

## **Demostración de las posibilidades de la tecnología RFID-IMS utilizando una Célula de Fabricación Flexible**

Carlos Contreras Peinado<sup>1</sup>, Andrés García Higuera<sup>1</sup>, Adolfo Cenjor Montalvo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área de Automática. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Camilo José Cela s/n. 13071 Ciudad Real. Spain. andres.garcia@uclm.es,

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería de Defensa. TecnoVe Security. Avda. Alcazar , 8 – 13640 Herencia (Ciudad Real). acenjor@tecnove-security.com.

### **Resumen**

*Identificación automática es el término general en el que se recogen un conjunto de tecnologías que son usadas para ayudar a las máquinas a identificar objetos. A menudo a la identificación automática se la empareja con la captura automática de datos cuando las compañías interesadas en logística quieren identificar artículos, capturar información sobre ellos y, de algún modo, conseguir introducir los datos en un ordenador sin la participación de ningún empleado. El objetivo de la mayoría de estos sistemas es aumentar la eficiencia, reducir el número de errores en la introducción de datos y liberar a los empleados con el fin de realizar funciones de mayor valor para la empresa.*

*Siguiendo las tendencias actuales en la industria, así como el tipo de demanda del mercado, se hace necesario cumplir dos requisitos esenciales a la hora de poder competir en el mismo: flexibilidad y capacidad. Las tecnologías RFID-IMS (Radio Frequency Identification plus improved Information Management Systems) fueron creadas para facilitar procesos de distribución y logística, pero aquí quedará demostrado que pueden tener un papel importante en procesos de fabricación, ayudando a mejorar enormemente la flexibilidad y a aumentar sensiblemente la capacidad de una célula piloto. La aparición de las tecnologías RFID-IMS y su posterior estandarización, sirva como ejemplo el caso de Auto-ID, permiten aumentar el número de elementos con los que poder adecuar las células de fabricación a diversos perfiles, pudiendo, con un bajo coste, conseguir mejorar la flexibilidad, la seguridad o la visibilidad hasta cotas nunca antes imaginadas.*

*Después de presentar una célula de fabricación que permite realizar una serie de ensayos de la tecnología implicada en los sistemas RFID-IMS, el desarrollo de este artículo estudia el impacto de estas tecnologías en la instalación. Así mismo se proponen diversos cambios en aspectos como el flujo de información, perfiles de fabricación en función de la colocación de los lectores, adaptaciones de software de gestión, adopción de la tecnología RFID-IMS o cambios estructurales. Las motivaciones para dichos cambios y su funcionamiento están debidamente justificadas, lo que conduce a la proposición de nuevos acercamientos a estas tecnologías para ser usados en diseños futuros.*

**Palabras clave:** RFID, control, trazabilidad, automatización, fabricación

### **1. Introducción**

A comienzos del s. XXI, la producción afronta un cambio fundamental en cuanto al flujo existente entre el consumidor y el vendedor. El gran aumento de la capacidad industrial ofrece al consumidor un gran abanico de opciones donde elegir, favoreciendo el incremento de competitividad entre vendedores. Por ende, los consumidores adoptan una actitud más exigente y dejan de ser leales a una determinada marca. El consumidor demanda una

innovación constante en los productos, bajos precios, un mejor servicio, y el poder elegir el producto que mejor se adapte a sus necesidades. Esta situación conlleva múltiples consecuencias para la industria, véase, la reducción del ciclo de vida de los productos, el aumento de la diversidad, la rápida satisfacción de la demanda o la reducción de costes excesivos. Para la producción, estas consecuencias implican procesos productivos más complejos, rápidos cambios de productos, una rápida introducción de productos en el mercado, una necesidad de austeridad en cuanto a gastos y volumen de pedidos variables (McFarlane y Bussmann, 2003). Es por ello que se hace necesaria la creación de estructuras productivas que poseen una gran flexibilidad sin por ello aumentar los costes de fabricación, es aquí donde las tecnologías RFID-IMS (Radio Frequency Identification plus improved Information Management Systems) destacan como una opción plausible.

Este artículo muestra algunas aclaraciones sobre las motivaciones y el estado actual de la tecnología RFID-IMS (Punto 1.1). Inmediatamente después, analiza la célula de forma breve (Punto 2), para pasar a describirla (Punto 2.1) y a comentar las necesidades específicas que se plantean a la hora de implementar tecnologías RFID (Punto 2.2). Posteriormente se analizan los cambios que se podrían llevar a cabo al introducir tecnologías RFID (Punto 2.3) para, después, estudiar la implementación de la tecnología Auto-ID (Punto 2.4) con sus mejoras y posibilidades. Para finalizar, se destacan los puntos más importantes y se analizan las consecuencias generales de los cambios llevados a cabo. (Punto 3).

### **1.1. Tecnologías RFID-IMS**

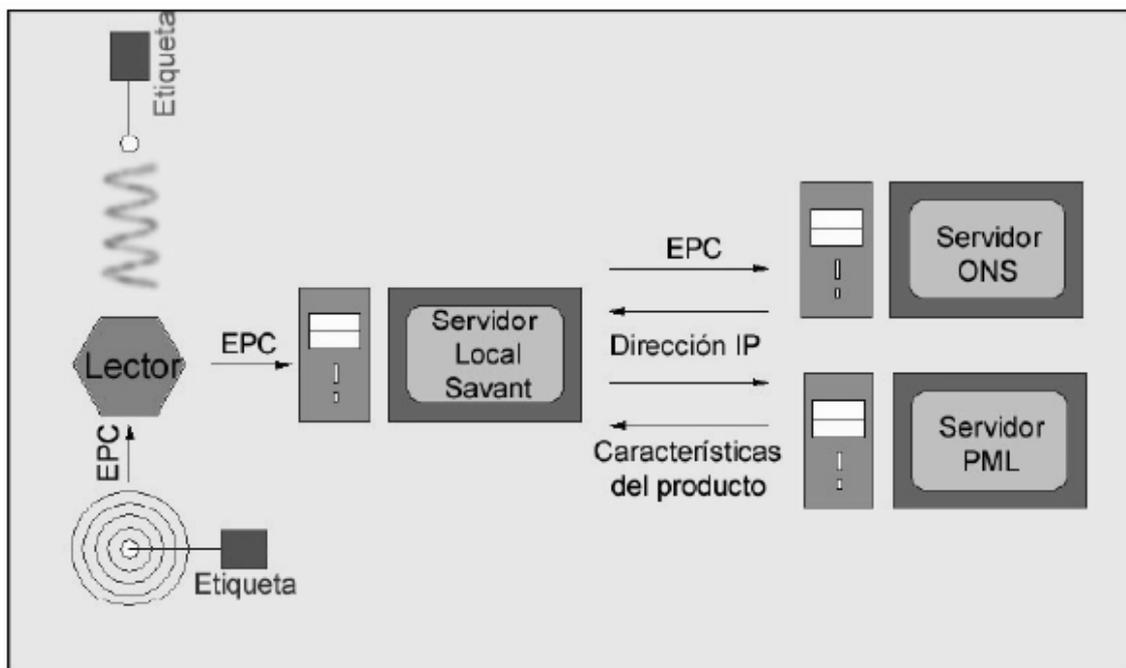
La predisposición para la adopción de nuevas tecnologías está siendo el camino tomado por muchas compañías de fabricación para conseguir ventajas competitivas (Swamidass y Winch, 2002); importantes investigaciones sobre la aplicación de estas nuevas tecnologías para identificación y traslado en entornos de fabricación ya han sido llevadas a cabo. Especialmente importantes son los análisis (McFarlane et al, 2001), (Fletcher et al. 2002) y las demostraciones (Chirn y McFarlane, 2000) sobre la interacción con sistemas de control altamente distribuidos para generar un entorno donde la filosofía de productos inteligentes (McFarlane et al, 2002), pueda ayudar a hacer frente algunos de los problemas que aparecen en fabricación, gestión de inventarios y manejo de materiales.

Las tecnologías RFID-IMS se basan en la capacidad de asociar una pequeña cantidad de memoria a cada ente de un sistema productivo o de logística y en la implantación de sistemas de gestión capaces de utilizar esa información en tiempo real. Para ello, se sirven etiquetas capaces de almacenar información y que pueden enviar dicha información a través de ondas electromagnéticas. Debido a la gran cantidad de opciones disponibles a la hora de implementar un sistema RFID-IMS (tamaño de memoria de las etiquetas, distintos procesos de toma de decisiones, lectura multifrecuencia,...), las soluciones que dichas tecnologías pueden aportar son innumerables. Las soluciones IMS son capaces de gestionar la información en grandes sistemas no caóticos, para sistemas caóticos de mayor automatización, donde entran en juego avanzadas filosofías de control altamente distribuido (como el control basado en holones o en agentes), se debe recurrir a soluciones más avanzadas, es lo que se puede llamar RFID-IMS2 donde las siglas IMS se refieren ahora a "Intelligent Manufacturing System". El bajo coste en relación con el alto nivel de automatización que pueden presentar las soluciones RFID-IMS las convierte en opción viable en muchos casos prácticos.

Un estándar creado por el Auto-ID Center y que se sirve de las tecnologías RFID-IMS es el Auto-ID. Desde su creación, el Auto-ID Center había estado diseñando los elementos críticos de la nueva red (Sarma et al. 2000). Estos elementos incluyen: el Código Electrónico de

Producto o EPC, especificaciones para etiquetas de bajo coste y lectores más baratos y ágiles, el Servicio de Nombramiento de Objetos u ONS, el Physical Mark-up Language o PML y la tecnología software Savant. También se ha comprometido al desarrollo de los estándares necesarios para asegurar que los productos puedan ser identificados sin importar qué fabricante los etiquete y a la construcción de software para ayudar a gestionar el flujo de datos.

El sistema se caracteriza por la transmisión de los datos recogidos en un chip gracias a las ondas electromagnéticas generadas por una antena. En el chip (de muy reducidas dimensiones) es donde se alberga la codificación necesaria. El funcionamiento es sencillo; cuando una etiqueta entra en la zona de acción de un campo magnético de unas determinadas características, se induce una pequeña corriente eléctrica en el bobinado, corriente que alimenta el chip y que hará que éste emita su código de identificación mediante la antena. La tecnología RFID permite la lectura de varias de estas etiquetas al mismo tiempo sin la necesidad de posicionamientos relativos predeterminados entre etiqueta y lector, y obviamente, con la posibilidad de la escritura (Cenjor, 2005).



**Figura 1:** Diagrama de funcionamiento de la tecnología Auto-ID

El EPC es un código de 96 bits que, mediante una serie de campos, identifica a un objeto de forma única. Los campos que componen el EPC son: el campo para el código de fabricante, el de producto y el número de serie. Este código permite la localización de la información relativa al producto en una base de datos conectada a la red del sistema (Brock, 2002). Esta información se almacena en archivos que usan un lenguaje estándar llamado PML (*Physical Mark-up Language*), que es una versión de XML desarrollada para productos, que se mantienen en servidores de Internet. La finalidad de este lenguaje es albergar datos de objetos físicos propios de la industria, y en especial de la logística, para que sea de dominio público y pueda ser accesible para todo el conjunto de las empresas (Floerkemeier y Koh, 2002). Un servidor local *Savant* controla las peticiones con los servidores ONS y PML. Actualmente, se trabaja en la creación del servicio ONS (*Object Naming Service*), este servicio vincula los códigos EPC con archivos PML situados en servidores. ONS se basa en DNS (*Domain Naming Service*) y requiere de una alta eficiencia y escalabilidad para manejar la gran

cantidad de transacciones de datos que se pueden llegar a producir (Thorne y otros, 2003). En la figura 1 se muestra un esquema de funcionamiento del estándar.

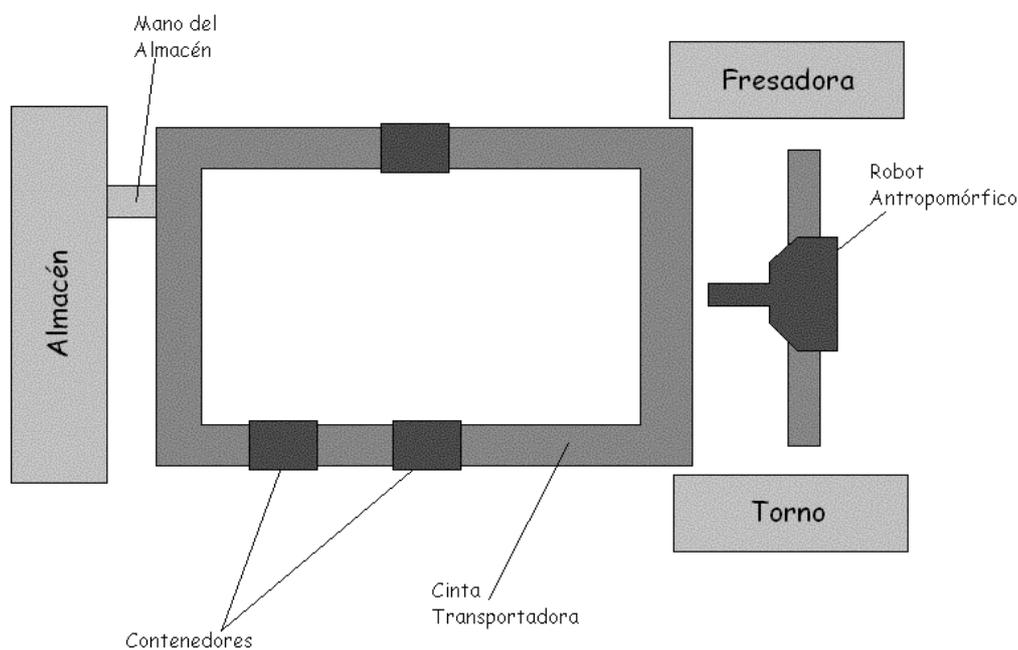
Con la creación de una red global y abierta que puede identificar cualquier artículo, en cualquier lugar y de forma automática el Centro ha estado buscando proporcionar a las compañías algo que, hasta ahora, ellos sólo podían haber soñado: una visibilidad casi perfecta a lo largo de la cadena de suministros. El sistema, si es ampliamente adoptado, podría eliminar los errores humanos de la captación de datos, reducir inventarios, mantener productos en stock, reducir pérdidas y el malgasto y aumentar la seguridad.

## 2. Aplicación a célula piloto

Con objeto de demostrar la aplicabilidad de lo expuesto a un sistema productivo real se ha utilizado el prototipo de célula de fabricación que se encuentra ubicado en la ETSII de Ciudad Real.

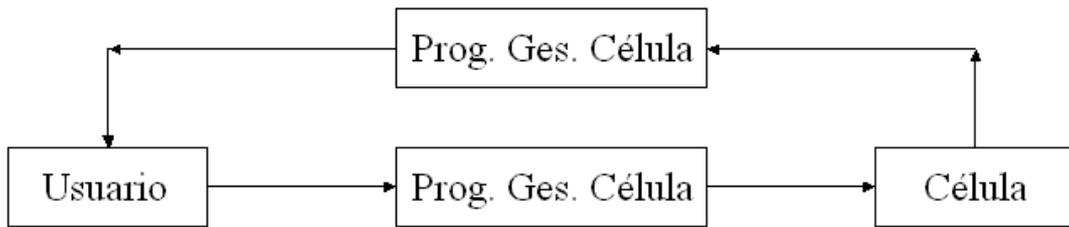
### 2.1. Descripción de la célula

La célula de fabricación se compone de un pequeño almacén con una mano encargada de la entrada y salida de piezas, una cinta transportadora que realiza los traslados de los contenedores de las piezas desde el almacén hasta un robot antropomórfico. Dicho robot es el encargado de la inserción y traslado de las piezas entre la fresadora y el torno. Ambas máquinas están controladas por control numérico. Para mayor claridad, en la figura 2 se muestra un esquema de la célula de fabricación.



**Figura 2:** Diagrama descriptivo de la célula de fabricación flexible.

La célula se controla a través de un programa de gestión que envía órdenes simples a los elementos necesarios. Existe la posibilidad de enviar concatenaciones de órdenes simples (llamadas órdenes de fabricación), así como de crear o editar nuevas órdenes de fabricación desde un editor incluido en el propio programa de gestión. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede describir el flujo de información tal y como se muestra en la figura 3.



**Figura 3:** Esquema del flujo de información de la célula.

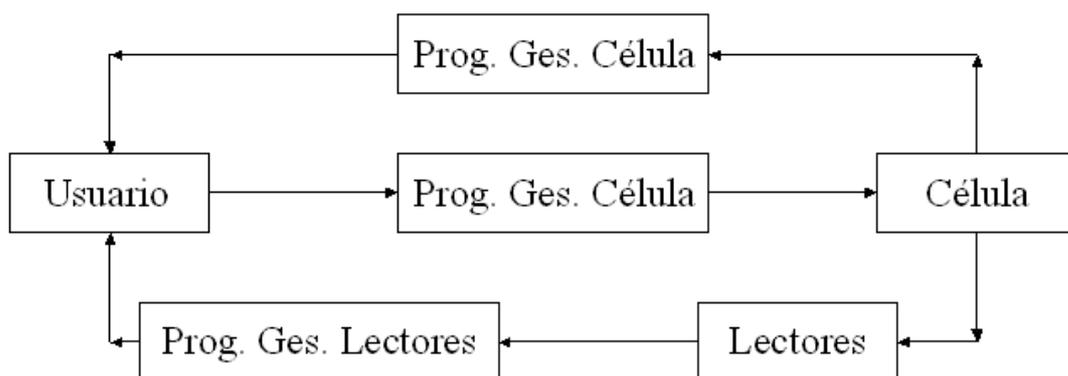
Este esquema demuestra la enorme falta de visibilidad durante la fabricación ya que únicamente contamos con la información que nos ofrece la célula (estado de las máquinas). Posteriormente se verá cómo el flujo de información variará a medida que los elementos que la proporcionan aumenten con la adición de los lectores y las etiquetas.

## 2.2. Necesidades específicas de implantación:

La idea principal es poder sacar partido de las tecnologías RFID en un primer momento y, posteriormente, del sistema RFID-IMS completo. Para ello se van a utilizar dos lectores por radiofrecuencia, así como un conjunto de etiquetas compatibles con dichos lectores. La colocación de los lectores dependerá del caso y la función a desempeñar, mientras que, obviamente, las etiquetas van a estar adheridas a las piezas.

En primer lugar, se necesita una conexión hardware entre los lectores y el ordenador. Para ello, se ha fabricado un interface basado en un circuito HIN-232, ya que la conexión de los lectores posee niveles TTL/CMOS, mientras que se buscaba una conexión RS-232 para el ordenador. En cuanto a nivel de software se trabaja en dos niveles, un nivel bajo en el que se debe controlar el flujo de información en el puerto serie y un segundo nivel, más alto, en el cual se traducen las órdenes y se muestra a usuario la información que envían los lectores.

En este punto, el flujo de información ha variado e, independientemente de dónde estén colocados los lectores, podemos describirlo tal y como muestra la figura 4.



**Figura 4:** Esquema del flujo de información de la célula tras la implantación del RFID.

Se puede apreciar un aumento de la visibilidad en la célula que ahora debe aprovecharse con una adecuada colocación de los lectores.

### 2.3. Implementación de tecnologías RFID-IMS

En este apartado se analiza cómo se pueden usar las tecnologías RFID y qué ventajas aportan en una célula de fabricación flexible. Para ofrecer resultados tangibles sobre el aumento de prestaciones en la célula, se presentan aquí algunos métodos para la percepción de estas mejoras:

#### Definición de variables:

$t$  = tiempo total de fabricación

$i$  = índice de pieza

$t_i$  = tiempo de fabricación de la pieza 'i'

$n$  = número de piezas

$t_{i,p}$  = tiempo de fabricación en procesos paralelos de la pieza 'i'

$t_{i,np}$  = tiempo de fabricación en procesos no paralelos de la pieza 'i'

#### Herramientas de análisis:

Está claro que, si ninguno de los procesos que se llevan a cabo se realiza paralelamente:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i$$

Si además, el tiempo que todas las piezas invierten en la célula es el mismo:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i = n * t_i$$

Pero en el caso de que algunos de los procesos se produzcan de forma paralela al resto, se puede decir que:

$$t = t_1 + \sum_{i=1}^{n-1} t_{i,p} = t_1 + (n-1) * t_{1,p}$$

Siendo la última igualdad válida, de nuevo, sólo en el caso de que todas las piezas inviertan el mismo tiempo. Para poder comparar el ahorro de tiempo que se produce en función del tiempo invertido en procesos paralelos, se puede definir el siguiente rendimiento:

$$\eta = \frac{n-1}{n} * \frac{t_1 - t_{1,p}}{t_1}$$

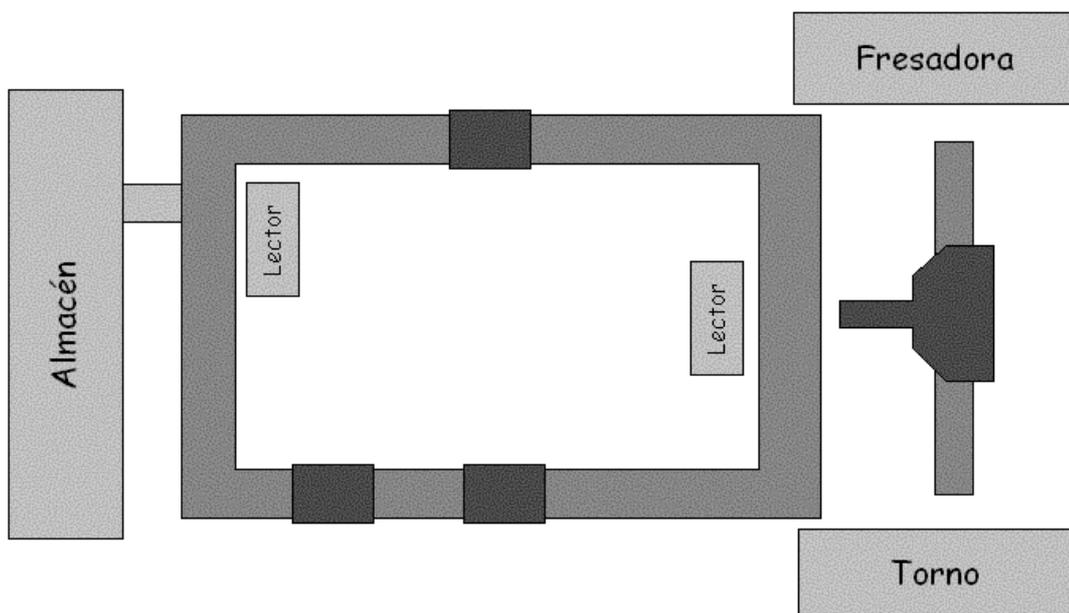
Este rendimiento nos muestra, en tanto por uno, cuánto nos ahorramos realizando procesos paralelos. También se puede encontrar una expresión que nos ayude a clasificar un proceso, ya que tiene en cuenta el proceso en condiciones estacionarias, o sea, con  $n \rightarrow \infty$ :

$$\eta_{est} = 1 - \frac{t_{1,p}}{t_1}$$

Esta última expresión, mide la calidad del proceso paralelo frente a la de la fabricación lineal, siempre hablando en términos de tiempo

En lo que sigue, se va a suponer que el sistema está compuesta de la célula de fabricación, de los lectores y de las etiquetas, en las que únicamente se va a memorizar un código para cada producto.

Entrando en los casos prácticos, en el primero se van a colocar los dos lectores, uno justo en frente el punto donde la mano del almacén inserta las piezas en los contenedores y el otro en la posición homóloga para el robot antropomórfico (figura 5 ).



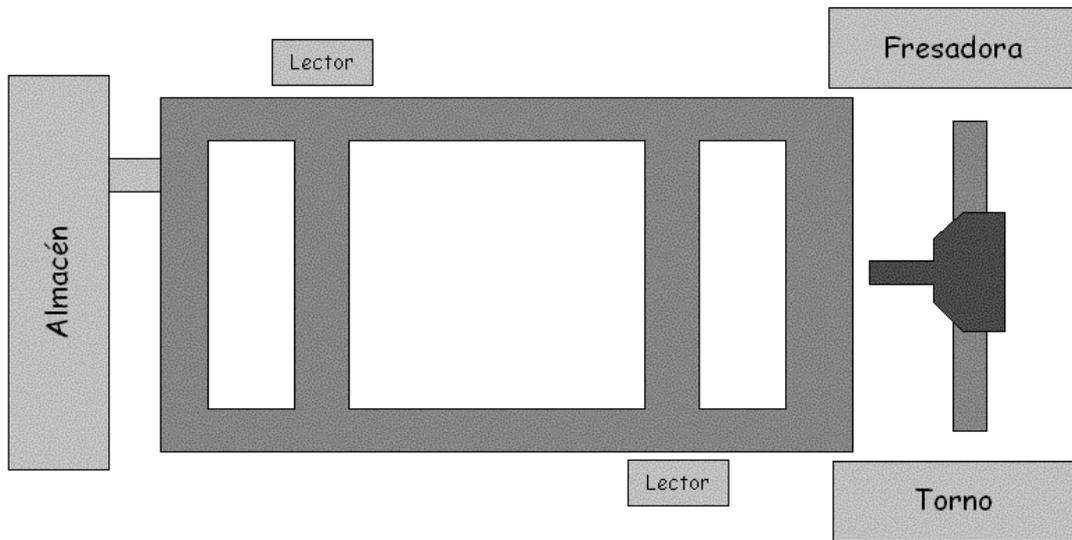
**Figura 5:** Diagrama de la célula tras la inserción de los lectores.

Este sistema aumenta la fiabilidad de la célula, evitando los antiguos errores asociados a la ambigüedad a la hora de denotar las piezas, que desaparecen al tener estas una etiqueta con un número propio, o la rápida detección de pérdidas durante el transporte. Este uso concreto adquiere importancia cuando el resultado de una equivocación de pieza puede resultar en la pérdida de una considerable cantidad de tiempo y dinero, como puede ocurrir en la industria electrónica.

Otra posibilidad de uso es el acoplamiento de uno de los lectores, el que antes se encontraba fijo a la cinta transportadora frente al almacén, en la mano del propio almacén. Este uso adquiere utilidad en el supuesto de que el almacén deba ser manipulado desde el exterior, de esta forma, la mano del robot puede asignar códigos a las piezas, reordenarlas o comprobar su estado (considérese el ejemplo de las etiquetas que almacenan una serie de temperaturas), de forma rápida y automática.

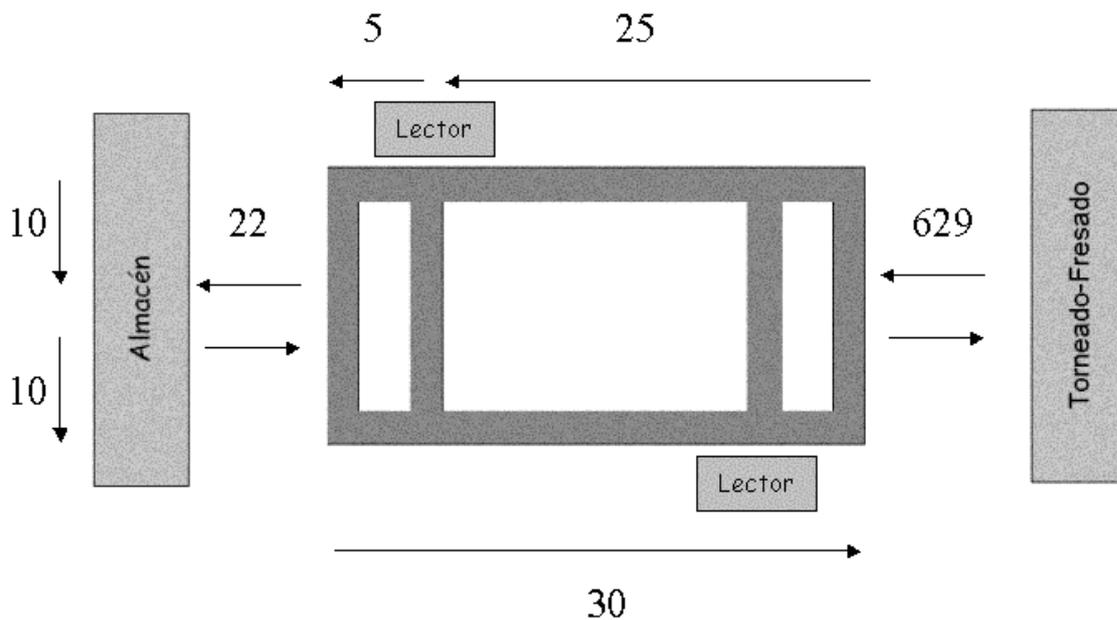
Si en algún momento se quiere ampliar la célula de fabricación también podemos acudir al RFID para conseguir una mejoría en el control. Sirva como ejemplo el que se quiera instalar un sistema de control de prioridades para las piezas, una solución es la adición de dos tramos

de cinta transportadora a la célula y la utilización de los lectores a modo de semáforo (figura 6).



**Figura 6:** Diagrama de la célula tras la adopción del sistema de control de prioridad.

Así se consigue el efecto deseado ya que los lectores dejan pasar a una pieza o la hacen recircular en virtud de la prioridad que esta posea. Pero además, esta solución permite disminuir el tiempo de fabricación de forma considerable. Para empezar a mostrar la mejora, se muestra un diagrama de tiempos aproximado en la figura 7.

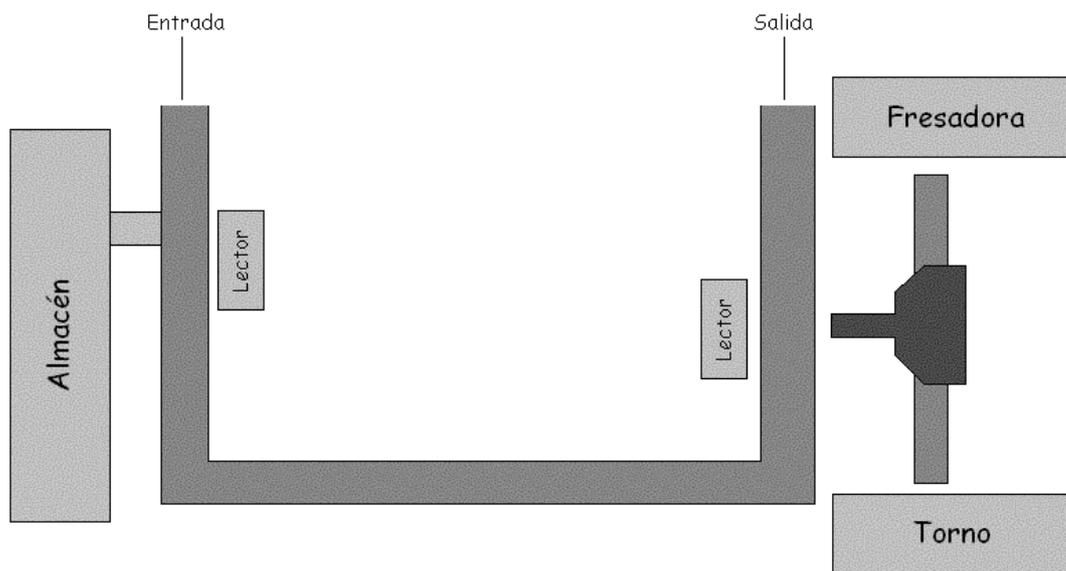


**Figura 7:** Diagrama de tiempos de la célula con el sistema de control de prioridad.

El siguiente paso es controlar que el primer lector de la célula (en orden de paso tras salir del almacén) funcione como semáforo más allá de la gestión de la prioridad y transforme la cinta que hay entre él y la unión de la bifurcación en un buffer WIP (Work In Progress) con capacidad para cuatro piezas. Con esto, cuando una pieza abandone la fresadora y el torno y regrese a la cinta, el lector dará paso a la siguiente, con lo que hay procesos que se realizan de forma paralela. Así conseguimos una ganancia de tiempo y capacidad considerables. De

acuerdo con las expresiones anteriormente presentadas, el rendimiento para un lote de 100 piezas que cumpliera este diagrama de tiempos, o sea, que necesitara un torneado, un fresado y, posteriormente un torneado y un fresado de repaso, sería de un 17%, siendo éste en condiciones estacionarias de un 17,1%. El tiempo total invertido antes de implementar este sistema sería de **21h 28 min. 40 seg.**, mientras que, una vez llevadas a cabo las transformaciones de mismo, el tiempo invertido en la fabricación del lote sería de **17 h 47 min. 16 seg.**

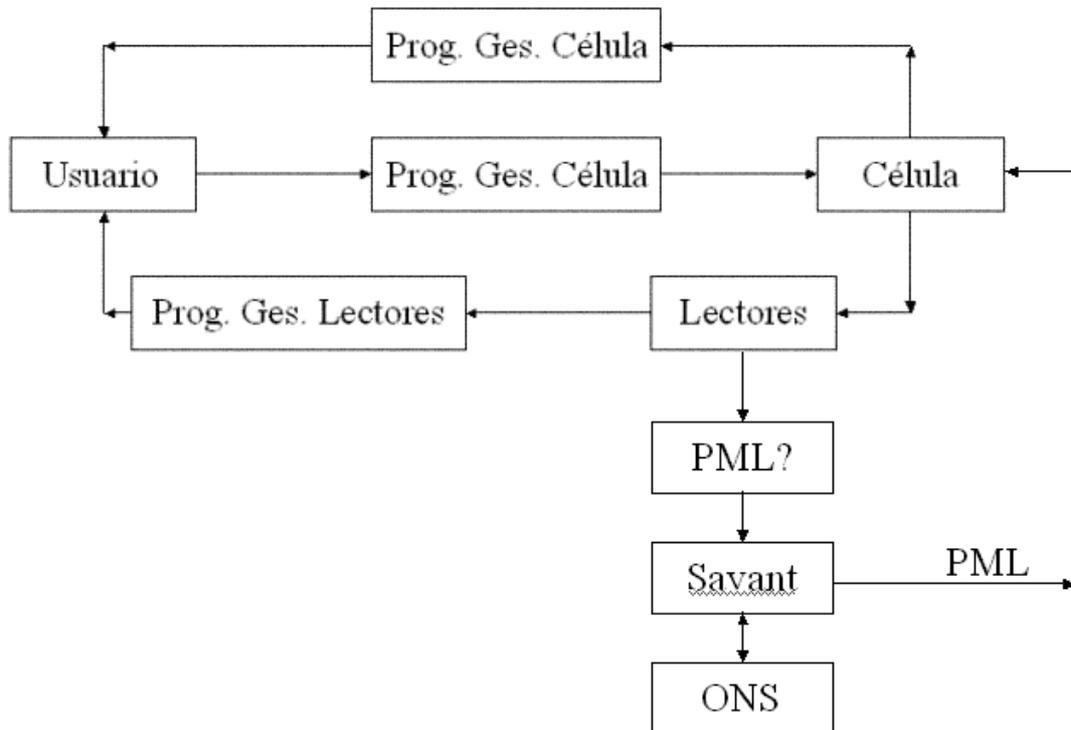
Se contempla ahora el siguiente caso, la célula se ha quedado pequeña para las productivas, así que decidimos incorporarla a un conjunto mayor de células, de tal forma, que lo que antes era una célula cerrada, ahora está abierta a la incorporación y salida de más piezas, tal y como se puede apreciar en la figura 8.



**Figura 8:** Diagrama de la célula adaptada para permitir la entrada y salida de piezas.

Colocando los lectores como en el ejemplo inicial, se puede adaptar la célula a las nuevas necesidades, donde cada lector lee todas las piezas que pasan para, posteriormente, decidir si deben almacenarse, tornearse,...

En este punto y de forma natural, se dejan abiertas dos cuestiones en las que no se va a profundizar ya que son el objetivo de este texto: la necesidad de crear un software de gestión para cada uno de los casos presentados y señalar el papel integrador de las tecnologías RFID. A partir de aquí, el sistema empleado en el caso de estudio es un sistema RFID-IMS inspirado en el estándar Auto-ID, pero que no cumple las especificaciones de dicho estándar. Para cumplir dichas especificaciones, se deberían haber tenido en cuenta aspectos como la frecuencia de trabajo de los lectores, la inserción del código EPC en las etiquetas, que está formado por 24 números organizados en cabecera, código del fabricante, clase de objeto y número de serie. Su objetivo es la identificación única de todos los objetos físicos (Fernández, 2004). Se debe crear un servidor Savant, en el que se busca el archivo PML asociado al código EPC, y un servidor ONS, al que el servidor Savant remitirá en el caso de que no encuentre el archivo PML, y que devolverá una dirección IP en la que encontraremos el archivo PML. El esquema de flujo de información genérico en el caso de implantar el estándar Auto-ID sería el mostrado en la figura 8.



**Figura 8:** Esquema del flujo de información del sistema, en caso de implantar el estándar Auto-ID.

En el caso de estudio, y debido al pequeño tamaño del sistema, la asignación de códigos a las etiquetas se ha llevado a cabo de forma correlativa, mientras que se ha aprovechado el resto de la memoria de las etiquetas para sustituir en parte la no existencia de archivos PML introduciendo información sobre el estado de los procesos de fabricación, programas de fabricación pendientes, prioridad, material y dimensiones de las piezas,... De esta manera, se ha simplificado la implementación del sistema.

En cuanto a los casos prácticos, existen diversas opciones. Si se lleva a cabo una fabricación lineal, se puede conseguir aumentar el rendimiento con la ayuda del RFID-IMS. Para ello, basta con colocar un lector frente al robot antropomórfico y otro en la mano del almacén. Cuando llegue la orden de fabricación de un lote heterogéneo, basta con que el sistema de control busque en el almacén la pieza que cumpla los requisitos de material, dimensiones, ... se envía la orden de fabricación y, cuando la mano del almacén recoja la pieza, modifique la memoria de la etiqueta para asignar el nuevo estado. Mientras la primera pieza se traslada y es fabricada, el lector busca la siguiente en el almacén y la traslada a la cinta. Cuando la primera pieza marca en el lector del robot, la segunda comienza a trasladarse.

De esta forma, se consigue que una pequeña parte de los procesos se ejecuten en paralelo con otros, aumentando el rendimiento y, por tanto, la capacidad. Sirva como ejemplo el siguiente. Si consideramos que los tiempos de traslado son los utilizados anteriormente, y que el período medio entre que una pieza es recogida por el robot antropomórfico hasta que es devuelta a la cinta -en el que se debe incluir el tiempo de operación en el torno y la fresadora-, es de 400 segundos, entonces se obtiene:

$$\eta = 17,1\%$$

$$\eta_{est} = 17,3\%$$

Aquí se puede apreciar que existe una ganancia importante de tiempo, ya que el tiempo de fabricación del lote habría pasado de **15 h 6 min. 36 seg.** a **11 h 9 min. 4 seg.** Con lo que esta solución merece, al menos, una consideración como punto de partida a la hora de mejorar ciertos procesos de fabricación. La extrapolación del sistema de estudio a un sistema que utilice Auto-ID es inmediata, tan sólo hace falta sustituir los códigos internos de memoria a códigos EPC y cambiar los datos referidos al producto por archivos PML. La mejora que se conseguiría con Auto-ID frente al uso concreto que se le ha dado a RFID-IMS en el caso de estudio, es la integración en grandes sistemas de fabricación, al igual que ocurre en otras áreas de la cadena de suministro. Dicha mejora se vería reflejada por la distribución de los sistemas de control que, en la célula piloto, convergen hacia un sólo punto de origen (un PC).

Otro caso particular es la utilización de RFID-IMS en el establecimiento de prioridades donde la prioridad no viene asignada a la pieza, si no que se establece evaluando sus necesidades de fabricación mediante el análisis de su memoria. En esta ocasión, se consiguen resultados similares a los obtenidos sin la inserción de los datos de fabricación en la memoria, pero automatizando y perfeccionando el sistema de control de prioridad. Como ejemplo, no hace falta pensar más que en el caso de tener que fabricar dos piezas en un torno, una permite una temperatura del torno de 25°C, mientras que la otra admite hasta 60°C. Lógicamente, la pieza que permite menos temperatura debe ser torneada primero, para que no le afecte tanto el calentamiento del torno. En el caso de implantar el estándar Auto-ID, esto se puede realizar gracias a la información depositada en el archivo PML.

Si lo que se busca es la ampliación del sistema, por ejemplo, abriendo la cinta de la célula para permitir la entrada y salida de piezas, también las tecnologías RFID-IMS pueden facilitar el proceso. Si se coloca un lector frente al robot y otro frente al almacén, el uso inmediato es la circulación de las piezas por los dos lectores, para así conseguir la lectura de la memoria de cada pieza y proceder a la toma de decisiones. Este sistema, si se analiza la célula por separado, no conlleva apenas mejoras con el de RFID-IMS, pero si se tiene en cuenta la facilidad de integración que se produciría tras la adopción de la tecnología Auto-ID, se encuentra esta solución mucho más práctica que la de RFID-IMS.

También se debe tener en cuenta que una vez terminados todos los procesos de fabricación, el archivo PML resultante explica todos los procesos por los que la pieza ha pasado, así como, si la etiqueta está preparada, las condiciones en que se han llevado a cabo dichos procesos (temperatura, presión,...). Esta información puede ser destruida o almacenada, según convenga, pero existe un caso en el que deberá ser guardada: una directiva Europea obliga a tener controlada la trazabilidad de los productos alimentarios (CE 178/2002) a partir de enero de 2005, con lo que este tipo de soluciones ganan enteros en la industria alimentaria.

### **3. Conclusiones**

Las nuevas tecnologías RFID descubren multitud de nuevas soluciones para gran parte de las situaciones que se presentan a lo largo de la cadena de suministro y, concretamente, en fabricación. Ha quedado demostrado que la tecnología RFID por sí sola, y con un número muy limitado de recursos (el estudio se ha realizado con tan sólo dos lectores), puede incrementar el rendimiento de una célula de fabricación en más de un 15%. Esto implica que, ya para pequeños sistemas, la tecnología RFID propone soluciones más que satisfactorias que permiten un ahorro de costes lo suficientemente importante, comparado con la pequeña inversión necesaria, como para que se tenga en cuenta en futuros diseños. También se deben destacar el gran aumento de la visibilidad así como el sensible aumento en la seguridad y fiabilidad de los sistemas donde esta tecnología entra en juego.

La inclusión de las tecnologías RFID-IMS al sistema proporciona un paso más en la automatización del control con un coste muy bajo, permitiendo la implementación de sistemas de control flexible más sofisticados. Óptimo en sistemas de tamaño medio en los que la complejidad del control no sea demasiado grande, permite sacar un mayor partido de las opciones que las tecnologías RFID presentan por sí solas, como el aumento de la visibilidad.

En cuanto a la tecnología Auto-ID, une la ganancia de tiempo de las tecnologías RFID-IMS, junto con la facilidad de integración en grandes sistemas productivos. Esto se debe a dos razones fundamentales, que está basada en la tecnología RFID y que fue creada para grandes sistemas de almacenaje y logística, aunque en este artículo ha quedado ampliamente justificado su uso en sistemas de fabricación. Además, la tecnología Auto-ID posibilita el desarrollo de nuevos sistemas de control y la automatización de gran cantidad de procesos, permitiendo un seguimiento del producto más allá de la cadena de suministro.

En conjunto, las tecnologías RFID-IMS así como los estándares asociados a las mismas, permiten disminuir costes de forma directa (menor tiempo de fabricación, sistemas de control más flexibles), de forma indirecta (mayor seguridad y fiabilidad, enormes implicaciones en las técnicas de estudio de mercado tras la adopción de Auto-ID) y abriendo nuevas posibilidades de negocio (logística inversa y reciclaje más eficiente).

## Referencias

BROCK D.L. (2002). The virtual electronic Product Code. Auto-ID Centre White Papers.MIT.

CENJOR A., 2005, Control basado en agentes mejorado con la tecnología Auto-ID: aplicación a una célula de producción, Proyecto fin de carrera Nº 05-14-200087, UCLM.

CHIRN J.L., MCFARLANE D.C., 2000, Building Holonic Systems in Today's Factories: A Migration Strategy. Journal of Applied System Studies, Special Issue on Holonics And Multi.Agent Systems, 2(1).

FLETCHER, M., MARIK, V., VRBA, P., 2002, Design Issues in Holonics Inventory Management and Material Handling Systems, Proceedings of the Balanced Automation Systems Conference.

FLOERKEMEIER C. & R. KOH (2002). Technical Memo: Physical Mark-Up Language Update. Auto-ID Centre White Papers. MIT.

GARCÍA, A. MCFARLANE, D., FLETCHER, M., THORNE, A. 2003, The impact of Auto-ID Technology in Materials Handling Systems, 7<sup>th</sup> IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, IMS 2003, April 2003, Budapest, Hungary. Pd. 187-192. ISBN: 0 08 044289 7

MCFARLANE D.C. & S. BUSSMANN (2003). Holonic Manufacturing Control: Rationales, Developments and Open Issues. En Deen, S.M. (Ed.), Agent-Based Manufacturing – Advance in Holonic Approach, pp. 303-326. Springer-Verlag: Berlin, Alemania.

MCFARLANE, D.C., KOLLINGBAUM, M., MATSON, J. VALCKENAERS, P., 2001, Development of Algorithms for Agent Based Control of Manufacturing Flow Shops, Proceedings of the IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference.

MCFARLANE, D., SARMA S., CHIRN J.L., WONG, C.Y., ASHTON, K., 2002, The intelligent Product in Manufacturing Control and Management, IFAC World Congress, Barcelona, Spain.

SARMA, S., BROCK, D.L., ASHRON, K., 2000, The Networked Physical World: Proposals for Engineering the New Generation of Computing, Commerce and Automatic Identification, Auto-ID centre White Paper, October 2000.

SWAMIDASS, O.M., AND WINCH, G.W., 2002, Exploratory study of the adoption of manufacturing technology innovations in the USA and the UK, Int, Journal of Production Research, Vol. 40, N° 12, 2677-2703.

THORNE A., D. MCFARLANE, S. HODGES, S. SMITH, M. HARRISON, J. BRUSSEY & A. GARCIA (2003). The Auto-ID Automation Laboratory: Building Tomorrow's Systems Today. Auto-ID Centre White Papers. MIT,