

## **Evaluación y análisis de los efectos de la ampliación de un almacén automático, como regulador de un flow-shop de cuatro etapas\***

**José Pedro García Sabater<sup>1</sup>, Jose Miguel Albarracín Guillén<sup>2</sup>,  
Pilar Isabel Vidal Carreras<sup>3</sup>, Julio Juan García Sabater<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero Industrial. DOE Universidad Politécnica de Valencia. jpgarcia@omp.upv.es

<sup>2</sup> Ingeniero Industrial. DOE Universidad Politécnica de Valencia. jmalbarr@omp.upv.es

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial. Estudiante de tercer ciclo. Universidad Politécnica de Valencia. pivicar@doctor.upv.es

<sup>4</sup> Ingeniero Industrial. Estudiante de tercer ciclo. Universidad Politécnica de Valencia. jugarsa@doctor.upv.es

### **Resumen**

*En este trabajo se presenta el método y las suposiciones seguidas para realizar el análisis de una posible ampliación del almacén automático de una empresa fabricante de componentes del automóvil que utiliza un almacén automático como regulador del movimiento de producto en la nave. Se explicará con detalle cada una de los pasos y suposiciones realizadas para cada uno de los departamentos productivos de la empresa así como las simplificaciones necesarias para una correcta simulación con una herramienta software de simulación discreta. Se presentará los diferentes escenarios planteados para validar el modelo y comprobar los cambios del sistema una vez ampliado el almacén. La herramienta de simulación utilizada es Taylor II*

**Palabras clave:** Simulación discreta, almacén regulador,

### **1. Introducción**

“Un modelo es una representación externa y explícita de parte de la realidad como la percibe la persona que quiere modelar para entender, cambiar, gestionar y controlar dicha parte de la realidad.” (Pidd, 1996)

Las simulaciones son una herramienta válida y eficaz para un estudio de cualquier sistema productivo, pero especialmente de aquellos cuyo flujo de producto es siempre igual y guiado por unos patrones similares y medibles.

Las herramientas de simulación son facilitan el análisis de diferentes escenarios para una empresa ante posibles cambios de la demanda, del modo de fabricación o de cambios en el sistema logístico. Gracias a una correcta simulación se puede saber como puede responder un sistema logístico a distintos cambios y por tanto, o bien seleccionar de forma correcta los cambios a realizar, o bien anticiparse a los posibles problemas que se pueden plantear y por tanto reaccionar correctamente ante los mismos (Ruiz Usano et al (2002)).

Un objeto de este artículo es presentar un caso de estudio donde los clientes consideraron un éxito el resultado del proyecto, éxito ligado al proceso de simulación que hizo parte activa en el mismo al usuario final de la simulación.

### **2. Descripción de la empresa**

---

\* Este trabajo deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la Generalitat Valenciana con referencia GV04A-543, cuyo acrónimo es “Agent Flow”.

La actividad de la empresa para la que se realiza la simulación es el suministro de componentes del automóvil. El componente principal servido a la fábrica para la que trabaja se produce íntegramente en la misma planta y es servido en secuencia a su cliente a través de un conveyor directamente conectado a la línea de montaje en que será incorporado dicho componente al automóvil.

El proceso de fabricación se ha caracterizado como un flow-shop híbrido de cuatro etapas, por la última etapa que puede pasar por dos procesos distintos y algunos productos que pasan tan solo por la primera y por la última etapa.

Se debe destacar la existencia del almacén regulador que, junto con los racks, actúa como limitador siendo, por tanto un problema con gran parecido a los problemas de tipo CONWIP. (Framiñan et al. (2003))

## **2.1. Inyección**

La primera de las etapas por la que obligatoriamente pasan todos los productos que son servidos al cliente, es la etapa de inyección. En esta etapa, tal y como su nombre indica se fabrican los productos que se sirven a fábrica siendo la materia prima distintos tipos de polímeros.

Los productos son fabricados con grandes máquinas de inyección que fabrican los productos en moldes intercambiables para cada uno de ellos. Cada uno de estos moldes solo sirve para un producto. En algunos casos los moldes se pueden poner en dos máquinas distintas y en otros casos un molde solo se puede poner en una máquina. Se debe reseñar que a excepción de una máquina que solo fabrica un tipo de producto, el resto puede inyectar y hasta cuatro productos distintos.

El proceso de inyección es un proceso de inyección de grandes lotes para reducir el tiempo perdido debidos al cambio de partida. Por ello cada uno de los productos tiene definidos unos lotes mínimos que se deben fabricar antes de ponerse a fabricar cualquier tipo de producto. El lote máximo esta definido por la disponibilidad de racks para realizar la manutención del producto, en algunos casos no se dispondrá de más en otros casos se debe frenar la producción ya que algunos productos comparten racks y no se deben utilizar todos para un solo producto.

Como se ha comentado en el párrafo anterior se fabrica según una política basada en aprovisionamiento por punto de pedido para cada uno de los productos. Este punto de pedido está situado en 1,3 días de demanda para el 90% de los productos, el resto de productos con demandas mucho más bajas tienen stocks de seguridad más elevados.

Una vez la cantidad de un determinado producto llega a su punto de pedido se lanza la orden de fabricación y en caso de que el producto que esté fabricando “su máquina” haya superado el lote mínimo de fabricación, se produce el cambio de moldes y se empieza la fabricación del producto.

## **2.2. Pintura**

En este proceso se pintan aquellos productos que necesitan ser pintados o imprimados. Los productos pintados son aquellos que se entregan al cliente secuenciados para ser montados

directamente en el automóvil y los imprimados son aquellos productos que se envían al concesionario para recambios.

La “máquina” de pintura es una rueda en la que por una parte se colocan los productos en perchas o “skids” y al avanzar la rueda se meten en un túnel de pintura. La composición de estas ruedas depende del consumo diario del cliente, no solo de la cantidad sino también del color ya que es posible que existiendo mucha cantidad de un producto pintado no haya existencias del producto en el color deseado. En este sentido la composición de las ruedas se calcula día a día.

Los productos se descuelgan justo antes de la zona en la que se cuelgan y se envían a la zona de pulido que se explicará posteriormente. Una vez descolgado el producto se revisa si la percha se debe cambiar para colgar otro tipo de producto o si por el contrario se coloca el mismo producto, aunque sea para pintarlo de diferente color. La programación de esta rueda debe realizarse teniendo en cuenta que hay que minimizar el número de cambios de percha y se deben evitar algunas secuencias de colores determinadas (p.ej. amarillo después del negro). No se consideran costes por cambio de color de pintura ya que durante el cambio de color se puede colocar producto que saldrá como imprimado y será enviado al cliente en la zona de recambios, no siendo objetivo prioritario por tanto minimizar el número de cambios de color.

Para asegurarse el abastecimiento de producto sin pintar existen un buffer previo a la “máquina” de pintura donde están ubicados racks con los distintos tipos de productos de esta forma cuando se solicita al almacén el producto, llega el producto del buffer que luego es repuesto por el que llega del almacén.

A la hora de solicitar los racks de producto se debe tener en cuenta que existen racks de producto que se debe repintar, estos racks pueden estar completamente llenos o no. Al ocupar todas las perchas, los productos sobrantes se devuelven al almacén semi-llenos y se deben solicitar después.

### **2.3. Pulido**

En esta zona se realiza un control de calidad de los productos que han sido pintados. En caso de que el pintado no se pueda considerar como satisfactorio el producto se realizan distintas operaciones de reparación para intentar no re-pintar el producto, en caso de que esto no sea posible se enviará al almacén para ser devuelto a la zona de pintura.

Los productos van llegando conforme se van sacando de la rueda de pintura, se comprueba y se van solicitando racks vacíos o incompletos al almacén. Debido a la situación de esta zona que se alimenta por el mismo sitio que la zona de picking existe una limitación de 3 racks como máximo en camino para evitar bloquear la entrada de racks a la zona de picking. En caso de ser necesario y urgente el material de la zona de pulido puede pasar directamente a la zona de picking.

### **2.4. Picking**

En esta zona se sirven los productos secuenciados minutos antes de su inserción en el automóvil. Para ello primero se deben montar aquellos accesorios que sean necesarios dependiendo del tipo y de la gama del automóvil.

Para ello funcionan con unas pegatinas que indican que productos y en que orden se deben recoger en el picking, se dejan en la zona de montado y finalmente son depositados en cintas

transportadoras que los dejan en la zona de los balancines listos para ser enviados en secuencia al cliente.

Una vez en esta zona el operario los va colgando con ayuda de unas pantallas donde se puede observar una foto del modelo a montar y las características del mismo. Una vez montados los cuatro productos que caben por balancín se envía al OEM.

## 2.5. Recambio

En esta zona se embalan aquellos productos que se envían al cliente para su uso como repuestos, el destino final es fundamentalmente concesionarios de coches, tanto nacionales como extranjeros. Los productos se embalan si su tamaño es adecuado o se desmontan y son montados por el cliente en su punto final. El producto debe llegar “imprimado” como ya se ha comentado anteriormente.

## 2.6. Almacén

El almacén es el regulador de flujo de materiales entre cada una de las zonas. Es un almacén automático de cuatro pasillos con aproximadamente 10 celdas de altura y 32 de longitud. Se compone de cuatro traslós, uno por pasillo, para meter y sacar el material que alimenta a tres cabeceras que reparten el material hacia cada una de las zonas. La cabecera 1 (ver figura 1) alimenta la zona de inyección, pintura y recambio), la cabecera 2 alimenta la zona de pulido y la zona de picking. La cabecera 3 solo alimenta la zona de picking (esta zona al ser crítica se alimenta desde dos cabeceras)

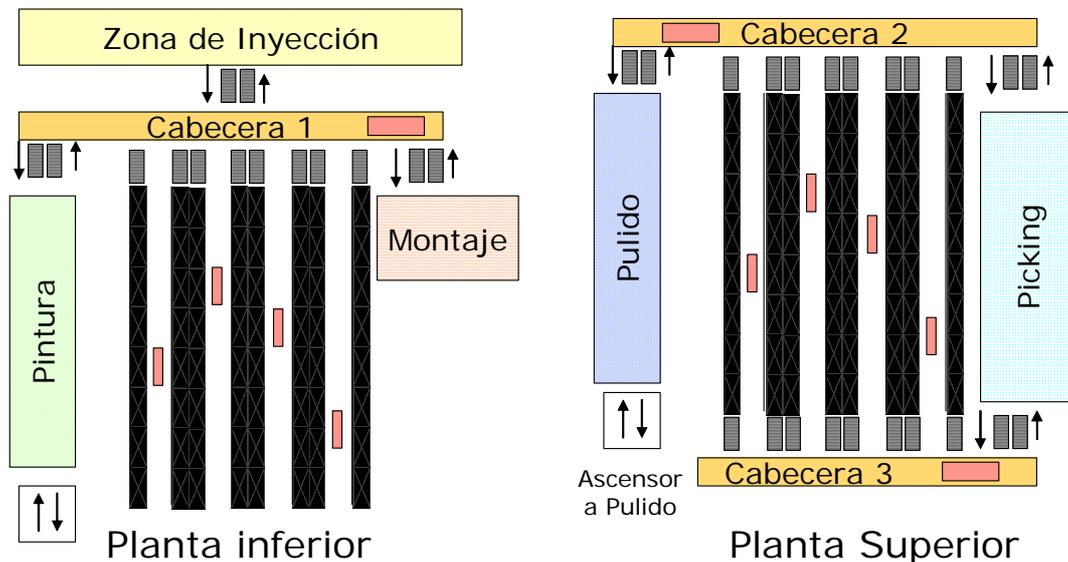


Figura 1. Esquema de la nave

Cualquier movimiento realizado entre las zonas pasa obligatoriamente por el almacén, a excepción de dos casos:

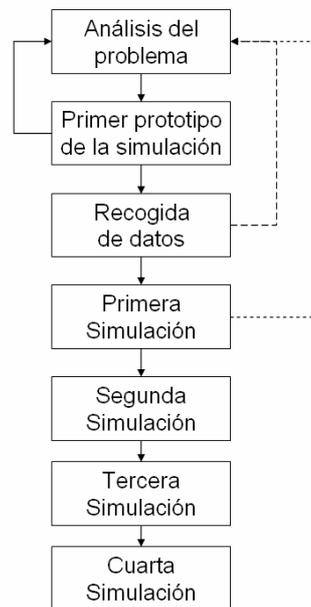
- 1º Productos que van directamente de zona de pulido a zona de picking
- 2º Productos inyectados que debido a las limitaciones de tamaño del almacén se almacenan en el suelo y pasan directamente a zona de pintura.

La salida de materiales del almacén una vez ha sido solicitado un producto es realizada a través de un estricto FIFO, incluso para los racks vacíos. Los racks se van metiendo en el almacén de tal forma que siempre va un pasillo detrás de otro.

### 3. Proceso de la simulación

En este apartado se comentará cual ha sido el proceso de modelado (ver Figura 2) que se considera que ha sido el causante del éxito del proyecto aquí descrito.

El objeto de la simulación era anticipar el funcionamiento del sistema ante una ampliación de demanda y de capacidad del sistema. Se decidió avanzar en 5 fases la simulación, pensando en todo momento la simulación según el objeto final pero permitiendo fases intermedias de validación.



**Figura 2.** Etapas del modelado

En primer lugar se analizó el problema y se detectaron los puntos críticos del sistema a los que había que prestar una mayor atención. A partir de este análisis se diseñó un primer prototipo del modelo, modelando cada una de las zonas en grandes trazos y realizando una breve presentación de la misma a la empresa demandante del proyecto. Analizando deficiencias y ventajas del modelo planteado y analizando desde nuevas perspectivas el problema. Se decide para poder validar el modelo y analizar los resultados modelar distintos escenarios. El primero de ellos permitió validar el modelo, es decir que simula correctamente la realidad. Los dos siguientes se analizarían para poder estudiar el comportamiento ante los cambios a realizar en el almacén y por tanto las repercusiones. Estos dos escenarios deben servir además para concretar algún aspecto del primer escenario y comprobar que los cambios que tienen lugar en la simulación son factibles. El último escenario será la situación futura real, donde se deberán estudiar los resultados de la simulación a fondo, ya que de estos resultados surgirán las acciones a emprender en la realidad (si es que son necesarias) tanto para corregir posibles deficiencias o para aprovechar los puntos fuertes del sistema.

Posteriormente se pasó a la recogida de datos sobre la empresa, aquellos que se consideraban necesarios a partir del primer prototipo y posterior análisis. Una vez conseguidos los datos se vuelve a organizar una reunión para determinar que datos pueden faltar y aquellos más

confusos de modelar, estudiando junto con la empresa los posibles modelados (caso de los traslados o cabeceras).

Concluidas las etapas previas comienza la realización de la primera de las situaciones, el modelado de la realidad existente, compartiendo paso a paso con la empresa con reuniones periódicas todo el proceso de modelado, replanteando en algunas ocasiones el modelado de determinados parámetros.

Una vez acabada el primer escenario se seleccionan los medibles para poder validarlo así como para observar el comportamiento de los siguientes escenarios. Escenarios que son acordados en su totalidad con la empresa compartiendo los resultados de los mismos antes del modelado final y el estudio de sus resultados

#### **4. Descripción de la simulación**

Se comentarán en este apartado todos aquellos aspectos y simplificaciones a tener en cuenta para la simulación de los distintos elementos de la simulación. El objetivo a perseguir es que el modelo de simulación se comporte como la realidad para poder trasladar el resultado de la simulación a la realidad.

Se dedicará una especial atención a todos aquellos aspectos existentes en la realidad e imposibles de trasladar sin complicar excesivamente el modelo pero que deben estar presentes en el modelo para que los datos puedan ser trasladables a la realidad.

Antes de empezar se debe definir cual es el objetivo de la simulación y en este caso es observar como responderá el almacén ante un aumento de tamaño del mismo de 4 a 6 pasillos y observar como repercutirá en el almacén la entrada de nuevos tipos de productos.

##### **4.1. Simplificaciones generales**

Debido a la gran cantidad de producto final existente (cada producto se puede pintar de gran variedad de colores) se decide agregar los productos por su estado. De esta forma en la simulación solo existen tres tipos distintos de productos:

- racks vacíos
- racks de producto inyectado
- racks de producto pintado o imprimado

El modelo de cada uno de los productos es definido en cada uno de los atributos del producto que se cambia a su paso por las máquinas. El tipo de rack que soporta cada producto (o esta vacío) también está definido en un atributo que no cambia a lo largo de toda la simulación.

No se utilizan el concepto de rack semilleno para no complicar el modelo.

La solicitud de racks al almacén se realiza apuntando en una tabla la máquina o zona que lo solicita, el tipo de rack solicitado y el tiempo en que se registra la solicitud. El almacén va sacando material según va leyendo la tabla, apuntando en la misma fila el tiempo en que la solicitud ha sido satisfecha.

Para simular el producto inyectado que no entra al almacén y se mueve por la “calle” hasta la zona de pintura se decide hacer que un solo producto en su totalidad no entre como producto

inyectado a la zona de almacén, de esta forma, sin complicar la simulación se consigue el mismo número de movimientos por la calle que la realidad.

## **4.2. Inyección**

Esta zona es simulada tal y como funciona en la realidad debido a las características de la misma. Con lotes máximos y mínimos, con disponibilidad de racks, con tiempos de cambio de partida, etc. En esta zona no se han realizado simplificaciones de ningún tipo ya que la técnica de modelización lo permitía.

## **4.3. Pintura**

Debido a la complejidad de la rueda de pintura a representar de composición cambiante dependiendo de los días se deshecha la posibilidad de simularla tal cual es en la realidad y se opta por simplificarla. Para ello se diseña una rueda patrón de tal forma que se vaya repitiendo durante toda la simulación y que a lo largo de un día pinte todos aquellos productos que se van a consumir, es decir, no llenar más producto del necesario. Esta rueda patrón está basada en el consumo diario y en la cantidad de producto que cabe en una vuelta de rueda. Tal y como sucede en la realidad aquellos productos que provocan una mayor demanda de racks en el mismo tiempo son espaciados y colocado en dos lugares de la rueda para no colapsar el sistema.

Aquellos productos inyectados que van directamente por la calle, se solicitan al almacén pero este no los entrega sino que manda la orden al buffer externo para que entregue el rack.

Para simular las paradas que la máquina tiene a lo largo del día debido a distintas razones se opta por parar la “máquina” cada hora cinco minutos (para igualar el porcentaje con la realidad).

La existencia de racks semilenos o con producto a repintar en la realidad provoca movimientos añadidos que se deben tener en cuenta en la simulación. Para ello cada cierta cantidad de solicitudes al almacén de producto se solicita un rack de producto pintado, además del que le toca según rueda. Este rack al llegar a la máquina sale sin consumo de tiempo generando un movimiento “innecesario” pero que simula la existencia de racks semi-llenos.

Para simular el buffer de producto existente en la realidad con cada uno de los tipos de producto, se sitúa previo a la máquina un buffer con 6 racks de producto que servirá de colchón ante retrasos en el servicio de racks.

## **4.4. Pulido**

Esta zona funciona según la misma rueda que la zona de pintura (ya que pule lo que la máquina pinta) pero desfasada en el tiempo. Esta zona solicita racks de producto vacío y los devuelve al almacén con forma de producto pintado.

Para simular que el 9% de los productos se deben repintar, tal y como sucede en la realidad, se solicita rack vacío y se devuelve como rack de producto inyectado, es decir sin pintar, de este modo volverá a pasar por la zona de pintura. Para simular la llegada de racks semilenos se procede como en la zona de pintura, es decir se solicita rack de producto pintado y se devuelve sin consumo de tiempo al almacén.

Debido a limitaciones reales solo puede existir un buffer previo a la máquina de 3 productos para no colapsar la cabecera que alimenta a la zona de picking.

En esta zona las paradas que deben existir, o bien se cubren solas ya que los racks no llegan a tiempo en algunos casos y por tanto provoca paros, o bien se realizan de forma manual de tal forma que a lo largo del tiempo la máquina pare un 8% del mismo y por tanto no llene más productos racks de producto que la zona de pintura pueda pintar.

Se debe remarcar que las zonas de pulido y pintura en la simulación son independientes y que funcionan de la misma manera debido a que tienen el mismo orden de fabricación con tiempos similares para que funcionen de forma acompañada.

#### **4.5. Picking**

Para simular esta zona se ha optado por colocar una máquina por cada tipo de producto existente de tal forma que el consumo de producto pintado es función de lo consumido en la realidad. Para conseguir cierta aleatoriedad en la demanda, esta se ha ajustado a una normal con una desviación típica de cinco minutos.

En este caso no se contempla la posibilidad de que existan racks incompletos, ya que siempre llegan llenos. Además se ha colocado unos buffers de distintas capacidades previas a las máquinas que equivalen a los racks existentes fuera del almacén en la zona de picking.

La parte de montaje de final y puesta en el conveyor se ha obviado ya que no importa para evaluar el almacén.

#### **4.6. Recambio**

Para simular esta zona se decidió crear un consumo cíclico de diferentes productos que se repite cada 8 días. Para ello se creó una máquina que fuera demandando producto según iba leyendo de una tabla. El producto solicitado es producto imprimado, equivalente a pintado.

#### **4.7. Almacén**

Para la simulación del almacén se optó por crear zonas alimentadas por una sola máquina (equivalente a un traslo) con una capacidad limitada a la real del pasillo y con buffers auxiliares para cada uno de los distintos tipos de modelos que se van a simular. De esta forma existirán tantos buffers como modelos de producto inyectado, de racks vacíos y de productos pintados existentes. Se debe indicar que aquellos productos inyectados que no deben ser pintados al entrar al almacén pasan a considerarse como producto pintado o bien, producto listo para servirse al cliente.

Los traslos que alimentan los buffers son máquinas que utilizan un tiempo que depende del tiempo medio real, de una desviación típica extraída del tiempo de la realidad y de un tiempo de funcionamiento en vacío, imposible de simular pero que obligatoriamente debe ser tenida en cuenta.

Los traslos entregan o recogen el producto de unas mesas previas a las cabeceras. Estas cabeceras, como se ha comentado reparten el producto a cada una de las zonas. Debido a la importancia de la primera cabecera se decidió plasmar la realidad con la única simplificación de que había que tener en cuenta tiempos de movimiento en vacío. Por lo demás se tiene en

cuenta la mesa de procedencia y la de destino. Las dos restantes cabeceras se simulan como el traslo, es decir con tiempos según una distribución normal.

## 5. Descripción de los medibles

Para poder validar el modelo y por tanto posteriormente extrapolar los resultados de la ampliación a la realidad se deben definir una serie de medibles, que permitirán no solo validar el modelo sino observar posteriormente como va a responder el modelo

En este apartado se realizará una descripción de todos los medibles de la simulación que serán utilizados además de para validar el modelo actual del sistema productivo, para poder trasladar los resultados de la simulación una vez realizada la ampliación en el modelo a lo que será la realidad. Para ello los medibles deben ser medibles existentes en la realidad y otros que no hacen falta que lo sean pero que sirvan para observar la simulación.

El medible más fácilmente reconocible es el de movimientos por cada una de las zonas. Si se quiere representar la realidad se debe comprobar que los movimientos de cada una de las zonas equivalen a la realidad y por tanto las simplificaciones de picos y de productos repintados son válidas, así como los tiempos de cada uno de los procesos.

Otro de los medibles a tener en cuenta es el tiempo de respuesta del almacén es decir, el tiempo en que un producto es solicitado y llega a su lugar de destino, este tiempo debe ser comparado con la realidad y también debe coincidir.

Además, se definen otros medibles no tan fácilmente comparables como utilización de los traslos, de las cabeceras y tiempos de espera en las mesas antes de que el transporte llegue que son validados sin datos exactos de la realidad.

Estos medibles son los que posteriormente se compararán para poder evaluar el comportamiento del almacén ante la ampliación, tanto en valores medios como en desviaciones.

A continuación se muestran uno de los medibles utilizados:

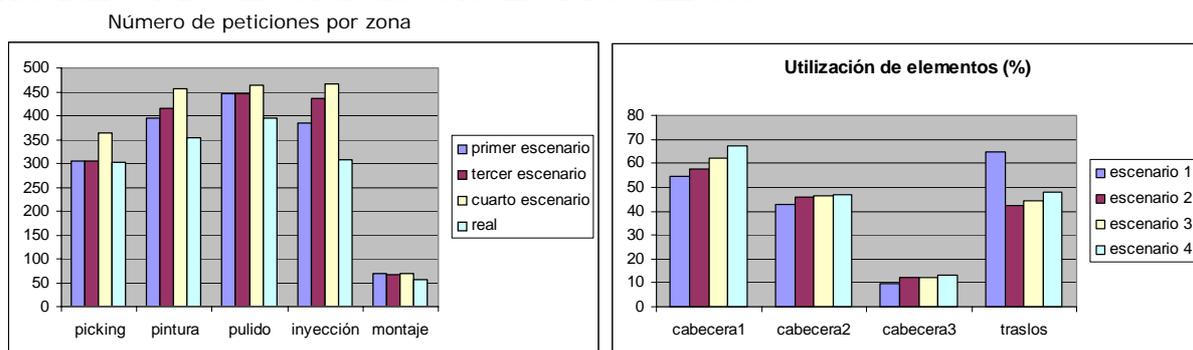


Figura 3. Número de peticiones por zonas

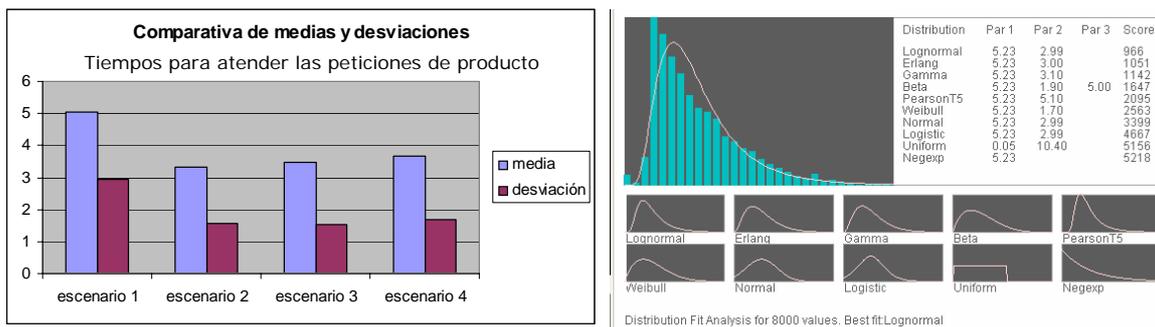
## 6. Conclusiones

El objetivo de la simulación como previamente se ha comentado era comprobar como funcionaba el modelo ante una ampliación del almacén y la inclusión en el mismo de nuevos productos. Dicha ampliación implicaba un aumento de la capacidad y un aumento de traslos para servir producto, pero al mismo tiempo, los elementos comunes a los 6 pasillos son alargados y por tanto el camino a recorrer del mismo carro aumenta en un 50%, por tanto existe la posibilidad que debido al aumento de los movimientos y al tiempo de los mismos en

las cabeceras, las cabeceras fueran colapsadas y por tanto la ampliación tuviera efectos negativos sino se modificaban estos elementos, por tanto se realizó un especial hincapié en el análisis de estos elementos comunes.

Además, para observar la evolución del sistema se decidió realizar la ampliación en cuatro fases, la primera coincidente con la realidad y para validar el modelo, la segunda con ampliación y sin entrar a almacén los productos que van por la calle, la tercera todos los productos dentro y por último el almacén ampliado con los nuevos tipos de productos con sus respectivos racks y la eliminación de alguno que estará obsoleto en el momento de la puesta en marcha.

A continuación se muestran una serie de resultados extraídos de la simulación:



**Figura 4.** Resultados de la simulación

El estudio de los medibles se hace especialmente interesante para ver como la utilización de la cabecera 1 va creciendo hasta alcanzar casi el 70%, y que por tanto empieza a ser un elemento crítico del sistema ya que pueden empezar a producirse importantes colas de retirada. Esta observación provocó un cambio en el software de gestión del almacén.

Cabe indicar la importancia de conocer la distribución de tiempos ya que no solo importa la media de tiempos del modelo sino la forma que presenta dicha forma para saber si en determinados momentos su desviación pudiera llegar a ser inadmisibles

## 7. Referencias

- Habchi G., Labrune Ch.(1995) *Study of lot sizes on job shop systems performance using simulation*, Simulation Practice and Theory, 2, 6, 277-289..
- Framiñan, J.M., González, P.L. and R. Ruiz-Usano (2003) *The Conwip production control system Review and research issues*, Production Planning & Control **14**
- Ruiz Usano, R., Muñoz, M.Á., Crespo Márquez, A., Framiñán Torres, J.M., Moreu de León, P., León, J.M.: (2002) "Modeling And Simulation Of A Manufacturing Line In Automotive Components Plant". System Dynamics Conference. Palermo. Italia. Proceedings Of The XX System Dynamics Conference.
- Pidd, M. (1996), *Tools for thinking* Ed. Wiley and Sons