

Una visión de Programación - Secuenciación en una Empresa de Fabricación y Montaje de Automóviles.*

David Perez Perales¹, Francisco- Cruz Lario Esteban², José Pedro Garcia Sabater³.

¹ Ingeniero Industrial. DOE-ETSII-UPV. Camino de Vera s/n 46022 Valencia, dapepe@omp.upv.es

² Dr. Ingeniero Industrial. DOE-ETSII-UPV. Camino de Vera s/n 46022 Valencia, fclario@omp.upv.es

³ Dr. Ingeniero Industrial. DOE-ETSII-UPV. Camino de Vera s/n 46022 Valencia, jpgarcia@omp.upv.es

RESUMEN

La Secuenciación es la última de las etapas a realizar en el Proceso de Negocio de Planificación y Programación de Producción en las Empresas de Montaje de Automóviles; al Programa Maestro de Montaje (PMM), que normalmente incluye un Horizonte de 1 o 2 semanas. Establece el orden de paso de los vehículos por la Línea de Montaje, para cada período en los que se divide el Horizonte del PMM. Es una etapa crítica, pues se establece en función de varios factores, como puedan ser: restricciones operativas de Planta (Equilibrado de la Línea de Montaje, cargas de operarios, etc.) o en cuanto al suministro y su regularidad desde algunos Proveedores (Secuenciados y/o Sincronizados). Se da a conocer prácticamente on-line a los Proveedores Secuenciados y/ o Sincronizados, de forma que puedan suministrar a Montaje los materiales exactamente en el orden en que se montarán sobre las carrocerías pintadas. Posterior a la Secuenciación, estaría la supervisión y en su caso modificación, en función de posibles incidencias (tanto de la Planta como de algún Proveedor, etc.). En definitiva la Re - secuenciación a la salida de determinados Almacenes reguladores.

1. Introducción.

En la presente comunicación se analiza el *Proceso de Negocio (PN)* de Programación – Secuenciación de la Producción en una Empresa de Montaje de Automóviles, primero de forma general y posteriormente aplicándolo a una Empresa concreta.

Nexo de unión entre la Planificación, establecida a medio plazo (3 a 6 meses), y la **Secuenciación** se desarrolla el llamado *Programa Maestro de Montaje (PMM)*, también llamado **Segmentación**, en el que se muestra qué cantidad de cada uno de los Productos Finales (vehículos) se montarán diariamente, normalmente con un Horizonte de 1 o 2 semanas.

El citado **PMM** se realiza a partir de los **Pedidos recibidos**, que se asignan a cada Planta y posteriormente se les adjudica una *fecha de fin de montaje concreta*, en función de algunos factores como puedan ser su fecha de entrega, la nivelación de opciones a montar cada día, etc.

El **PMM** será la entrada principal del Sistema de Gestión de Materiales propio, el cual, a partir de otras entradas como puedan ser el archivo de Estructura de Materiales y el archivo de Inventarios dará lugar a dos salidas muy importantes: las *Órdenes de Fabricación internas* (a programar en las Plantas de Prensas y Soldadura), y las *Órdenes de Aprovisionamiento* (con

* Esta comunicación es consecuencia de los trabajos realizados en el Proyecto Feder CICYT **1FD97-1387** “La Gestión de la Cadena de Suministro en contexto de Integración Empresarial” .

las cuales se realizará un *Programa de Entrega desde Proveedores*, denominado DCI en la Empresa analizada).

La **Secuenciación** en la Línea de Montaje final de vehículos se establecerá con un Horizonte de 1 semana, y recibe el nombre de Secuencia Maestra o “Predicted Sequence”. Se establece a nivel europeo y tiene en cuenta principalmente las condiciones operativas de la Planta en cuestión (balance de la Línea, carga de operarios, etc), además de restricciones de los Proveedores más críticos (fundamentalmente los que suministran de manera secuenciada-sincronizada). Estos suministran los módulos exactamente en su punto de montaje en la Línea final, teniendo que trabajar con la misma secuencia que la OEM, teniendo muy poco margen de tiempo (entre 2 y 3 horas aproximadamente) para realizar la secuenciación en sus respectivas Plantas.

La secuencia establecida se intenta cumplir a la entrada de la Planta de Montaje, aunque muchas veces es imposible debido a algunas incidencias (falta de carrocerías pintadas, aviso de fallo de algún componente, etc.) por lo que tiene sentido la **Re-Secuenciación**. Esta afecta tanto a los Recursos empleados a nivel de Planta internos, como externos (Proveedores). En estos momentos se está planteando un procedimiento de colaboración o Integración Inter Empresas (Proveedores secuenciados-sincronizados, y la Planta de Montaje de Vehículos) en el proceso de Re-secuenciación.

2. Programación. Programa Maestro de Montaje. Programa de Entrega desde Proveedores.

Como se ha dicho en la introducción, el *PMM* o *Segmentación* es un programa con un horizonte de 2 semanas en el que se asignan la cantidad de modelos que se tendrán que montar diariamente. Dicho Programa compromete la utilización de muchos recursos, tanto internos como externos, y deberá ser ejecutado de la forma más exacta posible.

Aunque como se verá más adelante, en ocasiones las secuencias diarias previstas (Secuencia Maestra) pueden variar significativamente, si bien no ocurre lo mismo con las cantidades totales diarias de cada modelo.

Es a partir de este punto, cuando se puede continuar con las siguientes fases en el Sistema de Gestión de la Producción, particularmente, la Gestión de los Materiales fabricados o comprados, es decir la Gestión de las Órdenes de Fabricación y las Órdenes de Aprovisionamiento. Las primeras hacen referencia a las Plantas anexas a Montaje, fundamentalmente Prensas y Carrocerías, aunque también podrían considerarse estos, conjuntamente con Pinturas, como Proveedores Internos. Las segundas darán lugar al *Programa de Entrega desde Proveedores*.

El PMM dará lugar al Programa de Entrega desde Proveedores o DCI a través del Sistema de Gestión de Materiales propio .

El DCI es un Documento que se entrega diariamente a los Proveedores. Tiene un horizonte de 2 semanas y en él se señalan los materiales que el Proveedor tendrá que suministrar cada día. El DCI es muy importante para el suministro en Just-In-Time de ciertos Proveedores. Para otros, puede no ser tan importante las cantidades diarias a suministrar y sí la cantidad a suministrar en toda la semana.

También existen Proveedores que necesiten la Secuencia además del DCI; son los que suministran la Cantidad adecuada con el orden o secuencia necesaria con la que se van a montar los materiales. De aquí la importancia de la Secuenciación, a partir del PMM o Segmentación, ya que aquella involucra una gran cantidad de recursos, no sólo internos, sino también externos (como es el caso de los Proveedores Secuenciados).

3. Secuenciación

3.1 Introducción

Cuando se diseña una Línea de Montaje para *varios modelos*, como es el caso de la Empresa considerada, se proponen las siguientes etapas o pasos [1]:

- Determinación del Tiempo de Ciclo
- Computo del número mínimo de Procesos
- Preparación de los diagramas de relaciones de precedencia entre relaciones entre trabajos elementales
- Balance de Líneas
- Determinación de la Secuencia para la fabricación de los productos
- Determinación de la longitud del rango de operaciones de cada proceso

De acuerdo con este esquema, cuando se determina la Secuencia (paso 5), se debe respetar el Tiempo de Ciclo (paso 1) predefinido para cada Estación de Trabajo (paso 4). Dado que todos los vehículos no suponen la misma carga de trabajo para cada estación, (no es lo mismo incorporar el sistema aire acondicionado al vehículo, que no incorporarlo), es necesario comprobar que no se supera el Tiempo de Ciclo Promedio al realizar la Secuenciación.

El motivo fundamental para ello es que, de no respetar la limitación de Tiempo de Ciclo, la Línea podría parar o el trabajo podría no acabarse para un producto determinado [2]. Esta restricción es considerada un objetivo por algunos autores, como el propio Monden o Yano y Rachamadugu [3]. No obstante, la opinión del primero, reforzada por su experiencia en Proyectos de Simulación para la mejora de la Secuencia en una empresa fabricantes de Automóvil, es que debe considerarse como una restricción.

Se ha detectado una Restricción, no expuesta previamente por la literatura, que indica que determinadas opciones deben fabricarse, para mejorar el uso de recursos, de modo consecutivo. Dado que en ocasiones la construcción del vehículo exige el uso de Líneas Paralelas, será necesario considerar también restricciones que las tengan en cuenta de modo separado.

Como indica Monden [4], el orden en que las unidades a montar pueden llegar al final del proceso de pintado no siempre es el inicialmente previsto. Al finalizar dicho proceso es necesario almacenar las unidades en un Almacén. No es posible conocer anticipadamente las unidades que en un instante dado va a haber en un Almacén y por tanto es necesario tener en cuenta un proceso de **Secuenciación Dinámica**, que *re-secuencia* la “Predicted Sequence” que originalmente se había previsto a nivel europeo, sobre las bases de adaptar la Secuencia de salida final (en la empresa analizada “Late Warning”) a las necesidades de la Línea de Montaje y a algunas de las restricciones de los Proveedores más críticos.

3.2 Secuencia Maestra

A nivel europeo, y no de Planta, también se plantea un Horizonte de 5 días de Secuencia Maestra. Ésta es la llamada **Predicted Sequence**. Si todo fuera perfecto, lo cual no suele suceder, esta Secuencia Maestra debería coincidir con la **Secuencia a la salida** de la Línea de Montaje, también llamada *Secuencia Off-Line*

Dicha Secuencia se realiza a nivel europeo mediante un Sistema específico y se plantea en función de la Segmentación previamente realizada con el mismo Sistema, teniendo en cuenta factores internos fundamentalmente, como la estabilidad de las diferentes opciones, nivelados de carga en las estaciones de trabajo, etc..., y otros factores externos, como puedan ser restricciones de Proveedores Secuenciados o Secuenciados-Sincronizados [5] en conceptos y aplicación de “Empresa Extendida” ó “Empresa Virtual”).

La razón de “congelar” 5 días secuenciados estriba fundamentalmente en facilitar la labor a los Proveedores que suministran, no sólo en J.I.T. (se entiende que estos suministrarían varias veces al día), sino de forma secuenciada o incluso sincronizada (en la Empresa considerada, **D.A.D** ó Direct Automatic Delivery). Por supuesto, también sirve de ayuda a nivel de Factoría, como pueda ser la Programación de la Producción en Carrocerías (soldadura) e incluso en la Sección de Prensas, anexas a la Planta de Montaje.

En la práctica son pocos los Proveedores que usan realmente la Predicted Sequence, debido a que en muchos casos la misma Planta, corrige en el transcurso del día dicha Secuencia (Re-secuenciación dinámica) por falta de un determinado material, porque no se tienen en Almacén (**AS/RS**) -a salida de Pinturas y previo a Montaje- las carrocerías pintadas necesarias, o por tener que corregir incidencias cometidas “off line”..., de manera que la **Secuencia Diaria realmente ejecutada** o “Late Warning” puede diferir significativamente de la Secuencia Maestra o Predicted Sequence .

3.3 Secuencia Real

La *Secuencia Real* o Late Warning, es la última Secuencia que se facilita a la salida del AS/RS antes de que los vehículos entren en la Línea de Montaje. En principio, si no ocurre ningún contratiempo en la Línea, deberá ser igual a la *Secuencia Diaria* o *Secuencia Off-Line* (no tienen por qué tratarse de las mismas secuencias, porque si ocurre algún cambio de secuencia o incidencia en la Línea de Montaje, podrán diferir).

Es controlada por un *Sistema de Planificación de los Vehículos* de cada Planta. Este Sistema se encarga, de identificar cada carrocería, recoger datos, enviar información a la Línea de producción, ayudar a la programación de los Proveedores que suministran de forma secuenciada o sincronizada, controlar los autómatas, realizar informes de gestión, etc. En definitiva es un Sistema de Control, y en su caso Reprogramación (Re-Secuenciación), pudiendo comunicar los cambios a ciertos Proveedores involucrados.

3.4 Secuencia Maestra versus Secuencia Real. Re-secuenciación.

El sistema anterior es por tanto, el encargado de supervisar, revisar, retroalimentar y controlar la ejecución en la Planta de Montaje.

Además existe otro sistema que se encarga de realizar la re-Programación y re-Secuenciación en caso que sea necesario. Conocida la Predicted Sequence, determina en función de posibles contratiempos (falta de alguna carrocería pintada específica en el AS/RS, fallo de alguna máquina, problemas con algún Proveedor...), si ésta debe ser ejecutada tal cual o debe someterse a algún cambio. Su objetivo principal es intentar cumplir con la Secuencia Maestra o Predicted Sequence a la salida del AS/RS. Para ello gestiona Almacenes y Buffers, incluso anteriores al AS/RS, para recomponer la Secuencia Maestra, a partir de la Información sobre la realidad ejecutada que recibe.

Las funciones principales del segundo sistema son:

- la Identificación tardía del pedido.
- la Recuperación de la Secuencia.
- la Sustitución.

3.4.1 Identificación tardía del Pedido

El proceso normal consistiría en asociar un Pedido concreto a una Carrocería al principio de la construcción de la misma en la Planta de Carrocerías. Con este sistema esto se hace lo más tarde posible, normalmente al final del Proceso de Pintura, mediante el uso de la sustitución para poder restaurar las rupturas en la Secuencia.

Para que este proceso funcione, a cada carrocería se le asocia un número único de identificación de la carrocería al principio de su fabricación. Este número está relacionado con el número interno de la Secuencia, no con el número de identificación del vehículo, y puede leerse en ciertos puntos del proceso mediante scanners, mientras que el número de identificación del vehículo físico no se le asigna al vehículo hasta el punto previo a la entrada a *Trim* (la primera fase a la entrada de Montaje, donde los vehículos se transportan con unos patines para colocarles los revestimientos interiores).

3.4.2 Recuperación de la Secuencia.

La Recuperación de la Secuencia puede realizarse en cualquier punto dentro de los procesos de construcción de la Carrocería y de Pintura, pero el punto más importante está entre el final del proceso de Pintura y el comienzo de Trim (*Figura 1*).

La restauración de la Secuencia en este punto se facilita mediante el empleo del Almacén regulador AS/RS (Almacenamiento Automatizado y Sistema de Recuperación). De hecho, la construcción del AS/RS se debió fundamentalmente a la intención de la Compañía en cuestión de intentar cumplir al máximo a la salida de Montaje (Secuencia Off-Line) con la Secuencia Maestra Europea.

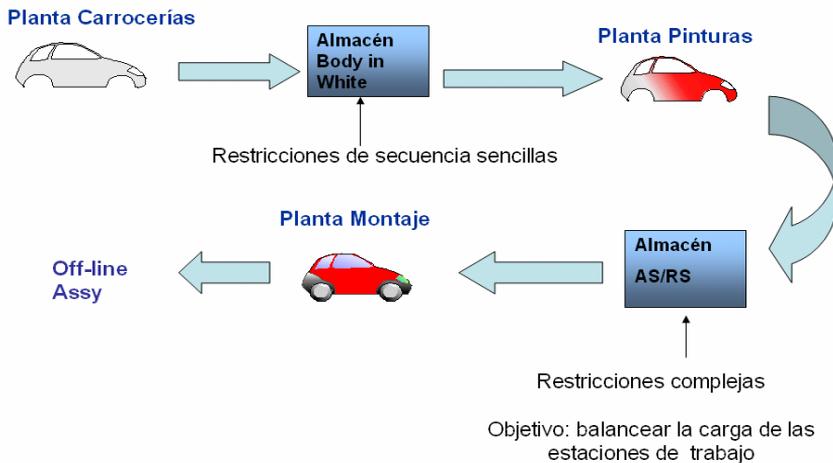


Figura 1 : Proceso de Re-Secuenciación

3.4.3 Sustitución.

En cada punto de valor añadido, como es en declaración de color, se lee la identificación de la carrocería. Se coloca en esa posición el siguiente color apropiado, para ese tipo de carrocería, dentro de la Secuencia Maestra. El proceso trata de restablecer la Secuencia Maestra en cada punto de valor añadido.

El proceso empieza en la Planta de Carrocerías secuenciando al 100% según la Predicted Sequence con la antelación suficiente según el tiempo total de fabricación del vehículo para cumplir con la Predicted Sequence off-line.

La *rotura de secuencia* se corrige parcialmente mediante sustituciones en unos puntos determinados. Finalmente, AS / RS restaura la secuencia lo máximo posible según un criterio establecido por la propia Compañía.

3.5 Propuesta de mejora en la Re-secuenciación.

El problema actual de la **Re-secuenciación** estriba en que se debe hacerse de forma *dinámica*, de manera que en cada instante de tiempo, el Sistema decide qué carrocería pintada del AS/RS va a lanzar a Montaje, teniendo que valorar el alcance (fundamentalmente interno de la propia Planta) en la realización de dicho cambio.

El problema que en ocasiones se origina, es que los cambios realizados por el Sistema afectan de manera directa a algunos Proveedores que suministran algunos módulos críticos de manera secuenciada y sincronizada, no pudiendo hacer frente a tales cambios en tan poco tiempo, y produciendo lo que se denomina “*Missing Part*”, es decir, dejando de suministrar cierto módulo en el punto de montaje.

La propuesta consistiría en establecer un procedimiento o marco de integración que tuviera como objetivo minimizar la posibilidad de que se originen Missing Parts en el montaje final, o

lo que es lo mismo, solucionar la incapacidad de suministrar los componentes necesarios según la Secuencia transmitida por Ford.

Al producirse un “Missing Part” en el AS/RS se pueden bloquear todos los vehículos de la Predicted Sequence que lleven dicho componente. Esto es lo que se conoce como “efecto dominó”. La solución a este problema, en principio, implica la introducción en la secuencia de un número equivalente de vehículos que pueden no estar secuenciados para ese día. El Proveedor, por tanto, podría no tener los materiales necesarios para entregar. Hay que tener en cuenta que la modificación de la Predicted Sequence puede volver a provocar “Missing Part” en los nuevos vehículos secuenciados. Además este efecto podría darse en varios proveedores de montaje al mismo tiempo.

El estado actual es el siguiente:

La Empresa de Montaje de Automóviles comunica al Proveedor, vía FTP, la Predicted Sequence, que comprende el orden de suministro de componentes a través de los códigos de cada vehículo. La Predicted Sequence debe cumplir una serie de restricciones, ya que no es posible fabricar cualquier secuencia, por problemas de capacidad. Estas restricciones son prácticamente todas de OEM y casi ninguna de los Proveedores, si bien también deberían tenerse en cuenta las de algunos de estos.

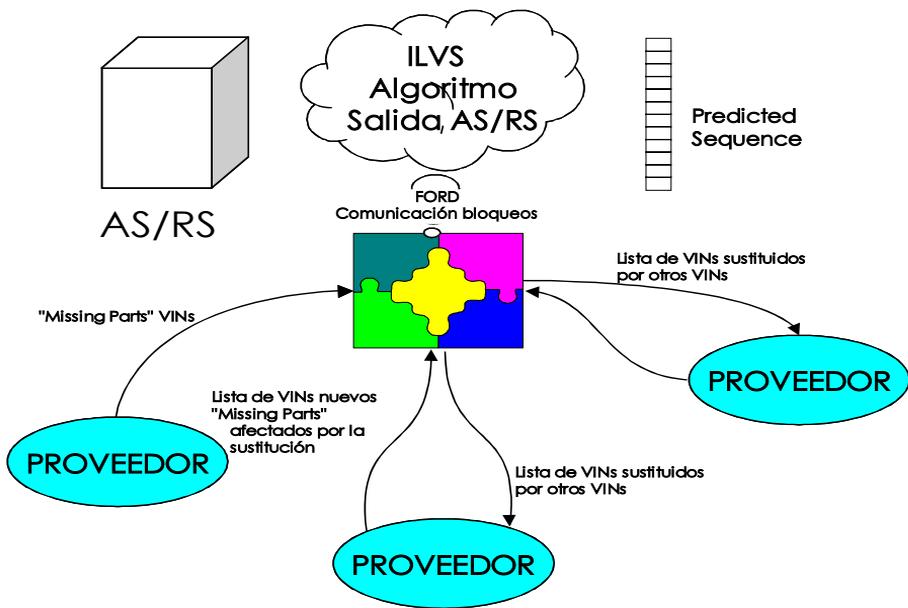


Figura 2 : Procedimiento de Integración entre Proveedores críticos y Planta de Montaje de Vehículos en el proceso de Re-secuenciación

La solución propuesta sería la siguiente:

La OEM comunicaría los cambios producidos en la *Predicted Sequence*, secuencia para la cual el Proveedor ya estaba preparado para servir.

El Proveedor analizaría dichos cambios y determinaría los números de vehículos de las carrocerías donde presumiblemente haría “Missing Part”. De no hacer “Missing Part”, comunicaría a la OEM que puede suministrar los componentes según la nueva Secuencia definida. De lo contrario debería especificar que

tipo de “Missing Part” se va a producir, es decir, que piezas dejaría de enviar. Por ejemplo, un Proveedor de asientos, podría dejar de enviar un asiento delantero derecho, o el conjunto de asientos traseros, etc. Sin embargo sólo en el caso de que no envíe el asiento del conductor será motivo suficiente (denominado “Mandatory”) como para no “poder sacar el vehículo en ruedas”. De esta forma la OEM podría decidir si el “Missing Part” es lo suficientemente grave como para bloquear ese vehículo del AS/RS en la nueva Secuencia, generando pues una nueva *Secuencia de Suministro-Montaje*.

La *información* que el *Proveedor suministrara* debería llevar el primer vehículo que se bloquearía, y la cantidad de vehículos equivalentes a bloquear y el tipo de pieza. La OEM decidiría entonces cuáles vehículos del conjunto deberían ser sustituidos obligatoriamente. Una vez decidido, enviaría a los Proveedores más críticos los números de los vehículos que sustituiría para contrastar con ellos si tienen el material para fabricarlos y si tienen tiempo de ciclo suficiente según el número de orden establecido.

Los Proveedores responderían entonces a este cambio. En primer lugar indicando si haría “Missing Part” debido al cambio (si tienen algún problema de tiempo de ciclo, por la separación de modelos, etc.). Por ejemplo, el Proveedor de asientos podría no poder fabricar más de un coche de piel por cada tres coches normales. Con el resultado de la consulta, la OEM decidiría cuál es la solución, es decir, que números de vehículos serían los que sustituyeran a los bloqueados de tal forma que el problema de “Missing Part” afecte a la Línea en la menor medida posible, evitando que se genere el efecto dominó.

4 Conclusiones.

Se ha analizado la problemática de Secuenciación de los vehículos en la etapa de montaje, estableciéndose las *distintas Secuencias* que deben tenerse en cuenta. Se ha caracterizado el concepto de *Secuenciación Dinámica* a partir de la situación en cada momento del *AS/RS* (Almacén regulador) posterior a Pinturas. Igualmente se ha hecho una propuesta de mejora de la Re-secuenciación teniendo en cuenta *la situación de los Proveedores de 1er nivel secuenciados y sincronizados*.

Referencias

- [1] Monden Y., (1994) “Toyota Production System: An integrated approach”, *Editorial Chapman and Hall*.
- [2] Tsai, Li-hui., (1995) “Mixed Model Sequencing to minimize Utility Work and the risk of conveyor stoppage”, *Management Science*, 41,3.
- [3] Yano,C.and Rachamadugu (1991), “Sequencing to minimize work overload in Assembly line with Product Options”, *Management Science*, 37,5.
- [4] Monden, Y., (1996) “El Just-In-Time hoy en Toyota”, *Ediciones Deusto*.
- [5] Lario F.C., Miralles C., García J.P (2001) “La Programación de la Producción en el Sector del Automóvil”, *IV Congreso de Ingeniería de Organización (Sevilla)*.

Agradecimientos

Agradecer a la Empresa de Fabricación y Montaje de Automóviles su disposición a proporcionar la información necesaria para la realización de la presente comunicación.