

Aplicación de técnicas de manufactura esbelta para optimizar el ensamble de carrocería de autobuses urbanos

- **Doctorado en Ciencias de Ingeniería con Énfasis en Análisis y Modelación de Sistemas**
 - **ANÁLISIS DE SISTEMAS Y DESARROLLO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO**
 - **ASEL JUÁREZ V.**

Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible

www.uaeh.edu.mx

PACHUCA, HIDALGO A 02 DE NOVIEMBRE DE 2022.



Contenido:

1. Introducción.
2. Revisión de la literatura.
3. Método.
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Referencia.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



1. Introducción:

- La globalización en el mercado de la industria del transporte juega un factor importante al integrar nuevos parámetros de apertura, integración y normas de comercio, tanto en los mercados locales como en los internacionales, al considerar la existencia de una gran cantidad de actores que de forma constante mejoran y mantienen su posición en este mercado.
- Es importante destacar el peso que representa dentro de la economía este sector, cuya función principal y estratégica radica en ser el vehículo que mueve la actividad de los países.
- Entre algunos de los actores clave reconocidos, resaltan las empresas de autobuses como Zhengzhou Yutong, Xiamen King Long Motor, Toyota, Tata Motors, Volkswagen, BYD, Marcopolo, Anhui Ankai Automobile, CNH Industrial Daimler, Ashok Leyland Blue Bird, Hyundai, Navistar, quienes operan, en diferentes frentes.
- Una de las características que distingue a la industria de fabricación de autobuses, es su producción de volúmenes altos, específicamente cuando van dirigidos a clientes que manejan flotillas para diferentes rutas en una región del país, atendiendo normalmente pedidos extensos que implican órdenes de producción elevadas, lo que ocasiona que las empresas opten por adoptar metodologías que les puedan facilitar el cumplimiento de estas.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



1. Introducción

- Otra característica de esta industria, es la programación de entregas, donde es cotidiano que presente una mezcla de diferentes modelos y tiempos de entrega cortos. Esto directamente lo experimenta el personal que realiza la programación de la producción, que, al ejecutar dichos programas, no pueden optar por corridas de producción elevadas.
- Derivado de este contexto surge la necesidad de utilizar herramientas que faciliten la manufactura y cumplir con las exigencias del mercado. Una metodología ideal para asumir este ambiente de negocio es Lean Manufacturing (LM), centrado en el flujo de valor y su racionalización, que tiene la intención de limitar el desperdicio con flujos de valor total, en beneficio del cliente, esta metodología fue creada por Toyota en el año 1973. (Womack y Jones 2003)
- La metodología Lean se enfoca en eliminar, o al menos minimizar, las actividades que no agregan valor, con el objetivo de mejorar la productividad y eficiencia general y, por ende, crear más valor para sus clientes (So y Sun, 2010, 474–487). Para lograrlo, LM provee un amplio conjunto de herramientas y técnicas. Entre el set de herramientas que incorpora, se cuenta con Value Stream Mapping (VSM) considerada una de las más significativas, (Womack y Jones 2003).

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



1. Introducción

- El concepto de Value Stream Mapping (VSM) establece que es una técnica lean de mejora de procesos popularizada por (Rother y Shook 1999). Tiene el objetivo de comprender las actividades con y sin valor agregado, tanto de la información como del flujo de materiales en un flujo de valor.
- En este estudio se trabajó con una compañía de ensamble de autobuses, la cual tenía una metodología de planeación donde utilizaban métodos empíricos, sin embargo, esta metodología ocasionaba problemas como un mal balanceo en la línea. Sumado a lo anterior, la falta de materiales en línea y los constantes retrabajos originaban una producción diaria de 4 unidades por turno con 2 horas extras para poder cumplir con el plan de producción, cuando la capacidad de la organización contaba con la infraestructura para 5 unidades, pero el requerimiento de producción diaria era de 7 unidades para poder cumplir con las entregas. Viendo esta problemática, la propuesta de este trabajo es como aplicar el VSM e identificar las herramientas LM necesarias, para identificar las operaciones que no agregan valor y complementar los métodos de manufactura, para lograr que la línea de ensamble de autobuses permita cumplir con la demanda propuesta.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



2. Revisión de la Literatura

LM es hoy en día una de las alternativas por las que se inclina este sector. La información que existe actualmente expone aplicaciones que se han desarrollado en diversos campos, que demuestran la efectividad en sus procesos. En diferentes investigaciones se han realizado combinaciones de herramientas convencionales que han probado ser efectivas, como

Pinto et al. 2022	Propone la utilización del FODA, para controlar y analizar la información que recopiló en la implementación de LM en la industria portuguesa.
Hardcopf, Liu, y Shah 2021	Mencionan la relación de mejoras de calidad a partir de lean con la cultura organizacional.
Cherrafi et al. 2021	Desarrollaron un modelo de autoevaluación para verificar el nivel de preparación de las organizaciones para implementar iniciativas Green Lean.
Villacís & Burneo 2020, 237-252	La usaron para resolver los problemas de calidad de ensamblaje de drones.
Jia y Puvanasvara, 2020, 157-169	Proponen cuatro etapas secuenciales de implementación que incluyen 23 componentes esenciales, utilizando el enfoque de ciclo PDCA (Plan-To-CheckAct).
Afonso, Gabriel y Godina 2022	Destacan la importancia de integrar los principios de Lean Manufacturing y Ergonomía en las organizaciones para aumentar la productividad y mejorar las condiciones de trabajo simultáneamente.

Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible



Andreadis, Garza y Kumar 2017, 7073-7095	Realizaron un estudio estadístico en la implementación de esta herramienta, en 168 organizaciones en todo el mundo, sobre cómo las gerencias ponen en práctica el VSM.
Shou et al. 2017, 3906-3928	Determinaron el desarrollo de vanguardia de VSM en cinco sectores (fabricación, atención médica, construcción, desarrollo de productos y servicios), para comprender las diferencias de las implementaciones de VSM.
Ben 2016	Destaca que VSM en el sector de autopartes en Túnez, tiene la capacidad de diagnosticar e identificar las oportunidades para varios proyectos o herramientas esbeltas.
Barberato et al. 2016, 24-48	Presentan un nuevo enfoque VSM para entornos sanitarios.
Stadnicka y Ratnayake 2016, 49-12	Se enfocaron en la aplicación de los principios lean, para la mejora de la productividad de los procesos de servicio en las telecomunicaciones.
Bertoni et al. 2015, 197 – 202	Expusieron un estudio para analizar las brechas y las oportunidades para la polinización cruzada entre el diseño impulsado por el valor y el desarrollo de servicios LM.
Tyagi et al. 2014	Presentan un estudio de caso para explotar los conceptos de pensamiento lean para administrar, mejorar y desarrollar el producto más rápido, enfocándose en un producto de turbina de gas.
Dal Forno et al. 2014, 779–790	Investigaron las principales dificultades y limitaciones en la elaboración del mapa del estado actual.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*

En lo investigado se observa que la metodología de VSM se utiliza ampliamente para agilizar y mejorar procesos en la industria, atendiendo las expectativas y cambios constantes en el mercado, que cada vez es más competitivo, por ello, la importancia de identificar los procesos que no agregan valor, para que la flexibilidad de respuesta a la demanda no se vea afectada. En el caso de las empresas de ensamble de autobuses, la literatura no reporta hasta el momento su utilización en la planeación, o si se ha utilizado en la fabricación de los componentes con los proveedores directos, por lo que este estudio aporta en esta área del conocimiento.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



3. Método

La investigación, fue realizada en una empresa dedicada al ensamble de autobuses urbanos, en el área de carrocerías, la cual tenía una metodología de planeación donde se utilizaban métodos desarrollados con base en la experiencia, sin embargo, esto ocasionaba problemas como: mal balanceo en la línea, falta de materiales y constantes retrabajos, con una producción diaria de 4 unidades por turno con 2 horas extras para poder cumplir con el plan de producción.

Con esta problemática, la empresa no podía cumplir con la demanda de producción de 7 unidades por turno de 8 Horas, por lo anterior, el objetivo fue complementar el método de planeación y hacerlo más robusto. La planeación previa especificaba solo la cantidad de unidades que se necesitaban, dejando que el área de producción dispusiera de los recursos e inclusive solicitar más, utilizaban horas extras, además contemplaban la creación de un segundo turno. Por lo anterior se buscó una alternativa para solucionar esta problemática y se decidió aplicar el VSM.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



(Womack y Jones 1994) describen que VSM es una de las herramientas ofrecidas por esta filosofía, donde se toman aquellas actividades y procesos que agregan o no valor necesario para la transformación de la materia prima, desde el momento en que el cliente realiza el pedido hasta que lo recibe, el proceso de VSM propuesto por estos autores se describe a continuación:

1. Familia de productos..
2. Elaboración del estado inicial.
3. Elaboración del estado futuro.
4. Plan de trabajo y ejecución.

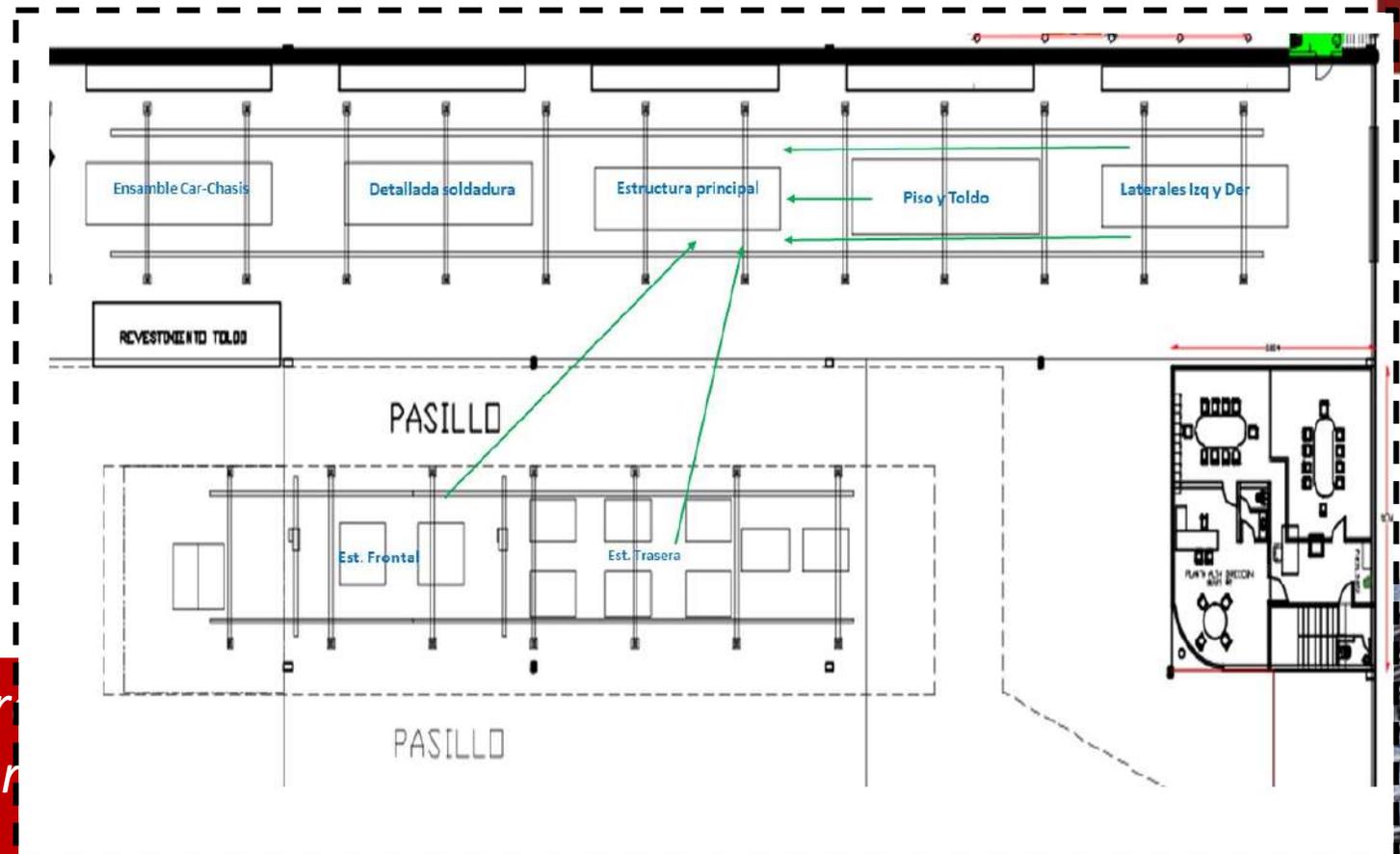
*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Familia de productos

Dentro de la empresa, los procesos de fabricación para el ensamble de las carrocerías son similares, y son relacionados con el uso del autobús que se está fabricando, para este caso, se trabajó con un modelo que en ese momento era el que estaba más demandado.

Figura 1. Layout de la línea de ensambles

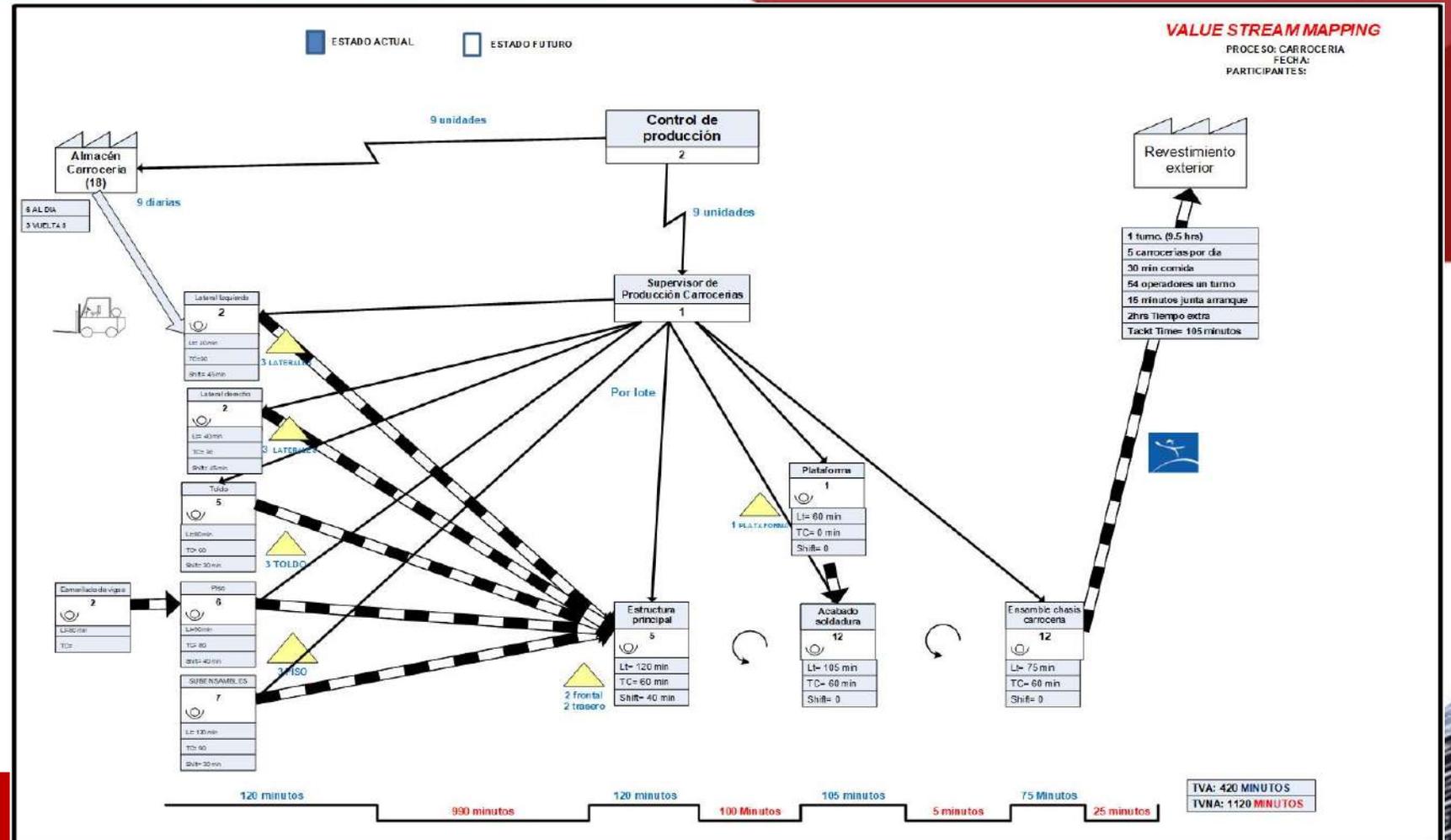


Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

I
C
B
I

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*

Figura 2. VSM estado actual



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

I
C
B
I

Desarrollo de la ingeniería y el diseño y construcción de un futuro sostenible

Tabla 1. Análisis de la línea de tiempo VSM estado actual.

Actividades	TVA (MIN)	TVNA (MIN)
Sub ensambles	120	-
Inventarios	-	990
Estructura principal	120	-
Inventarios	-	100
Acabado de soldadura	105	-
Inventarios	-	5
Ensamble chasis-carrocería	75	25
TOTAL	420	1120

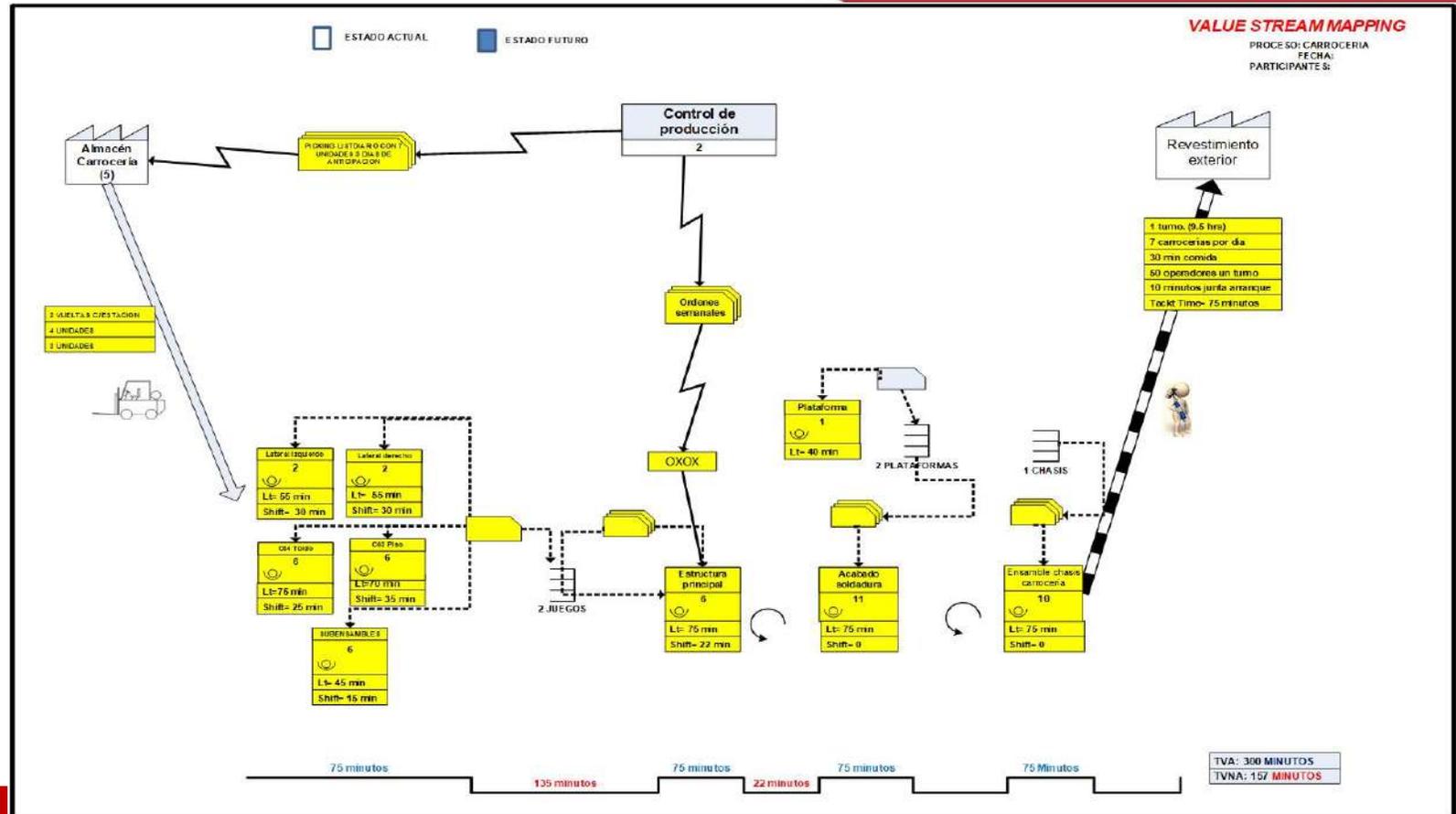
Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Elaboración del estado futuro.

Figura 3. VSM estado futuro



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

I
C
B
I

Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible

Tabla 2. Análisis de la línea de tiempo VSM estado futuro.

Actividades	TVA (MIN)	TVNA (MIN)
Sub ensambles	75	-
Inventarios	-	135
Estructura principal	75	-
Inventarios	-	22
Acabado de soldadura	75	-
Inventarios	-	0
Ensamble chasis-carrocería	75	-
TOTAL	300	157

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Plan de trabajo y ejecución.

Figura 4. Plan de trabajo

ITEM	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	ÁREA	TIEMPO (DIAS)	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	Eliminra retrabajos	Marco Flores	Manufactura	60	[Barra]					
2	Implementación TPM	Pedro Sánchez	Mantenimiento	60	[Barra]					
3	Matriz de Multihabilidades	Marco Flores- Isrrael	Manufactura-	30		[Barra]				
		Estrada Giovany Muños-	Producción Control de							
4	Implementación KANBAN	Berenice Perez	producción	60		[Barra]				
5	Implementación SMED	Eduardo Moterrubio	Herramental	90		[Barra]				
6	Balanceo de linea Metodo Jalar	Marco Flores	Manufactura	90	[Barra]					
7	Instrucciones de trabajo	Marco Flores	Manufactura	30				[Barra]		
8	Layout	Marco Flores	Manufactura	60	[Barra]					

I
C
B
I

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible



4. Resultados

En este estudio de caso, ambos ciclos de investigación-implementación realizados favorecieron al incremento de producción que se necesitaba, además de reducir los TVA y TVNA.

La principal atribución en la eficiencia de la implementación de VSM, fue la eliminación de desperdicios que no permitían el flujo continuo, tal es el caso de materiales, tiempos de cambio, retrabajos en línea, mantenimientos, balanceo de línea, entre otros.

Al establecer el nuevo flujo de operación, la línea solo produce conforme a la demanda, además de implementar supermercados en los subensambles que dan la señal para producir en las estaciones.

Estos cambios permitieron establecer un tiempo tack de línea de **75** minutos por estación, representados por una disminución del **28.6% en el TVA** y el **86% en el TVNA**. La comparación de los tiempos se puede observar con detalle en la tabla 3.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Tabla 3. Análisis de la línea de tiempo VSM estado actual y futuro.

Actividades	TVA VSM inicial (MIN)	TVA VSM futuro (MIN)	TVNA VSM inicial (MIN)	TVNA VSM futuro (MIN)
Sub ensambles	120	75	-	-
Inventarios	-	-	990	135
Estructura principal	120	75	-	-
Inventarios	-	-	100	22
Acabado de soldadura	105	75	-	-
Inventarios	-	-	5	0
Ensamble chasis- carrocería	75	75	25	-
TOTAL	420	300	1120	157

Tabla 4. Beneficios de implementación VSM.

Actividades	Actual	Objetivo	Beneficios
Personas	54	50	4
Tiempo proceso (Minutos)	810	570	240
Tiempo de Cambio	230	157	73
Productividad (Unidades)	5	7	2

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*

Tabla 5. Factor económico de implementación VSM.

Ahorros	Cantidad	Horas Hombre	Costo mensual	3 meses	6 meses	Proyección anual
Operarios (costo operativo)	4	672	\$ 35,616	\$106,848	\$213,696	\$427,392
Operarios (costo planta)	4	672	\$213,024	\$639,072	\$1,278,144	\$2,556,288
Dejar de gastar (Promedio de unidades anual de 1200)	Cantidad (Horas)	Mensual	3 meses	6 meses	Proyección anual	
Tiempo extra	2	\$5,724	\$343,440	\$744,120	\$1,488,240	
Retrabajos	Varios	\$4,194	\$1,258,200	\$2,516,400	\$5,032,800	

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible



5. Conclusiones

La problemática que se presentaba consistía en un mal balanceo en la línea, lo que causaba que algunas estaciones produjeran de más y se creaban cuellos de botella, adicionalmente se generaban paros en la línea de producción. Sumado a lo anterior, la falta de materiales en línea y los constantes retrabajos originaban una baja productividad y no poder cumplir con el plan de producción, ocasionando el no cumplimiento de las entregas.

La aplicación de la metodología VSM permitió la reducción **del 28.6% en el TVA y el 86% en el TVNA**, además de una rápida asimilación por parte del personal de operación, por lo que la metodología resultó exitosa.

La implementación de la herramienta VSM en el ensamble de carrocerías en México, robusteció los métodos de planeación y permitió una mayor productividad al reducir los TVNA en línea, donde se encontró que el problema consistía en un mal balanceo en la línea, exceso de inventarios en proceso y retrabajos.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Referencias.

- **Afonso, M., Gabriel, A. T. y Godina, R.** 2022. "Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit." *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- **Andreadis, E., Garza-Reyes, J. y Kumar, V.** 2017. "Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors." *International Journal of Production Research*, 55:23, 7073-7095, DOI: 10.1080/00207543.2017.1347302
- **Barberato, D., Freitas, A., Godinho, M. y Francisco, K.** 2016. "A new value stream mapping approach for healthcare environments." *Production Planning & Control*, 27:1, 24-48, DOI: 10.1080/09537287.2015.1051159
- **Ben Fredj-Ben, L.** 2016. "VSM a powerful diagnostic and planning tool for a successful Lean implementation: a Tunisian case study of an auto parts manufacturing firm." *Production Planning & control*, <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2016.1165305>
- **Bertoni, A., Bertoni, M., Panarotto, M., Johansson, C. y Larsson, T.** 2015. "Expanding Value Driven Design to meet Lean Product Service Development." *Procedia CIRP* 30 197 – 202. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.153
- **Cherrafi, A., Garza-Reyes, J., Belhadi, A., Kamble, S. y Elbaz, J.** 2021. "A readiness self-assessment model for implementing green lean initiatives." *Journal of Cleaner Production*, 309 (2021) 127401 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127401>
- **Dal Forno, A., Pereira, F., Forcellini, F. y Kipper, L.** 2014. "Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools." *Int J Adv Manuf Technol* 72:779–790
- **Hardcof, R., Liu, G. & Shah, R.** 2021. "Lean production and operational performance: The influence of organizational culture." *International Journal of Production Economics*. 235 (2021) 108060. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108060>
- **Jia Yuik, C. y Puvanasvaran, P.** 2020. "Development of Lean Manufacturing Implementation Framework in Machinery and Equipment SMEs." *International Journal of Industrial Engineering and Management*. Volume 11 / No 3 / September 2020 / 157 - 169. DOI: <http://doi.org/10.24867/IJEM-2020-3-26>
- **Pinto, C., Mendonça, J., Babo, L., Silva, F. y Fernandes, J.** 2022. "Analyzing the Implementation of Lean Methodologies and Practices in the Portuguese Industry: A Survey." *Sustainability*, 1929. <https://doi.org/10.3390/su14031929>
- **Rother, M. y Shook, J.** 1999. "Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda." Lean Enterprise Institute.
- **Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X. y Chong H.** 2017. "A cross-sector review on the use of value stream mapping." *International Journal of Production Research*, 55:13, 3906-3928, DOI: 10.1080/00207543.2017.1311031

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



- **Stadnicka, D.** y Ratnayake, C. 2016. "Minimization of service disturbance: VSM based case study in telecommunication industry." IFAC-PapersOnLine 49-12 255–260. Doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.609
- **Tyagi, S., Choudhary, A.,** Cai, X. y Yang, K. 2014. "Value stream mapping to reduce the lead-time of product development process." Int. J. Production Economics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>
- **Villacís, S. y Burneo, P.** 2020. "UAVs' efficient assembly: Lean Manufacturing implementation in an UAVs' Assembly Company." International Journal of Industrial Engineering and Management. Volume 11 / No 4 / December 2020 / 237 – 252. DOI: <http://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-4-26>
- **Womack, J. y Jones, D.** 2003. "Lean Thinking. Como utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa." 2ª ed., Ediciones Gestión 2000

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*



Gracias por su atención

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para
el diseño y construcción de un futuro
sostenible*

