

Modelado de ensambles

García Muñoz Rafael Enrique
Instituto Tecnológico de Agua Prieta
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET)
Kano729@prodigy.net.mx

Resumen

Actualmente no se tiene una cultura de modelado para los sistemas de manufactura que se tienen en nuestro país, es decir no se analiza el proceso productivo desde la óptica de la clasificación estática y dinámica al realizar un proceso de manufactura de ensamble, por lo que no hay una optimización de los recursos desde su planeación y por ende existen grandes pérdidas en las líneas de ensamble.

Además no está fundamentado un procedimiento para la especificación de las instalaciones de ensamble automatizado, lo cual es un grave problema porque el ingeniero industrial mexicano no puede modelar óptimamente todos los recursos involucrados en un sistema de producción. Se pretende desarrollar un método de especificación aplicable al contexto de instalaciones de manufactura nacionales. De igual forma caracterizar y seleccionar equipamiento en función de las líneas de ensamble.

Analizaremos el proceso de ensamble utilizando varios modelos y se pretende adaptar un híbrido que sea perfectamente aplicable al contexto de los sistemas de manufactura nacionales.

Se hará un análisis de cada uno de los métodos: ventajas y desventajas para el contexto de la manufactura nacional y se aplicará a un sistema monoproducto para su validación.

1. Introducción

La competencia en el medio industrial es una carrera sin fin. Frente a la exigencia de competitividad (condición de supervivencia), y bajo la presión de sus servicios comerciales, las empresas adoptan políticas de desarrollo continuo de nuevos productos, implicando generalmente una reducción de su vida útil. A nivel de los servicios de ingeniería, estas políticas pasan necesariamente por una modernización del aparato productivo, a su vez

propiciando el cuestionamiento acerca de los métodos utilizados tanto para el diseño de los nuevos productos, como para efectuar las necesarias adecuaciones del aparato productivo.

La enorme dinámica de este sector y la extraordinaria oferta tecnológica de medios de producción dificultan la adopción de métodos apropiados. Donde la simple estrategia de reemplazo del hombre por la máquina, rápidamente ha mostrado sus límites, como lo demuestran múltiples estudios desarrollados principalmente en Europa, en los años ochenta [1].

2. Definiciones:

Un sistema de ensamble se compone generalmente de un flujo de entrada p :

$$\Phi_i^e \quad (i = 1, 2, 3, \dots, p) \quad (1)$$

Cada uno de ellos contiene objetos materiales c_i todos idénticos.

Ello implica también un flujo de salida q :

$$\Phi_j^s \quad (j = 1, 2, 3, \dots, q) \quad (2)$$

Cada uno de ellos contiene igualmente objetos materiales P_j todos idénticos .

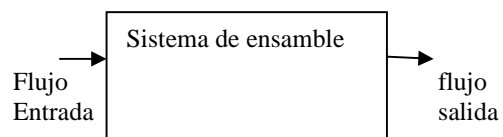


Fig.1 . Modelo general de un sistema de ensamble

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se modelarán (de distinta manera) estos flujos de entradas y salidas para entonces

obtener el modelado y especificación del sistema de ensamble. Los objetos c_i son llamados **componentes elementales** y los objetos P_j **productos finales**.

Estos apelativos son relativos al sistema a estudiar ya que cierto componente elemental puede ser producto final para otro sistema colocado más adelante dentro de las tareas de producción, y ciertos productos finales pueden estar compuestos de componentes elementales por los sistemas colocados más atrás del mismo proceso productivo.

Cada uno de los objetos P_j es el resultado de la integración de todos o de la única parte de los objetos c_i según una estructura predefinida.

La colección de componentes elementales c_i necesarios para la fabricación y el ensamblado de un ejemplar de un objeto P_j constituye el **pre-producto** P_j .

Los objetos que existen en un instante dado y que son descendentes de la metamorfosis sucesiva del producto P_j , a fin de fabricar el producto final P_j representan los **productos intermedios**.

Cada objeto particular es elemento del producto intermedio en un instante dado, y por lo tanto es un **constituyente**; un subensamble es un constituyente que no es ni componente elemental ni un producto final. Las transformaciones aplicadas a un constituyente dado, para aproximarse al producto final son llamadas **operaciones**.

Las operaciones de ensamblado concernientes a la producción de un flujo Φ_j^s son llamados **procesos de ensamble** del producto P_j .

Una gama de ensamble del producto P_j es uno de sus procesos de ensamble para cada una de las operaciones que lo comprenden, los medios encargados de su ejecución no se definen.

El término de "Sistema de Ensamble" es un término genérico utilizado para designar todo sistema que implica una entrada, al menos, un componente elemental y un solo producto final. Las operaciones efectuadas no se limitan a pasos estrictamente en el ensamblado propiamente dicho, y son integrados igualmente de otras operaciones como por ejemplo: el marcado, el envasado, el sellado, etc. Un sistema de ensamble es entonces un conjunto de recursos que permiten la realización de uno o varios procesos de ensamble.

Uno habla de sistemas monoproducción si el nombre del flujo de salida, q es igual a 1. El sistema es multiproducción si $q > 1$. A éste se le llama familia de productos al ensamble de q tipos de objetos provistos en la salida.

3.- Tipologías de operaciones de un proceso de ensamble.

La tipología expuesta aquí fue desarrollada por J.M. Henrioud [2]. En una instalación de ensamblado y en el curso de su funcionamiento, cohabitan un sistema de producción (personas, máquinas, herramientas) y constituyentes (componentes elementales, subensambles, ...).

Sólo las operaciones concernientes directamente con los constituyentes son tomadas en cuenta aquí, y se les llama "operaciones de ensamble". Son así excluidas las operaciones que no conciernen al aparato de producción, reglajes, mantenimiento, cambios de herramientas, etc.).

Todo producto terminado puede ser considerado como una estructura construida a partir de componentes elementales que lo conforman, para el establecimiento progresivo de relaciones que definen su situación en el seno de esta estructura.

Entre estas relaciones, una manera de ver el ensamblado (ensamblaje) que le otorga un significado relevante, es aquella en que estas relaciones implican un contacto permanente intermitente, o temporal entre los componentes que les conciernen, y que son llamados **enlaces geométricos**. Donde para el caso de un producto típicamente se requieren varios enlaces, mismos que son realizados a partir de **operaciones geométricas**.

Frecuentemente, los enlaces geométricos son completados por una energía de cohesión por obra de un procedimiento de solidarización (unión, soldadura, pegadura). El procedimiento empleado requiere sea una aportación de elementos específicos (tornillos, remaches, pegamento, soldadura...) sea una deformación de componentes concernientes (inserción a fuerza, explosión) sea los dos (remachado).

Esta aportación de energía está considerada como realización de un **enlace físico** que bien se superpone a un enlace geométrico y al establecimiento de uno o varios de estos enlaces, y ello se realiza por una **operación física**. Estas dos categorías de operaciones, que presentan un carácter binario y que son específicas del ensamblado son

reagrupadas y son llamadas “operaciones relacionales”.

Existe otra categoría: todo proceso de ensamblado es igualmente susceptible de hacerse intervenir por otra categoría de operaciones: las **operaciones complementarias**, las cuales son de carácter unitario. Ellas se descomponen en dos subclases:

- a) Las operaciones **anexas**, que aportan las modificaciones a un constituyente: limpieza, lubricación, pulido, mecanizado, eliminar rebabas, pulido, etc.
- b) Las operaciones **informativas**, (por ejemplo) para aquellas que verifican la buena ejecución de las operaciones precedentes, o el determinar las operaciones de control de calidad de los diferentes constituyentes del producto en el curso del proceso de ensamblado. Son igualmente clasificadas aquí los reglajes eventuales o la eliminación de constituyentes juzgados no conformes al documento de especificación.

Todas las operaciones definidas justamente aquí, operaciones relacionales y operaciones complementarias, son reagrupadas y son llamadas **operaciones constitutivas**, porque todas ellas contribuyen a la constitución de un **producto final**. Hay que remarcar y este es un punto fundamental, que todas estas operaciones son intrínsecas al producto final y el documento de especificación; ellas son realizadas de una u otra manera y condicionan la definición de procesos de ensamblado. Cada una de ellas se realizan en un lugar bien definido, y esto bajo el entendido de crear una nueva operación de ensamble: las **operaciones logísticas**, que a su vez se componen en:

- 1) Operaciones posicionales, tales que las transferencias de los constituyentes de un lugar a otro con o sin cambio de orientación.
- 2) Operaciones de control, tales como la verificación de la buena ejecución de las operaciones posicionales: detección de presencia de constituyentes y eventualmente la evaluación de la orientación en el seno del sistema de transporte.

Contrariamente a las operaciones constitutivas, las operaciones logísticas dependen

enteramente de la arquitectura del sistema de ensamble definido.

4.- Modelado del producto

Entre los modelos del producto que se puede encontrar dentro de la literatura, existen dos desarrollados en el Laboratorio de Automática de Besancon (Francia), que son complementarios: aquel propuesto en 1984 por A. Bourjalt [3] llamado “**Modelo Funcional**” y el “**Modelo de Operaciones**” de Henrioud [2]. La revisión que se presenta a continuación describe estos dos modelos, los cuales servirán de referencia para describir otros trabajos existentes.

4.1.- Modelado Funcional

4.1.1.- Descripción

Existe un enlace funcional y sólo uno entre dos componentes elementales C_i y C_j de un producto P dado, si existe al menos un enlace mecánico entre estos dos componentes. Estos enlaces funcionales se denotan L_1, L_2, \dots, L_n o más simplemente $1, 2, \dots, n$.

A todo producto P se le puede asociar un grafo no orientado $G = [C, L]$ tal que al conjunto C de su punta corresponde de manera bi-unívoca al conjunto C de los componentes elementales de P; y el conjunto L de sus arcos al conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$ de los enlaces funcionales de P. Por razones de simplificación, los elementos de solidarización (tornillos, tuercas, remaches) no son considerados como constituyentes elementales, pero sí como pertenecientes a los procedimientos (métodos) de solidarización. Un tal grafo G es denominado “**Grafo de las Uniones Funcionales**” es un grafo simple. Existe a lo más una unión funcionales entre dos constituyentes elementales c_i y c_j , y no hay unión j entre si y él mismo.

Una acción funcional (AF) es una acción que se realiza entre dos constituyentes y se representa en un solo enlace funcional.

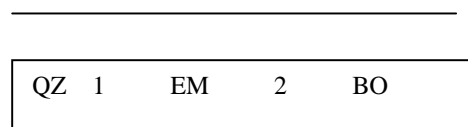


fig. 2. Método del grafo de uniones funcionales (enlace funcional)

4.2.- Modelado Operatorio

Este modelado comprende por separado:

- La estructura del producto, definida a partir del conjunto de los constituyentes elementales y de los enlaces geométricos.
- Las características físicas complementarias (anexas e informacionales).

La estructura del producto es modelada por un grafo definido por el conjunto C de sus componentes elementales y del conjunto T de sus enlaces geométricos. El grafo obtenido se denota $G = [C, T]$, es formalmente idéntico al grafo de enlaces funcionales, solo las etiquetas de los arcos son diferentes. Se trata igualmente de un grafo no orientado y sin bucle.

Las características físicas y complementarias son modeladas respectivamente por dos aplicaciones f y g, definidas de la manera siguiente:

+ Para las características físicas

Para todo producto constituido de un conjunto C de constituyentes se denota \sum al conjunto de sus características físicas. Este conjunto se determina al momento del análisis inicial del producto.

La aplicación f:

$$f : \sum \text{---} P(C) \quad (3)$$

conjunto de las partes de C

+ Para las características complementarias

Para todo producto constituido de un conjunto C de componentes, se denota Δ al conjunto de sus características complementarias a realizar. Una característica complementaria puede concernir un constituyente elemental (aislado) o un subconjunto; un subensamble está caracterizado de la siguiente manera:

- De los componentes que lo constituyen, elementos de P(C).
- De los enlaces geométricos debiendo necesariamente existir entre esos componentes, y eventualmente las características complementarias o físicas ya realizadas, elementos de:

$$P(T X: \sum \cup \Delta) \quad (4)$$

La aplicación g:

$$g : \Delta \text{---} P(C) X P(T X: \sum \cup \Delta) \quad (5)$$

Permite definir cuáles son los elementos de producto directa o indirectamente concernientes para cada característica complementaria.

4.3.- Representación de características no geométricas para los vértices.

Los investigadores del Charles Stara Draper Laboratory (C. S. D. L.) representan la metodología propuesta por A. Bourjault en amplio; el modelo funcional en definitivo para cada producto un grafo en el cual el vértice sea un componente elemental, sea una característica no geométrica, tal que:

y es una arista entre dos vértices :X, Y , sea :

- X, Y son dos componentes elementales entre los cuales existe un enlace, concepto equivalente a los de enlace geométrico del modelo de operación.
- X es una característica no geométrica, Y sea otra característica no geométrica que sea un componente elemental, directamente concerniente para la operación X.

Esta modelación permite efectivamente tomar en cuenta todas las características constitutivas; sin embargo no siempre es simple el decidir en cual vértice está unido un carácter complementario, si la elección está demasiado restringida el grafo está algunas veces poco explícito en caso contrario es muy rápido observar debido a su legibilidad.

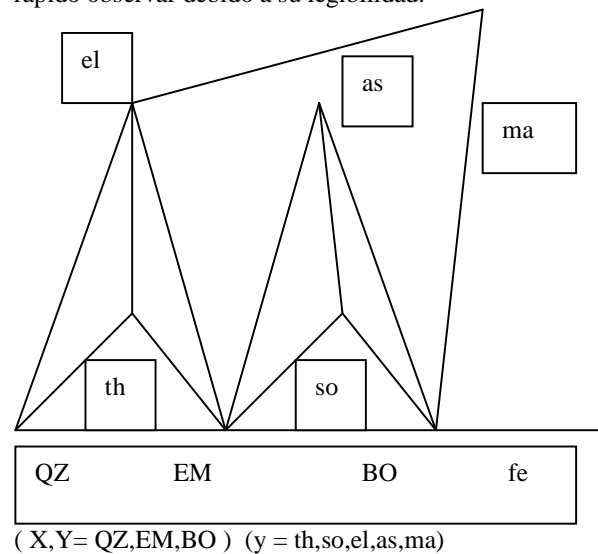


fig. 3.Método C.S.D. L.

4.4.- Representación de características no geométricas por las aristas.

M. Meunier [1] propuso modelar todo producto a ensamblar por un grafo, en el cual los vértices representan los componentes elementales, y las aristas las características constitutivas:

- De las aristas simples para los enlaces geométricos.
- De las aristas etiquetadas por el procedimiento de solidarización correspondiente para los enlaces físicos.
- De los rizos (curvas) etiquetados por la característica asociada para las características complementarias relativas a los componentes elementales.

En el momento que un producto consta de las características complementarias relativas a los subensambles, esta representación no permite el paso de tomarlos en cuenta, por esto ello es reemplazado por una organización jerarquizada.

Cada subensamble al cual se le aplica una característica constitutiva está considerada como un "hipercomponente"; y el producto, como un ensamblado de estos hipercomponentes y de los componentes elementales no pertenecientes a ninguno de ellos. Así es posible definir un grafo a partir de estos nuevos constituyentes del producto. A este grafo se le conoce como grafo de composición nivel 0.

Cada hipercomponente esta en el producto final como él mismo, por esto se dice que es un gráfico único, así pues es de nivel 1 para la nueva estructura de de grafo jerarquizados (niveles 1, 2, 3...n). Este modelo ofrece la ventaja de ser coherente en este sentido que cada grafo de composición, los vértices representan los constituyentes y las aristas las características del producto, así entonces se observa que las operaciones de adelante están realizadas. Falta remarcar que este tipo de modelado inducido de la elección que condicionan parcialmente los procesos de ensamble resultantes, puesto que los hipercomponentes son supuestos totalmente ensamblados adelante, antes de estar integrados al producto; por lo que es importante el definirlos con cuidado.

4.5.- Modelo de L.S. Homem de Mello

Este modelo es desarrollado por L.S. Homem de Mello [4]. El tomó en cuenta tres tipos de características del producto:

- Los componentes elementales.
- Los contactos entre estos componentes elementales.
- Las características físicas.

Estas entidades y sus relaciones proveen ciertos atributos. El modelado de un producto puede ser formalizado por una quintupla $[P, C, A, R, a]$ donde:

P – es un conjunto de nodos representando los componentes elementales del producto.

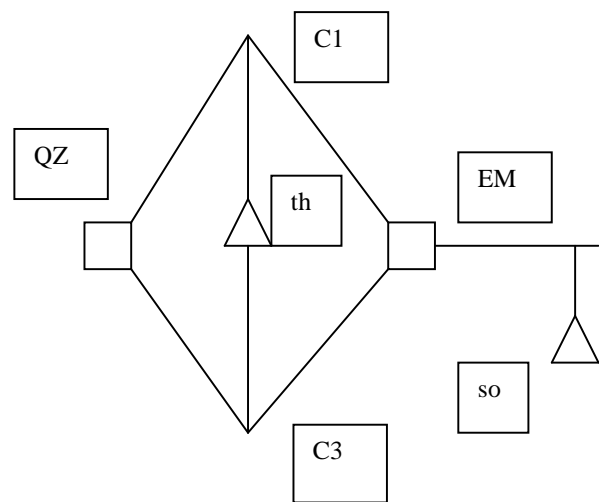
C - es un conjunto de nodos correspondientes a los contactos que existen entre los componentes elementales.

A - es un conjunto de vértices que representan las características físicas del producto.

R - es un conjunto de aristas en el ensamble de los vértices compuestos de $P \cup C \cup A$ que representan las relaciones entre las características del producto.

a - es un conjunto de funciones que asocian a un subensamble dado de $P \cup C \cup A \cup R$ la asociación de un conjunto de características, como por ejemplo el tipo de un carácter físico, las entidades aportadas en relación por una arista, o la forma de un componente elemental.

Esta representación nos conducirá a un modelo intermedio entre los desarrollados por J.M. Henrioud y los desarrollados en el C. S. D. L.



$P = \{QZ, EM, BO\}$ $C = \{c1, c2\}$ $A = \{th, so\}$ $R =$
 "rombo de la figura"
 $a =$ todo el gráfico

Fig. 4. Método de L.S. Homem de Mello

5.- Modelado del proceso

Existen diferentes maneras de representar los diferentes procesos de ensamblado de un producto dado. Estas diferentes representaciones inducen diferentes ventajas y diferentes inconvenientes.

Una representación rigurosa y no redundante de los diferentes procesos de ensamblado de un producto pasa en muchos trabajos de investigación por la utilización de Redes de De Petri.

5. Análisis de resultados

Se aplicará estos modelos para representar los procesos de manufactura automatizada para el ensamble del área de productos electrónicos y automotrices, ya que este tipo de productos se maquilan en la región de la frontera norte del país y potencialmente es un área propicia para obtener resultados en la investigación propuesta.

6. Conclusiones

El modelado de operaciones es un subconjunto del modelado funcional. Con ella, los únicos modelos capaces de describir correctamente todo el producto (inclusive sus características complementarias) son del C.S.D. L y de M. Meunier. La representación desarrollada en el C.S.D. L. no solo es una representación única de una parte y no es homogénea de otra parte (las puntas de las gráficas resultantes representan los componentes elementales del producto, sus características físicas o complementarias).

La representación propuesta por M.Meunier tiene la ventaja de homogenizar la representación que se deriva, esto no implica más una representación única e induce dos estrategias de ensamble diferentes según la representación de producto que uno elija.

A pesar del hecho que el modelado operatorio no incluye conocimiento de la geometría de los componentes del producto, ni en su posicionamiento relativo, parece sin embargo ser la herramienta de modelado más completa y la más flexible entre todos los mencionados aquí. En consecuencia es el modelado operatorio el más usado. Se pretende implementar un híbrido de estos modelos, para poder aplicarlos al contexto de la manufactura nacional, éste se desarrollará durante el transcurso de la investigación correspondiente a la tesis en curso para alcanzar el grado.

Referencias

- [1] Meunier,M. “*Elementos metodológicos para la concepción de sistemas flexibles de ensamblado*”,Univ. Franche-Comté,1989.
- [2] Henrioud,J. “*Contribución a la conceptualización del ensamblado automatizado*”,Univ. Franche-Comté,1989.
- [3] Bourjalt, A. “*Diseño metodológico para sistemas flexibles*”,Proceedings of the 20 th Internacional Symposium on Industrial Robots (ISIR).Tokio,Japón,1989.
- [4] Homem de Mello,L. “*Task sequence planning for robotic assembly*”, CMU, Pittsburgh, Pennsylvania,1989.