



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera Ingeniería Industrial

**“Optimización de procesos operativos basado en
herramientas de Lean Manufacturing en industrias de
ensamble de bicicletas”**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Industrial

Modalidad: Proyecto de Investigación

AUTOR:

Santiago Andrés Rodas Durán.

C.I.: 0105204358

DIRECTOR:

Ing. Juan Carlos Llivisaca Villazhañay, Mst.

C.I.: 0105627269

Cuenca-Ecuador

Enero 2019



Resumen:

Las industrias de manufactura y ensamble están constantemente en la búsqueda de optimizar sus recursos y lograr mejoras en sus sistemas de producción. En una época cuando el factor diferenciador se encuentra en la eficiencia y competitividad en la producción, la manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) aporta a estos diferenciadores centrándose principalmente en la eliminación de desperdicios para la obtención de mejoras en los procesos, calidad y tiempos de entrega, proporcionando resultados evidentes en un corto periodo de tiempo. El presente artículo propone la optimización de procesos dentro de una planta ensambladora de bicicletas mediante la aplicación de herramientas correspondientes a Lean Manufacturing, como el mapa de cadena de valor, que presenta la secuencia de los procesos productivos y sus requerimientos, plasmando de manera gráfica la situación actual y facilitando la identificación de desperdicios dentro del sistema. Para propósitos ilustrativos, sobre el mapeo de procesos se eligió un modelo de bicicleta identificado como E26. Adicionalmente, se propone el uso de la herramienta 5 S, que busca mantener un orden y limpieza dentro de los procesos con el fin de obtener fluidez en la producción. El trabajo también incluye el balanceo de líneas, obteniéndose una reducción de 14% en el tiempo de ciclo y de un 66% en lead time, generándose una producción mixta, push y pull; además, se realiza una distribución de bodega de materia prima consiguiendo la unificación de todos los materiales intervinientes en el proceso. Por último, se comprobó la propuesta del VSM futuro mediante la utilización de software de simulación de eventos discretos, lo que constituye un aporte importante dentro del estudio; consiguiendo validar los resultados obtenidos de la aplicación de herramientas lean Manufacturing.

Palabras clave: *Lean Manufacturing. Optimización. VSM. Balanceo de líneas. Lead time. 5 S. Desperdicios. Industria. Ensamble. FlexSim.*



Abstract:

Manufacturing and assembly industries are constantly searching to optimize their resources and achieve improvements in their production systems. At a time when the differentiating factor is found in efficiency and competitiveness in production, lean manufacturing philosophy contributes to these differentiators, focusing mainly on the elimination of waste to obtain an improvement in the processes, quality and delivery times, being evident the results in a short period of time. This article proposes optimizing processes within a bicycle assembly plant by applying a lean manufacturing tool called Value Stream Map (VSM), which presents the sequence of production processes and requirements of each one, graphically reflecting the current situation and facilitating the identification of waste within the system. For illustrative purposes regarding process mapping, a bicycle model identified as E 26 was selected. Additionally, the tool 5 S that seeks to maintain tidiness and cleanliness within the processes for obtaining an agile production flow is used. The work also includes the balancing of lines, obtaining a reduction of 14% in cycle times and 66% in lead time, generating a mixed production (push and pull). In addition, a warehouse distribution of raw material, obtaining the unification of all the materials involved in the process. Finally, it was verified the validity of the future VSM through software of simulation of discrete events, being an important contribution in the study, obtaining validating the results obtained from the application of tools lean manufacturing.

Key words: *Lean Manufacturing. Optimization. VSM. Line balancing. Lead time. 5 S. Waste. Industry. Assembly. FlexSim.*



ÍNDICE

1. Introducción	7
2. Materiales y métodos.....	9
2.1. Mapeo del estado actual.....	10
2.2. Medición de indicadores	13
2.3. Identificación de desperdicios.....	15
2.4. Selección de Herramientas Lean Manufacturing.....	17
2.4.1. Propuesta de implementación de herramientas Lean Manufacturing.....	18
2.5. Mapeo del estado futuro	21
2.6. Simulación del Estado Futuro.....	21
3. Resultados.....	25
4. Discusión.....	26
5. Conclusiones	29
6. Agradecimientos.....	30
7. Referencias.....	31



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Santiago Andrés Rodas Durán en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización de Procesos operativos basado en herramientas de Lean Manufacturing en Industrias de ensamble de bicicletas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 01 de febrero de 2019

Santiago Andrés Rodas Durán

C.I: 0105204358



Cláusula de Propiedad Intelectual

Santiago Andrés Rodas Durán, autor del trabajo de titulación “Optimización de Procesos operativos basado en herramientas de Lean Manufacturing en Industrias de ensamble de bicicletas”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de febrero de 2019

Santiago Rodas

Santiago Andrés Rodas Durán

C.I: 010520435-8



1. Introducción

Resulta común encontrar problemas en las estaciones de trabajo de industrias que realizan su producción mediante manufactura y líneas de ensamble. Entre otros factores, esto se debe a una desorganización en el abastecimiento de materiales, materia prima, recursos o a movimientos innecesarios del trabajador, dando origen a tiempos muertos, desorden en el producto en proceso y acumulación de inventarios. Así, con frecuencia, dichas empresas están siempre en busca de implementar mejoras en su cadenas productivas, por ejemplo, a través de la eliminación de desperdicios identificados como sobreproducción, esperas, transportes innecesarios, procesamientos incorrectos, inventarios, movimientos y productos defectuosos (Villaseñor *et al.*, 2007).

La Manufactura Esbelta, (en inglés “Lean Manufacturing”, “LM”) se centra en obtener una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación de desperdicios, entendiéndolos como todo aquello que no aporta valor al producto desde el punto de vista del cliente. Manufactura Esbelta, se basa en el uso de herramientas desarrolladas en Japón, inspiradas en los principios de William Edwards Deming (Rajadell Carreras *et al.*, 2010), para la eliminación de desperdicios que conducen a una mejora en la calidad, una reducción en los tiempos de producción y el coste; lo que se traduce en una mayor competitividad de mercado y el logro de una mayor rentabilidad (Miguel Valpuesta L, 2016).

En el transcurso de los años, el uso de LM en la industria se ha hecho más frecuente debido a los beneficios que se generan y al hecho de contar con varias herramientas aplicables en empresas de distinta naturaleza productiva. A continuación, se exhiben algunos casos de estudio donde ha sido exitosa la aplicación de LM.

El mapa de cadena de valor (Value Stream Mapping, “VSM”), es una herramienta de LM que presenta de manera gráfica la existencia de oportunidades de mejora dentro de un sistema de producción, cuenta con un amplio campo de aplicaciones, que resulta de gran ayuda para determinar el estado actual de una empresa de manufactura. Barcia y De Loor (2007), exhibe su caso aplicado en una industria de ensamble, basando su metodología en el mapa de cadena de valor (VSM), de esta manera consigue plasmar el estado de la situación actual del proceso de ensamble, para finalmente seleccionar las herramientas de LM que eliminaran los desperdicios identificados en los procesos, esto valiéndose de indicadores como los tiempos de ciclo y takt time. Abdulmalek y Rajgopal (2007), sugirieron mejoras a un sistema productivo utilizando VSM; los autores encontraron dos factores críticos correspondientes al tiempo de producción y al inventario en proceso. Ellos presentaron la propuesta de un sistema de producción híbrido con mantenimiento productivo total, TPM, que reduce los tiempos de entrega e inventarios de producto en proceso y lo validaron mediante simulación usando software de procesos.

En forma análoga, con base al concepto anterior, Sundar *et al.*, (2014) integró el VSM, para el análisis de procesos dentro de la manufactura, logrando una integración simultánea entre el balanceo de líneas



y el control de inventarios; de esta manera, la mayoría de los procesos conducen a un sistema “pull” puro, es decir, generar una producción continua, en función de la demanda, que conlleva a una reducción considerable en tiempos de entrega del producto. Rohani y Zahraee (2015), al desarrollar el VSM para una compañía de pinturas, determinaron el estado actual de la producción y eliminaron los desechos que no agregaban valor al producto final, combinándola con herramientas como 5 S, método Kanban, método Kaizen; alcanzando una reducción considerable en el tiempo de entrega.

Para Grewal (2008), el análisis del estado actual en casos de estudio de empresas pequeñas, a través del VSM, le permitió plantear el estado actual del sistema productivo y revelar desperdicios en tiempos de entrega, tiempos de ciclo y excesivo inventario de productos en proceso; con lo antes expuesto, el VSM es una herramienta clave al momento de identificar el estado actual de los procesos de una empresa así como los desperdicios existentes dentro de su sistema de producción. El caso presentado por Choomlucksana *et al.*, (2015), pone en marcha la aplicación de herramientas LM como control visual, Poka-Yoke y 5'S, que ayudan en la identificación de áreas de oportunidad para la reducción de desechos, mejorando la eficiencia de procesos de producción; ya que se tenían procesos que generaban actividades sin valor agregado, que al ser corregidos se presentó una reducción en el tiempo de procesamiento y en actividades sin valor agregado. Para Motwani (2003) el estudio de la reducción de lotes de producción fue un tema prioritario. Al implementar un sistema de producción tipo “pull”, consiguió una reducción importante en días del pull interno en una cadena de ensamble; de esta manera, logró que los tiempos de preparación en casi todas las áreas de la planta fuesen reducidos a la mitad, usando señales visuales como programa de producción (Heijunka).

Por lo anteriormente expuesto, muchos autores coinciden que el mapa de la cadena de valor, VSM, es una de las herramientas más utilizadas para identificar el estado actual de un sistema productivo, así como los desperdicios del mismo; por esto se considera esta herramienta en este trabajo para realizar el levantamiento de la situación actual del caso de estudio. Para este propósito, se hará la selección del producto a ser considerado en el estudio, se construirá el VSM del estado actual del proceso asociado, se realizará la identificación de errores, problemas y desperdicios presentes en el estado actual, para su posterior corrección y propuesta de un estado futuro (VSM futuro).

Como punto final en el estudio, se propone la simulación de los procesos optimizados mediante herramientas LM, que se presentan en el VSM del estado futuro, esto mediante el software “FlexSim Update 2”. A diferencia de los casos expuestos, en el presente estudio se validó la propuesta de optimización para los procesos productivos (VSM futuro), mediante la simulación en software de procesos, considerándose un punto importante dentro del estudio, ya que, pocos son los casos en los que se presenta una validación de este tipo para las optimizaciones con LM.

El presente trabajo se encuentra estructurado de la siguiente forma: la sección 2 incluye materiales y métodos a ser utilizados, la metodología para el levantamiento del VSM actual, la identificación de desperdicios y la selección y aplicación de herramientas de LM para el caso de estudio; en la sección 3



se presentan los resultados y discusiones provenientes de la propuesta de optimización y, finalmente, la sección 4 contiene las conclusiones del estudio.

2. Materiales y métodos

En el presente trabajo se generó una propuesta de optimización de procesos para una empresa de manufactura y ensamble de bicicletas, ubicada ciudad de Cuenca, Ecuador, para lo cual se empleará un método de comprobación teórica, descriptiva y simulación de las herramientas de LM empleadas.

La información necesaria para hacer el estudio se encuentra contenida en los diagramas de recorrido del proceso, DPR, y datos de producción recolectados por el estudio “*Construcción de un modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas.*” (Pedro Rodas, 2018). Esta información permitió realizar el levantamiento de la situación actual, el análisis y corrección de errores/desperdicios y facilitar el planteamiento del estado futuro. Mediante un método propositivo comparativo se analiza el estado actual con la propuesta de optimización con la simulación del estado futuro mediante software para simulación de procesos.

Para el desarrollo del artículo, se procedió con la selección de herramientas a utilizar por medio de una revisión de publicaciones relacionadas con el estudio.

La Tabla 1, que condensa las herramientas usadas por diversos autores, pone en relieve que VSM es la más usada para la optimización de los procesos operativos, confirmando de esta manera su uso para el presente trabajo. La metodología a seguir para la identificación de desperdicios y la propuesta de mejoras se describe en la Figura 1.

Tabla 1: Herramientas de LM utilizadas por diversos autores

	TQM	VSM	5S	TPM	JIT	Control Visual	Poka - Yoke	OEE	SMED	TOTAL
Abdulmalek & Rajgopal (2007)		X	X	X						3
Choomlucksana, Ongsaranakorn, & Suksabai (2015)			X			X	X			3
David Bartolomé Rodríguez (2010)					X					1
Falconí & Humberto (2014)								X	X	2
Grewal (2008)		X								1
Helleno, de Moraes, & Simon (2017)		X							X	2
Motwani (2003)	X									1
Rohani & Zahraee (2015)		X						X		2
Souza, Melo, Melo, Carmo, & Carmo (2016)									X	1
Sundar, Balaji, & Kumar (2014)		X								1
Yang, Hong, & Modi (2011)	X				X					2
TOTAL	2	5	2	1	2	1	1	2	3	

Mediante el VSM se consigue visualizar la secuencia de producción, determinar el flujo de materiales y la información requerida desde el proveedor hasta el cliente, logrando identificar la cadena de valor



y detectar problemas, desperdicios y demoras en el proceso (Hernández y Idoipe, 2013). Para la elaboración de la optimización mediante LM, se tomó como base parte de la metodología planteada por futuro Barcia y De Loor, (2007), obteniéndose lo siguiente:

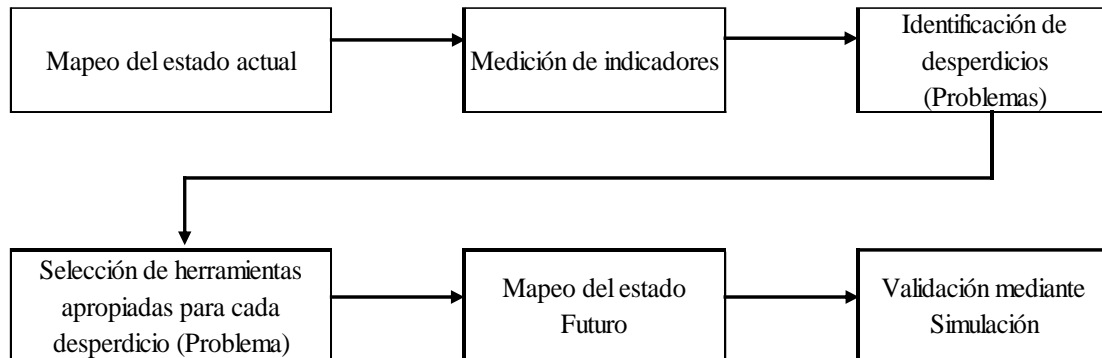


Figura 1 Metodología para el estudio.

2.1. Mapeo del estado actual.

Para representar la situación actual de la empresa para el caso de estudio, se realiza la selección del producto o familias de productos a mapear de la empresa. En este caso particular, se optó por un análisis PRODUCTO – CANTIDAD, teniendo en cuenta que en su mayoría los productos son fabricados siguiendo una misma secuencia o ruta en los procesos. Para el análisis, se consideró la producción correspondiente al año 2017. En la Tabla 2 se presenta a detalle el modelo de cada bicicleta, clasificados por el tamaño de aro, seguido de las unidades fabricadas. La Tabla 2 también muestra la estructura de productos fabricados por la empresa durante el periodo 2017, los diferentes modelos y la cantidad de unidades ensambladas. Cabe mencionar que por motivos de confidencialidad de la empresa que es caso de estudio, los nombres de los modelos fueron modificados.



Tabla 2: Modelos de bicicletas y producción, año 2017

Modelo	Descripción	Producción Año 2017 (unidades)
ARO 12"	Modelo de Bicicleta A 12	3300
	Modelo de Bicicleta B 12	2987
	Modelo de Bicicleta C 12	442
	Modelo de Bicicleta D 12	4530
	Modelo de Bicicleta E 12	747
	Modelo de Bicicleta F 12	662
	Modelo de Bicicleta G 12	2886
	Modelo de Bicicleta H 12	4691
	Modelo de Bicicleta I 12	2868
ARO 16"	Modelo de Bicicleta A 16	1092
	Modelo de Bicicleta B 16	800
	Modelo de Bicicleta C 16	250
	Modelo de Bicicleta D 16	209
	Modelo de Bicicleta F 16	7394
	Modelo de Bicicleta G 16	3762
	Modelo de Bicicleta H 16	3153
ARO 20"	Modelo de Bicicleta A 20	500
	Modelo de Bicicleta B 20	1216
	Modelo de Bicicleta C 20	7196
	Modelo de Bicicleta D 20	1150
ARO 26"	Modelo de Bicicleta A 26	1151
	Modelo de Bicicleta B 26	200
	Modelo de Bicicleta C 26	1011
	Modelo de Bicicleta D 26	2250
	Modelo de Bicicleta E 26	5329
	Modelo de Bicicleta F 26	3492
	Modelo de Bicicleta G 26	400

Específicamente, con la información disponible, se realiza un diagrama de Pareto con la información contenida en la Tabla 2, de esta manera, se consideró al modelo de bicicleta E26, resaltado en la Figura 1, debido a que es un producto que con frecuencia se lo realiza en la empresa y la estacionalidad del mismo no se presenta, mientras que los modelos que ocupan los primeros lugares en producción (modelo F16 y modelo C20), son productos estacionales de la empresa cuya información puede ser el estudio y la construcción del VSM, debido a su información limitada.

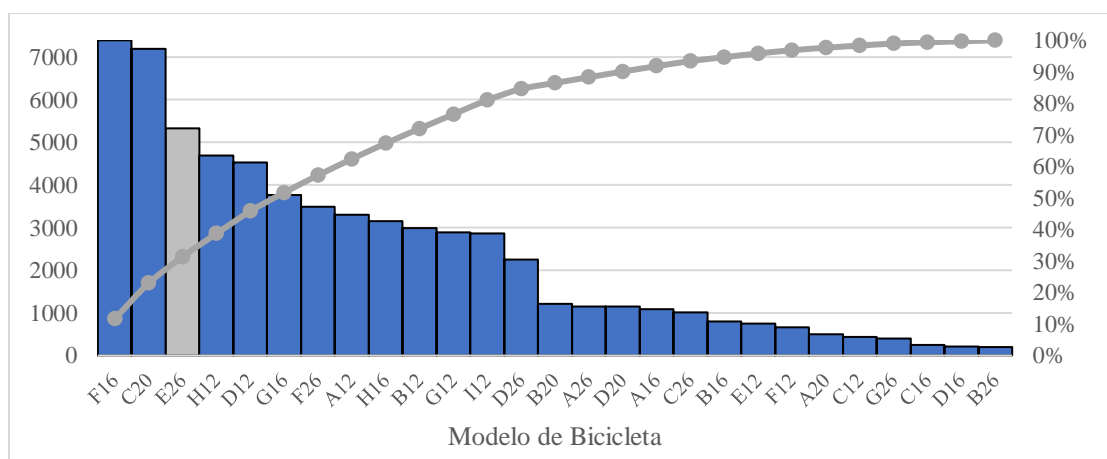


Figura 2: Diagrama de Pareto, producción 2017



La Tabla 3 detalla los procesos de producción de este modelo de bicicleta, los mismos que fueron obtenidos en las fichas DRP del modelo, en la que se incluyen tiempos de ciclo y tiempos de “set up”.

Tabla 3: Procesos productivos, operarios, C/T, C/O, modelo de bicicleta E 26

Proceso	N° de operarios	C/T (min)	C/O (min)
Corte	1	0.27	0.02
Conformado	2	2.48	0.30
Suelda	12	25.48	2.07
Tratamiento Superficial	2	10.00	6.78
Pintura	3	7.25	2.77
Horneado / Secado	2	120.00	0.00
Armado de cuadro completo y trinche	3	3.78	0.23
Armado de llantas	5	8.47	0.47
Ensamble	5	12.80	0.18
Subtotal	35	190.53	12.82
Tiempo de producción		203.35	

Nota: C/T: Tiempo de ciclo; C/O: tiempo de set up

Con la identificación de los procesos, se establecen las condiciones actuales. La información obtenida resultó de una producción de 500 bicicletas, elaboradas en 5 días, con una jornada de trabajo promedio de 10 horas (600min). Se calculó valores relacionados con porcentaje de tiempo de funcionamiento (%TF), takt time ‘ritmo al que se debe producir’ y lead time ‘Tiempo necesario para que un producto recorra un proceso o una cadena de valor de principio a fin’. Estos valores son necesarios para el VSM, los mismos se obtienen de las ecuaciones 1, 2 y 3. (Explicar poco takt time y lead time)(Hernández Matías *et al.*, 2013):

$$\%TF = \frac{\text{Tiempo de ocupación}}{\text{Tiempo Disponible}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo Disponible por día}}{\text{Demanda diaria}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Lead Time} = \frac{\text{Cantidad de Inventario} * \text{Tiempo Tack}}{\text{Tiempo disponible diario}} \quad \text{Ecuación 3}$$

La Tabla 4 contiene los resultados de los cálculos realizados, donde es posible apreciar un “takt time” correspondiente a 6min. En cuanto al “lead time”, al valor reflejado en la Tabla se le suman 5 días correspondientes al inventario inicial y 5 días correspondientes al inventario de producto terminado, lo que proporciona un total de 22.5 días.



Tabla 4: % TF, Inventarios, “Takt Time” y “Lead Time”.

Proceso	% TF	Inventario Diario (unidades)	Takt Time (min)	Lead Time (Días)
Corte	22%	280		2.8
Conformado	100%	220		2.2
Suelda	100%	150		1.5
Tratamiento Superficial	18%	100		1
Pintura	100%	100	6.00	1
Horneado / Secado	100%	100		1
Armado de cuadro completo y trinche	100%	100		1
Armado de llantas	100%	200		2
Ensamble	100%	0		0
TOTAL			6	12.5

Nota: %TF: Porcentaje tiempo de funcionamiento

Así, la Figura 3 representa el VSM del estado actual para la fabricación del modelo bicicleta E26, donde se observa la secuencia del proceso. A partir de la orden de producción semanal, se empieza con la fabricación del modelo, considerando la recepción y distribución de materia prima; se procede con la manufactura de los cuadros, para lo cual la materia prima se transporta desde la bodega correspondiente hasta los diferentes procesos para realizar el corte de tubos, conformado de los cuadros, suelda, tratamiento superficial, pintura, armado de cuadro completo/ trinche y ensamble. Finalizado con el proceso el producto terminado se transporta al área destinada para el mismo, donde posteriormente se transporta hasta la bodega de almacenamiento. Se debe mencionar que la fabricación de los aros se realiza de forma paralela a los procesos antes mencionados.

El tiempo de procesamiento total presentado mediante el VSM es de 190 min para la primera bicicleta, recorriendo desde el proceso de corte hasta concluir con el ensamble de toda la bicicleta. Se tiene además que el tiempo real de entrega basándose en el inventario en días o el lead time es de 22.5 días.

2.2. Medición de indicadores

Una vez realizado el levantamiento para el estado actual, como indicadores se tiene el tiempo de ciclo, que corresponde al tiempo que demora un proceso en producir una bicicleta y el “takt time”, que representa el ritmo con el que se debe producir una bicicleta para satisfacer la demanda del cliente de forma exacta. La situación ideal de producción se da cuando el tiempo de ciclo es igual al “takt time” (Torrents et al., 2010).

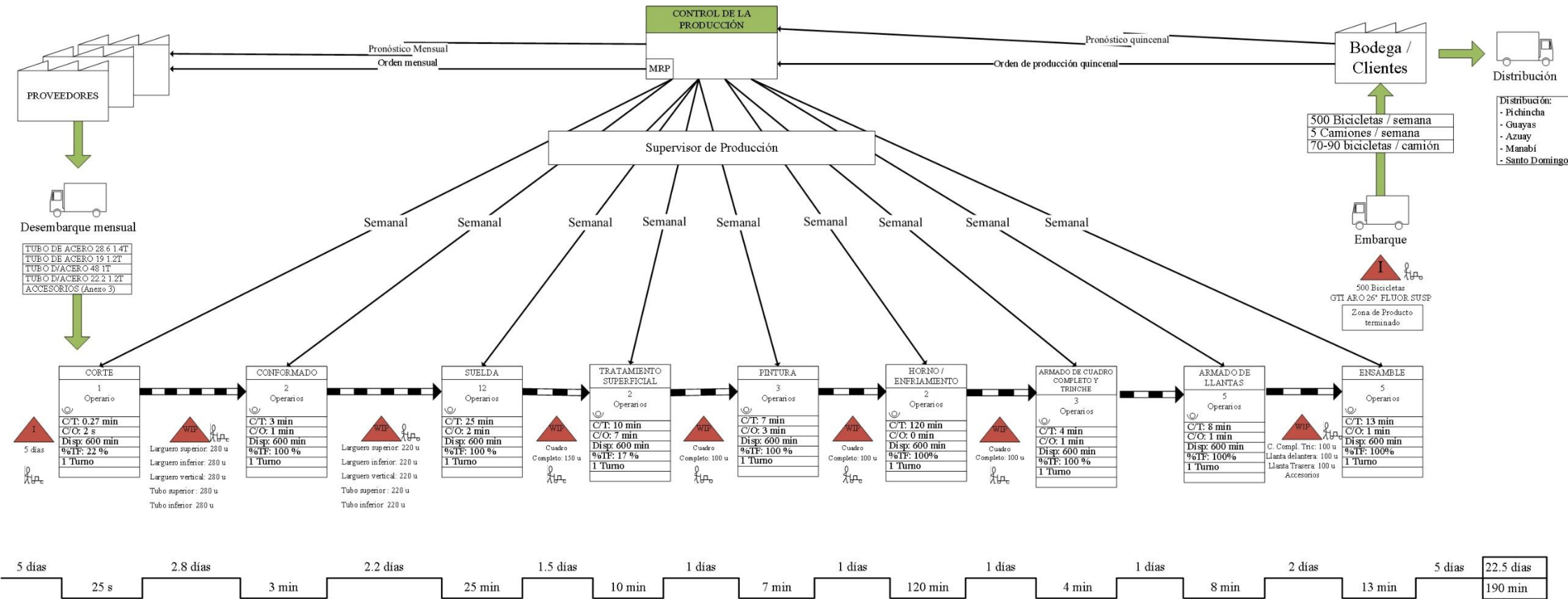


Figura 3: VSM del estado actual modelo de bicicleta E 26.



Con lo mencionado anteriormente, se realiza la comparación entre el tiempo de ciclo y el “takt time”, excluyendo los procesos de tratamiento superficial y horneado/secado, ya que son automatizados y su producción es por lotes, así, de la Figura 4 se desprende que cuatro procesos se encuentran sobre el “takt time”, lo que significa la presencia de un desbalance, que acarrea problemas para el cumplimiento de la demanda, provocando actividades indeseadas y horas extras, ocasionando desperdicio de tiempo y recursos.

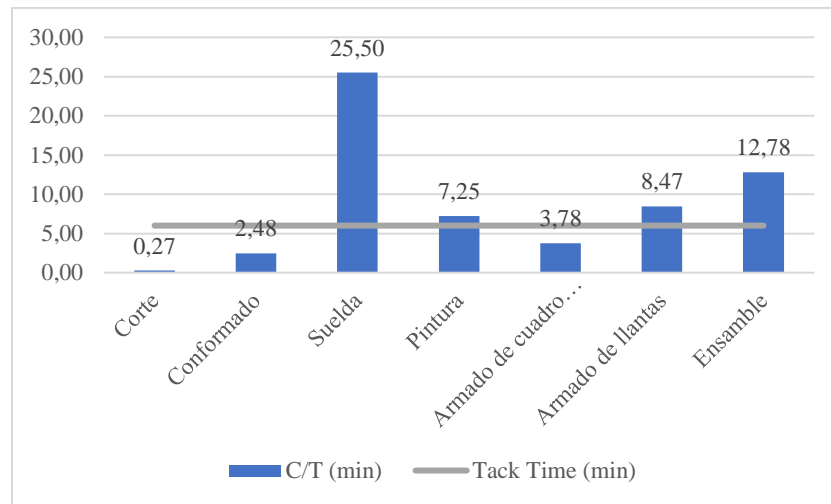


Figura 4: Tiempo de ciclo vs “takt time” (actual).

2.3. Identificación de desperdicios.

La identificación de desperdicios (problemas, falencias o errores) en el sistema de productivo, tiene como finalidad reducirlos o eliminarlos, determinando entre otros aspectos, inventarios entre procesos y tiempos de entrega. Esto se realiza mediante visitas a la empresa para hacer observación de los procesos, charlas con el personal de planta y jefes de producción para lograr entendimiento de cada desperdicio identificado.

Como punto de inicio para la identificación de desperdicios se tomó el desembarque de materia prima, seguido del análisis de todos los procesos de producción, desde corte hasta el ensamble, para terminar en el embarque de producto terminado y posterior distribución a clientes. En la Figura 4 se detalla los desperdicios y errores/problemas identificados dentro del VSM actual.

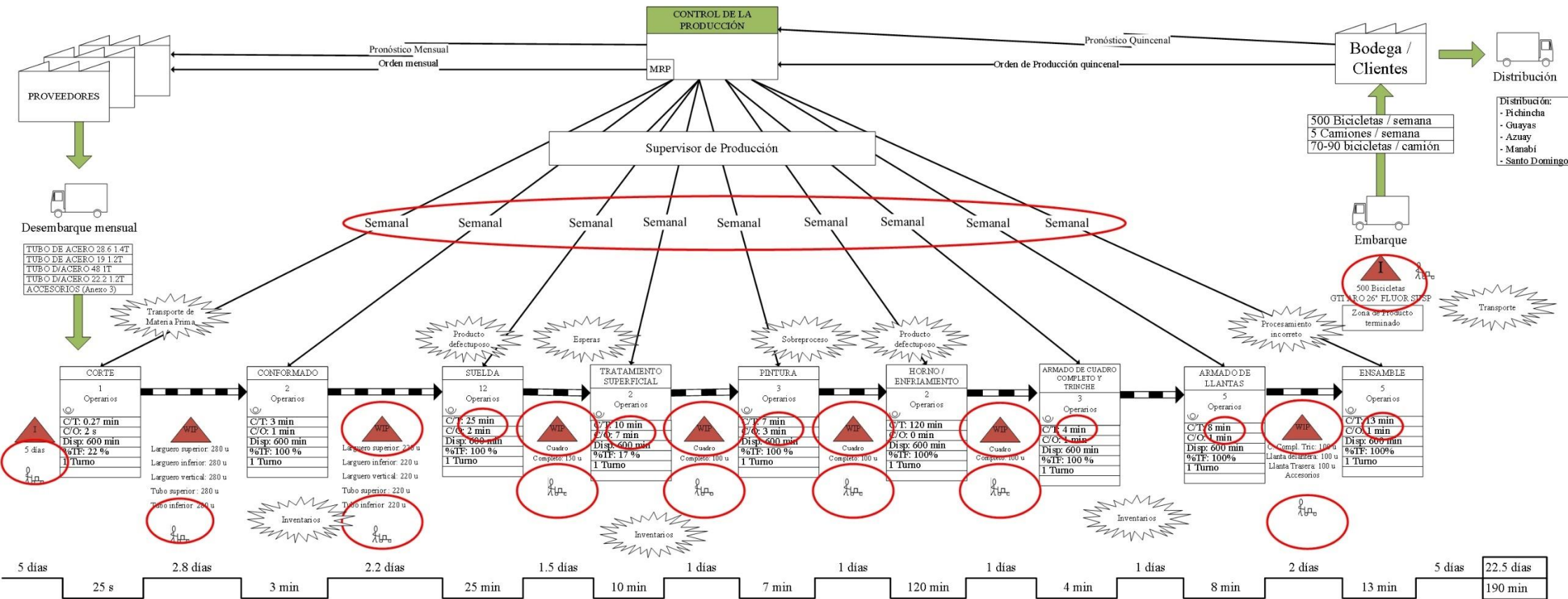


Figura 5: VSM, desperdicios



La Tabla 5 presenta los errores identificados dentro de la Figura 5, adicional se identificó el tipo de desperdicio al que corresponde cada uno y las herramientas de LM propuestas para su corrección. Para esto, se tomó como guía la metodología de estudio presentada por Barcia y De Loor (2007), que propone herramientas de LM para cada desperdicio identificado y constituye una guía para la optimización y mejora de los procesos productivos que intervienen en la fabricación de bicicletas.

Tabla 5: Desperdicios y técnicas de Lean Manufacturing.

Problemas / Errores	Desperdicio	Herramienta Lean Manufacturing
Transportes de materia prima desde distintos puntos	Transporte innecesario	Distribución de planta
Acumulación de inventarios de producto en proceso (conformado, soldado, pintura, armado de llantas)	Inventarios	Kanban
Existencia de productos defectuosos en el proceso de soldado	Productos defectuosos/ retrabajo	Estandarización
El espacio del área de soldado es reducido	Movimiento	5 S's
Los cuadros de bicicletas además del pintado automático reciben retoques manuales por parte de los operarios	Productos defectuosos/ retrabajo	TPM/Balanceo de líneas
No se dispone de un área para inventario de producto en proceso y producto terminado	Movimiento	5 S's/Distribución de Planta
El proceso de soldado representa el cuello de botella del sistema de producción.	Sobre procesamiento / Procesamiento incorrecto	Balanceo de líneas
Existencia de operarios sin realizar trabajos mientras se espera por el producto en proceso.	Espera	Balanceo de líneas/Kanban
Tiempos de set up elevados	Sobre procesamiento / Procesamiento incorrecto	SMED / Estandarización
Disposición incorrecta de los elementos en la línea de	Movimiento	5 S's
El ensamble de bicicletas no se realiza de una forma estandarizada	Sobre procesamiento / Procesamiento incorrecto	Estandarización

2.4. Selección de Herramientas Lean Manufacturing.

Para la selección de los problemas a ser tratados, se usó un cuadro de clasificación con la prioridad e impacto que la propuesta de optimización generará y se ponderó mediante la escala de Likert para establecer un valor de prioridad desde 1 hasta 5 (nula, poca, media, alta, urgente) siendo el valor más alto el empleado para una atención urgente; el mismo concepto fue utilizado para el impacto que generarán los cambios con valores que van desde 1 hasta 4 (ninguno, bajo, medio, alto). Para esta ponderación se acudió a entrevistas directas con operarios, supervisor de planta y gerencia de la empresa.

La propuesta va dirigida a problemas que superen el 80% en la ponderación total presentada en la Tabla 6, siendo considerados los más importantes por las partes interesadas. Identificados los principales problemas, se usarán las herramientas propuestas en la Tabla 5.



Tabla 6: Cuadro de Impacto y mejora.

Problemas / Errores	Prioridad	Impacto	Total	Porcentaje
1 Transportes de materia prima desde distintos puntos	5	4	9	100%
2 Existencia de operarios sin realizar trabajos mientras se espera por el producto en proceso.	5	4	9	100%
3 El proceso de soldado representa el cuello de botella del sistema de producción.	4	4	8	89%
4 No se dispone de un área para inventario de producto en proceso y producto terminado	4	3	7	78%
5 Acumulación de inventarios de producto en proceso (conformado, soldado, pintura, armado de llantas)	4	3	7	78%
6 Tiempos de set up elevados	3	4	7	78%
7 El espacio del área de soldado es reducido	4	2	6	67%
8 Disposición incorrecta de los elementos en la línea de ensamble	3	3	6	67%
9 Existencia de productos defectuosos en el proceso de soldado	3	3	6	67%
10 Los cuadros de bicicletas además del pintado automático reciben retoques manuales por parte de los operarios	2	3	5	56%
11 El ensamble de bicicletas no se realiza de una forma estandarizada	2	2	4	44%

Prioridad: 1 nula; 2 poca; 3 media; 4 alta; 5 urgente

Impacto: 1 ninguno; 2 bajo; 3 medio; 4 alto

Los problemas/errores que prioritariamente deben ser atendidos en el presente estudio, son los ubicados en los tres primeros lugares expuestos en la Tabla 6; para los cuales, las herramientas de LM a utilizar serán Distribución de Planta y Balanceo de Líneas.

2.4.1. Propuesta de implementación de herramientas Lean Manufacturing.

Una vez identificados los principales desperdicios en el estado actual, para la propuesta de optimización, se propone como punto inicial la herramienta 5 S, siendo la base para la implementación de las técnicas seleccionadas en el punto anterior. Esta herramienta al involucrar todos los procesos que conforman la producción de bicicletas, facilita la optimización mediante las herramientas LM seleccionadas.

- Propuesta 5 S

La herramienta 5 S, se enfoca en el desarrollo de actividades para la obtención de orden/limpieza y detección de anomalías dentro de cada estación de trabajo, logrando mejorar el ambiente de trabajo, seguridad del personal y consigue un aumento en la productividad. (Sacristán, 2005)

Como base para implementar las herramientas de LM dentro de la empresa, se propone la herramienta 5 S (J. Cruz y G. Pérez, 2010), analizando las áreas productivas de la empresa e involucrando al personal de cada área o estación de trabajo durante todo el proceso. Para esto, como primer punto, en cada área de trabajo se buscará clasificar y eliminar todos los elementos innecesarios, para conseguir un flujo adecuado para la elaboración del trabajo. Para la obtención de un orden dentro de los procesos, se tiene en cuenta la frecuencia y secuencia de uso de cada elemento utilizado en el proceso, estandarizando su ubicación, basándose en tres puntos clave: fácil de encontrar, fácil de utilizar y fácil de regresar.



Dentro de la planta existen lugares con elementos que no se utilizan o son de deshecho, para lo cual la limpieza es de gran importancia. Por ejemplo, tener una planta limpia facilita identificar focos de suciedad y estado de las máquinas.

Para la estandarización de clasificación, orden y limpieza, se propone:

1. Elaborar políticas para las 5 S
2. Asignar responsables de cada proceso
3. Fomentar disciplina mediante capacitaciones acerca de 5 S
4. Integrar las 3 S dentro de las actividades diarias.
5. Realizar inspecciones sobre el mantenimiento de las 5 S

Como plan para fomentar la disciplina en 5 S, en cada área se instalarán fotografías de antes y después de las 5 S, prácticas diarias de 5 S por el responsable de cada área, controles visuales, indicadores, metas alcanzadas, capacitaciones al personal sobre la importancia e impacto de la herramienta y realizar auditorías para las 5 S (Hernández Matías et al., 2013).

- *Distribución de bodega de materia prima*

Para corregir el problema del transporte de materia prima se unificará la materia prima en una sola bodega, la cual actualmente se encuentra utilizada solo con tubos, material que se utiliza para el proceso de corte y conformado. Otros elementos que intervienen en la fabricación de bicicletas se encuentran en dos bodegas alternas, pertenecientes a accesorios, pinturas, materiales para aros y llantas. Estas bodegas poseen el mismo problema, los elementos almacenados no ocupan un área importante, por lo que con una buena distribución se podrían almacenar todos estos elementos en la misma ubicación. La Tabla 7 presenta valores de distancias y tiempos empleados para suplir materiales a las estaciones de trabajo.

Tabla 7: Tiempos y distancias de transporte de materia prima a sus distintas estaciones de trabajo

Proceso	Distancia recorrida (m)	Tiempo total (min)
Corte	144.40	3.49
Suelda	118.56	12.72
Pintura	130.96	19.94
Armado de cuadro completo y trinche	130.96	19.94
Armado de llantas	130.96	16.74
Línea de ensamble	118.56	18.12
Total	774.40	90.95

Para la propuesta se consideró una cantidad de materia prima para un mes, para todos los modelos de bicicletas que se producen. También, se dejó un espacio considerable destinado al producto ensamblado, hasta que el mismo sea llevado a la bodega de almacenamiento de producto terminado.

La distribución y adecuación de la bodega se hace con los siguientes lineamientos:

- Los elementos con mayor frecuencia de uso estarán más cerca de la puerta de bodega.

- Los elementos más pesados en la parte inferior.
- La materia prima se dispondrá en el orden dispuesto por la secuencia de producción.
- Se codificará cada estante / rack de materia prima, considerando la finalidad del material.

En la Figura 6 se encuentra la disposición actual y futura de la bodega. En el estado actual, parte A, se observa la mayor parte del espacio mal utilizado, con estantes mal colocados y sin un estudio previo para su uso y ubicación, evidenciándose un desorden en la ubicación de la materia prima. Con la distribución de la bodega en el estado futuro, parte B, se ganaría un espacio considerable para ubicar toda la materia prima que interviene en el proceso, mediante una reubicación de los tubos y un aprovisionamiento de racks para la materia prima que interviene en los diferentes procesos de fabricación. Así se obtendría más espacio y mayor orden en comparación al estado actual.

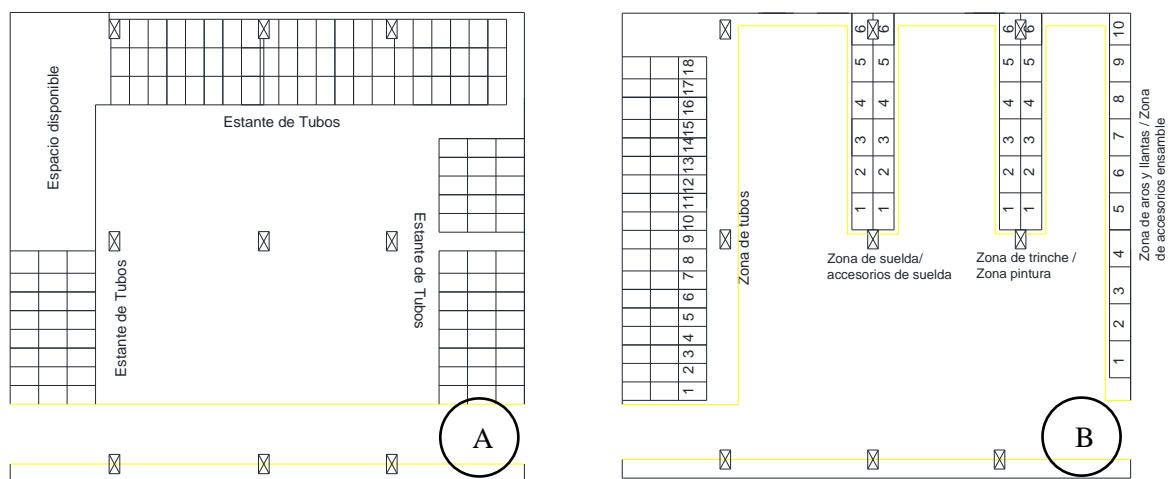


Figura 6: Distribución de bodega materia prima. A. Estado actual, B. Estado futuro.

- *Balanceo de líneas.*

El balanceo de líneas se realiza con la metodología aplicada por Meyers *et al.*, (2006) y López Acosta *et al.*, (2011). Solo se consideran los procesos presentados en la Figura 3, que superan el límite establecido por el “takt time”. Para el balanceo de líneas se identifican las actividades de cada proceso, los tiempos de ciclo, tiempos de set up y el tiempo disponible, realizándose de esta manera el análisis de cargas de trabajo y operarios que intervienen en los procesos.

Dentro de este análisis, se excluyen los procesos de tratamiento superficial y horneado/secado, debido a que, por la naturaleza del trabajo, estos son automatizados. Al organizar las actividades y los trabajadores designados para cada proceso que interviene en la fabricación del modelo de bicicleta E 26, se tomaron las siguientes acciones:

1. La operación de corte y conformado queda funcionando de la misma forma que se la lleva actualmente.



2. El proceso de suelda se dividió en dos procesos Suelda 1 y Suelda 2, consiguiendo reducir los tiempos de ciclo y el aumento de la producción en cada estación, mediante la distribución de trabajo y contratación de mano de obra
3. En el armado de llantas se unificaron tareas y se reubicó al personal, con una mejora propuesta en el tiempo de ciclo de 5,57 min.
4. De igual manera, para la línea de ensamble, se unificaron actividades y reubicó al personal. También, se propuso la adición de tres trabajadores a la línea, consiguiendo una mejora en el tiempo de ciclo a 9,02 min.

2.5. Mapeo del estado futuro

El VSM actual cuenta con un sistema de producción push, es decir, la producción se basa en la demanda existente, estado que se encuentra lejos de una situación ideal, que vendría dada con la implementación de un sistema de producción “Pull” entre sus procesos. El VSM futuro propone un sistema de producción mixto, “Push” y “Pull”. Para los procesos iniciales de corte, conformado, suelda 1, suelda 2 y tratamiento superficial, se mantendría el sistema “push” debido a la existencia de tiempos de espera amplios entre cada proceso y a la existencia de una demanda variable (Chapman, 2006). En cuanto a los procesos siguientes, la propuesta se basa en la implementación de un supermercado de productos, que contará con productos suficientes (100 unidades) para los procesos de pintura, horneado/secado, ya que son estos procesos los que marcan el ritmo de producción dentro de la fabricación de bicicletas; así, el sistema conseguirá un flujo continuo para los procesos siguientes, nivelando la producción con la demanda (Arbós, 2012).

El VSM futuro conserva el lote de transferencia que se maneja actualmente, equivalente a 50 unidades, siendo implementado desde el proceso de corte hasta que termina el proceso de suelda, para luego del proceso de pintura llevar a cabo una producción continua. De esta manera, con las mejoras y procesos nivelados mostrados en la propuesta para el modelo de bicicleta E26 y su respectiva familia de productos, el VSM del estado futuro quedaría representado según se ilustra en la Figura 7.

2.6. Simulación del Estado Futuro.

La optimización se valida mediante la simulación del VSM del estado futuro para la línea productiva correspondiente al modelo bicicleta E26, para cual, se utilizó “FlexSim2018 Update 2” software orientado a la simulación, desarrollo, visualización de sistemas y actividades con un flujo dinámico, permitiendo utilizar objetos para representar el estado de un sistema de producción de forma visual (Casadiego, 2010), bajo licencia educacional facilitada por la Universidad de Cuenca.

Para la simulación no se toma en cuenta la propuesta de 5 S, ya que no se puede determinar el impacto que dicha propuesta tendría dentro de la planta y la simulación. En la pantalla de edición de “FlexSim” se distribuyen todos los procesos desde corte hasta el proceso final de ensamble, usando como plantilla el “layout” de la planta de producción actual y adicionando la propuesta para la distribución de bodega



de materia prima. De esta manera se consigue un modelo con una perfecta ubicación de los procesos y zonas de producción, respetando las dimensiones y espacios de cada área de trabajo. La Figura 8 ilustra la pantalla de simulación del estado futuro de la planta.

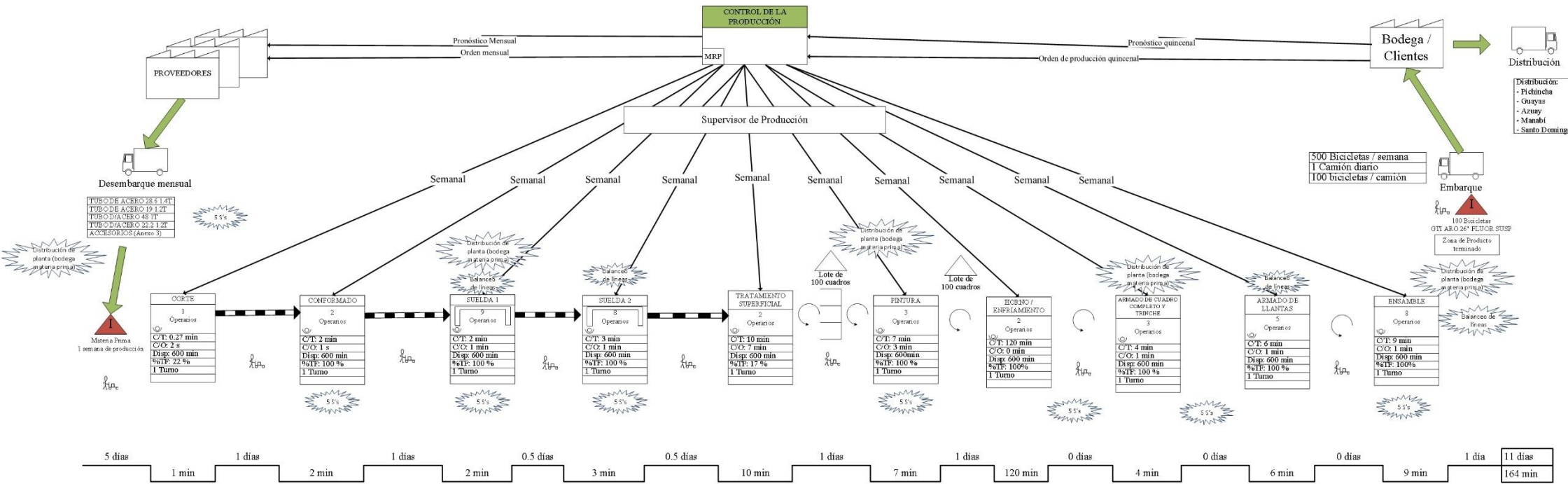


Figura 7: VSM propuesto para el estado futuro.

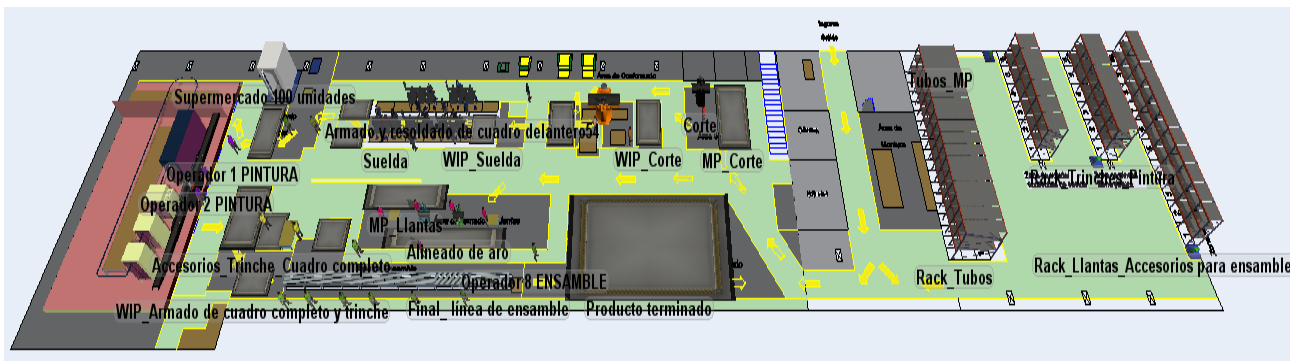


Figura 8 Simulación FlexSim, estado futuro

Los tiempos utilizados para la simulación resultan de realizar distribuciones estadísticas para diez muestras de cada proceso; así, se podrá conservar la variabilidad del sistema productivo en la simulación. Con la ayuda de “STAT::Fit” ‘Software para Ajuste de Curvas y Análisis Estadístico de los datos de entrada y salida para la Simulación’, se obtuvo las distribuciones de tiempos para todo el proceso reflejadas en la Tabla 8 (García *et al.*, 2013).

La Tabla 8 muestra la existencia de procesos cuyos tiempos de ciclo y de “set up” son constantes, esto se debe a que son procesos automatizados o constantes. El tiempo de duración en la simulación será de 600 min, correspondientes al tiempo promedio por turno y se correrá para cinco días de trabajo. La simulación del sistema, al tener un arranque desde cero, García *et al.*, (2013) recomienda el uso del “warmup time”, el mismo que se recomienda sea el valor de un día de trabajo o una jornada, que para el presente caso es de 600 min.

Tabla 8 Distribuciones para tiempos de simulación, estado futuro.

Proceso	Distribución de Probabilidad	Tiempo de ciclo (min)	Set Up (min)
Corte	Normal, $N(\mu, \sigma)$	$N(0.203; 0.0188)$	0.013
Conformado	Exponencial, $E(\gamma, \mu)$	$E(2.32; 0.143)$	0.29
Suelta 1	Uniforme, $U(\mu, h)$ / Normal, $N(\mu, \sigma)$	$U(9.47; 10)$	$N(0.821; 0.156)$
Suelta 2	Normal, $N(\mu, \sigma)$	$N(14.4; 1.13)$	$N(1.02; 0.0155)$
Tratamiento Superficial	Normal, $N(\mu, \sigma)$	10	$N(5.48; 0.0435)$
Pintura	Normal, $N(\mu, \sigma)$	$N(6.39; 0.0549)$	$N(0.882; 0.0599)$
Horneado / Secado	-	120	0
Armado de cuadro completo y trinche	Uniforme, $U(\mu, h)$	$U(3.36; 3.6)$	0.157
Armado de Llantas	Exponencial, $E(\gamma, \mu)$	$E(6.48; 7.92)$	0.3867
Ensamble	Log normal, $LN(\gamma, \mu, \sigma)$	$LN(8.94; 0.333; 0.442)$	0.1439

Nota: μ = Media; σ = Desviación estándar; γ = Localización; h = Rango medio

Una vez modelado todo el sistema, se simularon 30 réplicas, obteniendo como resultado para cada simulación un total de 653 bicicletas modelo E26; lo que da cuenta de la estabilidad en el sistema, sin que se presenten cambios debidos a la variabilidad existente en tiempos de cada proceso.



3. Resultados.

Como resultados del presente trabajo, se logró la optimización de procesos productivos de la empresa caso de estudio, mediante la implementación de herramientas basadas en LM. Para la distribución de la bodega de materia prima, la Tabla 9 muestra que la distancia con respecto al estado actual disminuyó hasta 517.4 m, que corresponde a una disminución del 33% y significará una disminución del tiempo dedicado al transporte y al esfuerzo empleado por parte del personal encargado del abastecimiento de materia prima.

Tabla 9 Distancias de transporte de materia prima, estado futuro

Proceso	Distancia recorrida (m)
Corte	144.40
Suelda	57.00
Pintura	88.00
Armado de cuadro completo y trinche	88.00
Armado de llantas	70.00
Línea de ensamble	70.00
Total	517.40

En relación al balanceo de líneas, se logró simplificar tiempos de procesos, organizar actividades, cargas de trabajo y operarios designados para cada una; así, se logró reducir el tiempo de ciclo del proceso, generando un aumento en la productividad de la planta. La Figura 9 muestra un proceso más estable con respecto al estado actual, donde a pesar de la existencia de 2 procesos que superan el “takt time”, se logró la reducción en sus tiempos de procesamiento y un aumento en la capacidad de producción de los mismos.

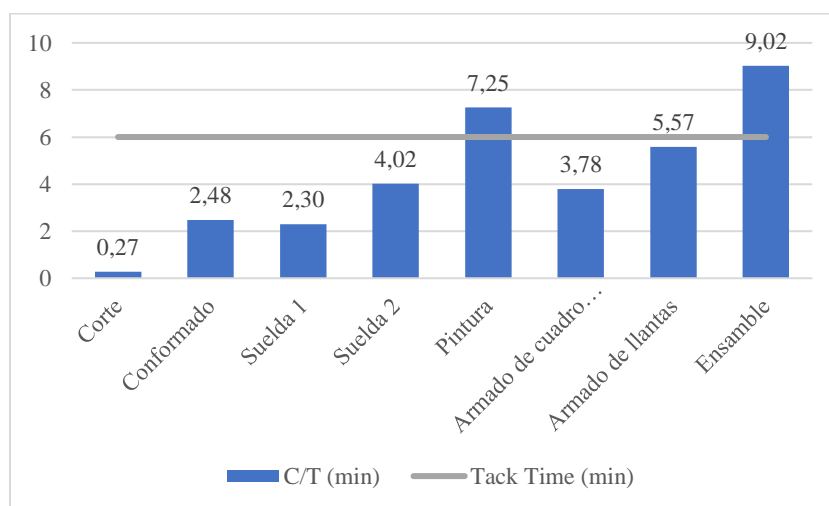
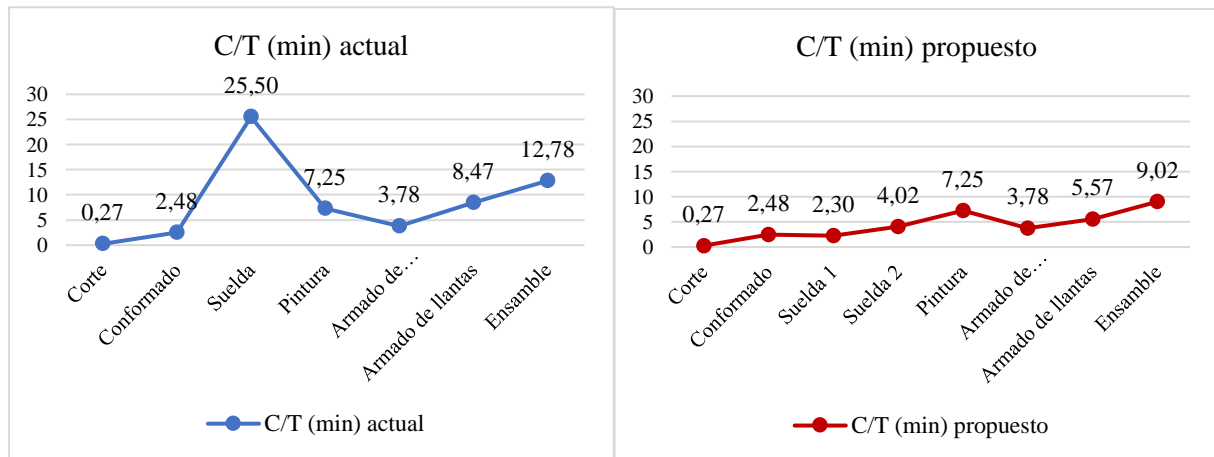


Figura 9 Tiempo de ciclo vs “takt time”



Se logró que el tiempo total se redujera a 176.77 min por bicicleta, correspondiente a una reducción del 14% en comparación con el estado actual. La Figura 10 representa una reducción significativa en los tiempos de cada proceso a comparación con el estado actual, se controló el cuello de botella causado por el proceso de suelda y se consiguió la reducción de los tiempos de ciclo de armado de



llantas y ensamble.

Figura 10 Comparativa, estado actual vs Estado Futuro.

El “Lead time” se reduce considerablemente, teniendo para el VSM del estado actual un “lead time” de 25 días, mientras que para VSM futuro se logró una reducción a 11 días, que representa una disminución del 66%. El estado futuro contará con la implementación de un supermercado de productos ubicado entre el proceso de tratamiento superficial y pintura, con inventario para 1 turno (100 unidades), para conseguir que toda la planta empiece con producto en proceso, eliminando esperas, obteniendo una producción “pull”. En adición, para el estado futuro se conserva el lote de transferencia actual, que corresponde a lotes para 50 bicicletas.

Se realizó la simulación de 30 réplicas, obteniendo el total de 653 bicicletas modelo E26 como resultado de la producción, según se ilustra en la Figura 10, mostrando estabilidad en el sistema sin afección por la variabilidad de los tiempos de cada proceso. Esta cantidad de bicicletas resulta al correr la simulación por tiempo de una semana (3000 min).

La producción actual de la empresa corresponde a 500 unidades ensambladas en 5 días. Mediante la simulación se consiguió hasta 653 unidades semanales, representando un incremento del 23.43%, correspondiente a 153 unidades adicionales por semana.

4. Discusión

Barcia y De Loor (2007) proponen una metodología de mejora basada en VSM, planteando herramientas de adecuación de áreas físicas, implantación de 5 S, Kanban, calidad en la fuente y controles de inventarios. Mediante el diseño de una célula de manufactura y reubicación del personal



innecesario generaron un aumento del 100% de la capacidad productiva, una reducción del 72.93% del tiempo de ciclo y la disminución del 42.3% en el tiempo de transformación, logrando la disminución del 37.92% del plazo de entrega. La investigación considera la metodología de Barcia y De Loor, siguiendo un lineamiento específico para el caso de estudio. Por ejemplo, para la optimización de procesos se crea una propuesta mediante el uso del VSM, como primer punto para identificar desperdicios dentro del caso de estudio, mientras que para eliminar estos desperdicios se emplean herramientas como: 5S, Distribución de Planta y Balanceo de Líneas. El alcance de la propuesta de investigación contempla la obtención de un VSM del estado futuro para la elaboración de la bicicleta E26. A continuación, una discusión en contraste con otros estudios.

De la implementación de 5 S, como referencia se toma los estudios presentados por Benavides et al., (2010) y Gómez et al., (2012), los cuales indican una mejora inmediata en aspectos tales como: orden, limpieza de las áreas de trabajo, eliminación de objetos o residuos que obstaculizan el trabajo, orden en las herramientas, reducción en tiempos de procesamiento y consiguen un incremento en la producción, generando satisfacción visual y comodidad al momento de realizar el trabajo. De igual manera, Paredes Rodríguez (2017) propone mejoras mediante VSM, siguiendo la metodología anterior mencionada, realizando la aplicación de las herramientas 5 S, Kanban y distribución de planta. En el estudio, se determina que el mayor beneficio dentro de la implementación se dio por parte de la herramienta 5 S consiguiendo mejoras visuales evidentes y generando flujos de trabajo continuos y libres de obstáculos. El estudio de Benavides y Gómez fue aplicado en una empresa con similares características que la empresa analizada por lo que se puede inferir que los resultados se asemejarían a los propuestos por los autores. Cabe recalcar que el impacto de esta herramienta se determina hasta el momento de su implementación dentro de la empresa, por lo que se espera que se obtengan resultados similares a los antes mencionados, al generar orden y limpieza dentro de las áreas de trabajo.

Continuando con la discusión, se presenta la identificación de desperdicios mediante VSM, que permitió definir puntos críticos dentro de la producción sobre los cuales hubo oportunidad para mejoras. En cuanto a distribución de planta, se enfocó en lograr la unificación de materia prima en un solo punto y a la reducción de tiempos y distancias que recorre la materia prima que interviene en todo el proceso, obteniéndose una disminución del 33% en la distancia recorrida para proveer de materia prima a los procesos, considerando que para lograr el objetivo es necesario conseguir una organización adecuada basada en el orden y frecuencia de uso de los materiales almacenados. En el presente caso de estudio, la distribución de planta es aplicada a la bodega de materia prima, a diferencia de los casos presentados, los cuales se centran en organizar y mejorar el flujo de trabajo mediante una distribución adecuada de los procesos y sus áreas de trabajo.

Como propuesta de valor, a diferencia de los casos antes mencionados en la introducción, se encuentra el balanceo de líneas; que logra una reducción en los tiempos de ciclo de los procesos más críticos (suelta, armado de llantas, ensamble). Para que el balanceo de líneas sea efectivo, se requiere



considerar la contratación de personal para los nuevos procesos de suelda (Suelda1, Suelda 2) y ensamble, también la asignación de trabajo y nuevas tareas. Un aspecto importante dentro del VSM futuro es la propuesta del supermercado de productos, que representa un requisito importante para que el sistema propuesto cumpla con la con el objetivo de mejora y obtención de un sistema de producción mixto “Push” y “Pull”, lo que genera un estado futuro con una reducción total del 14% en el tiempo total de procesamiento, reducción del 66% en “lead time” y un aumento en la productividad correspondiente al 23.43%.

Por otro lado, un aporte importante del estudio a diferencia de los casos de estudios presentados en la introducción y de la posterior metodología y caso presentado por Barcia y De Loor (2007), se da mediante la validación de las herramientas LM utilizadas para reducir los desperdicios identificados, (a excepción de la herramienta 5 S); la misma se realizó mediante simulación del VSM futuro por medio del software “FlexSim 2018 Update 2”; lo que representa un aporte significativo al presente caso de estudio, facilitando plasmar los resultados teóricos en un ambiente próximo a lo real ya que se toma en consideración la variabilidad existente en los tiempos de cada proceso. En la Tabla 8, correspondiente a la distribución estadística de tiempos de los procesos, al realizar un análisis de las distribuciones, se observa que el sistema presenta varios procesos con distribuciones normales y uniformes, lo que significa que existe una estabilidad en el flujo de producción, misma estabilidad que se presenta en todas las réplicas realizadas en la simulación; lo que da como resultado que la producción no presente variaciones a través del tiempo. La simulación de las mejoras propuestas, están enfocadas a mejorar el flujo de producción, siendo de fácil aplicación y consiguiendo cambios importantes para la empresa. Se debe recalcar que, para la simulación se considera un escenario optimista, en el cual no se encuentran factores tales como: demoras provenientes de paros en la producción debidos a fallos, cantidad de unidades defectuosas y tampoco se considera el nivel de ausentismo de operarios en la empresa; ya que para el estudio no se obtuvo dicha información, la cual representa una variedad de escenarios que se podrían proponer según las necesidades de la empresa.



5. Conclusiones

Se logra probar que la propuesta de optimización de procesos operativos mediante la filosofía LM cumple con el objetivo formulado, evidenciando resultados como el aumento de la productividad y la nivelación de trabajo, que pueden ser vistos en términos de una reducción considerable en tiempos de ciclo y “lead time”. Mediante el VSM se logró plasmar el estado actual de operación de la planta productiva, siendo esta la herramienta principal dentro del estudio, mediante la cual se identificaron problemas y desperdicios existentes dentro del proceso de producción. De los desperdicios identificados nace la propuesta de 5 S, que centra su objetivo en conseguir una cultura de orden y limpieza dentro de cada uno de los procesos. Esta herramienta es base fundamental para las otras utilizadas en el estudio, siendo importante para la obtención de mejores resultados.

De la distribución para la bodega de materia prima, se obtuvo resultados importantes como la unificación de todos los materiales para el ensamble de las bicicletas en un solo punto, lo que genera una mayor facilidad en cuanto a transporte, una reducción en las distancias de recorrido y, consiguientemente, una disminución considerable en los tiempos de transporte que se traduce en una disponibilidad inmediata de materia prima.

Mediante el balanceo de líneas, los procesos que se encontraban sobre el “takt time” fueron sometidos a una nivelación y asignación de cargas de trabajo. Adicionalmente, la agrupación de actividades con el fin de tener procesos equilibrados, que condujo a una reducción en cuanto a tiempos de ciclo, siendo lo más notable la división del proceso de soldadura (suelda 1, suelda 2), con una reducción en el tiempo total de procesamiento y en el “lead time”.

En el modelado del VSM futuro mediante el Software de FlexSim 2018 Update 2, presenta una aproximación a los resultados obtenidos de la propuesta, se puede comprobar una mejora significativa en la productividad, lográndose un aumento del 23.43%. Además, la simulación demostró la validez de la implementación del supermercado de productos, ya que se logra un flujo continuo desde el proceso de pintura, horneado/secado hasta el final de la línea de ensamble. Se debe tener como consideración que la variabilidad que afecta la simulación no será la misma que afecta el estado real de la planta, esto debido a factores externos que no pueden ser considerados en la simulación tales como ausentismo, tiempos de esperas, descansos, etc.

De la propuesta de optimización realizada para el presente caso de estudio, se tiene que al realizar acciones tales como la contratación de mas trabajadores para la planta de producción, se consigue una mejora significativa en la producción y aun contando con la incorporación de más personal, la empresa obtendría un aumento en la rentabilidad, proveniente de la fabricación del modelo de bicicleta E26, rompiendo un paradigma predispuesto, en el cual dicta que para mejorar la rentabilidad de una empresa se necesita reducir el personal dentro de la misma.

Un punto fuerte de la filosofía de LM es que, al contar con varias herramientas para la eliminación de desperdicios y mejora de procesos, presenta un campo de estudio extenso, con



aplicación viable a cualquier tipo de industria. En el presente caso de estudio, se dejó abierta la posibilidad de usar Kanban y SMED, que son herramientas enfocadas a la reducción de inventarios de productos en proceso y a la reducción de tiempos de “set up”, que forman parte de los problemas que aquejan a la mayor parte de industrias, así de la misma manera se presentan limitaciones provenientes de los costos de implementación que no fueron considerados en este análisis y que se presenta para un estudio futuro. De igual manera, el impacto exacto de la herramienta 5 S, que solo es posible evaluar al realizar la implementación en la empresa. En cuanto a la simulación, se recalca que los valores que se toman en consideración para el modelo son proporcionados por estudios anteriores.

6. Agradecimientos

Agradezco de manera especial a todo el personal involucrado en el proyecto “Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos de la Industria de Ensamblaje” ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos de Investigación, financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) para la elaboración del presente estudio, al personal administrativo y operativo de la empresa y al equipo de compañeros investigadores, por el apoyo brindado para alcanzar las metas propuestas.



7. Referencias

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study*. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Andrés Velasco Sosa, J., & Ponz-Tienda, J. (2016). *Aplicación De La Filosofía De Lean Production Para El Mejoramiento Del Proceso De Producción – Almacenamiento – Suministro De Un Producto Prefabricado En Concreto Reforzado; Estudio De Caso Para La Industria De La Construcción Colombiana*. Recuperado De https://www.researchgate.net/publication/310607189_aplicacion_de_la_filosofia_de_lean_production_para_el_mejoramiento_del_proceso_de_produccion_-_almacenamiento_-_suministro_de_un_producto_prefabricado_en_concreto_reforzado_estudio_de_caso_para_la_ind
- Arbós, L. C. (2012). *Procesos en flujo Pull y gestión Lean. Sistema Kanban: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción (1ra Edición)*. Pearson Educación.
- Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M., & Suksabai, P. (2015). *Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles*. *Procedia Manufacturing*, 2, 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.090>
- David Bartolomé Rodríguez. (2010). *Business Process Reengineering within the bicycle industry*. KTH Industrial Engineering and Management, Sweden. Recuperado de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:478322/FULLTEXT01>
- Falconí, A., & Humberto, A. (2014). *Implementación de OEE y SMED como herramientas de Lean Manufacturing en una empresa del sector plástico*. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8043>
- García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. México: Pearson Educación.
- Grewal, C. (2008). *An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in a small company*. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 15(3-4), 404-417. <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2008.020176>
- Helleno, A. L., de Moraes, A. J. I., & Simon, A. T. (2017). *Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry*. *Journal of Cleaner Production*, 153, 405-416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing: concepto, técnicas e implantación*. Madrid: Fundación EOI.



- Johnny Cruz, & Graciela Pérez. (2010). *Manual para la implementación Sostenible de las 5 S's* (2 da Edición). Santo Domingo: INFOTEP.
- K. Barcia, & C. De Loo. (2007). *Metodología para Mejorar un Proceso de Ensamble Aplicando el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)*. *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol. 20, N. 1, 31-38, (Octubre, 2007), ISSN : 0257-1749.
- K. Benavides, & P. Castro P. (2010). *Diseño E Implementación De Un Programa De 5s En Industrias Metalmecánicas San Judas Ltda.* Universidad De Cartagena, Cartagena. Recuperado De [Http://190.242.62.234:8080/Jspui/Bitstream/11227/1129/1/339-%20ttg%20-%20dise%C3%91o%20e%20implementaci%C3%93n%20de%20un%20programa%20de%205s%20en%20industrias%20metalmec%C3%81nicas%20san%20judas%20ltlda..Pdf](http://190.242.62.234:8080/Jspui/Bitstream/11227/1129/1/339-%20ttg%20-%20dise%C3%91o%20e%20implementaci%C3%93n%20de%20un%20programa%20de%205s%20en%20industrias%20metalmec%C3%81nicas%20san%20judas%20ltlda..Pdf)
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. México: Pearson Education.
- L. Gómez G, H. Giraldo Ayala, & C. Pulgarin Rojas. (2012). *Implementación De La Metodología 5 S En El Área De Carpintería En La Universidad De San Buenaventura*. Universidad De San Buenaventura, Medellín. Recuperado de https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1038/1/Implementacion_Metodologia_Carpinteria_Giraldo_2012.pdf
- Metodología de las 5s. (s. f.). Recuperado 9 de marzo de 2018, de <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>
- Meyers, F. E., Stephens, M. P., & Enríquez Brito, J. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México: Pearson Educación.
- Miguel Valpuesta Lucena. (2016). *Ejemplo de aplicación de herramientas Lean en una fábrica del sector automoción*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91057/fichero/TFG+Ejemplo+de+aplicaci%C3%B3n+de+herramientas+Lean+en+una+f%C3%A1brica+del+sector+automoci%C3%B3n.pdf>
- Motwani, J. (2003). *A business process change framework for examining lean manufacturing: a case study*. *Industrial Management & Data Systems*, 103(5), 339-346. <https://doi.org/10.1108/02635570310477398>
- Mtro. Mauricio López Acosta, Mtra. Gilda María Martínez Solano, Mtro. Aarón Fernando Quirós Morales, & Mtro. Jorge Alberto Sosa Ochoa. (2011, octubre). *Balanceo De Líneas Utilizando Herramientas De Manufactura Esbelta*. *Revista El Buzón de Pacioli, Número Especial 74*. Recuperado de https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no74/21.-_balanceo_de_lineas_utilizando_herramientas_de_manufactura_esbelta.pdf



- Pedro Rodas D, Rodrigo Guamán, & Eliezer Colina Morles. (2018). “*Construcción de un modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas.*” *Universidad de Cuenca.*
- Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. L. (2010). *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad.* Madrid: Díaz de Santos.
- Rodolfo Casadiego Azalte. (2010). *Guía de usuario para el modelamiento y analisis con el Software FlexSim* (Universidad de Santander). Recuperado de <https://es.slideshare.net/rodolf22/manual-en-espaol-de-software-flexsim>
- Rohani, J. M., & Zahraee, S. M. (2015). *Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry.* *Procedia Manufacturing*, 2, 6-10.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.002>
- Sacristán, F. R. (2005). *Las 5S: orden y limpieza en el puesto de trabajo.* FC Editorial.
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. M. S. (2014). *A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques.* *Procedia Engineering*, 97, 1875-1885.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Tejeda, A. S. (2011). *Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos.* *Ciencia y Sociedad*, XXXVI(2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=87019757005>
- Torrents, A. S., Vilda, F. G., & Postils, I. A. (2010). *Manual práctico de diseño de sistemas productivos.* Ediciones Díaz de Santos.
- Paredes Rodríguez, (2017). *Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio.* Universidad del Valle, Cali- Colombia, *ENTRAMADO*, 13(1), 262-277. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25103>
- Villaseñor Contreras, A., Galindo Cota, E., Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (México), & Campus Sonora. (2007). *Manual de lean manufacturing: guía básica.* México: Noriega Edits. : Limusa : ITESM, Campus Sonora.
- Yang, M. G. (Mark), Hong, P., & Modi, S. B. (2011). *Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms.* *International Journal of Production Economics*, 129(2), 251-261.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.017>