

APRENDIZAJE Y PRÁCTICA DE LA MANUFACTURA FLEXIBLE EN UNA EMPRESA TRANSNACIONAL DE ARNESES

EXPERIMENTAL LEARNING AND IMPLEMENTATIONS OF FLEXIBLE MANUFACTURING IN A TRANSNATIONAL HARNESSES ENTERPRISE

I. A. Schweminski Hernández¹
E. Nigenda Asseburg²
V. Cruz Morales³

RESUMEN

El artículo presenta el proyecto integrador aplicando la manufactura flexible, para la carrera de ingeniería industrial. Cuyo objetivo es abordar el problema de la eficiencia insuficiente en la planta 1 de Leoni Mérida. Este problema es originado por la creciente demanda del cliente Lucid, una empresa dedicada a la producción de arneses para vehículos. La metodología SMF sirvió para adaptar la producción a las variaciones en diseño y volumen, reduciendo tiempos y costos. El enfoque metodológico comprende una evaluación meticulosa del flujo de producción, la detección de cuellos de botella y la implementación de Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) para evaluar la flexibilidad y eficiencia del sistema. Dentro de este proyecto, el desempeño de la mujer en ingeniera resulta relevante, dado que su implicación activa potencia la diversidad de género y contribuye con innovaciones al sector. La experiencia evidenció una sinergia positiva entre la academia y la industria, evidenciando que la experiencia práctica del alumno tiene el potencial de maximizar la productividad y reducir las pérdidas financieras en la industria. Con este proyecto se corrobora la importancia del aprendizaje práctico en la educación de los ingenieros industriales.

ABSTRACT

The paper discusses the integrative project utilizing flexible manufacturing within the industrial engineering program. The purpose is to resolve the inefficiency problem at Plant 1 of Leoni Mérida. The problem arises from the increasing demand from the client Lucid, a company specializing in electric vehicle harnesses. The SMF methodology enables the adaptability of manufacturing to fluctuations in design and volume, therefore decreasing time and costs. The methodical strategy involves a thorough assessment of the production flow, identification of bottlenecks, and the application of Key Performance Indicators (KPIs) to evaluate the system's adaptability and efficiency. This project highlights the value of women's effectiveness in engineering, as their participation encourages gender diversity and drives innovation in the field. The experience illustrated a beneficial collaboration between academics and industry, showing that the student's practical experience could improve productivity and mitigate financial losses in the sector. This paper confirms the important role of experiential learning in the education of industrial engineers.

ANTECEDENTES

En la Universidad Anáhuac Mayab, el aprendizaje práctico desempeña un papel esencial en la formación de los ingenieros industriales, debido a que posibilita la aplicación de los conocimientos adquiridos en contextos reales y la resolución de problemas complejos en empresas de alcance global. La competencia para analizar, concebir e implementar soluciones innovadoras en contextos industriales es esencial para el robustecimiento de

¹ Estudiante de décimo semestre de la carrera de ingeniería industrial para la dirección. Universidad Anáhuac Mayab. 00428416@anahuac.mx

² Estudiante de décimo semestre de la carrera de ingeniería industrial para la dirección. Universidad Anáhuac Mayab. 00409680@anahuac.mx

³ Profesor de planta de la escuela de ingeniería de la Universidad Anáhuac Mayab. victor.cruz@anahuacmayab.mx

habilidades técnicas y estratégicas. Este proyecto, implementado en Leoni Mérida, proporciona no solo la capacidad de abordar los desafíos inherentes a la producción avanzada, sino que también fomenta una perspectiva holística en la gestión de procesos y la optimización de recursos. Adicionalmente, la empresa Leoni se caracteriza por fomentar la incorporación de ingenieras en su equipo, fomentando de manera activa la diversidad de género y reconociendo el valor singular que el talento femenino contribuye al progreso tecnológico y a la innovación en el sector.

Este estudio tiene como objetivo que los estudiantes obtengan una perspectiva más extensa sobre la interrelación entre tecnología, producción y logística en el seno de una organización transnacional. Adicionalmente, en el marco del proceso académico, es imperativo divulgar los hallazgos mediante una publicación en inglés, garantizando así una comunicación eficaz del impacto generado. Esta capacidad no solo facilitará la validación de las mejoras implementadas, sino que también contribuirá al conocimiento en el campo de la manufactura flexible y la ingeniería industrial.

El sector automotriz se distingue como uno de los más rigurosos en cuanto a eficiencia, exactitud y capacidad de respuesta dentro de la cadena de suministro. Esto se atribuye a su elevada competitividad, en la que la demanda fluctúa de manera constante, y resulta esencial fusionar la producción en serie con la personalización para satisfacer las exigencias particulares de cada cliente. Dentro de este marco, Leoni, una corporación de renombre internacional en la implementación de soluciones para sistemas de cableado, desempeña un papel fundamental. Leoni no sólo proporciona arneses y cables de alta calidad, sino que también ha evidenciado una notable habilidad para adaptarse con prontitud a las fluctuaciones del mercado, gracias a su red global y a su pericia local.

La planta de Leoni experimenta significativas dificultades operativas, con una reducción en la eficiencia del 87.1% en junio al 79.99% en julio. Esta situación ha resultado en pérdidas económicas considerables, que oscilan entre \$559,685.01 en junio y \$1,166,994.15 en julio. El principal desafío reside en la ausencia de adaptabilidad del sistema de producción vigente, concebido para un modelo de producción más predecible. Cada modificación en el diseño o en la cantidad de arneses demanda modificaciones manuales en la línea de producción, lo que implica un consumo de tiempo y recursos. Este escenario incide en la eficiencia, incrementa los costos e intensifica el peligro de incumplir plazos críticos, enfatizando la imperiosa necesidad de optimizar procesos y adoptar una perspectiva más adaptable.

El objetivo principal del proyecto es implementar un sistema de producción adaptable que permita a la instalación de Leoni en Mérida adaptarse con agilidad a las demandas fluctuantes de Lucid, lo que resultará en un incremento del 10% en el cumplimiento del plan de producción para mayo de 2025. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un examen meticuloso del proceso productivo vigente y se elaboró una estrategia de actualización tecnológica y formación del personal. La creación de un Sistema de Manufactura Flexible tiene como objetivo optimizar la respuesta de la planta ante las fluctuaciones en la demanda de arneses y minimizar las pérdidas económicas derivadas de los retrasos y retrabajos.

METODOLOGÍA

En el octavo semestre, en la asignatura "Procesos Esbeltos en Empresas de Servicios", se analizaron diversos sistemas empresariales orientados hacia la optimización y eficiencia de los procesos de producción. Con base en dicho aprendizaje y tal como se señala en el artículo "Fortaleciendo prácticas para la enseñanza de la logística ante disrupciones en la cadena de suministro" (Arriaga et al., 2024), se espera que los estudiantes de ingeniería estén versados en metodologías para la identificación, evaluación y mitigación de riesgos. Esto incluye la utilización de herramientas de evaluación de riesgos, la planificación de escenarios y la elaboración de planes de contingencia. Se optó por la implementación de un Sistema de Manufactura Flexible (SFM) en la planta de Leoni, dado que este modelo proporciona una mayor adaptabilidad y resistencia frente a las fluctuaciones en la demanda del mercado. La selección del Sistema de Manufactura Flexible se basa en su habilidad para incorporar tecnologías de vanguardia y mejorar la administración de la producción.

El Sistema de Manufactura Flexible (SFM) emergió en el Reino Unido en 1967, momento en el que Molins Company estableció el primer SFM, desarrollado con el objetivo de optimizar la eficiencia y flexibilidad en el proceso productivo (Shane, 2024). Un SFM incorpora tecnología de vanguardia, que abarca sistemas de transporte automatizados y dispositivos de control numérico por computadora, con el objetivo de producir una diversidad de productos con tiempos de procesamiento reducidos. De acuerdo con Groover (2015), un Sistema SFM se presenta como una opción óptima para sectores industriales como el automotriz y el aeroespacial que requieren una considerable flexibilidad, atribuible a su habilidad para reconfigurar y gestionar con celeridad diversas modalidades de producción.

Conforme a investigaciones recientes y protocolos estándar de la industria, implementamos sistemáticamente el sistema de manufactura flexible (SMF) para asegurar eficacia y flexibilidad. El sistema fue implementado de la forma siguiente:

Primera Etapa

Con el objetivo de identificar las ineficiencias y la ejecución de las operaciones cotidianas, se realizó un análisis detallado del flujo de producción actual de la planta se muestra en la Figura 1, se tomó como base el artículo "Impacto de las técnicas de manufactura esbelta en la industria de Ciudad Juárez" (Chávez, 2015). Este análisis estableció un fundamento sólido para el desarrollo de técnicas que se adaptaron a las fluctuaciones en la necesidad de LUCID, manteniendo simultáneamente una recolección de datos exacta y eficaz.

Figura 1. Diagrama de flujo.



Segunda Etapa

En esta fase, se llevaron a cabo análisis de las áreas del flujo de producción que presentan una mayor incidencia de ineficiencias o interrupciones, a las cuales se les asignó cuellos de botella. Se realizó un análisis cuantitativo de los ritmos de producción y los periodos de

inactividad con el objetivo de identificar estos momentos significativos, mismos que se pueden observar en la Tabla 1. En vista de que las variaciones en la demanda de LUCID constituían un serio desafío para la planta, se otorgó especial consideración a cómo estas áreas serían impactadas.









Tabla 1. *Identificación de cuellos de botella.*

Cuello de botella	Descripción	Impacto Estimado (%)
Preparación de Materiales	Aumentos inesperados en el volumen o variedad provocan demoras en el empaquetado y preparación de materiales para nuevas líneas de productos.	25%
Actualizaciones de etiquetas y configuraciones	Problemas para actualizar etiquetas y configuraciones en sistemas debido a cambios frecuentes de productos.	20%
Capacidad de estaciones y transportadores	Si la demanda supera la capacidad de los transportadores y estaciones para gestionar varias salidas a la vez, puede producirse congestión.	15%
Disponibilidad de equipos y herramientas	Falta de equipos específicos o tiempo excesivo para los ajustes necesarios debido a cambios en los productos demandados.	15%
Gestión de inventarios	Demoras en la logística interna provocadas por escasez de materiales esenciales o sobrecargas de almacenamiento provocadas por una demanda fluctuante.	10%
Personal y capacitación	Los operadores no están adecuadamente preparados para manejar cambios abruptos en la demanda, lo que puede generar errores o demoras.	10%

Tercera Etapa

Esta fase conllevó una evaluación meticulosa de cada variedad de arnés fabricados por la compañía. Este análisis se basó en la revisión de las secuencias de fabricación y la identificación de similitudes en los procesos y materiales utilizados. Conforme a lo señalado en la Tabla 2, se detallan los componentes fundamentales de un arnés eléctrico, sus funciones y atributos esenciales que aseguran la longevidad del sistema.

Tabla 2. Descripción de los componentes.

Componente	Descripción
	<p>Cables o circuitos Fabricados con materiales como cobre o aluminio, con calibres específicos para una transmisión confiable.</p>
	<p>Conectores Se seleccionan en función de factores como el sellado, la resistencia a la vibración, la tolerancia a la temperatura y el tamaño.</p>
	<p>Terminales Esenciales para la fijación segura de los cables dentro de los conectores.</p>
	<p>Splices. Se utilizan diversos métodos de soldadura, como la soldadura ultrasónica, cintas adhesivas o tubos termo retráctiles protegen la soldadura.</p>
	<p>Soportes Generalmente están hechos de plástico, pero a veces también de aluminio; están diseñados para funciones específicas y deben pasar pruebas de validación.</p>
	<p>Clips Clasificados por tipo de fijación y desplazamiento.</p>
	<p>Grommets. Fabricados en caucho para guiar y cubrir los cables, sellando las aberturas para evitar la entrada de polvo y agua.</p>
	<p>Cintas Se utilizan para agrupar cables, ofreciendo protección adicional y estabilidad dentro del arnés.</p>

LEONI fabrica diversos tipos de arneses; sin embargo, únicamente nueve de estos están confeccionados con los mismos materiales y ensamblados mediante el mismo procedimiento. Las únicas diferencias entre estos productos radican en su etiquetado y sus correspondientes destinos de envío, en los que cada etiqueta especifica un destino distinto, asegurando así una entrega exacta en diversas ubicaciones. Este enfoque optimizado en la utilización de materiales y ensamblaje incrementa notablemente la eficiencia productiva y, simultáneamente, cumple con una variedad de requerimientos logísticos.

Cuarta Etapa

Se optó por la implementación de un Indicador Clave de Rendimiento (KPI) de cambio de tiempo con el objetivo de identificar qué producto requería un periodo de transición más extenso. Este Indicador Clave de Rendimiento (KPI) evaluó la eficiencia en la producción de cada producto, facilitando un análisis más detallado de la distribución de recursos y las oportunidades de optimización del flujo de trabajo. Estos criterios posibilitarían una evaluación objetiva y sistemática del sistema (Rodríguez & Gallardo, 2016).

KPI Flexibilidad de la producción del transportador

Este parámetro cuantifica la habilidad del transportador para ajustarse con flexibilidad a las fluctuaciones de la demanda, asegurando que la producción se mantenga eficaz y en sincronía con los objetivos mensuales establecidos. El propósito es que el sistema facilite la producción constante de arneses mediante procesos análogos, permitiendo cambios de producto sin comprometer la eficiencia.

Fórmula de KPI

Eficiencia de Cambio de Producto (ECP)

Eficiencia de cambio = $(\text{Objetivo de Cambio} / \text{Cambio en Tiempo Real}) * 100$

- Tiempo de cambio ideal: Tiempo esperado para cambiar de un producto a otro en la cinta transportadora (sin afectar la producción).
- Tiempo de cambio real: Tiempo real que se tarda en hacer el cambio.

Eficiencia de Flexibilidad (EF)

Eficiencia de Flexibilidad = $(\text{Producido} / \text{Planeado}) * 100$

Donde:

- Producción durante el cambio de demanda: Número de unidades efectivamente producidas durante la implementación de un cambio.
- Producción esperada: Producción planificada para el período de cambio sin ningún ajuste.

KPI de Flexibilidad del Transportador (KPI-FC)

Flexibilidad del transportador = $(\text{Eficiencia de Cambio} - \text{Eficiencia Flexible}) / 2$

Objetivo: Al menos 80% mensual para asegurar la flexibilidad y velocidad del FMS en la adaptación a los cambios.

Interpretación

- 80% o más: El transportador está cumpliendo con la flexibilidad requerida para adaptarse a la demanda sin reducir la eficiencia.
- Por debajo del 80%: Indica que los tiempos de cambio o la capacidad de producción durante el ajuste no cumplen con los estándares necesarios para responder adecuadamente a los cambios en la demanda.

Quinta Etapa

La metodología ALDEP, estudiada en la materia de "Localización y diseño" durante el séptimo semestre, se aplicó para la optimización de la disposición de las estaciones de trabajo y los sistemas de gestión de materiales. Esta herramienta facilitó la elaboración de un diseño que otorga prioridad a la proximidad entre equipos esenciales, reduciendo los periodos de traslado y optimizando el flujo de materiales.

Diseño de la distribución

La estructura de la planta ha sido diseñada con el objetivo de optimizar la eficiencia en la fabricación de 26 variantes de arneses para vehículos. Se han instaurado diversas estaciones de trabajo para cada categoría de producto, asegurando así un flujo laboral constante y sistemático.

Ubicación del transportador principal

Se ha establecido un principal transportador para gestionar la producción de nueve productos específicos. Este transportador se ha situado de manera estratégica en proximidad al área

destinada a la recepción de materiales como se muestra en la Tabla 3. El motivo primordial de esta localización radica en que el transportador asumirá la mayor parte de la gestión de materiales, lo que facilitará una transferencia rápida y eficaz de insumos desde el espacio de recepción hasta el área de producción.

Tabla 3. Resultados del rediseño.

		15 m ²																
10 m ²		C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	MATERIALS
		C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	MAIN BOARD
		C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	BOARD 2
		C	C	C	C	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	BOARD 3
		C	C	C	C	D	D	G	F	F	F	F	F	F	F	F	G	BOARD 4
		E	E	E	E	D	D	G	F	F	F	F	F	F	F	F	G	SMART BOARDS
		E	E	E	E	D	D	G	F	F	F	F	F	F	F	F	G	CONVEYOR BELT
		E	E	E	D	D	D	G	F	F	F	F	F	F	F	F	G	
		E	E	E	D	D	D	G	F	F	F	F	F	F	F	F	G	
		E	E	E	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

This table was made to a scale of 2m² per square.

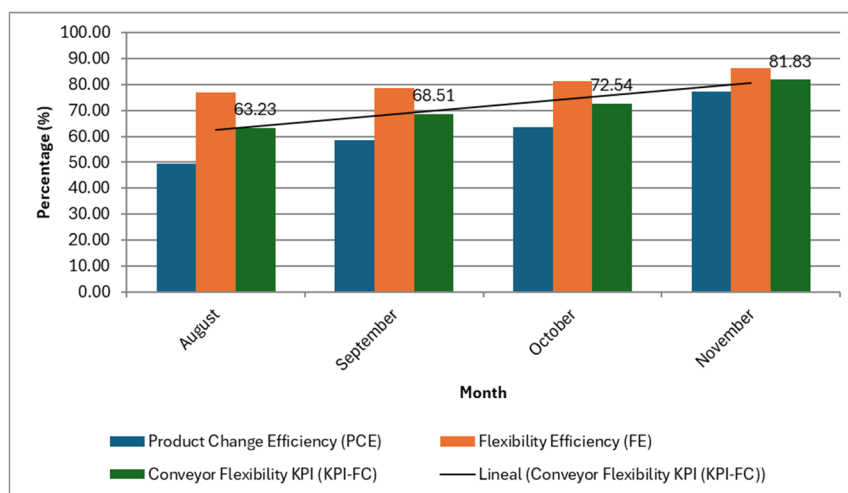
Adaptabilidad a la demanda

El principal transportador ha sido diseñado con la capacidad requerida para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda. Esto engloba la facultad de modificar la producción de los nueve productos en respuesta a las demandas del mercado, garantizando que la planta pueda responder con agilidad a las fluctuaciones de los pedidos sin comprometer la eficiencia operativa.

RESULTADOS

La Figura 2 presenta los resultados mensuales del KPI de Flexibilidad del Transportador (KPI-FC), desglosado por los indicadores clave de Eficiencia de Cambio de Producto (PCE) y Eficiencia de Flexibilidad (FE):

Figura 2. Results of the Conveyor Flexibility KPI.



Agosto: Con un Indicador Clave de Rendimiento (KPI-FC) del 63,23%, el transportador evidenció restricciones considerables en su habilidad para efectuar modificaciones eficientes de producto, lo que condujo a un rendimiento por debajo del objetivo establecido del 80%.

Septiembre: El Indicador Clave de Rendimiento (KPI-FC) experimentó un incremento del 68,51%, lo que señala progresos en la adaptabilidad y flexibilidad del sistema, aunque aún se encuentra lejos del objetivo anticipado.

Octubre: Con un KPI-FC de 72,54%, incremento sostenido en la eficiencia general, evidenciando progresos en la sincronización de las modificaciones de producto con la producción flexible.

Noviembre: Al alcanzar un Indicador Clave de Rendimiento (KPI-FC) de 81,83%, el transportador excedió el objetivo establecido del 80%, evidenciando una notable adaptabilidad a las fluctuaciones de la demanda sin menoscabar la eficiencia operativa.

El análisis demostró una tendencia positiva a lo largo de los meses, con un incremento sostenido en los valores del Indicador Clave de Rendimiento (KPI-FC). En noviembre, el transportador logró el desempeño anticipado, satisfaciendo los criterios de flexibilidad y eficiencia necesarios para un Sistema de Manufactura Flexible (FMS). Las iniciativas de optimización en los procesos de transformación y la planificación de la producción han desempeñado un papel fundamental para el alcance de este resultado.

Este análisis de la Tabla 4 examina el rendimiento de la línea de producción en términos de eficiencia mensual, pérdidas económicas y avances financieros durante el periodo comprendido entre agosto y noviembre. La eficiencia se cuantifica como el porcentaje de tiempo durante el cual la línea de producción funciona eficazmente, mientras que las pérdidas se refieren a los costos vinculados a la ineficiencia. Las mejoras evidencian las ventajas económicas alcanzadas mediante medidas correctivas y la optimización de procesos. El propósito de este informe es resaltar las tendencias de rendimiento y su repercusión financiera, proporcionando datos que potencien las estrategias de mejora continua.

Tabla 4. Resultados de las pérdidas económicas en pesos mexicanos.

Mes	Eficiencia (%)	Pérdida en \$ MXN	Mejora en \$ MXN
Agosto	63.23	32,535.93	0.00
Septiembre	68.51	27,863.93	4,672.00
Octubre	72.54	24,297.98	3,565.95
Noviembre	81.83	16,077.72	8,220.26

La evaluación de los datos evidencia un incremento progresivo en la eficiencia de la línea de producción, alcanzando el 81,83% en noviembre y superando el objetivo establecido del 80%. Este hito disminuyó de manera significativa las pérdidas económicas, pasando de \$32.535,93 en agosto a \$16.077,72 en noviembre, dando lugar a una mejora financiera acumulada de \$16.458,21. Estos resultados enfatizan el efecto beneficioso de las estrategias implementadas y enfatizan la relevancia de las iniciativas actuales orientadas hacia la optimización de procesos y la eficiencia operativa.

CONCLUSIONES

La implementación del Sistema de Manufactura Flexible (FMS) en la planta 1 de Leoni Mérida no solo ha representado un progreso en la eficiencia y adaptabilidad de los procesos de producción, sino que también ha representado una oportunidad significativa de desarrollo profesional para nosotras, en nuestra calidad de responsables del proyecto. Como mujeres en el campo de la ingeniería, este estudio ha facilitado la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en nuestra formación académica, abordando retos concretos en un contexto industrial altamente competitivo y tecnológicamente avanzado.

Leoni, como empresa global líder en el sector automotriz, ha proporcionado la oportunidad de incorporar a las mujeres en un ambiente de innovación y mejora constante, promoviendo el avance en áreas fundamentales como la optimización de procesos, la administración de producción y la implementación de metodologías de manufactura adaptable. Esta experiencia ha reafirmado la relevancia de que empresas de relevancia global prioricen la inclusión y diversidad de talento, lo que posibilita que mujeres, en nuestra calidad de ingenieras, aporten de manera activa en la concepción e implementación de soluciones estratégicas para el sector industrial.

Además, como autoras de este trabajo, se ha presenciado directamente el efecto beneficioso de la sinergia entre la academia y la industria mediante la colaboración con Leoni. Esta experiencia ha facilitado la comprobación de cómo los conocimientos adquiridos en el entorno académico pueden transformarse en instrumentos fundamentales para potenciar la productividad y competitividad de una organización de alcance internacional.

En conclusión, la planta ha evidenciado una notable capacidad para adaptarse a las demandas del mercado, particularmente en la producción de arneses para clientes esenciales como Lucid, alcanzando estándares de calidad elevados y superando el 80% en el Indicador Clave de Rendimiento (KPI) de Flexibilidad de Transportadores en noviembre. Esto, en conjunción con medidas correctivas, facilitó la disminución de las pérdidas económicas de \$32,535.93 en agosto a \$16,077.72 en noviembre, resultando en una rentabilidad acumulada de \$16,458.21. No obstante, persisten obstáculos para lograr el objetivo del 90% de eficiencia, tal como la capacitación del personal en respuesta a las fluctuaciones de la demanda, la disponibilidad de equipos y una gestión de inventarios más eficiente. Para asegurar la sostenibilidad del sistema, resulta fundamental la implementación de formación intensiva, la optimización de los controles de inventario y la adopción de instrumentos tecnológicos para el análisis en tiempo real del flujo laboral.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, F. I. M., Escalante Euán, J. F., Flores, J. S., & Aguilar Vázquez, F. (2024). Fortaleciendo prácticas para la enseñanza de la logística ante disrupciones en la cadena de suministro. *ANFEI Digital*, (16).
<https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/952>
- Chávez, A. V. (2015). Impacto de las técnicas de manufactura esbelta en la industria de Ciudad Juárez. *ANFEI Digital*.
<https://anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/27>
- Groover, M. P. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4th ed.). Pearson. (ISBN 978-1292076119).
- Rodríguez, A. H., & Peña Gallardo, R. (2016). La acreditación internacional como parte del proceso de autoevaluación y mejora continua de la Facultad. *ANFEI Digital*, 2(4).
<https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/155>
- Shane. (2024, 4 de mayo). Comprender los sistemas de fabricación flexible: Una guía. *MachineMFG*. <https://www.machinemfg.com/es/flexible-manufacturing-systems/>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations management* (6th ed.). Financial Times/Prentice Hall. (ISBN 978-0273730460).