

Sistemas de Manufactura Reconfigurables: Modularidad y Convertibilidad en una Línea de Producción

Carlos R. Waldo-Reyes, M.C.¹ y Armando González-Alarcón, M.C.²
^{1,2} CIATEQ, A.C., México, carlos.waldo@outlook.com, armgonzalez28@gmail.com

Resumen— El presente trabajo expone un enfoque sobre los sistemas de manufactura reconfigurables así como sus principales características. Debido a que cualquier cambio en los sistemas de producción generan altas inversiones y tiempos largos de entrega, se propone considerar dos aspectos de gran impacto para un sistema reconfigurable: la modularidad y convertibilidad.

Palabras clave—Sistemas de manufactura, Reconfiguración, Electrodomésticos, Modularidad, Convertibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La alta competitividad y demanda de nuevos productos en la industria de los electrodomésticos, ha hecho que se tengan que realizar cambios en la forma de diseñar y planificar los sistemas de manufactura. Tradicionalmente estos sistemas están dominados por los sistemas dedicados y flexibles [1], los cuales son poco adecuados para cumplir con los requisitos del nuevo entorno competitivo. En respuesta a estas limitaciones, los sistemas de manufactura reconfigurables (SMR) se han propuesto como una alternativa para ajustar la capacidad productiva y funcionalidad de forma rápida, como respuesta a los repentinos cambios del mercado [2].

II. SISTEMAS DE MANUFACTURA RECONFIGURABLES

El concepto SMR es uno de los paradigmas de fabricación más avanzados especialmente en la reducción de tiempo y costo para iniciar y modificar un sistema de manufactura. También llamado sistema de manufactura modular, permite tanto flexibilidad en el producto como cambios en el sistema. Los SMR se distinguen por sus 6 características fundamentales [2,3,4]:

1. Modularidad: Todos los componentes del sistema, tanto de software como de hardware, deben ser modulares.
2. Integrabilidad: Los módulos deben tener la capacidad de integrarse de forma rápida y precisa por un conjunto de interfaces mecánicas y de control
3. Personalización: La capacidad del sistema debe adaptarse a una flexibilidad personalizada para dar respuesta a los nuevos requerimientos dentro de una familia de productos similares.
4. Convertibilidad: Los sistemas existentes deben poder transformarse y adaptarse fácilmente para futuros productos.
5. Diagnosticabilidad: Se debe ser capaz de leer automáticamente el estado actual de un sistema con el fin de detectar y diagnosticar la causa raíz de defectos y corregirlos rápidamente.

6. Escalabilidad: El sistema debe tener la habilidad de cambiar su capacidad de producción fácilmente mediante la recolocación o cambio de componentes.

Para reducir el tiempo y esfuerzo de reconfiguración, la modularidad, integrabilidad y diagnosticabilidad son los factores clave. Mientras que la convertibilidad, personalización y escalabilidad reducen los costos de operación [5]. Si un sistema posee todas estas características, entonces tendrá un alto nivel de reconfiguración. Siendo la modularidad y convertibilidad, aspectos fundamentales de la reconfiguración, es imperativo establecer una descripción para la evaluación de tales parámetros.

A. Modularidad

Para determinar el índice de modularidad de valores singulares (SMI) [6] se tiene que

$$SMI \left(\sum DSM \right) = 1 - \frac{1}{N \times \sigma_1} \sum_{i=1}^{N-1} \sigma_i (\sigma_i - \sigma_{i+1}), \quad (1)$$

donde σ_i es la descomposición de valores singulares de la matriz de estructura de diseño (DSM) del tipo binario en el que “1” refiere a los componentes que están directamente conectados y “0” a los componentes que no están conectados.

B. Convertibilidad

La convertibilidad del sistema [7] incluye una serie de contribuciones que se asignan juntos para una evaluación global de la convertibilidad intrínseca del sistema. Estos están determinados por la configuración C_C , la máquina C_M y el manejo de materiales C_H en una escala de 1-10 de la forma

$$C_s = w_1 C_C + w_2 C_M + w_3 C_H. \quad (2)$$

Los valores de preferencia w_1 , w_2 y w_3 son ajustables de tal manera que $\sum w_i = 1$. Para evaluar el parámetro de configuración se tiene que

$$C_c = \frac{RX}{I}, \quad (3)$$

donde I refiere al incremento mínimo de conversión, R indica las conexiones de enrutamiento y X corresponde al número mínimo de máquinas replicadas. Para indicar el valor en una escala de 1-10, se normaliza (3) mediante la siguiente transformación logarítmica:

$$C_{C-Normalizado} = 1 + \frac{\log \left(\frac{C_c}{C_{C,serie}} \right)}{\log \left(\frac{C_{C,paralelo}}{C_{C,serie}} \right) \times \frac{1}{9}}. \quad (4)$$

En el caso de la convertibilidad de la máquina C_M y del manejo de materiales C_H se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$C_M = \frac{\sum_{i=1}^N C'_M}{N} \quad \text{y} \quad C_H = \frac{\sum_{i=1}^M C'_H}{M}, \quad (5)$$

donde C'_M y C'_H corresponden a una serie de evaluaciones individuales [7] de cada máquina o elemento.

III. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es una línea de producción correspondiente a una empresa dedicada a la fabricación de electrodomésticos. En la planta de refrigeración se tiene una línea con una capacidad de 63 unidades/hora. La distribución está constituida por el área de fabricación de gabinetes/puertas, termoformado de liners/forros, espumado de gabinetes/puertas, ensamble, accesorios y empaque. En la figura 1 se muestra la representación esquemática de la línea con base en las conexiones del flujo de material entre las estaciones y maquinarias.

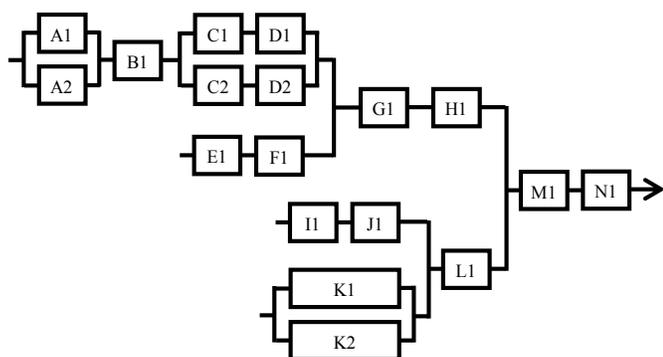


Fig. 1. Representación esquemática de la línea de producción para refrigeradores

TABLA I
MATRIZ DE ESTRUCTURA DE DISEÑO

| | A | A | B | C | C | D | D | E | F | G | H | I | J | K | K | L | M | N |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| A1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| I1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| K1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| K2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| N1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

La identificación de cada elemento del sistema permite la elaboración de un DSM (Tabla I), con el cual se determina los valores singulares (Tabla II). Con base en los valores singulares se emplea la expresión (1) a lo que resulta un $SMI = 0.92$.

TABLA II
DESCOMPOSICIÓN DE VALORES SINGULARES

| | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\sigma_1 = 2.42$ | $\sigma_2 = 2.42$ | $\sigma_3 = 2.19$ | $\sigma_4 = 2.19$ | $\sigma_5 = 1.86$ | $\sigma_6 = 1.86$ |
| $\sigma_7 = 1.19$ | $\sigma_8 = 1.19$ | $\sigma_9 = 1$ | $\sigma_{10} = 1$ | $\sigma_{11} = 0.88$ | $\sigma_{12} = 0.88$ |
| $\sigma_{13} = 0.72$ | $\sigma_{14} = 0.72$ | $\sigma_{15} = 0.26$ | $\sigma_{16} = 0.26$ | $\sigma_{17} = 0$ | $\sigma_{18} = 0$ |

Para el caso de la convertibilidad del sistema se determinaron las contribuciones de C_C , C_M y C_H siendo estos de 7.69, 2.61 y 6.67 respectivamente. Teniendo en cuenta la preferencia $w = \frac{1}{3} \forall C_C, C_M, C_H$, la convertibilidad del sistema es $C_s = 5.66$.

IV. CONCLUSIONES

La creciente demanda de nuevos productos así como la alta competitividad son algunos de los retos a los que se enfrenta hoy en día las empresas manufactureras. Los sistemas de manufactura reconfigurables es un nuevo concepto que puede hacer frente a las condiciones cambiantes del mercado.

El presente trabajo se expuso un caso de estudio donde el enfoque principal fue la evaluación de la modularidad y convertibilidad de una línea de producción. A pesar que el sistema presentó un alto nivel de modularidad, es fundamental considerar todos los elementos del sistema así como todos los medios de conexión posibles. Por otro lado, el bajo nivel de convertibilidad indica que el sistema no es capaz de ajustarse ante un nuevo cambio. Esto reafirma el estado actual de la línea para la introducción de un nuevo producto, lo cual resulta inconveniente por las altas inversiones que se deben considerar.

Dentro de este análisis, se observó que tanto la modularidad como la convertibilidad son aspectos de gran importancia en un sistema reconfigurable. Sin embargo, junto con las demás características distintivas es fundamental considerarlas en las primeras etapas del diseño, ya que cualquier cambio será lento, impráctico y costoso.

AGRADECIMIENTOS

C.R.W.R agradece a Mabe, a CIATEQ A.C, a A.G.A. y al Dr. Margarito Martínez Cruz.

REFERENCIAS

- [1] Koren Y. General RMS characteristics. Comparison with dedicated and flexible systems. Reconfigurable manufacturing systems and transformable factories, vol. I. Springer; 2006. p. 27–45.
- [2] Koren Y, Heisel U, Jovane F, Moriwaki T, Pritschow G, Ulsoy G, Brussel H (1999) Reconfigurable manufacturing systems. Ann CIRP 48:527–540.
- [3] Mehrabi MG, Ulsoy AG, Koren Y (2000) Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing. J Intell Manuf 11:403–419.
- [4] Singh A, Kumar P, Singh S (2013) Vision, Principles and Impact of Reconfigurable Manufacturing System. Int J Eng Adv Technol 3(1):2249–8958.
- [5] Hees A, Reinhart G (2015) Approach for production planning in reconfigurable manufacturing systems. Proc CIRP 33:70–75.
- [6] Holta K, Suh ES, Weck O (2005) Tradeoff between modularity and performance for engineered systems and products. I Conf Eng Des 15–18.
- [7] Maier-Sperdelozzi V, Koren Y, Hu SJ (2003) Convertibility measures for manufacturing systems. CIRP Ann Manuf Technol 52(1):367–371.