

Simulación de un proceso robotizado de suministro de llantas para servicio a una línea de montaje: un caso de estudio*

Julio Juan García-Sabater, José Pedro García-Sabater, Juan A. Marín-García

Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera S/N 46021 Valencia.
jugarsa@omp.upv.es, jpgarcia@omp.upv.es, jamarin@omp.upv.es

Resumen

En el presente artículo se muestra una simulación de un proceso robotizado de entrega secuenciada de llantas para instalar en una planta de ensamblaje de automóviles. Se describen uno a uno todos los elementos simulados, las técnicas utilizadas para ellos así como las simplificaciones realizadas. Al final del mismo se muestran los resultados de la simulación en su conjunto.

Palabras clave: Simulación discreta, línea de montaje.

1. Introducción

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. (García-Sabater et al. 2005)

Las herramientas de simulación son a su vez una valiosa herramienta para 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. Usano et al. 2002, Thompson (1994)

El presente artículo plantea la simulación de un proceso automatizado de entrega de llantas en secuencia a una línea de montaje con el objetivo de conocer la viabilidad o no del sistema y propuestas para tratar de optimizar el proceso.

2. Descripción del problema

El caso de estudio afecta al proceso de servicio en secuencia de las llantas que posteriormente ser van a montar en su vehículo en un OEM (original equipment manufacturer) del sector del automóvil.

La simulación se plantea para conocer la viabilidad o no de la automatización del proceso de secuencia. Previo al estudio este proceso se realizaba de forma manual donde operarios iban poniendo sobre la cinta transportadora las llantas que se le iban solicitando. Cada coche lleva cuatro ruedas más la de respuesto y en la línea montaje pasa un coche cada 32 segundos aproximadamente. En el conjunto del día y pasan alrededor de los 2000 coches diarios por las líneas de montaje de la factoría, lo que supone alrededor de las 10000 llantas secuenciadas

* Este trabajo deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación cofinanciado por el Ministerio de Educación y Ciencia y Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) con referencia DPI 2004-2598, cuyo acrónimo es "GescoFlow".

diariamente. Dicha cantidad de ruedas supone una carga de trabajo temporal muy importante en una economía donde la mano de obra cada vez es más cara. Al mismo tiempo supone una carga de trabajo física difícilmente asumible por los sindicatos y la empresa por lo se plantea la automatización de la línea.

Además se debe comentar que normalmente este tipo de trabajos son sacados fuera de la empresa donde lo realizan operadores logísticos que están secuenciando diferentes productos fuera de la planta García-Sabater et al. (2006) y trasladándolos con ayuda de conveyors o de máquinas tractoras hasta su punto de uso. Esta idea fue desestimada debido al gran volumen de las llantas que haría demasiado caro y costoso el transporte de las mismas hasta la planta. Al mismo tiempo y debido a que la llanta le falta el resto de la rueda (la cubierta) y por tanto necesita un tiempo de operación le dejaría con poco tiempo de margen para que el trabajo tuviera que añadirse un tiempo de desplazamiento García-Sabater et al. (2006)

Para finalizar la descripción del problema se debe comentar que existen del orden de 32 modelos de llanta diferentes. Esto es debido a la existencia de varias llantas por modelo (dimensiones y acabados) y a que en la planta se ensamblan cuatro modelos diferentes de coches y cada uno de ellos tiene varias variantes. Esto supone una gran área de picking por donde los trabajadores se deben de ir desplazando para ir lanzando sobre una cinta transportadora cada una de las llantas secuenciada.

Para ello la empresa encargada de automatizar el proceso propone un sistema de rampas en el que ubicar los distintos modelos de llantas y dos robots que se mueven a lo largo de las rampas que van rellenando las mismas en caso de que éstas se vacíen. La opción más intuitiva sería colocar robots que vayan posicionando las ruedas sobre la cinta transportadora directamente pero dicha configuración obligaría a instalar una considerable cantidad de robots que son ostensiblemente más caros que el sistema que se propone ya que minimiza los desplazamientos del robot.

La representación esquemática se muestra en la figura siguiente:

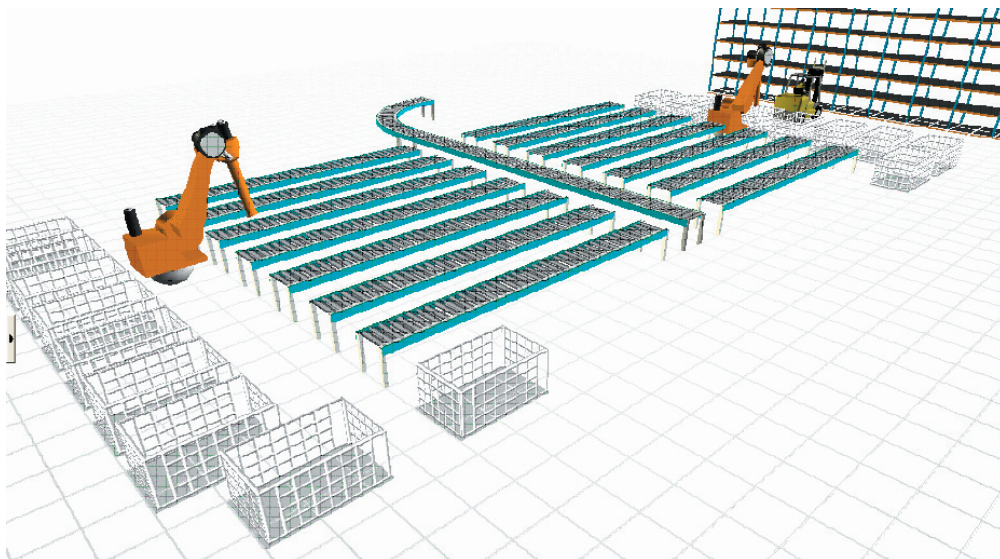


Figura 1. Esquema de la simulación

En la figura se puede observar que alrededor de la cinta transportadora central existe el sistema de rampas en la que se almacena a modo de buffer las llantas. Para abastecer las rampas se dispone de los dos robots que cogen el producto de las paletas que hay detrás de cada rampa,

y por último, para ir cambiando las paletas existe un carretillero que va quitando las paletas vacías y coge las llenas de un almacén colocado inmediatamente al lado de su ubicación de picking. Simplemente señalar que el dibujo es una representación esquemática, y no se muestra la cantidad de rampas existentes ni la de carretilleros necesarios.

3. Resultados esperados de la simulación

El objetivo por el que fue solicitada la simulación fue validar el modelo propuesto por la empresa, es decir comprobar que fuera viable productivamente. Si se conseguía demostrar que el modelo era viable, los objetivos siguientes era calcular los requisitos mínimos que debía tener el sistema para garantizar el abastecimiento a la línea de montaje pero al mínimo coste posible.

Fundamentalmente el principal coste de la instalación se centraba en los robots y en la velocidad del denominado séptimo eje. Este séptimo eje es la velocidad longitudinal de desplazamiento del robot a lo largo de las rampas. Con el objetivo de minimizar este dato se buscan toda una serie de variables para conseguirlo.

En primer lugar lo primero que se solicita es la distribución de los modelos a lo largo de cada una de las rampas. Dicha distribución debe conseguir minimizar el desplazamiento longitudinal del robot al mismo tiempo que se debe tener en cuenta que al cambiar las paletas vacías se anula el funcionamiento del robot en los productos adyacentes debido a requisitos de seguridad para el personal de reposición. Además se debe tener en cuenta que existen dos robots y que en la medida de lo posible hay que averiguar cual es la distribución en dos bloques de las llantas.

En segundo lugar, se solicita cuales deben ser las velocidades mínimas que debe tener el robot para el resto de operaciones (es decir las que no son longitudinales). Dichas operaciones son tiempo de fotografía (con el objetivo de ubicar el robot), y tiempos de coger y dejar la llanta en la rampa.

En tercer lugar se pregunta por el buffer de seguridad mínimo de llantas secuenciadas para garantizar el abastecimiento a la línea en caso de situaciones desfavorables de secuencia.

Por último averiguar cual es la holgura del sistema. Es decir, en caso de que exista algún tipo de contratiempo, como por ejemplo un carretillero que no abastezca o problemas con los robots, comprobar si el sistema puede recuperarse en un tiempo aceptable y no se queda colapsado durante mucho tiempo, lo que podría provocar un desabastecimiento de la línea con todas las pérdidas que ello conlleva.

Cabe reseñar que a lo largo de la simulación se fueron determinando otros datos indispensables para el correcto funcionamiento de la línea, estos son:

- Tiempo exigible máximo para reabastecimiento de las paletas a los operarios de la factoría para no frenar el ritmo de trabajo de los robots
- Política de prioridad de trabajos de los robots. Preferencia para las rampas vacías, posteriormente para los de más consumo y no los primeros que solicitan.
- Modo de funcionamiento de la línea central, acumulando productos y no parando la cinta además del modo de funcionamiento de los sensores de posición de las llantas, especialmente problemáticos debido al carácter circular de los elementos a posicionar.

4. Descripción de la simulación

El programa utilizado para la simulación ha sido el Taylor II, un programa de simulación discreta muy útil para simulaciones de tareas repetitivas como las simuladas en este artículo. (citar mis dos artículos)

4.1. Robots

Para simular el robot, incluido su séptimo eje se ha optado por simularlo como un conjunto de máquinas. Concretamente dos por estación. Esto es debido a la inexistencia de elementos robots o desplazadores de máquina en el programa de simulación (aspecto que se repite en muchos otros programas de simulación donde los robots están fijos en su zona de influencia, falcados en el suelo).

Para solucionar el problema del séptimo eje se colocan tantas máquinas como posiciones puede ocupar el robot con un consumo de tiempo en cada una de ellas de tal forma que el tiempo que pasa en cada máquina es similar al tiempo que estaría desplazándose por el espacio que representa la máquina. Para simular la posición del robot elegimos un producto (que personalizamos el diseño) que se va moviendo por las máquinas hasta llegar al punto de destino. Para ello el destino del producto en la máquina es diferente dependiendo la dirección que lleve el robot. Teniendo en cuenta las velocidades propuestas y el espacio real en planta podemos ir dando tiempo a los robots y con ello simular la velocidad del séptimo eje.

Una vez el robot llega a su destino debe realizar distintas operaciones, estas son:

- tiempo de fotografía (solo al coger la primera rueda)
- Tiempo de coger rueda
- Tiempo de dejar rueda
- Tiempo de rotación de paleta a rampa.

Para consumir el tiempo de operación por llanta colocamos una máquina en paralelo a la del séptimo eje otra que simulará el tiempo de operación.



Figura 2. Vista de la simulación del robot

Para los tiempos de operación en todas las ruedas se suman los tiempos de coger, dejar y rotación. En la primera de las operaciones le sumamos el tiempo de fotografía y de este modo podemos simular el tiempo de operación del robot. El programa conoce cual es la primera rueda debido a que el contador de llantas se pone a cero cada vez que el robot realiza su trabajo y se dirige a otra posición.

Para conseguir que el producto salga del palet al robot se simula con la siguiente lógica. El palet siempre está direccionando el producto hacia la posición de la máquina que simularía en

suposición el robot. Pero dicho elemento solo sale cuando el robot está posicionado a la altura de su rampa y además la petición en curso tiene el mismo código que la rueda. Si no se cumplen las dos características el producto no sale.

4.2. Rampa

La rampa es el elemento más sencillo de simular. Para ello se han utilizado los clásicos buffers con capacidad variable en función del tipo de rueda que deba soportar. Estas rampas son cargadas inicialmente para simular el inicio del funcionamiento de la planta donde los buffers se llenan al inicio de cada semana, o en los descansos de la línea.

Para simular la salida de las llantas de sus respectivas llantas a la cinta transportadora se colocó una máquina de consumo de tiempo variable (tiempo de operación del empujador) que solo sacaba producto si aguas arriba de la cinta no había producto y si además en la lista de la secuencia le tocaba al producto. Ver figura superior.

Para solicitar la demanda de más llanta debido a que se está vaciando al llegar a un determinado nivel de llenado se lanza una señal de reposición a una lista de reabastecimiento que será la que utilicen los robots para establecer el orden de reposición. En caso de que toque reponer la rampa, el robot irá a la posición asignada y realizará las operaciones ya comentadas en el apartado superior.

Se debe indicar también que las rampas de los extremos se utilizarán para productos de baja rotación y que cada una de ellas deberá entregar tres o cuatro modelos distintos de llanta. Para ello su estado normal es rampa vacía y cuando se solicita producto de esos modelo el robot va a la rampa y posiciona las ruedas que se soliciten (cuatro normalmente)

4.3. Cinta transportadora

Para simular la cinta transportadora se optó en primer lugar por un clásico conveyor existente en la gran mayoría de los programas de simulación y también en el Taylor II. En dichos conveyors se depositan los productos en el mismo y los productos avanzan. El problema de la utilización de dicho elemento es la imposibilidad de conocer la ubicación del producto en la línea. Esto es un inconveniente debido a que como los productos se deben enviar en estricto orden de secuencia es preciso conocer si aguas arriba de la cinta hay algún producto y si es así, esperar a lanzar el producto siguiente. Si no se siguiera esta lógica el orden se rompería y no sería asumible el orden de la simulación.

Para solucionar el problema se optó por simular la cinta transportadora como un conjunto de máquinas colocadas uno al lado del otro. Dichas máquinas hacían fluir el producto en la dirección deseada la mismo tiempo que al entrar el producto en la máquina activaban un número auxiliar en una tabla y al salir lo borraban. De este modo las rampas conocían la posición del producto más arriba de la línea y por tanto si se rompía la secuencia al depositar el producto en la máquina colocada al lado del “expulsador” de llanta. Si hay producto aguas arriba de la cinta, el “expulsador” espera a que pase y lanza el producto.

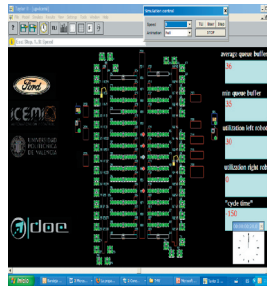


Figura 3. Vista de la simulación de la cinta transportadora

Para simular la velocidad de avance la línea se optó por la misma solución del séptimo eje. En función de la velocidad real de la cinta y del espacio real asociado a cada máquina en la simulación se calculó el tiempo de estancia en cada cinta.

Dicha forma de simular presentaba el problema de la capacidad de la cinta que en la realidad es superior a un solo producto por máquina que existía en la simulación. Analizado el posible problema para el resultado final se comprobó que no afectaba debido a que la velocidad de la línea es muy alto, ya que no influye de forma significativa en el precio final (es un producto muy común a altas velocidades) y en cualquier caso, si en la simulación funcionaba en la realidad funcionaría mejor.

4.4. Simulación de carretilleros de reposición de paletas.

Para simular los carretillero de reposición de paletas se parte de la idea que lo único que se necesita simular es el tiempo de reabastecimiento teniendo en cuenta que durante la etapa de sacar la paleta vacía y meter la llena anulas las rampas adyacentes de tal forma que el robot no puede trabajar en las mismas aunque esa sea la siguiente orden en su lista.

Para simular el trabajo del carretillero se utiliza una máquina que se limita a consumir tiempo de un producto una vez la paleta se ha vaciado. En ese caso el producto entra en la máquina utilizada e impide la salida de producto de las paletas adyacentes. Dicho tiempo variará según las necesidades de la empresa y forma parte de los objetivos de la simulación.

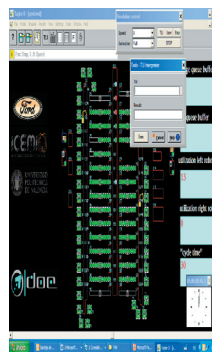


Figura 4. Vista de la simulación del trabajo de reposición de paletas

Además la cantidad de paletas adyacentes anuladas es importante debido a que las fotocélulas de presencia son caras y el objetivo es colocar la menor cantidad posible, esto es que una entrada abarque la mayor cantidad de paletas posibles, pero sin perjudicar al resultado global del sistema.

5. Conclusiones

En la figura 5 se observa el resultado final de la simulación

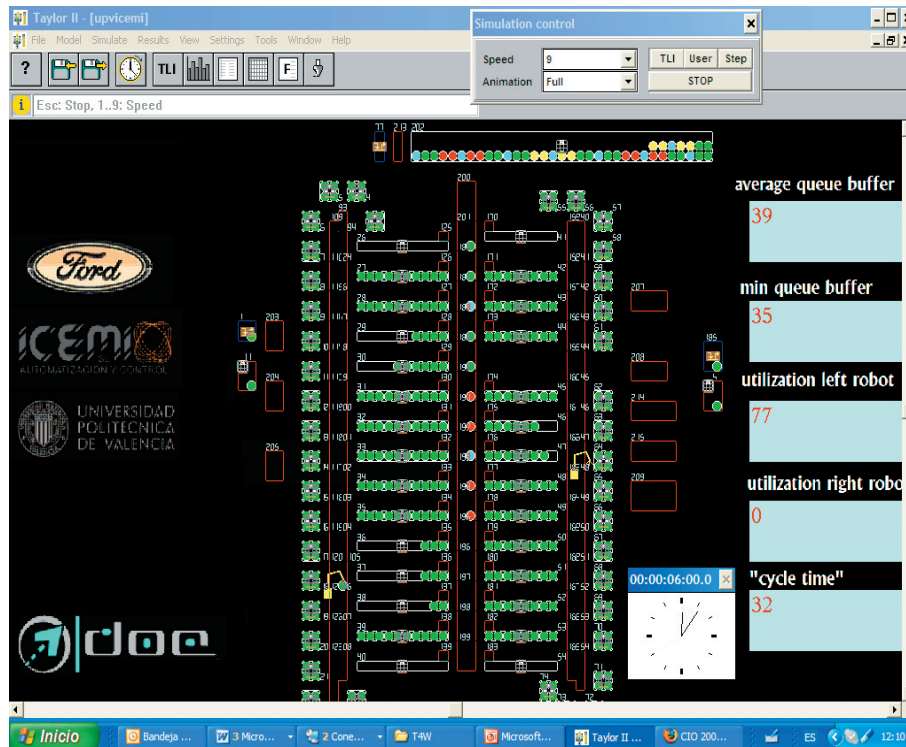


Figura 5. Vista final de la simulación

Para observar y analizar el comportamiento se ubicaron en la simulación algunos datos relevantes como son el tiempo de la utilización de los robots, la cantidad media y mínima del buffer de seguridad del sistema y el tiempo de ciclo que se podía modificar manualmente para solicitar los productos a más velocidad y observar como funcionaba el sistema.

Respecto a la ubicación de los modelos en cada una de las rampas, dicho trabajo se realizó de forma manual en función de los consumos medios de cada producto. Se probaron distintas configuraciones y se comprobó que la mejor configuración, una vez dividido los productos a derecha e izquierda para equilibrar las cargas la mejor disposición es colocar en las rampas centrales las de más consumo, pero en sus rampas adyacentes productos de consumo medio, de tal forma que el desplazamiento fuera mínimo pero evitando que al reponer las paletas para los robots en rampas con llantas de alto consumo.

El sistema de simulación del séptimo eje se mostró como muy útil para poder analizar el comportamiento de la simulación ante distintas velocidades del mismo observando como menores velocidades hacían disminuir progresivamente el buffer de seguridad del sistema.

Todos aquellos datos que se podían variar (tiempos de robots, velocidad de cinta, velocidad del séptimo eje, tiempo de reabastecimiento de carretilleros) se colocaron en tablas fáciles de modificar incluso sin parar la simulación de tal forma que se podía estudiar el resultado.

Para simular la secuencia y por tanto el orden de las llantas se utilizaron datos reales del fabricantes de automóviles con el objetivo de hacer la simulación lo más parecida a la realidad posible.

Cabe indicar que el proceso de construcción de la simulación fue tan importante como el resultado final (que en este caso lo fue y mucho) ya que ayudó a plantearse todos aquellos elementos que podían fallar independientemente de una correcta o no construcción del sistema (problemas con carretilleros, ubicación de células de seguridad) o aspectos tan importantes como el correcto diseño de los sensores de posición de la cinta transportadora central.

Por último reseñar que el sistema se implantó con éxito y después de 8 meses no se ha detectado ningún problema reseñable, fuera de los normales en estaciones tan automatizadas como la que se ha comentado.

Referencias

García-Sabater, J.P.; Andrés, C.; Vidal, P.; García-Sabater, J.J. (2005). Evaluación y análisis de los efectos de la ampliación de un almacén automático, como regulador de un flow-shop de cuatro etapas, IX Congreso de Ingeniería de Organización (Gijón).

García-Sabater, J.J.; Vidal,P.,Andrés,C.; Palmer, M. (2005). Evaluación de las mejores alternativas de diseño de un centro logístico de distribución de perfiles de acero mediante simulación discreta. un caso de estudio, IX Congreso de Ingeniería de Organización (Gijón).

García-Sabater, J.J.; Marín-García, J.A.; García-Sabater, J.P. (2006). Desarrollo de un nuevo método de trabajo en un proveedor logístico del sector del automóvil: un caso de estudio. X Congreso de Ingeniería de Organización (Valencia).

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. Proceedings Of The XX System Dynamics Conference. Palermo.

Thompson, M.B. (1994). Expanding Simulation Beyond Planning and Design, *Industrial Engineering*, 26, 10, pp. 65-67.