizará partición de pedidos, dividiendo la carga de la ruta k (5):

$$C \arg a(R_k) > \text{Capacidad}(T_i) \quad (4)$$

$$C \arg a(R_k) = C \arg a_1(R_k) + C \arg a_2(R_k) \quad (5)$$

Donde la carga 1 de la ruta k será igual a la capacidad del transporte i, y la carga 2 de la ruta k será igual a la carga total menos la capacidad del transporte i:

$$C \arg a_1(R_k) = \text{Capacidad}(T_i) \quad (6)$$

$$C \arg a_2(R_k) = C \arg a(R_k) - \text{Capacidad}(T_i) \quad (7)$$

A continuación se deberá tener en cuenta el número máximo de proveedores a visitar por cada tipo de transporte (T_i) según ruta. En el caso de que la carga para el número de proveedores asociados a la ruta k sea superior a la capacidad del tipo de transporte (8), se realizará partición de pedidos de los proveedores asociados a una ruta k (9) en la carga 1, que será igual a la capacidad del tipo de transporte i (10) y la carga 2 que será la suma de las cargas de los pedidos no asignados (11):

$$C \arg a(\text{Pr}_{ik}) > \text{Capacidad}(T_i) \quad (8)$$

$$C \arg a(\text{Pr}_{ik}) = C \arg a_1(\text{Pr}_{ik}) + C \arg a_2(\text{Pr}_{ik}) \quad (9)$$

$$C \arg a_1(\text{Pr}_{ik}) = \text{Capacidad}(T_i) \quad (10)$$

$$C \arg a_2(\text{Pr}_{ik}) = \sum_{\text{noasignado}} C \arg a(P_{ij}) \quad (11)$$

En el caso de que la carga para el número de proveedores asociados a una ruta k sea inferior a la capacidad del tipo de transporte (12), pero no cumpla la restricción del número máximo de proveedores asociados a una ruta k a visitar, se realizará partición de pedidos (13).

$$C \arg a(R_k) < \text{Capacidad}(T_i) \quad (12)$$

$$C \arg a(R_k) = C \arg a_1(R_k) + C \arg a_2(R_k) \quad (13)$$

En la que la carga 1 de la ruta k será igual a la carga de los pedidos correspondientes al máximo número de proveedores que se puede visitar en la ruta k (14) y la carga 2 de la ruta k será igual a la suma de las cargas de los pedidos de los proveedores asociados a la ruta k y no asignados (15).

$$C \arg a_1(R_k) = C \arg a(n^{\circ} \max \text{Pr}_{ik}) \quad (14)$$

$$C \arg a_2(R_k) = \sum_{noasignado} C \arg a(Pr_{ik}) \quad (15)$$

Todo ello sujeto a las restricciones de vector de carga (16), vector del número de transportes (17), matriz de número de proveedores máximos a visitar por ruta, vector de combinación de rutas (18), vector de número de viajes a base (19) y vector de costes (20).

$$\overline{C \arg a(T_i)} = [c_i] \quad (16)$$

$$\overline{N^\circ(T_i)} = [t_i] \quad (17)$$

$$\overline{ComR(T_i)} = [r_i] \quad (18)$$

$$\overline{Viajesabase(T_i)} = [v_i] \quad (19)$$

$$\overline{B(T_i)} = [b_i] \quad (20)$$

4. Aplicación a un operador logístico ubicado en Castellón, núcleo del sector azulejero español.

El algoritmo de agrupación desarrollado en el apartado 3 se aplicó sobre un operador logístico, ubicado en Castellón, el objetivo de este operador logístico es el de prestar el mejor servicio logístico a empresas del sector azulejero, así como a empresas del sector de la distribución de materiales de construcción en general, a nivel nacional. Sus servicios se basan en una reducción de tiempo y coste de obtención de pedidos; agrupando los pedidos de distintos clientes pertenecientes a una ruta por cercanía geográfica para su posterior distribución.

Los objetivos que se plantean para cada una de las siguientes figuras son:

- Cliente (distribuidores/expositores): Eliminación de stock, disminución del tiempo de obtención de pedidos, posibilidad de ofrecer un mejor servicio a su propio cliente, etc.
- Empresa (operador logístico): Mejora en la eficiencia de utilización de los medios de transporte, mejora en el servicio prestado al cliente, maximización de beneficios, etc.
- Proveedor (empresa azulejera): Permitirá que sus productos estén presentes en su destino final en un tiempo mínimo con un ahorro de costes considerables, sin mantener stock de sus propios clientes (Just in Time), etc.

La aplicación del algoritmo, en cada caso en particular, necesitará unas condiciones específicas en lo que respecta a medios de transporte, disponibilidad de cada uno de ellos, número y ubicación de sus proveedores, etc. A continuación se muestran los datos y restricciones aportadas por la empresa estudiada para las variables definidas:

Tipos de transportes factibles: $T_i = [T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7]$

Rutas existentes: $R_i = [A, B, C, D, E, F]$

Tabla 1. Vector de carga

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
KILOGRAMOS	25.000	16.000	8.000	5.500	4.500	4.000	1.000

Tabla 2. Vector de número de transportes.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
NÚMERO	2	2	2	2	1	1	1

Tabla 3. Matriz proveedores máximos a visitar por ruta.

	A	B	C	D	E	F
T1	12	10	8	6	6	9
T2	12	10	8	6	6	9
T3	15	14	12	6	6	14
T4	15	14	12	6	6	14
T5	17	18	13	6	6	15
T6	17	18	13	6	6	15
T7	18	18	14	6	6	15

Tabla 4. Vector de combinación de rutas.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Nº MAX RUTAS	3	3	4	4	4	4	6

Tabla 5. Vector de número de viajes a base.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Nº VIAJES A BASE	2	2	3	3	3	3	5

Tabla 6. Vector de costes.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
EUROS/DIA	300	220	170	160	160	160	125

Sujeto a las siguientes condiciones particulares de la empresa, con referencia a las alternativas de utilización de los tipos de transporte para cada ruta son:

T_1 puede visitar las rutas A,B,F.

T_2 - T_3 - T_4 - T_5 - T_6 - T_7 pueden visitar todas las rutas.

Los medios de transporte T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 y T_6 serán utilizados dependiendo de las necesidades de carga de cada día. Se utilizara siempre que sea posible T_7 para pedidos pequeños y restos de otros pedidos ya que es un coste fijo (T_7 es propiedad de la empresa, el resto de transportes son alquilados).

El primer paso será asignar a cada uno de los proveedores la ruta a la que pertenece. Una vez realizado esto, se calculan las cargas a transportar en cada ruta para los diferentes proveedores, como ejemplo se muestra el cálculo de cargas por proveedor para la ruta A (tabla 7):

Tabla 7. Cargas asignadas a la ruta A

Empresa	CODIGO	Datos	Total
APAVISA	18	Suma de Kg Cta. CODIGO	809 3
DUNE	88	Suma de Kg Cta. CODIGO	32 3
INTERMEDIARIA	138	Suma de Kg Cta. CODIGO	628 4
LAND	156	Suma de Kg Cta. CODIGO	534 1
PARTHENON	185	Suma de Kg Cta. CODIGO	77 1
TRES ESTILOS	235	Suma de Kg Cta. CODIGO	29 1
Total Suma de Kg			2109
Número de proveedores			6

Una vez conocidas las cargas a recoger en cada uno de los proveedores y por rutas, tal como se puede ver en la tabla 8,

Tabla 8. Cálculo de cargas y proveedores por ruta.

	Ruta A	Ruta B	Ruta C	Ruta D	Ruta E	Ruta F
KG.	2.109	27.832	3.533	17.767	7.728	22.331
Nº Proveedores	6	13	3	3	3	8

se procede a la asignación de los medios de transporte aplicando los criterios de asignación definidos. Se comienza asignando transporte a la ruta de mayor carga. En este caso se trata de la ruta B, en la que hay que recoger 27.832 kg. en 13 proveedores. Como supera la capacidad de T_1 (25.000 kg.) se procede a realizar la partición de pedidos:

Carga(Ruta_B) ----- T_1 : Carga₁(Ruta_B)=25.000 Kg. en 10 proveedores
Sin asignar: Carga₂(Ruta_B)=2.832 Kg en 3 proveedores

Como se puede observar T_1 va a recoger 25.000 Kg. en 10 proveedores que es el máximo permitido para este medio de transporte en dicha ruta, tanto por Kg. como por proveedores. El resto de la carga de la ruta B [$Carga_2(R_B)$] se asignará más tarde.

Seguidamente se procede a la asignación de un medio de transporte a la ruta F, en la que hay que recoger 22.331 Kg. en 8 proveedores, por lo que se tendrá que asignar de nuevo un T_1 :

Carga(Ruta_F) ----- T_1' carga 22.331 Kg. en 8 proveedores

Una vez se han asignado los 2 medios de transporte de 25.000 Kg., se procederá a asignar los T_2 , de 16.000 Kg. de capacidad, siempre que sea necesario. En este caso la carga a recoger en la ruta D supera la capacidad del vehículo T_2 , por lo que se tendrá que volver a realizar la partición de pedidos:

Carga(Ruta_D) ----- T_2 : Carga₁(Ruta_D)=16.000 Kg. en 1 proveedor
Sin asignar: Carga₂(Ruta_D)=1.767 Kg. en 3 proveedores

El resto de la carga de la ruta D [$Carga_2(Ruta_D)$] será asignado más tarde. Como se puede observar, en la ruta E hay que cargar 7.728 Kg, por lo que no será necesario utilizar el vehículo de 16.000 Kg sino el de 8.000 Kg (T_3). Así como en la ruta C se utilizará el vehículo T_6 de 4.000 Kg de capacidad:

Carga(Ruta E) ----- T_3 carga 7.728 Kg en 3 proveedores
 Carga(Ruta C) ----- T_6 carga 3.533 Kg en 3 proveedores

Una vez se han asignado vehículos a las rutas de mayor carga, se procede a la agrupación de cargas de restos de rutas y de rutas de poca carga para realizar la asignación de un medio de transporte. En este caso se han agrupado la carga de la ruta A con el resto $Carga_2(Ruta_B)$ de la ruta B, sumando entre ambas 4.941 Kg., por lo que se asigna T_4 , de 5.000 kg. de capacidad. En este caso será necesario aplicar la restricción de combinación de rutas, resultando el número máximo de proveedores a visitar de 14, cumpliendo por lo tanto dicha restricción.

Carga(Ruta A)+ $Carga_2(Ruta_B)$ --- T_4 carga 4.941 Kg. en 9 proveedores (combinación de rutas)

Por último, únicamente queda por recoger el resto $Carga_2(Ruta_D)$ de la ruta D, para lo cual se utilizará T_7 , de 1.100 Kg. de capacidad, ya que es el vehículo propiedad de la empresa y por lo tanto un coste fijo para ellos, por lo que siempre les interesará utilizarlo. Como la carga a recoger es de 1.667, y supera la capacidad de T_7 , se aplicará la restricción de partición de pedidos, por lo que dicho medio de transporte deberá realizar dos viajes; el primero para recoger 1.100 Kg. y el segundo para el resto, 667 Kg.:

$Carga_2(Ruta_D)$ ----- T_7 : $Carga_{21}(Ruta_D)$ = 1.100Kg. en 2 proveedores
 T'_7 : $Carga_{22}(Ruta_D)$ = 667 Kg. en 2 proveedores

De esta forma la asignación queda de la siguiente manera:

Tabla 9. Resultados de la asignación de transporte a rutas.

Vehículo	T_1	T_1'	T_2	T_3	T_6	T_4	T_7
Ruta	B	F	D	E	C	A+B	D
Nº de viajes a base	1	1	1	1	1	1	2
Carga(Kg.)	25.000	22.331	16.000	7.728	3.533	4.941	1.767
Proveedores visitados	10	8	1	3	3	9	4
Coste total(€)	1.435						

Pero si se observa la asignación, existe la posibilidad de maximizar la utilización de T_2 y T_4 . Es decir, una vez que T_2 a realizado su viaje a la ruta D, este puede ser utilizado para recoger la carga de la ruta E (7.728 Kg), eliminando así la utilización de T_3 (aplicando el criterio de combinación de rutas, el número máximo de proveedores a visitar para T_2 en las rutas D y E es de 6).De esta forma se elimina la utilización de T_6 , quedando la siguiente asignación:

Tabla 10. Resultados de la nueva asignación de transporte a rutas.

Vehículo	T_1	T_1'	T_2	T_4	T_7
Ruta	B	F	D y E	A,B y C	D
Nº de viajes a base	1	1	2	2	2
Carga(Kg)	25.000	22.331	23.728	8.474	1.767

Proveedores visitados	10	8	4	12	4
	Coste total(€)		1.105		

Por lo tanto será elegida la segunda opción, con la que se logra maximizar la utilización de los medios de transporte, a la vez que se reducen los costes.

Referencias

ASCER, 2006. *Informe de los sectores español y mundial de fabricantes de baldosa cerámica.*

de Miguel Fernández E., 1996. *Estructura de las PIMES en la Comunidad Valenciana.*

Ferreira Ribeiro J.F. and B. Pradin, 1992. *A methodology for cellular manufacturing design.*

Kpmg, 2006. *Noveno informe anual “El ibex 21 del sector cerámico”.*

Martín Q. (2003). *Investigación Operativa.* Pearson-Prentice Hall.

Seijo L., 1991. *Marketing Internacional.*

Prawda J. (1996). *Métodos y modelos de investigación de operaciones.* (vol. I y II). 15ª ed. Limusa.

Waller D.L. (2003). *Operations management, a supply chain approach.* 2nd ed. Thomson.