

Efectos de las tecnologías de identificación de productos en los procesos de manipulación y almacenaje

Andrés García Higuera¹, Javier Conde Collado²

¹ Área de Automática. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Camilo José Cela s/n. 13071 Ciudad Real. Andres.Garcia@uclm.es

² Área de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Apartado de correos 60.149, 28080 Madrid. jconde@ind.uned.es

Resumen

La selección de tecnologías, y en particular las relativas a identificación de productos a través de la cadena logística, producen efectos relevantes en el rendimiento y la productividad de los sistemas de producción/distribución. La aparición de nuevas tecnologías en este campo está contribuyendo a la resolución de algunos problemas que viene planteando la implementación de sistemas y modelos de integración.

La investigación de las tecnologías de identificación de productos a través de la cadena logística, marcha pareja con la correspondiente a la integración de sistemas producción/distribución mediante modelos que consideran la optimización de las configuraciones y recogen aspectos estructurales y operativos de dichos sistemas en un entorno CIM.

El objetivo de esta contribución es, en primer lugar, la discusión de algunos aspectos relevantes ligados a la selección de las tecnologías de identificación de productos, a través de la cadena logística, en especial en lo relativo a los centros de distribución, plataformas logísticas y procesos de logística de planta. En segundo, el planteamiento de un modelo que presenta una formulación y un procedimiento de solución que integra el tamaño de las unidades de carga o vector de lotes económicos, por una parte, y consideraciones de manipulación de materiales, por otra, en el diseño de la configuración de las instalaciones de una planta industrial.

Palabras clave: Identificación de productos, cadena logística, configuración, unidades de carga, equipos de manipulación, recocido simulado, coste del trabajo en curso, indisponibilidad, productos genéricos.

1. Introducción

Existen diferentes formas de identificar productos a lo largo de la cadena de suministro y la solución adoptada para un caso específico tiene un gran impacto en su rendimiento. Los códigos de barras han asumido un papel predominante, como sistema de identificación, en la cadena de suministro, lo que justifica la amplia difusión de esta tecnología. Pero esta solución puede no ser siempre la mejor alternativa disponible cuando se la compara con técnicas más modernas.

Para la automatización de tareas de manipulación, además de la identificación del objeto a manipular se precisa toda aquella información adicional, tal como los puntos de agarre y posición relativa de diferentes partes y soportes que permita una manipulación más efectiva. Mientras que las células de manipulación incorporan habitualmente dispositivos sensoriales capaces de discernir la posición relativa del objeto con su soporte, no es frecuente que sea

posible el acceso a tal información de forma dinámica y efectiva en otros puntos del recorrido de tal objeto. La reciente aparición de nuevas tecnologías para la identificación de productos, Sarma, *et al.* (2000), puede ayudar a solucionar problemas tradicionales de la manipulación automática, tanto a nivel de los grandes centros de distribución, como en el de la logística de planta.

Esta contribución comienza por presentar algunos de los problemas que aparecen en la identificación de productos a lo largo de las cadenas de fabricación y suministro, así como, de las formas en que se están solucionando. Seguidamente, se discute el efecto que la aplicación de las nuevas técnicas de gestión de la cadena de suministro, tiene sobre la necesidad de visibilidad de la información. Como aplicación de las consideraciones mencionadas se discuten diferentes aspectos de la planificación de la producción, el almacenamiento y la distribución; presentándose un modelo para cuya aplicación se hace preciso el uso de las mencionadas técnicas de identificación.

2. Consideraciones Previas

La identificación y el seguimiento de productos son tareas habituales en diferentes puntos de las cadenas de producción y suministro. Pero en un entorno cambiante en el que la diversificación de productos se convierte en práctica habitual, la logística asume un papel predominante y la identificación y el seguimiento de productos se convierten en asuntos clave.

2.1. Tecnologías de Identificación de Productos

El etiquetado de productos, bandejas o pallets puede ser realizado de muchas formas diferentes. En distribución, no obstante, se utiliza fundamentalmente el código de barras. Aun así, en plantas de fabricación es frecuente encontrar casos en los que se utilizan sistemas más fiables y robustos; como pivotes codificados, imanes o etiquetas de radiofrecuencia (para transferir información fiable junto con el producto).

Se pueden encontrar situaciones en que el seguimiento de productos es esencial a todo lo largo de la cadena de suministro. Hacer que la información viaje con el producto es, habitualmente, una solución cara que puede producir inconsistencias de datos y que presenta problemas de seguridad. Estos sistemas implican el uso de una etiqueta activa (con baterías) que se implanta en el producto. Esta solución resulta cara para pequeños productos pero es muy adecuada en casos como el seguimiento de contenedores.

Sin embargo, incluso para las aplicaciones mencionadas, la tecnología más utilizada sigue siendo la de los códigos de barras, Swamidass, P.M., and Winch, G.W. (2002), aún cuando la cantidad de información que éstos pueden contener es muy limitada. Las principales limitaciones aparecen ahora en dos frentes: las restricciones físicas que hacen que la lectura de los códigos de barra resulte ineficiente y requiera demasiada manipulación asociada, y la visibilidad de la información, que habitualmente resulta lenta y muy limitada por las restricciones de acceso desde diferentes puntos.

Recientemente, ha aparecido una nueva tecnología que pretende resolver la mayoría de los problemas expuestos: es el Auto-ID, Sarma, *et al.* (2000). Esta tecnología combina el uso de etiquetas pasivas de lectura por radio-frecuencia con el uso de nuevas tecnologías de la información que hacen un uso eficiente de las redes locales y de internet. Las etiquetas pasivas se alimentan por una corriente inducida en una bobina cuando ésta es introducida en

un campo electro-magnético. La etiqueta utiliza entonces la radio-frecuencia para transmitir un código específico del producto (EPC, Electronic Product Code), que es utilizado como clave para el acceso a bases de datos distribuidas en servidores conectados a internet (pero de la forma más local posible al punto en el que se utiliza la información). Esta información se almacena en ficheros utilizando un lenguaje estándar llamado PML (Physical Mark-up Language).

2.2. Nuevos requerimientos en logística

Con la introducción de nuevas técnicas de producción-distribución que permiten la puesta en práctica de conceptos tales como la fabricación ajustada y la reducción de stocks (SKU, Stock Keeping Units), Swamidass, P.M., and Winch, G.W. (2002), etc., las empresas están aumentando la eficacia del almacenaje; de forma que se reducen las necesidades de inventario por producto. Esto proporciona una capacidad añadida a las empresas de fabricación; capacidad que es utilizada en la diversificación de su oferta con la introducción de nuevos productos y opciones sobre los existentes. Naturalmente, esto último trae asociadas a su vez nuevas necesidades de almacenamiento y de mejora en la eficiencia de la distribución, con un aumento considerable en la complejidad de los sistemas implementados.

En el caso de empresas distribuidoras, los sistemas necesitan ser más rápidos y dinámicos, por lo que intentan cambiar a nuevos modelos tales como el “cross-docking”. Así también, utilizan sistemas que reducen las fluctuaciones en los pedidos a cada proveedor, al igual que la inercia del sistema. Estas grandes empresas pueden ahora presionar a sus proveedores para que entreguen bajo pedido liberándose de las necesidades de almacenaje.

Por otro lado, las empresas productoras acostumbraban a tener redes de distribución relativamente simples, puesto que su oferta se limitaba a unos cuantos productos distintos que vendían a un pequeño número de clientes. Pero las fuerzas del mercado los han ido presionando hacia modelos más complejos que requieren de estrategias más elaboradas y complejas, Soares, A.L. (2002). Hoy en día, estas empresas están siendo liberadas por sus principales clientes de algunas cargas de distribución, pero a cambio se están viendo obligadas a reducir sus tiempos de entrega, a la vez que amplían su gama de productos y opciones. En este nuevo entorno, estas compañías están avanzando hacia niveles de automatización mucho mayores; lo que frecuentemente incluye la manipulación como en el caso de la incorporación de sistemas automáticos de almacenamiento y la automatización de tareas de picking, Swamidass, P.M., and Winch, G.W. (2002). Algunas de estas empresas no se encuentran preparadas para asumir esta complejidad; por lo cual están recurriendo a la subcontratación. Recientemente se ha dado en llamar “empresas de logística a terceros” a aquellas empresas que asumen las actividades logísticas de otras. Y esta solución se está generalizando. Al contar con instalaciones de almacenamiento mucho más automatizadas y potentes, pueden utilizarlas en otros puntos de la cadena como: manipulación de materias primas y de productos semiacabados. Además, estas empresas tienen ahora mayor variedad de opciones por producto; como diferentes acabados o diferentes empaquetados, convirtiendo en algo habitual el concepto de “productos genéricos”: productos que se almacenan semiacabados en respuesta a una predicción de la demanda y en espera de ser terminados añadiéndoles las opciones más específicas cuando llegue el pedido final.

El disponer de productos genéricos, el aumentar los requerimientos de picking y el tener que utilizar la misma instalación de almacenaje para materias primas, trabajo en proceso y productos acabados, viene a implicar que el almacén ya no se sitúa al final de la línea de

producción. En muchos casos, el almacén acaba por convertirse en el centro impulsor de las actividades de producción situándose en un lugar estratégico de la planta. En estos casos, ya no es tan fácil recurrir a la subcontratación de empresas de logística a terceros. Pero estas empresas, conscientes de esta evolución, están adaptándose para convertirse en lo que se está comenzando a conocer como “empresas de logística a la cuarta”.

2.3. La importancia de la visibilidad

La visibilidad puede ser definida como la facilidad de acceso a información actualizada y fiable sobre la identidad de los productos y su situación. En entornos como los que se acaban de describir esta información resulta esencial. El sistema debe tener una respuesta mucho más rápida y la producción debe ser reestructurada de forma que se puedan realizar la mayor cantidad posible de operaciones antes de que llegue el pedido final. Esto ocasiona la necesidad de almacenar productos semiacabados a la vez que los pedidos tiran de la producción García, A., *et al.* (2003). En muchos casos, los productos se van diferenciando gradualmente conforme van avanzando en el proceso productivo, a la vez que puede ocurrir que los productos en diferentes estados de fabricación tengan diferentes requerimientos para ser almacenados.

Se hace, por tanto, preciso visualizar aspectos relativos al ciclo de pedido, a la capacidad de respuesta ante imprevistos o a la operativa necesaria para el cross-docking. Se ha de trabajar en tiempo real con datos que van entrando y distribuyéndose junto con los productos, de forma totalmente efectiva y fiable. Todo esto genera una demanda creciente de sistemas de gestión de la información bien estructurados, bien conectados, rápidos y fiables. Por tanto, la identificación de los productos no es suficiente; ahora debe ser complementada con un sistema capaz de proporcionar una perfecta visibilidad de la información en todos los eslabones de las cadenas de producción y/o suministro, Sarma, *et al.* (2000). La implantación de nuevos sistemas y estándares capaces de generar la visibilidad de la información necesaria está viniendo de la mano de modelos más integrados de negocio, Soares, A.L. (2002). En la siguiente sección, se analiza en particular el caso de las empresas con proceso de producción; teniendo en cuenta las consideraciones ya vistas y el hecho de que las tecnologías capaces de impulsar esta evolución están apareciendo de forma más rápida de lo esperado.

3. Consideraciones sobre manipulación y almacenaje en producción

Las empresas con procesos de producción están evolucionando hacia modelos en los que la manipulación y el almacenaje se convierten en parte del proceso productivo, Park J., *et al.* (2002). En Castillo, I., and Peters, B.A. (2002), se puede encontrar un excelente análisis de toma de decisiones integrada abordando aspectos ligados a la configuración del proceso y la planta y a la manipulación de materiales y al WIP, pero su aplicación está restringida al caso en el que todos los procesos son lanzados de forma secuencial cuando llega el pedido. En lo que sigue se extiende ese análisis al caso de una situación más genérica en el que se consideran instrucciones para el relleno de un determinado buffer de productos semiacabados en un cierto estado de terminación.

3.1. Planteamiento del problema

Considérese un sistema de fabricación en el que se asignan máquinas a departamentos para producir diferentes partes. En general, el número de máquinas supera el número de departamentos con lo que a cada uno se pueden asignar varias máquinas. La división en departamentos puede realizarse siguiendo consideraciones basadas en los productos, en los

procesos o en combinaciones de ambas. Para cada tipo de parte, se asigna un plan de proceso que especifica la secuencia de máquinas que la parte debe visitar para completar su procesado. Las partes llegan desde fuera del sistema y esperan en estaciones de carga, mientras que las que han sido acabadas esperan en una estación de descarga para abandonar el sistema. En un departamento las unidades de carga entrantes esperan a que las máquinas estén disponibles. Las partes se procesan de una en una por un tiempo determinado de forma que la primera en llegar es la primera en salir. Cuando una parte termina de ser procesada en un departamento es amontonada hasta que se alcanza el tamaño especificado de la unidad de carga; momento en el que se generará una petición de transferencia. La unidad de carga saliente debe esperar al dispositivo de manipulación. Esta manipulación de materiales entre departamentos se realiza de forma discreta (por ejemplo con vehículos autónomos del tipo de los AGVs o las carretillas).

Hasta este punto se ha planteado el problema en los mismos términos en que se hizo en Castillo, I., and Peters, B.A. (2002), pero es posible generalizar al caso en el que se considere el almacenamiento de productos en diferentes estados de terminación. Para ello se puede establecer la suposición de partida de que determinadas transferencias entre departamentos tienen un paso intermedio por el almacén. Lo cual significa que el almacén puede ser considerado como una serie de departamentos que no añaden nada al producto pero que cuentan con un “tiempo equivalente de procesado” que puede ser obtenido como una media del tiempo que los productos en ese estado de terminación deben esperar la llegada de un pedido; lo cual les permitirá seguir avanzando en su proceso de fabricación.

3.2. Formulación del problema

El problema de diseño de la distribución del sistema integrado puede ser formulado de la siguiente forma: dadas las máquinas $1, \dots, C$, los departamentos $1, \dots, M$, y los pares que indican los flujos de partes entre máquinas para los diferentes tipos de partes $1, \dots, R$. Pero este planteamiento inicial debe ser ligeramente modificado para que, como se ha discutido, las unidades de almacenamiento (SKU) puedan ser consideradas de forma análoga a las máquinas. Además, el objetivo no va a ser ahora minimizar todo el *WIP*, puesto que esos departamentos de almacenamiento tendrán un mínimo estratégico que será establecido mediante la especificación de tiempos de espera que será discutida más adelante. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones adicionales, el problema puede ser formulado ahora como sigue:

La cuestión es: ¿Cuál es la asignación de máquinas a departamentos y SKUs a productos en diferentes estados y cuáles los tamaños de unidades de carga entre departamentos para cada tipo de parte que permiten minimizar el número de partes en proceso (*WIP*, Work In Progress)?

Considérense los siguientes parámetros del problema:

$$f_{ij}^{(q)} \text{ volumen de piezas tipo } q \text{ que se transfieren desde la máquina } i \text{ a la } j \quad (1)$$

$$a_i \text{ área mínima requerida para la máquina } i \quad (2)$$

$$A_m \text{ área máxima disponible en la ubicación del departamento } m \quad (3)$$

$$V_q \text{ capacidad (en unidades) del dispositivo de manipulación de materiales para la pieza } q \quad (4)$$

Las variables de decisión son aquellas que indican la asignación de máquinas a departamentos y las que indican los tamaños de unidades de carga desde el departamento m al n para el tipo de parte q ; es decir:

$$\chi_{im} = \begin{cases} 1 & \text{Si la máquina } i \text{ es asignada al} \\ & \text{departamento } m, \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (5)$$

$$u_{mn}^{(q)} \quad (6)$$

Donde se utilizan las siguientes restricciones:

$$\sum_m \chi_{im} = 1 \quad \forall i \quad \text{limita la pertenencia de cada máquina a un único dpto.} \quad (7)$$

$$\sum_i a_i \chi_{im} \leq A_m \quad \forall m \quad \text{representa el límite de tamaño de los departamentos} \quad (8)$$

$$\rho_t < 1 \quad \text{limita la utilización } \rho_t \text{ de los dispositivos de manipulación} \\ \text{haciendo que sea menor que la unidad} \quad (9)$$

$$\lambda_{mn}^{(q)} = \sum_i \sum_j f_{ij}^{(q)} \chi_{im} \chi_{jn} \quad \forall q, \forall m, n \quad \text{considera el volumen de partes entre departamentos para cada} \\ \text{tipo de parte } \lambda_{mn}^{(q)} \quad (10)$$

$$u_{mn}^{(q)} \geq 1 \quad \forall q, \forall m, n \quad \text{Se requiere que las unidades de carga entre departamentos para} \\ \text{cada tipo de parte tengan un tamaño inferior a la capacidad} \\ \text{máxima del dispositivo de manipulación o transporte.} \quad (11)$$

$$u_{mn}^{(q)} \leq V_q \quad \forall q, \forall m, n \quad \text{Se requiere que las unidades de carga entre departamentos para} \\ \text{cada tipo de parte tengan un tamaño inferior a la capacidad} \\ \text{máxima del dispositivo de manipulación o transporte} \quad (12)$$

$$u_{mn}^{(q)} \text{ integer} \quad \forall q, \forall m, n \quad \text{limita los tamaños de las unidades de carga a valores enteros} \quad (13)$$

$$\chi_{im} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall m \quad \text{limita la variable de asignación a valores binarios} \quad (14)$$

Considerando un número fijo de dispositivos de manipulación o transporte, la formulación del problema de distribución en planta puede ser la siguiente:

$$\min \sum_q CoWIP_q \quad (15)$$

Sujeto a las restricciones anteriores y con las variables de decisión definidas. $CoWIP_q$ representa el coste para cada parte en proceso, para partes del tipo q . La función objetivo (15) minimiza el coste total del WIP esperado en el sistema. Esto se debe a que las cargas se están considerando como si fueran “procesadas” durante un tiempo determinado (mínimo estratégico) en cada SKU específica.

3.3. Modelo $CoWIP$

El trabajo en proceso WIP en el sistema para partes del tipo q , tal como es estimado por la fórmula de Little, puede ser aproximado por:

$$WIP_q = D_q E(TIS_q) \quad (16)$$

Donde D_q representa la demanda de partes del tipo q y $E(TIS_q)$ el tiempo esperado en el sistema para una unidad de carga de partes del tipo q . El tiempo esperado en el sistema de una unidad de carga es computado como la suma del tiempo empleado en cada departamento por la unidad de carga más los tiempos de transporte entre departamentos. Cabe destacar que esto incluye ahora los tiempos mínimos estratégicos que se espera que las cargas en diferentes estados de terminación permanezcan en departamentos de almacenamiento específicos. El tiempo esperado en un departamento se compone del tiempo necesario para procesar todas las partes en la unidad de carga más los tiempos de espera tanto a la llegada como a la salida.

El tiempo de espera previsto para una unidad de carga que llega a un departamento viene dado por el tiempo de espera esperado para una parte que llega a un departamento, lo cual es aproximado por un resultado del tipo $M^{(b)}/G/1$ para llegadas aleatorias en masa, menos el tiempo de espera debido al procesado de las otras partes de la misma unidad de carga. Esta última corrección es necesaria por estarse considerando que las partes son procesadas de una en una en cada departamento. El tiempo de espera previsto para una unidad de carga a la salida de un departamento se calcula como el tiempo que tarda en atenderse una petición de transporte, lo cual puede ser aproximado por un resultado del tipo $M/G/c$, más el tiempo medio que tarda un dispositivo de manipulación y transporte en realizar un desplazamiento en vacío para llegar al punto origen de la petición. De esta forma, el coste asociado al tiempo esperado en el sistema para una unidad de carga del tipo q viene dado por:

$$CoE(TIS_q) = \sum_{(m<n) \in \Omega_q} C_m^{(q)} \Gamma_m \quad (17)$$

$$\Gamma_m = \left[W_m^{(t)} + DT_m + W_m^{(o)} + \left(\frac{d_{mn}}{v_f} + 2P \right) \right]$$

donde $W_m^{(t)}$ representa el tiempo previsto de espera para una unidad de carga que llega al departamento m , DT_m es el tiempo necesario para el procesado en el departamento m , $W_m^{(o)}$ es el tiempo previsto de espera de la unidad de carga que sale del departamento m , y $d_{mn}/v_f + 2P$ representa el tiempo necesario para el transporte desde el departamento m al n (donde d_{mn} es la distancia entre los puntos de recogida en m y entrega en n , v_f es la velocidad del dispositivo de transporte cuando va cargado y P es el tiempo de carga/descarga). La suma ha de realizarse considerando todos los pares de departamentos en

el plan de proceso para las partes del tipo q , Ω_q . Finalmente $C_m^{(q)}$ constituye un factor de coste que será discutido más adelante.

Conviene destacar que la formulación de DT_m depende de que el departamento m sea un departamento de fabricación o de almacenamiento según lo siguiente:

$$DT_m = \begin{cases} u_{mn}^{(q)}E(PT_m) & \text{Para un dpto. de fabricación} \\ E(WT_m) & \text{Para un dpto. de almacenamiento} \end{cases} \quad (18)$$

Donde $u_{mn}^{(q)}E(PT_m)$ representa el tiempo necesario para procesar las partes en una unidad de carga (con $u_{mn}^{(q)}$ como tamaño de unida de carga [en número de partes] desde el departamento m al n para partes del tipo q y $E(PT_m)$ constituye el tiempo agregado previsto para el procesado de las partes en el departamento m). $E(WT_m)$ representa el tiempo previsto de espera en una posición de almacenamiento.

3.4. Discusión

Es esencial ahora considerar que el *WIP* tiene costes diferentes dependiendo del estado de terminación de las partes; ya que partes parcialmente procesadas han incurrido ya en un coste y su almacenamiento tiene un riesgo asociado, entre otros con el plazo de entrega. Las partes procesadas pueden ser más difíciles de almacenar. Además, conforme se avanza en el proceso de fabricación, se pueden ir diferenciando las partes en constitutivas de productos distintos. En la ecuación (17) se ha añadido un factor de coste $C_m^{(q)}$, por unidad de tiempo, que representa el coste de almacenamiento o espera para partes en diferentes estados de procesado. La inclusión de $C_m^{(q)}$ produce generalmente el efecto de penalizar el *WIP* en estados avanzados de producción. Como este coste de *WIP* (de inventario, espera o estancia en el sistema productivo, en general) es proporcional a los tiempos de procesado, el modelo incentiva menores tiempos de procesado en fases avanzadas de producción donde el valor del *WIP* es superior. Sin embargo, el ralentizar relativamente las partes en las fases iniciales, en relación con las ultimas, puede afectar al riesgo asociado al plazo de entrega y, por tanto, al nivel de servicio. En este sentido el *CoWIP* (el coste del trabajo en proceso) tendría dos términos:

$$CoWIP_q = D_q \sum_{(m<n) \in \Omega_q} C_{i,m}^{(q)} c \Gamma_m + D_q \sum_{(m<n) \in \Omega_q} C_{p,m}^{(q)} r^2 f_m^{(q)}(r) \quad (19)$$

Siendo:

$C_{i,m}^{(q)}$ el valor de la parte q al terminar la fase de procesado m

c el interés que refleja el coste del pasivo

$C_{p,m}^{(q)}$ el coste de penalización por indisponibilidad de la parte q situada en la fase m

r el tiempo de indisponibilidad o retraso en la entrega

$f_m^{(q)}(r)$ la función de densidad de probabilidad de indisponibilidad de la pieza q situada en la fase m .

Otra cuestión interesante está asociada con el término estocástico (en caso de una demanda tipo AR(1), el ruido blanco, de desviación σ_D). A fin de garantizar un nivel de servicio objetivo elevado se haría preciso contar con un stock de seguridad $SS = 2\sigma_D\sqrt{L}$, para garantizar un 97% de nivel de servicio, en el almacén de producto terminado; siendo SS el stock de seguridad y L el plazo de fabricación. En definitiva, se consideran dos fuentes de incertidumbre: las derivadas de la demanda y del plazo de fabricación. No obstante, este stock de seguridad podría reducirse, distribuyéndole aguas arriba, en cada buffer de la línea. Dicho procedimiento abarataría el coste de mantenimiento del inventario en proceso a cambio de introducir mayor riesgo de indisponibilidad. El tamaño óptimo de cada buffer de seguridad SS_m puede calcularse minimizando la suma de ambos costes: el de inventario y el de ruptura.

La sección de planificación estratégica de la empresa habrá de decidir la forma de implementar el sistema de previsión de pedidos capaz de impulsar el sistema. Pero el modelo puede ayudar de la siguiente forma: Si los productos se sacan de su posición antes de que transcurra su $E(WT_m)$, el sistema real debe ser capaz de generar una orden de avance en la producción para rellenar ese buffer estratégico que está bajando de nivel. El caso contrario también es cierto: si los productos han estado esperando un tiempo mayor que $E(WT_m)$ en un determinado buffer, no se procesarán más productos en puntos anteriores a ese a no ser que la producción se dispare directamente por un pedido específico de un cliente que no pueda ser satisfecho por los productos que están ya en el sistema.

Hasta la fecha, el principal inconveniente que presenta la implementación plena de estas técnicas consiste en la dificultad de identificación y seguimiento de los productos a lo largo de la cadena de producción; así como de acceso a la información asociada. Lo cual reduce, en gran medida, la “agilidad” del sistema. Pero, según se expuso al principio, las nuevas tecnologías de identificación y seguimiento pueden resolver estos problemas en un futuro muy próximo.

4. Conclusiones

Las nuevas técnicas de mercado están impulsando a las cadenas de producción y suministro hacia modelos más dinámicos y complejos. Debido a esta complejidad, la facilidad de acceso a la información se convierte en especialmente relevante. Los productos y los pedidos han de ser relacionados y seguidos en todo momento y la ésta información debe ser accesible en todo momento desde cualquier punto de la instalación. Existen nuevas tecnologías de identificación diseñadas para trabajar en colaboración con potentes sistemas de información. Entre estas tecnologías Auto-ID presenta características especiales que le proporcionan la capacidad de producir una mejora revolucionaria en los sistemas de manipulación y su papel en la cadena de suministro. Almacenamiento, distribución y sistemas de manipulación habrán de adaptarse a estas nuevas tecnologías a medida que la creciente necesidad de visibilidad de la información los vaya obligando a ello. Este nuevo mundo de disponibilidad de la información dotará a las cadenas de producción y suministro de la agilidad que tanto necesitan.

Referencias

Cakravastia, A., and Nakamura N. (2002). “Model for negotiating the price and due date for a single order with multiple suppliers in a make-to-order environment”, *Int J. of Production Research*, Vol. 40, No. 14, pp. 3425-3440.

- Castillo, I., and Peters, B.A. (2002). "Unit Load and material-handling considerations in facility layout design", *Int. J. of Production Research*, Vol. 40, No. 13, pp. 2955-2989.
- Collaine, A., Lutz, P., Lesage, J-J. (2002). "A method for assessing the impact of product development on the company", *Int. J. of Production Research*, Vol. 40, No. 14, pp. 3311-3336.
- García, A., Mcfarlane, D., Fletcher, M., Thorne, A. (2003). "The Impact of Auto-ID Technology in Materials Handling Systems", *7th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS*, April, Budapest, Hungary. Pp. 187-192. ISBN: 0 08 044289 7.
- Park J., Reveliotis S.A., Bodner D.A., Mcginnis L.F. (2002). "A distributed, event-driven control architecture for flexibly automated manufacturing systems", *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 2, pp. 109-126.
- Sarma, S., Brock, D.L., Ashton, K. (2000). "The Networked Physical World: Proposals for Engineering the New Generation of Computing, Commerce and Automatic Identification", *Auto-ID centre White paper*, October.
- Soares, A.L. (2002). "A tool to support the shared understanding of manufacturing systems organization in innovation processes", *Int. J. of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 5, pp. 394-412.
- Swamidass, P.M., and Winch, G.W. (2002). "Exploratory study of the adoption of manufacturing technology innovations in the USA and the UK", *Int. J. of Production Research*, Vol. 40, No. 12, pp. 2677-2703.