



# Impacto del Diseño para Cambios Rápidos (DFC) en la Manufactura Moderna

Vega Yuridia<sup>1,2</sup>, Romero López Roberto<sup>2</sup>, Juárez Mendoza Marco Antonio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California.

[vegay@uabc.edu.mx](mailto:vegay@uabc.edu.mx), [juarez@uabc.edu.mx](mailto:juarez@uabc.edu.mx)

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. [al164656@alumnos.uacj.mx](mailto:al164656@alumnos.uacj.mx), [romero@uacj.mx](mailto:romero@uacj.mx)

**Autor de Correspondencia:** Yuridia Vega, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd. Universitario 1000. Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California. C.P. 21500. Correo electrónico: [vegay@uabc.edu.mx](mailto:vegay@uabc.edu.mx). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-9655>.

**Resumen.** - *El avance de las tecnologías en la industria de la manufactura, así como la necesidad de contar con procesos más rápidos y eficientes que brinden un mejor desempeño en la calidad, mejores tiempos de respuesta, flexibilidad y rentabilidad, es un tema importante en la manufactura de clase mundial. Estos indicadores son claves para que una empresa pueda mantenerse en la competitividad de los mercados, que exige una alta diversidad en productos y de volúmenes de producción. En este sentido, uno de los factores claves que contribuye a que un proceso sea más rápido y eficiente, son los tiempos de preparación o de cambio que se dan entre un producto y otro en el proceso de fabricación; aunque existen herramientas de Lean Manufacturing enfocadas a acortar estos tiempos, se ha demostrado que, con el uso de la metodología "Design for Changeover" (DFC), la cual considera estos cambios desde el diseño del equipo, se pueden abatir en gran medida los tiempos de cambio e impactar de manera positiva la flexibilidad y fabricación de lotes pequeños. En este trabajo, se analiza la literatura existente del DFC y el impacto que ha tenido, así como los factores que han intervenido, al fin de aportar un marco de referencia a las industrias interesadas en acortar los tiempos de cambio en sus procesos productivos.*

**Palabras clave:** *Diseño para cambios, DFC, manufactura flexible, cambios rápidos, Cambio de modelo, Diseño de equipo.*

**Abstract.** - *The progress of technologies in the manufacturing industry and the need for faster and more efficient processes that provide better quality performance, better response times, flexibility and cost-effectiveness is an important issue in world-class manufacturing. These indicators are key issues for a company to remain competitive in the markets, which requires a high diversity in products and production volumes. In this sense, one of the key factors that contribute to a faster and more efficient process, are the times of preparation or change that occur between one product and another in the manufacturing process. Although there are Lean Manufacturing tools aimed at shortening these times, it has been demonstrated that, with the use of the "Design for Changeover" (DFC) methodology, which considers these changes from the design of the equipment, times of change can be reduced and increase positively impact the flexibility and manufacturing of small lots. In this paper, we analyze the existing literature of the DFC and show the impact that has had, as well as the factors that have intervened, in order to provide a frame of reference to the industries interested in shortening their times of change in their production processes.*

**Keywords:** *Design for Changeover, DFC, manufacturing flexibility, Rapid changeover, Changeover, Equipment design.*



## 1. Introducción

En los últimos años las industrias se han preocupado por abastecer las necesidades de bienes y servicios del mercado que les permitan posicionarse como empresas competitivas y globalizadas [1]. Esto implica ofrecer una alta calidad, así como precios competitivos en los productos ofertados, siendo en muchas ocasiones, las demandas de los clientes de bajo volumen de producción, alta variedad de productos y tiempos de entrega cortos [2], por lo que ha sido necesario utilizar internamente estrategias de manufactura que permitan hacer mejor uso de los recursos, tener mayor flexibilidad en sus procesos productivos y enfocarse en proyectos de mejora, que impacten en la reducción de costos de fabricación [3]. En este sentido, las organizaciones han aumentado sus esfuerzos por mejorar la eficiencia de los equipos de producción para responder a estas necesidades [4]. Cousens [5], menciona que si los tiempos de cambios son más cortos, mayor será la flexibilidad de producción haciendo más fácil el cumplimiento de las necesidades de los clientes; por lo tanto, un cambio de modelo (*Changeover*) eficiente permite aumentar la flexibilidad de producción, beneficiando la fabricación de lotes pequeños y variación de productos [6,7].

## 2. Metodología

Se analiza la definición e importancia de los cambios de modelo (*Changeover*) en los procesos de fabricación y los factores y beneficios que tiene la metodología de diseño para cambios de modelo (*Design for Changeover, DFC*), en las industrias modernas para acortar los tiempos de cambios.

### 2.1 Cambio de modelo

En un proceso productivo se identifican dos tipos de tiempos: uno es el tiempo que se tarda la fabricación de un producto (tiempo productivo de la máquina) y, el segundo, es el tiempo en que la máquina se encuentra parada por descansos de producción, averías o por cambio de modelo, los cuales no le añaden valor al producto y entre más largos sean más costoso son para la empresa [8]; en su trabajo Chabowski presenta un análisis de Pareto de las principales causas por las cuales una línea de producción no está disponible, resultando con un 37 % que son debido a cambios de productos [9]. Pero, ¿qué es un cambio de modelo en un proceso de fabricación?, Reik (2006), lo define como el “*Conjunto de actividades necesarias para establecer y/o ajustar ciertos elementos correctamente al equipo de fabricación, con el fin de producir un nuevo producto en la calidad y velocidad de salida deseada*” [10].

En la figura 1, se explica el proceso de cambios de modelo menciona que inicia cuando se termina la fabricación del producto A y la tasa de producción descende hasta el nivel cero, una vez los equipos se han detenido por completo se desarrolla el periodo de ajuste (*set-up*), periodo en el cual se instalan todos los accesorios y aditamentos requeridos para fabricar el producto B, después cuando están listos todos los ajustes se da inicio al periodo de arranque (*run-up*), el cual se prolonga hasta que las tasas de velocidad y calidad son alcanzadas nuevamente [11-13]. Las pérdidas de producción ocasionadas durante el periodo de ajuste (*set-up*) y el periodo de arranque (*run-up*), impactan en la tasa de producción y la calidad de los productos [14].

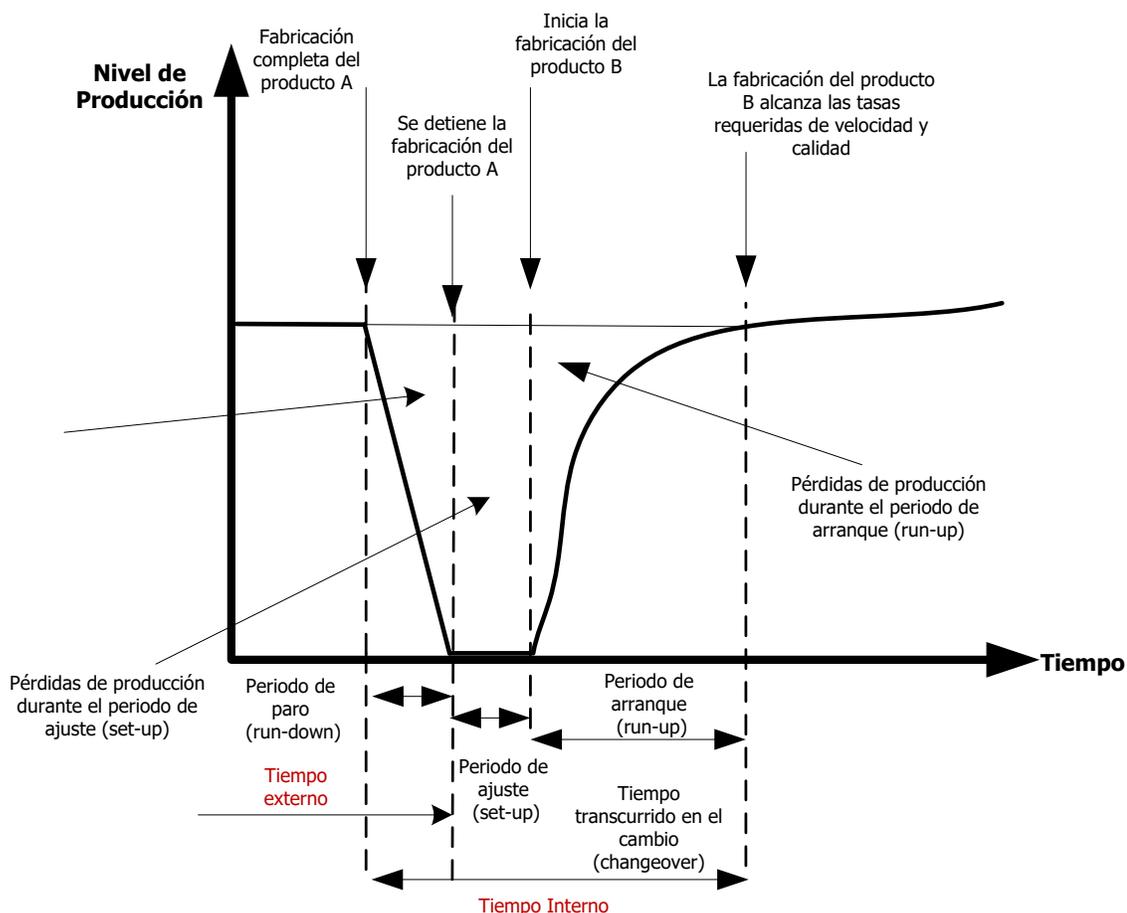


Figura 1. Componentes de un cambio de modelo [17].

Por lo anterior, los cambios rápidos son un importante componente de la manufactura moderna [15, 16], pudiendo reducir los tiempos por medio de dos formas: una mediante el despliegue de estrategias de mejora continua en el sistema existente y la segunda mediante el diseño e implementación de nuevos sistemas [17], el segundo obteniéndose mediante la metodología de diseño para el cambio “*Design for Changeover*”(DFC).

### 2.2 Diseño para el cambio (DFC)

DFC es una metodología genérica para diseñar equipo de fabricación flexible y sensible, que proporciona una guía para los fabricantes de equipos originales (“*Original Equipment Manufacturer*”, OEM), con el fin de mejorar la capacidad de cambio

desde la etapa de diseño [18], reduciendo el esfuerzo físico, los ajustes, y la variabilidad de los cambios [17]. Fue desarrollada por profesores de la Universidad de Bath en Inglaterra [19].

Existen trabajos que demuestran que cuando las mejoras se realizan desde la etapa de diseño son más fáciles de sostener debido a la práctica que genera en los operadores y porque simplifica los procedimientos de las actividades de cambio. La aplicación del DFC, impacta en el diseño del producto, de maquinaria, herramientas y en los sistemas de producción [17], lo que permite ser más flexibles a las necesidades del mercado.

En la figura 2, de Hicks (2010), analiza la calidad, eficiencia y flexibilidad como factores importantes para la capacidad de fabricación y que están



fuertemente interrelacionadas en el sistema, también muestra la influencia de las personas, practicas, productos y procesos, así como las metodologías y

herramientas para logran con éxito los resultados de la organización [20], mostrando el DFC como una herramienta importante para los cambios rápidos.

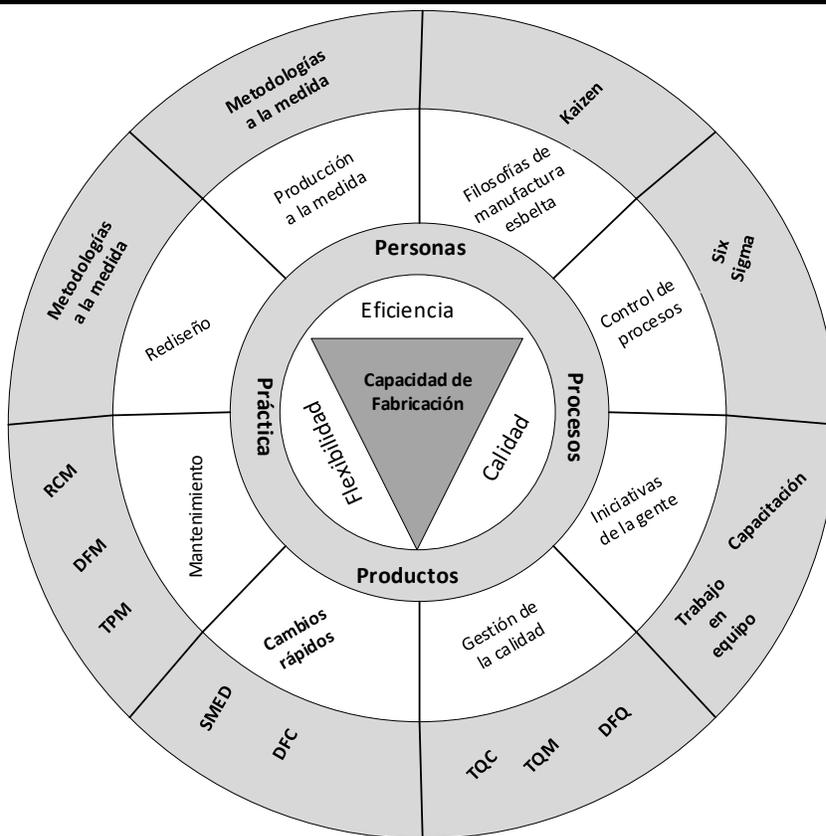


Figura 2. Capacidad de fabricación, métodos y herramientas [20].

### 3. Resultados

En la tabla 1, se muestran los principales trabajos que aportan reglas y procedimientos para apoyar a los diseñadores a diseñar equipos y/o procesos de fabricación con un enfoque a la reducción del tiempo de cambio y, a su vez, apoyar a la flexibilidad y variación de producción.



**Tabla 1.** Principales aportaciones para la metodología de diseño de equipo (DFC).

AUTOR	APORTACIÓN
<b>Mcintosh</b> [14]	Se muestran las ventajas del diseño en las actividades de mejora continua, aseguran que cuando las mejoras se basan en el diseño se vuelven más sostenibles para las empresas.
<b>Mileham</b> [17]	Se establecen reglas para el cambio desde la etapa de diseño, aplicables en el diseño de nuevos equipos o mejora continua de los existentes.
<b>McIntosh</b> [21]	Se discuten los roles y ejemplo para mejora de los cambios, así como el rendimiento de mantenimiento.
<b>Van Goubergen</b> [4]	Se adaptaron las reglas de diseño propuestas por Mileham, se suman cuestiones organizacionales, del personal y procedimientos.
<b>Mileham</b> [22]	Presenta reglas de diseño y las diferencias con los fabricantes de equipos originales (OEMs) y profesionales de mejoras retrospectivas.
<b>Reik</b> [23]	Conceptos básicos para una metodología formal de DFC, oportunidades de mejora en un marco de personas, prácticas, procesos y productos.
<b>Reik</b> [18]	Aporta una metodología de 9 pasos para los diseñadores de equipo, al fin de desarrollar procesos más flexibles y sensibles al cambio desde la etapa de diseño.
<b>Reik,</b> [19]	Se muestran los beneficios de integrar en conjunto el diseño del producto y del proceso de fabricación.
<b>Hicks</b> [24]	En su trabajo analiza las limitaciones y éxito que tienen las herramientas de mejora de sistemas de fabricación, clasificando al DFC, como una herramienta de calidad de diseño y de diseño de herramientas y cambios.
<b>Owen</b> [25]	Muestra un esquema sistemático de la metodología DFC, se emplean índices de 0-100 para dirigir los esfuerzos del diseño.
<b>Schreuder</b> [26]	Analiza los factores que impactan en los tiempos de cambios y la flexibilidad de una línea de envasado de cerveza, clasificándolos en factores de producción, de planeación y de herramientas de manufactura.
<b>Thomas G</b> [27]	Analiza los métodos que favorecen a la Reconfiguración de Sistemas de Montaje (RAS), menciona que el DFC es una herramienta eficaz para la flexibilidad y arquitectura del sistema. Una de las desventajas es que el método debe ser aplicado con otras herramientas de mejora.
<b>Pathak</b> [28]	Desarrolla un conjunto de requerimientos para la mejora sostenible en los procesos, destacando para el DFC; contar con una perspectiva funcional, comprensión de la metodología, las reglas del diseño, identificar los factores del proceso y si es posible contar con la eficacia del mismo.
<b>G. Götz</b> [29]	Establece los conceptos de diseño para el incremento del formato y flexibilidad en los productos y procesos.

Vemos que existen trabajos que proporcionan una guía para los diseñadores de equipos que facilitan la capacidad de cambio, pero aun hacen falta metodologías más claras y específicas [19, 23, 25, 29], con evidencias del impacto que tiene su aplicación en los procesos de fabricación. Entre los principales factores que mencionan en sus trabajos los autores de la tabla 1, podemos conjugarlos en factores técnicos y factores organizacionales.



**Tabla 2.** Factores organizacionales y técnicos a considerar en el diseño de equipo.

ORGANIZACIONALES	TÉCNICAS
*Variedad de productos ofrecidos al mercado.	*Automatización de equipo.
*Liderazgo y compromiso.	*Incluir el uso de dispositivos automáticos y de activación remota.
*Objetivos de la compañía.	*Mantenimiento del equipo.
*Indicadores de desempeño (operativos y organizaciones).	*Uso de materiales y ligeros.
*Costo/beneficio del diseño.	*Reducir el número de máquinas.
*Impacto de la mejora.	*Eliminar piezas completas.
*Equipo consultor de diseño.	*Conexiones de liberación rápida.
*Diseño y cultura organizacional.	*Reducir el uso de herramientas manuales.
*Motivación del personal.	*Eliminar la necesidad de utilizar herramientas.
*Tiempo y esfuerzo para lograr la mejora.	*Estandarizar las características de las piezas de cambio.
*Control de cambios de ingeniería.	*Estandarizar los elementos de unión.
*Disminuir y alternar tareas.	*Errajes.
*Aspirar a la ejecución de una sola persona a las tareas.	* Motores eléctricos.
*Instrucciones claras.	*Predicción de las piezas.
*Personal capacitado.	*Equipo de monitoreo.
*Flexibilidad de los operadores.	*Equipos tolerantes a la variación.
	* Sistemas a prueba y error.
	*Eliminación de la necesidad de ajuste.
	*Mejorar el acceso a las piezas de cambio.

Algunos beneficios que ha traído la implementación de la metodología DFC en la industria se mencionan a continuación: Mileham (1999) presenta una reducción del tiempo de cambio en un 50 % y un aumento de 500 K euros al año [17]. Owen (2011) logró una reducción del tiempo de cambio de más de 25 min a menos de 5 min, con un retorno de la inversión en aproximadamente 7 meses [25]. Chabowski (2016) con una modificación en el diseño, logró acortar los tiempos de cambios de una línea de producción en un 40 %, el ciclo de producción en un 32 % y un aumento en la disponibilidad de la línea de 84.81 % a 86.06 % [9]. Como se puede apreciar, las empresas están preocupadas por sus procesos productivos, ya que se requieren de sistemas de fabricación flexibles que les permiten adaptarse rápidamente a los cambios y necesidades variadas del mercado, por ello, hacen un esfuerzo por mejorar la eficiencia de los procesos de producción para responder a estas necesidades [4]. Por lo tanto, un cambio de modelo (Changeover) eficiente permite aumentar la flexibilidad de producción, beneficiando la fabricación de lotes pequeños y variación de productos con la calidad requerida [7]. Esto se logra a través de la implementación y seguimiento de metodologías de manufactura [24].

#### 4. Conclusiones

Después de la revisión de la literatura existente en relación a la metodología “*Design for Changeover*” -DFC-, los autores coinciden en la necesidad de contar con metodologías enfocadas al diseño de equipos flexibles y adaptados a cambios continuos del sector industrial, al brindar herramientas a los diseñadores sobre las necesidades e importancia de diseñar tomando en cuenta la reducción del tiempo de cambio, que contribuyan en los objetivos primordiales de la fabricación moderna, que es la fabricación de lotes pequeños y la reducción de costos asociados a los cambios de modelo, en un siguiente trabajo se pretende ampliar las variables y los factores que intervienen en los cambios rápidos.

#### Referencias

- [1] S. Shinde, S. Jahagirdar, S. Sane, and V. Karandikar, “Set-up time Reduction of a Manufacturing Line using SMED Technique,” *Int. J. Adv. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 50–53, 2016.
- [2] A. Azizi and T. a/p Manoharan, “Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study,” *Procedia Manuf.*, vol. 2, pp. 153–158, 2015.
- [3] E. S. M. da Costa, R. M. Sousa, S. Bragança, and A. C. Alves, “An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools,” *4th Int. Conf. Integrity, Reliab. Fail. Mech. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [4] D. Van Goubergen and H. Van Landeghem, “Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 18, no. 3, pp. 205–214, 2002.
- [5] A. Cousens, M. Szwajczewski, and M. Sweeney, “A process for managing manufacturing flexibility,” *Int. J. Oper.*



- Prod. Manag.*, vol. 29, no. 4, 2009.
- [6] K. Ulrich, "The role of product architecture in the manufacturing firm," *Res. Policy*, vol. 24, no. 3, pp. 419–440, 1995.
- [7] A. Cousins, M. Szwajkowski, and M. Sweeney, "A process for managing manufacturing flexibility," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 29, no. 4, pp. 357–385, 2009.
- [8] F. E. Carbonell, "Técnica smed. reducción del tiempo de preparación," *3 Ciencias*, pp. 1–11, 2013.
- [9] P. Chabowski, P. Rewers, and J. Trojanowska, "Impact of shortening changeover times on manufacturing flexibility," pp. 1–7, 2016.
- [10] M. P. Reik, R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "A formal design for changeover methodology. Part 1: theory and background," 2006.
- [11] A. C. Phan, A. B. Abdallah, and Y. Matsui, "Quality management practices and competitive performance: Empirical evidence from Japanese manufacturing companies," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 133, no. 2, pp. 518–529, 2011.
- [12] J. P. Pinto, "Lean Thinking - Introdução ao pensamento magro," *Comunidade Lean Think.*, pp. 159–163, 2008.
- [13] P. T. Preenen, R. Vergeer, K. Kraan, and S. Dhondt, "Labour productivity and innovation performance: The importance of internal labour flexibility practices," *Econ. Ind. Democr.*, p. 0143831X15572836-, 2015.
- [14] R. McIntosh, S. Culley, G. Gest, T. Mileham, and G. Owen, "An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance," vol. 16, no. 9, pp. 5–22, 1996.
- [15] M. Sugai and V. Omizolo, "Proposta de um modelo para classificação da fase pós setup conforme características do período de aceleração," 1992.
- [16] S. Patel, B. G. Dale, and P. Shaw, "Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing," *TQM Mag.*, vol. 13, no. 3, pp. 175–179, 2001.
- [17] R. I. Mileham, A.R., Culley, G.W., Owen, G.W., and McIntosh, "Rapid changeover - a pre-requisite for responsive manufacture," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 19, no. 8, pp. 785–96, 1999.
- [18] M. P. Reik, R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "A formal design for changeover methodology. Part 2: theory and background," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 8, pp. 1225–1235, 2006.
- [19] M. Reik, G. Owen, S. Cully, R. McIntosh, and T. Mileham, "Integrating product and manufacturing systems design to minimize changeover losses," *Iced 07*, no. August, pp. 1–9, 2007.
- [20] B. J. Hicks and J. Matthews, "The barriers to realising sustainable process improvement: A root cause analysis of paradigms for manufacturing systems improvement," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 23, no. 7, pp. 585–602, 2010.
- [21] R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "Changeover improvement: A maintenance perspective," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 73, no. 2, pp. 153–163, 2001.
- [22] G. W. Mileham, A. R., Culley, S. J., McIntosh, R. I. and Owen, "The development of a design for changeover methodology," in *In: International Forum on DFMA, 2002-01-01*, 2002.
- [23] M. Reik, R. McIntosh, G. Owen, A. R. Mileham, and S. Culley, "Design for Changeover (DFC)," *Mass Cust. Challenges Solut.*, pp. 111–136, 2006.
- [24] B. J. Hicks and J. Matthews, "The barriers to realising sustainable process improvement: A root cause analysis of paradigms for manufacturing systems improvement.," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 23, no. 7, pp. 585–602, 2010.
- [25] G. W. Owen, J. Matthews, R. I. McIntosh, and S. J. Culley, "Design for Changeover (DFC): enabling flexible and highly responsive manufacturing," pp. 247–273, 2011.
- [26] N. W. Schreuder, "Maximizing flexibility through minimizing changeover time," no. June, 2014.
- [27] S. R. Thomas G. Jefferson, Panorios Bernardos, "Reconfigurable Assembly System Design Methodology: A Wing Assembly Case Study." p. 18, 2015.
- [28] S. S. Pathak, "The barriers to realising sustainable process improvement : A root cause analysis of paradigms for manufacturing systems improvement," vol. 1, no. 1, pp. 215–227, 2015.
- [29] "Design Approach for the Development of Format-Flexible Packaging Machines," vol. 10, no. 1, pp. 108–117, 2016.