



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Ingeniería Industrial

“Propuesta de Optimización de Procesos Operativos basados en herramientas de Lean Manufacturing en Industrias de Ensamble.”

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

Autor:

Jonnathan David Quezada Cazorla

CI: 0105744759

Tutor:

Ing. Juan Carlos Llivisaca Villazhañay, M.Sc.

CI: 0105627269

Cuenca – Ecuador

24/07/2019



RESUMEN

La competencia y el dinamismo económico obligan a las industrias de ensamblaje a buscar filosofías productivas de mejora, optimizando procesos y recursos. El desafío en la optimización involucra conocer qué herramientas a aplicarse otorgarán un proceso óptimo. El presente trabajo propone la optimización de procesos, tomando como caso de estudio una empresa ensambladora de motocicletas, a través de la aplicación de herramientas de Manufactura Esbelta (ME) y conceptos adicionales como: 1.- Distribución de planta, que conjuntamente con el cambio de sistema productivo de celdas de trabajo a línea de ensamble, permite la reducción de distancias recorridas, eliminación de movimientos innecesarios y reprocesos; 2.- Sistema Pull, que consigue un aminoramiento de existencias tanto de producto en proceso como producto final en bodega, evitando la generación de desperdicios futuros (mudas en ME) y gastos por sobreproducción; y 3.- La herramienta 5S, que conlleva a mantener el orden y limpieza dentro de la planta para facilitar el manejo de los recursos internos. En el trabajo realizado se logra una disminución promedio de 40% en tiempo de ensamble y un aumento promedio de producción del 30% de todos los modelos de motocicletas que fueron parte del estudio.

Palabras claves: Desperdicios. Eficiencia. Industrias de ensamble. Manufactura esbelta. Distribución de planta. Línea de ensamble. Sistema Pull. 5S. Productividad. Simulación de procesos. FlexSim.



ABSTRACT

Competition and economic dynamism force the assembly industries to look for productive philosophies of improvement, optimizing processes, and resources. The challenge in the optimization involves which tools to be applied will grant an optimal process. The present work proposes the optimization of processes, taking as a case study a motorcycle assembly company, through the application of Lean Manufacturing (LM) tools and additional concepts such as: 1.- Plant distribution, which together with the change of the productive system of work cells to assembly line, allows the reduction of distances traveled, elimination of unnecessary movements and reprocessing; 2.- Pull System, which achieves a reduction in stock of both product in process and final product in the warehouse, avoiding the generation of future waste (silent in LM) and expenses for overproduction; and 3.- 5S tool, which entails maintaining order and cleanliness inside the plant to facilitate the management of internal resources. The main results of this study are an average reduction of 40% in assembly time and an average increase in production of 30% of all motorcycle models.

Keywords: Waste. Assembly industries. Efficiency. Lean Manufacturing. Distribution plant. Assembly line. Pull system. 5S. Productivity. Process simulation. FlexSim.



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Fase 1. Estudio de la situación actual de la planta ensambladora y determinación de los principales problemas (desperdicios).....	11
Fase 2: Determinación de las herramientas de ME, necesarias para solventar los problemas relacionados con los desperdicios identificados.....	17
Fase 3: Propuesta de Optimización.....	18
Fase 4. Simulación de la situación futura una vez aplicadas las herramientas.....	21
3. RESULTADOS.....	23
4. DISCUSIÓN.....	26
5. CONCLUSIÓN.....	31
AGRADECIMIENTO.....	32
REFERENCIAS.....	33
ANEXOS.....	37
<i>ANEXO 1. Pronósticos.....</i>	<i>37</i>
<i>ANEXO 2. Planeación Agregada.....</i>	<i>38</i>



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Jonnathan David Quezada Cazorla en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Propuesta de Optimización de Procesos Operativos basados en herramientas de Lean Manufacturing en Industrias de Ensamble", 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, 24 de julio de 2019

Jonnathan David Quezada Cazorla

C.I: 0105744759



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jonnathan David Quezada Cazorla, autor del trabajo de titulación "Propuesta de Optimización de Procesos Operativos basados en herramientas de Lean Manufacturing en Industrias de Ensamble", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de julio de 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, positioned above a horizontal line.

Jonnathan David Quezada Cazorla

C.I: 0105744759



1. INTRODUCCIÓN.

El denominador común de las industrias de ensamble es trabajar mediante un sistema rígido de producción con capital intensivo, que muchas veces conllevan a falencias en el proceso, movimientos innecesarios y tiempos muertos que acarrear costos excesivamente elevados (Muñoz, 2009). De acuerdo a Taj y Berro (2006), el sector empresarial despilfarra alrededor del 70% de recursos en materia prima, mano de obra e instalaciones; por otro lado, según Melton (2005), solo el 5% de las actividades realizadas por las organizaciones agregan valor real al producto. Estos hechos, sumados a los constantes cambios y la alta competitividad, han obligado a las organizaciones a buscar métodos y filosofías de producción que generen una mayor productividad y eficiencia, logrando así responder a exigencias del mercado, como tiempos de entrega, alta calidad y precios competitivos. De igual manera, al solventar desperdicios que no generan valor al producto, se disminuye costos y tiempo, factores que el cliente no está dispuesto a pagar (Pedraza, 2010; Restrepo et al, 2008; Baluis, 2013).

La filosofía de Manufactura Esbelta, ME, (Lean Manufacturing) hace frente a los diferentes desperdicios relacionados con sobreproducción, esperas, inventario, transporte, defectos, desperdicio de procesos, movimientos innecesarios y subutilización de la capacidad de los empleados (Tejeda, 2011). Para esto, ME utiliza diversas herramientas, tales como, Sistema Pull, 5S, SMED (Single Minute Exchange of Die; en español, cambio de matriz en menos de diez minutos), Kanban, Kaizen, Heijunka, Jidoka, y Mapeo de Cadena de Valor (en inglés Value Stream Mapping, VSM) (Vargas *et al.* 2016). Esta filosofía posee su origen en el sistema de producción “Justo a Tiempo”, JAT (en inglés Just in Time, JIT), desarrollado por Toyota en los años 50. Esta empresa implantó JAT en todos los sectores dentro de la organización, de ahí que el éxito de este modelo se encuentre en desarrollar tácticas que permitan encontrar el modo de mejora que domine todas las actividades de la empresa (Muñoz, 2009). La filosofía ME es empleada por aquellas organizaciones que desean aumentar su participación en el mercado, logrando obtener resultados positivos y reduciendo recursos debido a que proporcionan pequeñas y frecuentes mejoras. Esto permite que las empresas que adoptan esta filosofía incrementen su competitividad, posicionamiento y rentabilidad en sus productos y servicios (Arrieta *et al.* 2011; Rajadell y Sánchez, 2010). ME no solamente se encarga de agregar valor al cliente, sino que busca su mejora continua, a través de la aplicación de técnicas como la organización de puestos de trabajo (distribución de planta), la gestión de la calidad, el flujo interno de producción, así como, el mantenimiento y gestión de la cadena de suministro (Beltrán & Soto, 2017). Socconini (2008) expresa que el verdadero poder de ME radica en descubrir continuamente en toda empresa aquellas oportunidades de



mejora que están escondidas, pues siempre habrá desperdicios susceptibles de ser eliminados.

En la literatura se encuentran varios casos de éxito de la aplicación de la filosofía de ME. Por ejemplo, una de las técnicas más documentadas en el sector metalmeccánico es la distribución de planta que consiste en colocar las áreas de manera que permitan un mejor flujo de producción (Sortino, 2001). Esta herramienta busca encontrar la forma más eficiente de ordenar los equipos y áreas de trabajo tomando en cuenta, entre otros factores, espacios necesarios para el movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración y servicios para el personal (Salazar *et al.* 2010). Castillo (2016) expone su propuesta aplicada a una empresa metalúrgica, que consistió en el diseño de una distribución de planta con la finalidad de disminuir costos operacionales, aumentando el cumplimiento de las órdenes de entrega a los clientes. El autor logró la consecución de objetivos al obtener una reducción de costos en un 15,79% y al aumentar el porcentaje de cumplimiento de órdenes de entrega hasta un 51,68%. Siguiendo este lineamiento, Delgado (2016) propone una distribución de planta enfocada al aumento de la productividad en una empresa dedicada a la elaboración de gabinetes para telecomunicaciones. El objetivo de su estudio fue el de eliminar procesos innecesarios en el área operativa, disminuir costos y, sobre todo, lograr un rendimiento dinámico en las operaciones necesarias para la transformación de materia prima a producto terminado. Para este fin, el autor utilizó herramientas de Ingeniería Industrial como: diagramas de Pareto, flujogramas, diagramas de proceso de operaciones y diagramas de causa-efecto. Como resultado de la investigación se logró una reducción de tiempos muertos generados por recorridos innecesarios, aumentando la capacidad de producción y el cumplimiento de fechas de entrega. Salazar *et al.* (2010) proponen una distribución de planta en una empresa metalmeccánica mediante un proceso analítico jerárquico, donde fundamentan su hipótesis en que la conformación de familias y células permite un mejor flujo de material, eliminando movimientos excesivos de producto en proceso y tiempos de espera generados mayormente por la inadecuada ubicación de maquinaria y materiales. Concluido su estudio, se logró una mejora en la utilización de la maquinaria en un 50% y una reducción de las distancias recorridas de 237 m a 163.7 m, y con ello, una disminución en tiempos de ciclo por producto.

Otra de las técnicas más comunes es el 5S. El esquema de la herramienta, resultante de palabras en japonés, proviene de cinco pasos o fases: clasificación (seiri), ordenamiento (seiton), limpieza (seiso), disciplina (seiketsu) y estandarización (shitsuke) (Rajadell & Sánchez 2010). El objetivo de la herramienta 5S es mejorar y mantener las condiciones de organización, el orden y



limpieza en el lugar de trabajo, la seguridad, el clima laboral, la motivación del personal y la eficiencia y, en consecuencia, la calidad, la productividad y la competitividad de la organización (Cardona, 2013). Sarria *et al.* (2017), en su modelo metodológico, toman en cuenta a la herramienta 5S como la base para el proceso de implementación de la filosofía ME, generando de esta manera indicadores y metas a cumplir para la organización. Esta herramienta permitió un mejoramiento en el orden y la configuración de las áreas de trabajo, además, fue fuente de motivación hacia el personal para el fortalecimiento de los hábitos productivos, permitiendo una rápida implementación de esta filosofía. Palomino (2013), en su aplicación de ME en la línea de envasado de una planta de lubricantes, menciona que con el uso de las 5S se logró una reducción sustancial en los tiempos de proceso, puesto que se generó una disminución del 27% en tiempos de preparación y de 36% en tiempos de limpieza. Así mismo, Hernández (2013) describe el impacto de las 5S en las pequeñas y medianas empresas, PyMEs, logrando un rendimiento positivo en términos de productividad, calidad, clima organizacional y seguridad industrial, así como un mejoramiento del clima laboral y una reducción de riesgos laborales dentro del taller.

Finalmente, el Sistema Pull es la opción para disminuir el almacenamiento innecesario y la sobreproducción. Nahmias (2005) define al Sistema Pull como el inicio de la producción a la reacción de la demanda del cliente, es decir, es un sistema donde el mercado desencadena un jalonamiento de materiales a través de todo el sistema productivo. Por lo tanto, este sistema requiere el uso indispensable de información en tiempo real que permita controlar el flujo de producto en todos los procesos. Su objetivo principal es la eliminación de stock innecesario, es decir, que la demanda oriente a la producción en lugar de fabricar para almacenes. El Sistema Pull hace hincapié en bajos inventarios y tamaños de lotes pequeños, siendo lo ideal una unidad por vez; sin embargo, debido a que en la mayoría de situaciones existen máquinas y equipos que necesitan tiempos de calibración, es necesario calcular un tamaño mínimo de lote. Mora *et al.* (2012), en su estudio enfocado al análisis de sistemas de producción tipo Pull mediante simulación, mencionan que, al efectuar esta operación se logró un incremento de 144 unidades, y de esta manera, un aumento de la productividad de las organizaciones. Así mismo, Tamayo y Urquiola (2014) hacen mención que el Sistema Pull logró una disminución de producto en proceso y que además brindó una solución a los problemas de flujo de producción. Debido a la necesidad del control de la producción es necesario determinar una herramienta compatible con el Sistema Pull que contribuya a lograr los objetivos de producir de acuerdo a la demanda, con tamaños de lotes lo más pequeños posible, eliminando producto en proceso y reduciendo inventarios. El Plan Maestro de Producción se adopta totalmente al Sistema Pull debido a que se fundamenta en la demanda y la



capacidad de la planta y, a través de estos factores, se definen tiempos de inicio de fabricación y plazos de entrega (Ortiz & Caicedo, 2012).

Con lo expuesto anteriormente, cada empresa, al tener diferentes funciones o diversos segmentos, para pretender eliminar desperdicios y optimizar sus recursos, necesita una base para iniciar lo mencionado. La importancia del presente estudio radica en una propuesta de optimización con los lineamientos necesarios que son analizados en una planta ensambladora de motocicletas a través de herramientas de ME. Inicialmente, en la planta cambiando el sistema productivo de ensamble, luego planteando una distribución de planta, obtendrá espacios ordenados de la manera más óptima y según la secuencia de las operaciones, que, en conjunto con las 5S, proyectan dichas operaciones con orden, disciplina y limpieza. El Sistema Pull que se enfoca en la fabricación de productos según la demanda, nos ayuda en el cambio de tamaño de lote dentro de la línea; esto se debe a que no existen tiempos de preparación de la maquinaria, ya que el trabajo de ensamble es netamente manual. Adicionalmente, para determinar la validez y éxito de la implementación de herramientas de ME, se utiliza el software FlexSim, que proyecta los resultados de la puesta en marcha de dichas herramientas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente caso de estudio pertenece al análisis actual de una empresa dedicada al ensamble de motocicletas, para lo cual, en primera instancia, fue necesario partir de la información del estudio de procesos, obtenida por parte de Benavidez y Segarra (2019), y la concerniente al estudio de tiempos por parte de Ramírez (2018). El ensamble se realiza bajo el sistema de producción para stock, es decir, el producto final es inventariado para su posterior venta. El flujo productivo consta de cuatro procesos, ensamble, control de calidad, tapizado y embalaje, concatenados en la forma descrita en la Figura 1. Ensamble es el proceso productivo crítico de la empresa, donde se realiza el acoplamiento de todas las piezas al chasis de cada motocicleta. Control de Calidad comprende los procesos de revisión del funcionamiento eléctrico y mecánico de las motocicletas. Tapizado es el proceso en el cual se coloca las esponjillas y asiento a cada una de las motocicletas que hayan pasado la etapa de control de calidad. Finalmente, embalaje es la última etapa, en la cual se colocan las protecciones al producto final (motocicleta) para su posterior mantenimiento en bodega, hasta su venta. Aunque desde una perspectiva macro, el proceso productivo básico resulta sencillo, la realidad es diferente, ya que estos a su vez se encuentran conformados por varios subprocesos y actividades que en su mayoría resultan irrelevantes para el ensamblado total; además, la ruta del flujo del proceso

productivo conlleva muchos problemas que fueron identificados a través de visitas a la empresa y por entrevistas con personal estratégico.

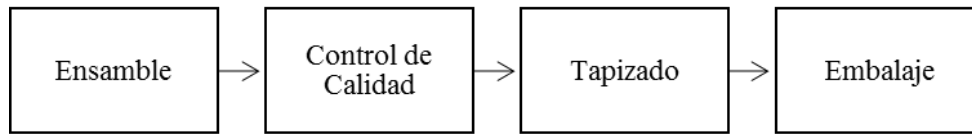


Figura 1. Actual proceso productivo de la empresa de ensamblaje de motocicletas.

El objetivo principal de la presente investigación consiste en la optimización de procesos dentro de la empresa. Para esto se consideró todos los modelos de motocicleta ensamblados en 2018; así, la población analizada estuvo conformada por siete modelos de motocicleta, codificados como M1 hasta M7, para respetar el acuerdo de confidencialidad establecido con la empresa. Adicionalmente, para el análisis se consideraron dieciocho operarios dentro del sistema productivo: doce en celdas de ensamble (dos por cada celda, seis celdas), tres encargados de control de calidad, un transportista, uno en el área de tapizado y uno para embalaje. Así mismo, se utilizó el software para simulación de eventos discretos “FlexSim 2018 Update 2”¹, bajo licencia de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, para determinar el éxito de la aplicación de la filosofía de ME.

Para la implementación del modelo de ME, se configuró una metodología basada en cuatro fases fundamentales: estudio de la situación actual, determinación de las herramientas de ME a utilizar, propuesta de optimización, y simulación de situación futura (ver Figura 2).

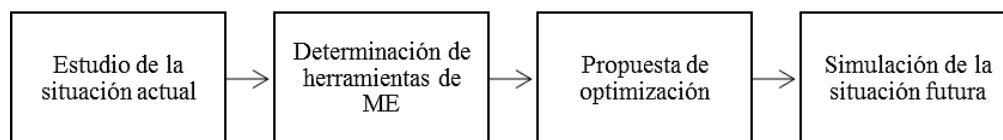


Figura 2. Metodología de implementación.

Fase 1. Estudio de la situación actual de la planta ensambladora y determinación de los principales problemas (desperdicios).

En el desarrollo de esta fase se realizó un análisis detallado del proceso productivo de ensamble de las motocicletas, con el estudio de procesos y el Diagrama de Procesos de Recorrido (DPR) realizado por Benavidez y Segarra (2019). Con este estudio se contempló un análisis de campo, donde se presentaron las falencias correspondientes a desperdicios.

¹ <https://www.flexim.com/>

En la Figura 3 se ilustra la distribución actual de la planta. El sistema productivo corresponde a celdas de trabajo, las cuales son independientes entre sí; además, se puede apreciar el recorrido de cada motocicleta desde el área de materia prima hasta la zona de ensamble y, de allí, al área de producto terminado. Mediante esta ilustración gráfica y los diagramas de proceso de recorrido se pudo identificar problemas relacionados a las distancias recorridas y al sobre procesamiento. Los principales problemas identificados y su interpretación en términos de ME se encuentran descritos en la Tabla 1.

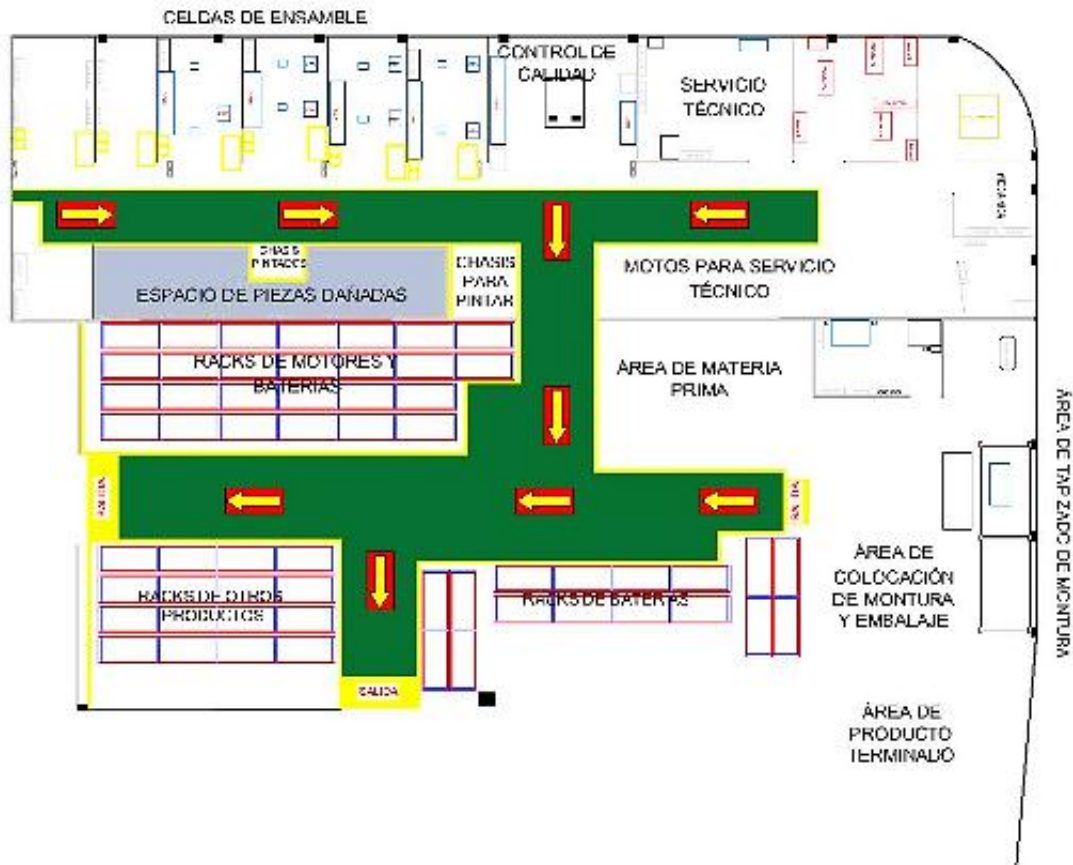


Figura 3. Distribución actual de la planta.



Tabla 1. Identificación de Desperdicios del Caso de Estudio

Desperdicios	Problemas internos de la organización.
Sobreproducción	La empresa posee una filosofía de producción de trabajo para stock, es decir acumula inventario innecesario tanto de materia prima como de productos, ya sea en proceso o finales, en almacenes.
Transporte	La naturaleza del proceso productivo actual genera muchos movimientos innecesarios, debido a que el transporte de material se realiza en varias ocasiones desde un punto a otro.
Exceso de Inventario	Dada la forma de trabajo actual dentro de la planta ensambladora, genera que exista una bodega dedicada únicamente para material en proceso, siendo esta bodega la más grande dentro de la organización.
Defectos	Debido a que no existe una filosofía de calidad en el puesto de trabajo, se generan un sinnúmero de reprocesos, lo que aumenta el tiempo de producción.
Movimientos	Espacio copado de herramientas innecesarias, mismas que hacen que se realicen movimientos que no agreguen valor al producto.

Como se evidencia en la Tabla 1, los problemas internos se encuentran relacionados directamente por dos factores: la filosofía de producción y la naturaleza del sistema productivo. El proceso de producción de la empresa se basa en la fabricación para almacenaje. Aunque esta filosofía posee ciertas ventajas, como el nulo tiempo de espera de entrega de producto al cliente, la misma contradice totalmente uno de los principios de ME, el cual establece que se debe producir de acuerdo a las exigencias del mercado, es decir, un proceso de fabricación bajo pedido. En esas circunstancias se generan los desperdicios mencionados de sobreproducción y exceso de inventarios. A su vez, dada la estructura del sistema productivo basado en cuatro estaciones de trabajo (Figura 1), las celdas de ensamble realizan un trabajo totalmente independiente unas de otras. Esto conlleva a que no se cuente con un proceso estandarizado global y se generen movimientos innecesarios que no agregan valor al producto final. La misma situación presenta otra problemática como la falta de calidad en el puesto de trabajo, que genera productos defectuosos desencadenando un sinnúmero de reprocesos. Finalmente, la distribución actual de planta genera un exceso de transportes debido a que el flujo de material va desde las celdas de ensamble hacia una bodega de preensamble; de ésta hacia control de calidad y luego regresa a bodega. El flujo ideal sería: celdas de ensamble - control de calidad y después a los siguientes procesos, eliminando la bodega de preensamble que genera desperdicios espaciales.

Para ilustrar lo explicado con anterioridad se realizó una simulación de la situación actual y así determinar la varianza de la información real obtenida en el estudio de campo con la simulada, conjuntamente con el grado de utilización de los operarios en las diversas estaciones. Para la simulación, se tomó las motocicletas más representativas en ventas durante el 2017. Así, la Figura 4



muestra que los modelos más representativos son los tres primeros, que aportan más del 70% en ventas dentro de la organización.

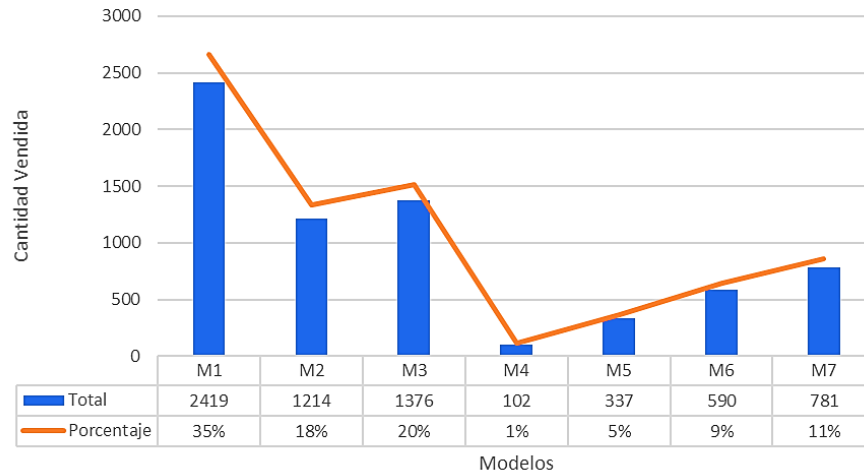


Figura 4. Venta de Motocicletas 2017.

La simulación del actual proceso productivo de las motocicletas tomadas como caso de estudio es presentado en la Figura 5a, Figura 5b y Figura 5c. Por su parte, la Figura 6a y Figura 6b representa el porcentaje de utilización de los operarios de las celdas de ensamble 1, 2, 3 y 4; mientras que, la Figura 6c y Figura 6d muestra el porcentaje de utilización de los operadores de las celdas de ensamble 5 y 6, así como del transportista y de las estaciones de control de calidad, tapizado y embalaje. Una vez realizada la simulación de la situación actual (Figura 5a, Figura 5b y Figura 5c), los datos obtenidos son semejantes a los observados en las visitas *in situ* que se llevaron a cabo desde marzo a junio del año 2018; esto se realizó con el objetivo de determinar la varianza que presenta la información real de la simulada. De los modelos seleccionados se obtiene una producción de 6,7 motocicletas/día por celda de trabajo, es decir, seis motocicletas, por lo que se tiene un total de 36 motocicletas. Las demás estaciones de trabajo presentan la siguiente capacidad: 58 motocicletas en control de calidad, 45 en tapizado y para embalaje 44 unidades. Conjuntamente, con esto, se obtienen los porcentajes de utilización de los operarios de las estaciones de trabajo. La Figura 6a, Figura 6b y Figura 6c muestra una ocupación promedio del 95% de los ensambladores, siendo el 5% faltante de 25 minutos de tiempo ocioso en el día. La Figura 6d presenta el porcentaje de trabajo tanto del transportista, control de calidad, tapizado y embalaje. Para el caso del transportista se observa un tiempo ocioso del 76%, además de presentar pequeños porcentajes de transporte de materia prima y transportes vacíos. En el caso de control de calidad se refleja una utilización del 100% del tiempo del colaborador; mientras que para Tapizado y Embalaje existe un tiempo de utilización de 93% y 85%

respectivamente. Cabe mencionar que la simulación no considera si existen pedidos de venta en el día, por tanto, el operador no se detiene. Es preciso mencionar que, el porcentaje de ocupación no corresponde únicamente a actividades específicas de control de calidad, sino a retrabajos como el ajuste de pernos, y a actividades innecesarias como el transporte, resultando una pérdida de 43 minutos al día por operario.

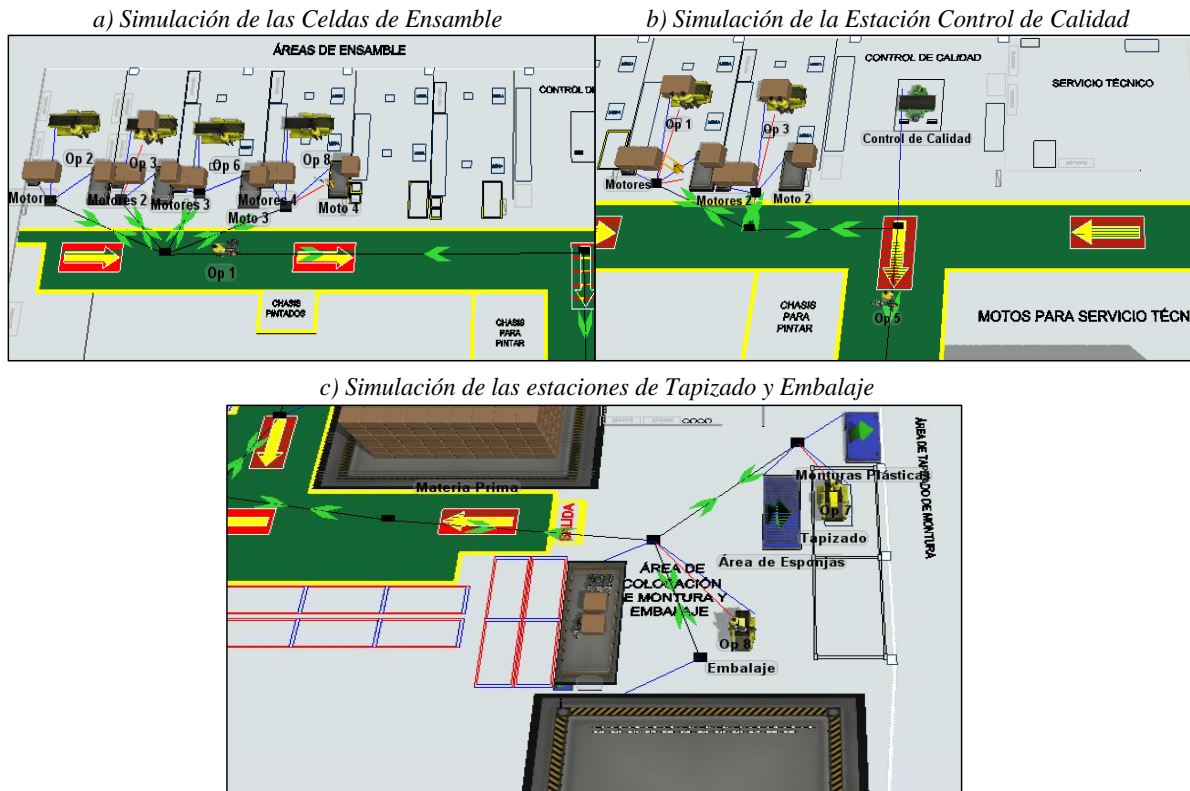
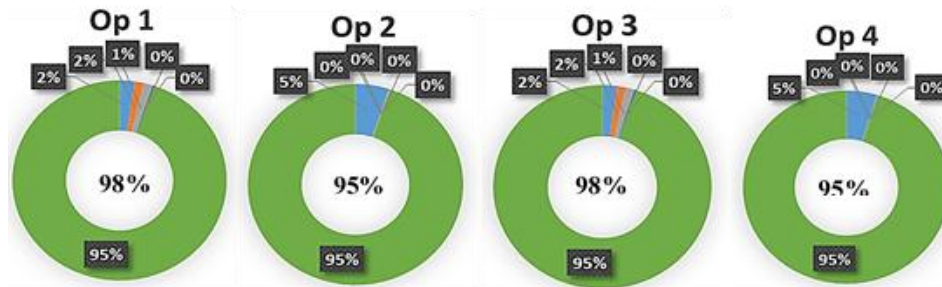
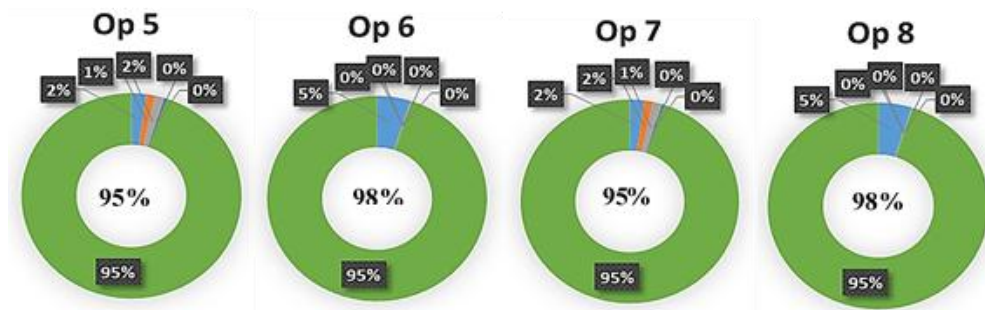


Figura 5. Simulación del proceso productivo actual. a) Simulación de las celdas de ensamble. b) Simulación de la estación de control de calidad. c) Simulación de las estaciones de tapizado y embalaje.

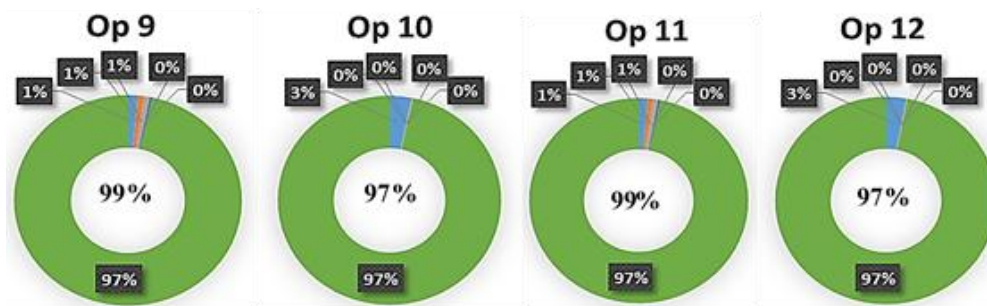
a) Porcentaje de utilización de los operarios de las celdas 1 y 2



b) Porcentaje de utilización de los operarios de las celdas 3 y 4



c) Porcentaje de utilización de los operarios de las celdas 5 y 6



d) Porcentaje de utilización de Control de Calidad, Tapizado, Embalaje y Transportista

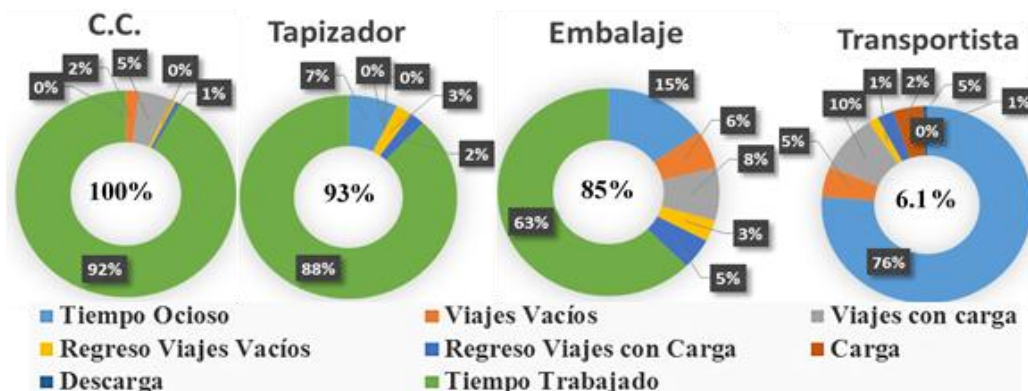


Figura 6. Porcentaje de utilización de los operarios. a) Celdas 1 y 2. b) Celdas 3 y 4. c) Celdas 5 y 6. d) Control de Calidad, Tapizado, Embalaje y Transportista



Fase 2: Determinación de las herramientas de ME, necesarias para solventar los problemas relacionados con los desperdicios identificados.

Una vez reconocidos los desperdicios, se procedió a identificar las herramientas de ME que mejor se adapten a la solución de estos problemas. Para esto, se realizó una revisión bibliográfica sobre el uso de las herramientas más relevantes de ME, las cuales están expresadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Herramientas de ME utilizadas reportadas en la literatura.

	Arrieta, <i>st al.</i> (2011)	Baluis (2013)	Palomino (2013)	Beltrán & Soto (2017)	Cardona (2013)	Palomino (2013)	Sarria, <i>st al.</i> (2017)	Aroca & Pacheco (2017)	TOTAL
VSM	X	X		X	X				4
5S	X		X	X	X	X	X	X	7
SMED	X	X	X	X	X	X	X	X	8
TPM					X				1
KANBAN		X					X		2
GESTIÓN VISUAL	X							X	2
KPI		X			X	X			3
KAIZEN				X	X		X		3
PULL	X		X			X	X	X	5

Nota: VSM=Value Stream Mapping, SMED=Single Minute Exchange of Die, TPM=Total Productive Maintenance, KPI=Key Performance Indicator.

En base a la literatura revisada, se puede decir que las herramientas más utilizadas son 5S, Sistema Pull y SMED. Es necesario mencionar que SMED no tendría funcionalidad dentro del presente caso debido a que el proceso es manual y la herramienta abarca cambios de matriz en máquinas. Además, en su totalidad, la materia prima viene lista para el ensamble y no de diversos procesos o subprocesos. Por lo tanto, conjuntamente con la distribución de planta, se utilizarán las dos primeras herramientas, 5S y Sistema Pull, para: 1) permitir un mejor flujo de materiales, 2) disminuir las distancias a recorrer tanto por los trabajadores como por los productos, 3) eliminar transportes innecesarios, 4) utilizar efectivamente los espacios disponibles, 5) mejorar las condiciones de trabajo y de seguridad de los operarios, y 6) disminuir accidentes. Estas herramientas serán útiles para hacer frente a los problemas relacionados con los desperdicios de la Fase 1. La distribución de las herramientas de ME para solventar los desperdicios encontrados es: 5S solventa los *Movimientos*, Distribución de planta solventa los *Transportes*, Sistema Pull solventa el *Exceso de Inventarios y Sobreproducción*, 5S conjunto con Sistema Pull solventan los *Defectos* (Tabla 1).

El Sistema Pull, que inicia como una reacción a la demanda, elimina la sobreproducción plegándose a los requerimientos del mercado; igualmente,



permite bajar inventarios de productos en proceso, atacando así al problema de exceso de inventario. La Distribución de planta permite el rediseño del sistema productivo hacia una línea de ensamble, eliminando transportes innecesarios, aumentando la productividad debido a que se disminuyen tiempos de procesamiento y acelerando el flujo. Adicionalmente, a través del uso de esta herramienta se reduce los retrasos debido a que se equilibran los tiempos de trabajo. Finalmente, la herramienta 5S que se enfoca en la organización, clasificación, orden y limpieza, permitiendo dividir las herramientas necesarias de las innecesarias que copan el espacio de trabajo y a su vez generan movimientos innecesarios.

Fase 3: Propuesta de Optimización.

Determinadas las herramientas de ME, se elaboró la metodología de implementación de las mismas. En primera instancia, se realizó una distribución de planta para realizar un cambio en el sistema productivo, de celda de trabajo a línea de ensamble, permitiendo de esta manera eliminar movimientos innecesarios de trabajadores, es decir, sobreprocesamiento. Adicionalmente, un balanceo de líneas para que la línea de ensamble tenga mayor fluidez y no exista paradas o aglomeración en las diferentes estaciones. Este balanceo se realiza tomando cada actividad del proceso de ensamble de las motocicletas identificadas en la Fase 1. La distribución de planta propuesta en este estudio es presentada en la Figura 7.

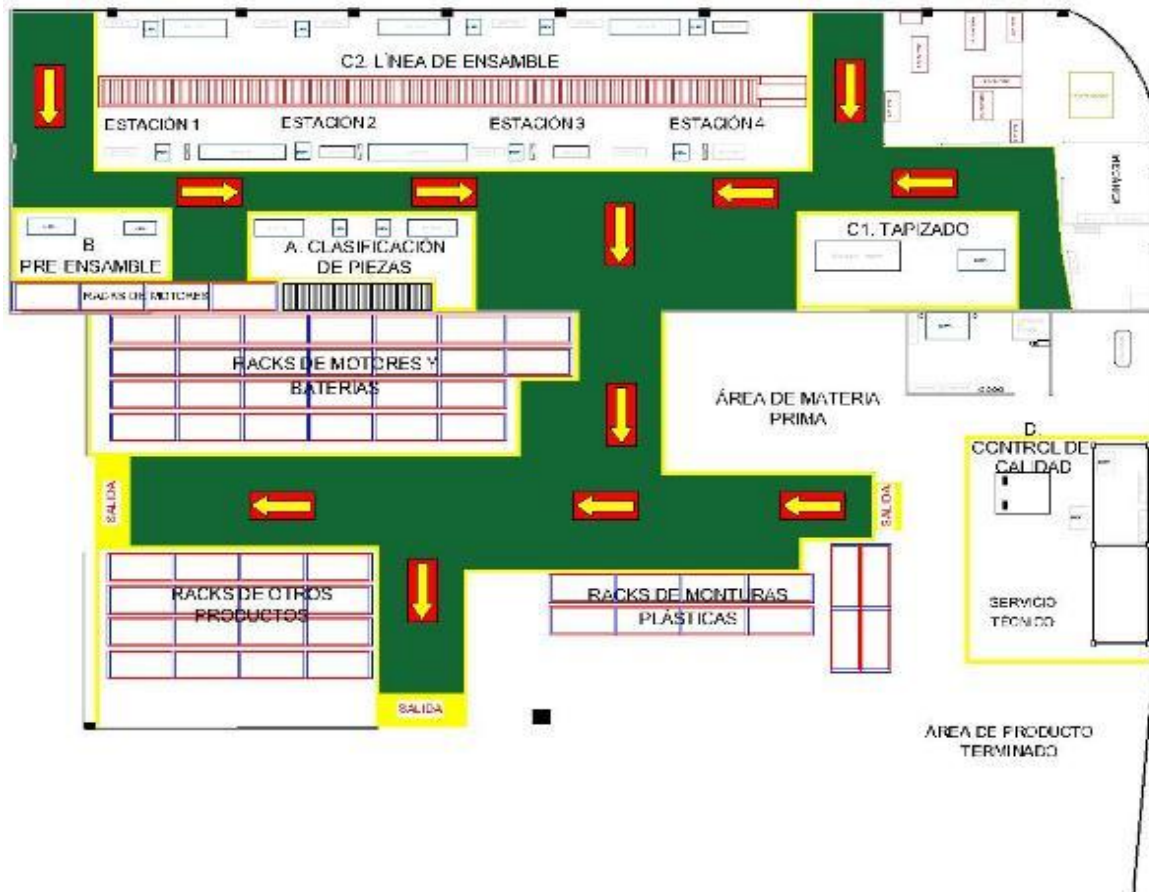


Figura 7. Distribución de Planta propuesta para el caso de estudio.

En la actualidad, el sistema productivo se basa en celdas de trabajo conformadas por dos operarios, los cuales trabajan simultáneamente para el ensamble de cada motocicleta. Al ser celdas independientes, no cuentan con un proceso estandarizado, generando de esta forma movimientos innecesarios. Una vez ensambladas, las motocicletas pasan al área de control de calidad para la revisión mecánica y eléctrica, así como, para un chequeo total del ensamble anterior, en el que se identifica problemas que resultan de fallas en las celdas. Esto ocurre debido a que la planta no cuenta con una filosofía de calidad en el puesto, generando así reprocesos. Por lo tanto, para un mejor flujo de materia prima, se optó por una redistribución total, implementando una línea de ensamble conjuntamente con una banda transportadora en el espacio destinado con anterioridad a las celdas de ensamble. Adicionalmente, debido a que, el trabajo es secuencial en la línea de ensamble, para que el producto pase de una estación a otra, deben cumplir las actividades asignadas a cada una. Con ello la filosofía de calidad en el puesto de trabajo será respetada por los operarios, disminuyendo sustancialmente los reprocesos, es decir, los productos defectuosos y, además, eliminado problemas de transportes, defectos y movimientos. Así pues, la



distribución de planta quedó conformada por los siguientes puestos de trabajo (Figura 7): clasificación de piezas, pre ensamble, línea de ensamble, tapizado, y control de calidad y embalaje.

- **A. Clasificación de piezas:** Este puesto de trabajo se encuentra conformado por dos operarios. En esta etapa se realiza el desempaque de piezas y motor, así como el preparado de pernos y partes para distribuirlos en las cuatro estaciones de ensamble.
- **B. Pre ensamble:** Se encuentra constituido por dos operarios; este puesto se encarga a nivel macro del ensamble de motocicletas, es decir, de actividades como la conexión del motor, llantas, batería y cables eléctricos al chasis.
- **C1. Tapizado:** Se encuentra conformado por un operario, el mismo que se encarga de colocar la esponjilla, asiento y el tapiz de cuero en la motocicleta.
- **C2. Línea de ensamble:** Está conformada por ocho operarios, distribuidos en cuatro estaciones, encargados del ensamble total de la motocicleta.
- **D. Control de calidad y embalaje:** Compuesto por un operario, el cual posee responsabilidades que aseguran el correcto funcionamiento de la motocicleta, es decir, el sistema mecánico y eléctrico, además del embalaje del vehículo motorizado y su traslado a la bodega de producto final.

Una vez planteada la distribución de planta se procede a la aplicación de la herramienta de 5S, la cual consta de las etapas de socialización del proyecto, auditoría inicial, requerimiento de materiales, capacitación del personal, ejecución de la herramienta, y auditoría final. Para la socialización del proyecto es necesario contar con el visto bueno de los directivos de la empresa, en la cual se describirá los beneficios de la implementación de las 5S y cómo éstas afectarán a la productividad. La auditoría inicial sirve como base fundamental para determinar el punto de partida y los principales aspectos a mejorar dentro del área de ensamble; posterior a esta auditoría, se elabora una lista de recursos para la correcta aplicación de las 5S. La capacitación al personal es imprescindible al momento de ejecución del plan, puesto que los operarios serán los encargados del cuidado de su área de trabajo; esta capacitación contará con el objetivo de las 5S, una breve descripción de las 5S y la estrategia para la implementación de la herramienta. Culminado la implementación de 5S es necesario verificar la medida del cumplimiento. Para esto se realiza una revisión continua de cada técnica empleada, a través de una auditoría trimestral del estado de la planta, utilizando un formato de auditoría 5S.

Finalmente, para el desarrollo del Sistema Pull, es necesario disponer de un pronóstico adecuado, en base a, fabricar únicamente lo que se va a vender. Para



este objetivo se utilizó el método Winters, que es un método de pronóstico triple exponencial suavizante, que considera tanto nivel, tendencia y estacionalidad de una determinada serie de tiempos (Arango 2013; Mira 2018). Pronosticadas las cantidades de venta, fue necesario calcular la capacidad de la planta para determinar el número de operarios necesarios para satisfacer la demanda en periodos picos, mediante una planeación agregada. Con el uso del plan maestro de producción conjuntamente con lo anterior, se reflejará las unidades y los periodos de tiempo a producir, permitiendo un mejor control de la línea de ensamble.

Fase 4. Simulación de la situación futura una vez aplicadas las herramientas.

En la fase anterior se analizaron las herramientas de optimización propuestas; en esta fase se procede a probar dichas herramientas. Para el desarrollo de esta etapa, al tratarse de una simulación de eventos discretos, se realizaron los siguientes pasos (García *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008): 1) formulación del problema y determinación de los objetivos; 2) modelado del sistema, el cual consiste en crear el diseño del sistema para la simulación; el modelo deberá contar con las características correspondientes al sistema (ej. entidad, atributos y relaciones); 3) implementación del modelo en el ordenador mediante el software FlexSim; 4) verificación del programa; 5) validación del modelo; 6) diseño de la simulación y pruebas piloto, donde se determinan el número de iteraciones y las variables de entrada empleadas; 7) ejecución de la simulación; 8) análisis de resultados; y, 9) documentación.

La Figura 8 presenta la simulación de la situación futura de la línea de ensamble, tomando como base a las tres motocicletas más representativas. Para esto, se utilizó el programa FlexSim, que permitió modelar, analizar y optimizar los procesos productivos, tomando como plantilla la distribución de planta propuesta, dada en la Figura 7. El propósito fue orientar esta simulación lo más cercano a la realidad.

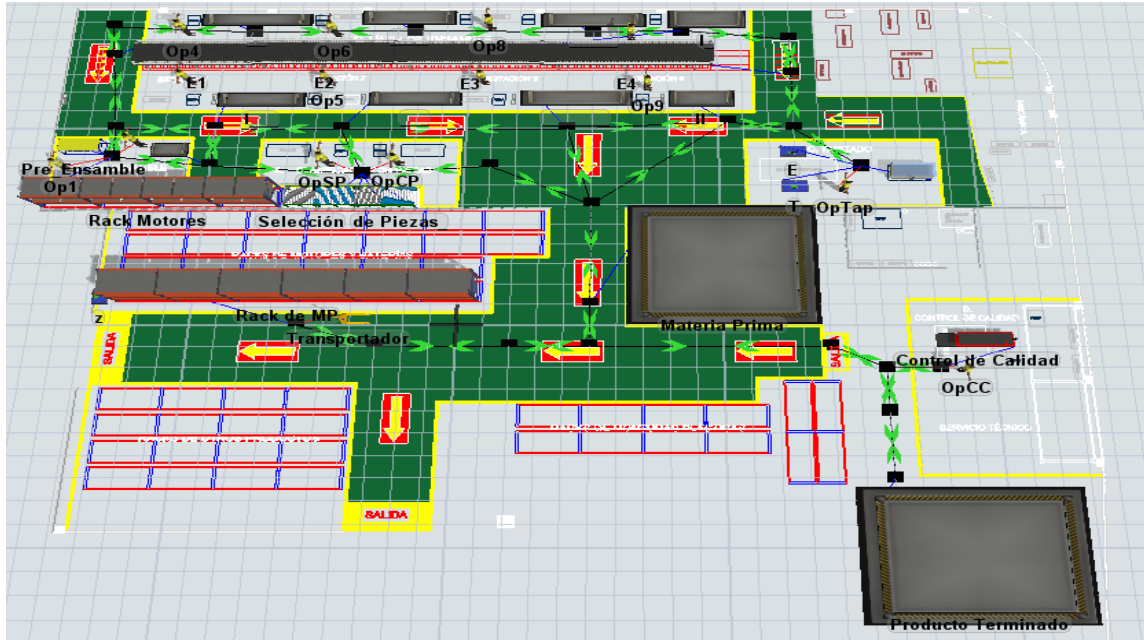


Figura 8. Simulación del estado futuro de la línea de ensamble

La Tabla 3 refleja las distribuciones de los tiempos para toda la línea de ensamble. Cabe mencionar que dentro de esta fase, los tiempos empleados para la simulación se basaron en una distribución estadística normal, exponencial y logarítmica normal, otorgados por el software Stat::Fit². Ingresar en este software los tiempos observados dentro del trabajo realizado por Ramírez (2018), nos ayuda en el ajuste de curvas y análisis estadístico de datos para simulación (García *et al.*, 2006). Cabe mencionar que el tiempo de simulación es el correspondiente a una jornada laboral normal dentro de la planta ensambladora, la cual trabaja nueve horas diarias (540 minutos) durante cinco días a la semana.

Tabla 3. Distribuciones para tiempo de simulación propuesta

Localización	Distribución de Probabilidad Tiempo Ciclo (Segundos)			
	M1	M2	M3	
Clasificación	Exponencial(405, 5.36)	Exponencial(377, 46.1)	Lognormal(576, 2.13, 1.52)	
PreEnsamble	Lognormal(386, 3.6, 0.198)	Normal(488, 19)	Normal(504, 6.9)	
Línea de Ensamble	Estación 1	Normal(455, 5.62)	Lognormal(491, 2.72, 0.114)	Lognormal(569, 3.41, 0.383)
	Estación 2	Lognormal(432, 2.4, 0.611)	Lognormal(449, 2.82, 0.21)	Lognormal(612, 3.11, 0.464)
	Estación 3	Lognormal(449, 2.08, 0.721)	Lognormal(494, 3.16, 0.138)	Normal(558, 19.4)
	Estación 4	Normal(441, 7.46)	Lognormal(0.178, 6.16, 0.00464)	Lognormal(427, 4.38, 0.171)
Tapizado	Lognormal(370, 4.14, 0.25)	Lognormal(514, 4.37, 0.408)	Lognormal(313, 5.43, 0.211)	
Control de Calidad y Embalaje	Normal(459, 23.2)	Lognormal(198, 5.86, 0.093)	Lognormal(534, 3.66, 0.688)	

Nota: Lognormal (γ, μ, σ); Normal (μ, σ); Exponencial (γ, μ); μ = Media; σ = Desviación estándar; γ = Localización

² <https://www.geerms.com/>



Para modelizar el estado futuro de la planta, se realizaron 30 réplicas para cada motocicleta tomadas como caso de estudio, obteniéndose un total diario de 57 motocicletas modelo M1, 45 del modelo M2 y 54 del modelo M3, lo que permitió verificar la estabilidad del sistema modelado, anulando la variabilidad presentada por los tiempos de cada modelo.

3. RESULTADOS.

De acuerdo con lo mencionado en la Fase 3 de la metodología de aplicación de ME, la distribución de planta se aprovechó para el cambio de sistema productivo a línea de ensamble; además, la redistribución de las zonas de trabajo permitió un mejor flujo del producto, reduciendo distancias y tiempos de transporte, que se ven reflejados en la reducción de tiempos de la Tabla 4.

Tabla 4. Disminución de tiempo en Línea de Ensamble.

Modelo	Tiempo Estándar Celda (min)	Tiempo Estándar Línea (min)	Porcentaje de Disminución
M1	103,69	59,25	43%
M2	114,87	76,60	33%
M3	119,29	67,25	44%

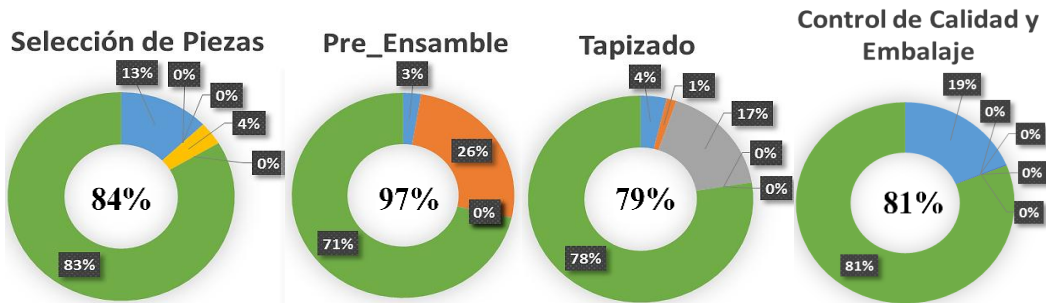
Así mismo, mediante el cálculo de la capacidad de la planta y las horas necesarias para el cumplimiento de las cantidades dadas en el pronóstico para el año 2018, se pudo determinar que, únicamente son necesarios 14 operarios, y no los 18 presentes actualmente en la planta, reduciendo de esta manera el costo de mano de obra. Cabe mencionar que los operarios quedan distribuidos de la siguiente manera: dos operarios para el área de clasificación, dos para pre-ensamble, ocho para ensamble, distribuidos en dos operarios por cada estación, un operario para tapizado y uno para control de calidad y embalaje. Una vez realizado el cambio del sistema productivo a la línea de ensamble, los tiempos estándar resultantes de las motocicletas empleadas como caso de estudio dentro de la simulación son presentados en la Tabla 5. En conjunto, con los tiempos de simulación y la determinación del tiempo estándar, la Figura 9 presentan los resultados obtenidos de la simulación acerca del porcentaje de utilización de los operarios dentro de los diferentes puestos de trabajo.

Tabla 5. Determinación de tiempo estándar de operación por cada puesto de trabajo.

Puesto de Trabajo	Tiempo Simulación M1 (min)	Tiempo Simulación M2 (min)	Tiempo Simulación M3 (min)
Clasificación	6.86	10.03	7.21
Preensamble	7.10	8.58	8.26
Línea de Ensamble	Estación 1	7.63	10.15
	Estación 2	7.48	10.77
	Estación 3	7.70	9.45
	Estación 4	7.35	8.59
Tapizado	7.51	9.31	9.42
Calidad y Embalaje	7.62	9.73	9.19
TOTAL	59.25	76.60	67.25

Nota: Los tiempos de simulación corresponden al tiempo entregado por el software FlexSim, ingresando los datos de la distribución probabilística de la Tabla 3.

a) Porcentaje de utilización de operarios de Selección de Piezas, Pre Ensamble, Tapizado, Control de Calidad y Embalaje



b) Porcentaje de utilización de operarios Línea de Ensamble, estaciones 1,2 ,3 y 4

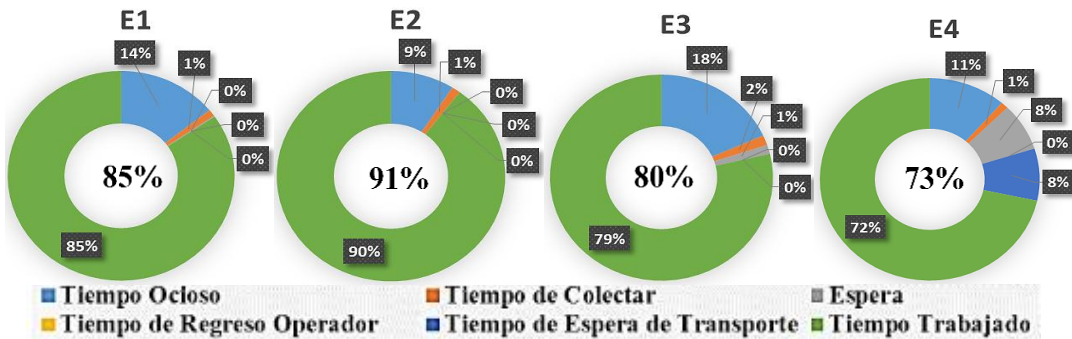


Figura 9. Porcentaje de utilización de operarios. a) Selección de Piezas, Pre Ensamble, Tapizado, Control de Calidad y Embalaje. b) Línea de Ensamble, estaciones 1, 2, 3 y 4



Como se puede apreciar en la Figura 9a y Figura 9b, el porcentaje de utilización de los operarios en las estaciones de trabajo oscila entre el 75% y el 97%. Con estos datos se puede argumentar una nivelación en las cargas de trabajo y el flujo constante de materiales que presenta la línea de ensamble en comparativa con las celdas de trabajo. Por otro lado, en la Tabla 4 se mostró la disminución de los tiempos estándar, comparando el tiempo de la línea de ensamble entregado por el software de simulación con los tiempos estándar de las celdas de trabajo, proporcionadas por Ramírez (2018). Estos tiempos son aplicados en los restantes modelos de motocicleta.

Haciendo la comparativa entre los dos sistemas productivos (celda de trabajo y línea de ensamble) se pudo determinar una disminución promedio del 40% del tiempo estándar de ensamble de los tres modelos de la Tabla 4; dicha reducción se debe principalmente a la eliminación de movimientos innecesarios y reprocesos. Para determinar los tiempos de los cuatro modelos restantes se consideró el porcentaje de disminución del tiempo promedio al cambiar el sistema productivo que es del 40%. Esta reducción se aplicó al tiempo estándar de las celdas dado por Ramírez (2018), determinando así teóricamente los tiempos estándar de los modelos faltantes, es decir, M4 = 90,24 min, M5 = 87,31 min, M6 = 73,18 min y M7 = 91,07 min.

En la Figura 10, se muestra una comparación entre la capacidad de motocicletas ensambladas diariamente tanto en celdas de trabajo como líneas de ensamble y el aumento a obtenerse diario. Mediante la disminución del tiempo estándar determinado por la Tabla 5, se puede observar un incremento promedio de 12 unidades en la capacidad diaria de ensamble de motocicletas, es decir, se aumentó un 30% de la capacidad actual. Por lo tanto, como resultado de la reducción considerable del tiempo estándar de 40%, existe un aumento en la capacidad de la planta de un 30% de unidades ensambladas.

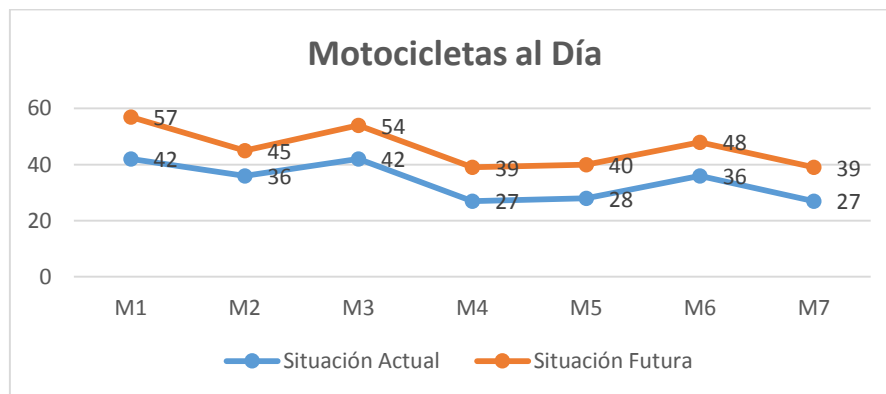


Figura 10. Comparación de motocicletas ensambladas entre celda de trabajo (situación actual) y línea de ensamble (situación futura).



Así mismo se estableció el pronóstico para el año 2018 de la totalidad de motocicletas ensambladas (Ver Anexo 1). Los datos obtenidos a través de este método presentan un grado elevado de confianza para la toma de decisiones, debido a que es un método idóneo para la elaboración de pronósticos a corto plazo (no mayores a un año), y además ya que este método se acopla en un “suavizamiento” exponencial permite la detección de tendencias en base a los datos históricos proporcionados.

En la planeación agregada con mención a los pronósticos obtenidos por el método de Winters, se acopla al Sistema Pull debido a que el mismo se basa en producir únicamente lo que requiera el mercado (Ver Anexo 2). En la planeación agregada se detalla que con los tiempos obtenidos para la línea de ensamble y la capacidad de la planta futura (catorce operarios) se puede trabajar bajo el concepto cero inventarios, ya que no es necesario obtener un número de motocicletas en inventario para cumplir con los requerimientos de los meses venideros.

4. DISCUSIÓN.

La competitividad representa uno de los retos más importantes que enfrentan las organizaciones en la actualidad. Es necesario mencionar que, para que las empresas posean solidez, no se pueden basar únicamente en bajos costos de producción, sino en buscar el mejoramiento continuo, mismo que se puede traducir en el uso de tecnologías de información, diferenciación de productos e innovación en cartera de productos. Uno de los principales problemas que enfrentan las organizaciones es la pérdida de confianza y la insatisfacción de los clientes, variables que pueden influir en los fracasos empresariales. Vargas *et al.* (2016) mencionan que, las empresas en las cuales se ha implantado la filosofía ME han presentado reducciones significativas en áreas como inventarios, costos, producción, calidad y tiempo de espera, además del aumento de productividad y flexibilidad de los trabajadores. Esto ha permitido una mejor utilización de personal y la optimización del uso de recursos como espacio y maquinaria.

En el presente estudio, además de factores de reducción de inventarios, costos, aumento de productividad y calidad, se logró eliminar actividades innecesarias dentro del proceso operacional, obteniendo una disminución significativa de tiempos de espera, la reducción de tiempos de procesos y el aumento de la capacidad de ensamble de la planta. Algo similar al presentado por Morón *et al.* (2015), donde los autores implementaron una metodología de ME enfocada a la mejora de procesos asistenciales y niveles de satisfacción en la atención de pacientes en un laboratorio clínico. Los autores lograron una disminución en la atención de 9 min/paciente, reduciendo así un 73% de quejas por demora de atención, consecuentemente, promoviendo el empoderamiento



cultural de los empleados y la mejora continua. En la actual investigación, mediante una estandarización del método de trabajo, se pudo reducir los tiempos operativos de ensamble hasta un 40%, permitiendo de esta manera mejorar otros aspectos organizacionales como es la productividad, ya que esta reducción significativa logró un aumento de 30% de producción de motocicletas en el mismo periodo de tiempo. Así mismo, Tobón *et al.* (2017) en su propuesta de mejoramiento del proceso de producción de una empresa de madera plástica, a través de herramientas como SMED, VSM, 5S, y JAT, demuestran que la filosofía de ME es positiva en el mejoramiento de procesos y tiempos. Los autores, mediante la combinación del JAT y SMED, lograron una reducción de inventarios de 14.4 a 6.67 días, disminuyendo así tiempos de comunicación y permitiendo un mejor flujo de información. Además de estos factores, la relación costo-beneficio ($\$ \text{Beneficios} / \$ \text{Costos}$) es de 3.13 (si la relación es >1 es viable), garantizando la propuesta con un incremento de producción de 222,9%. En el presente estudio se demuestra que la eliminación total de productos en proceso y para stock es posible gracias a la implementación del Sistema Pull, debido a la naturaleza de la empresa que no necesita calibración de máquinas permite la aplicación del sistema sin mayor problema, reduciendo espacios destinados para el almacenaje de productos en proceso y stock, y también de los costos que generan los mismos. Este método permitió además un ahorro de capital de trabajo ya que no existen recursos inmovilizados debido a que el inventario almacenado es el destinado únicamente a satisfacer la demanda del mercado, es decir, que el mercado realiza un jalonamiento del producto.

La propuesta de distribución de planta logró efectivizar el espacio disponible, disminuyendo distancias recorridas, movimientos y transportes innecesarios, factores que inciden en la optimización del 40% del tiempo de ensamble de las motocicletas. Estos resultados poseen concordancia a otros estudios presentes en la literatura. Un ejemplo de esto, es el caso presentado por Castillo (2016), quien propuso una nueva distribución de planta con la finalidad de mejorar los tiempos de entrega. Relacionando esta temática al estudio actual se puede concluir que, al reducir el tiempo de operación de los productos, los tiempos de entrega al cliente disminuirán. Análogamente, Delgado (2016) propone una distribución de planta enfocada a la productividad, la cual, de igual manera, contrasta con los resultados del presente estudio, puesto que se pudo aumentar el número de motocicletas ensambladas por día en un 30%.

Sin embargo, de los estudios revisados, ninguno de ellos presenta una distribución en conjunto con un cambio de sistema productivo. Si bien, Salazar *et al.* (2010) buscaron la conformación de familia de productos y células de trabajo en su distribución, su cambio no fue tan drástico como el presentado en este



artículo. Esto se debe a que, además de la distribución de planta, el estudio sirvió para el cambio de la naturaleza del producto, pasando de celdas de trabajo en las cuales laboraban simultáneamente dos operarios, a la línea de ensamble con cinco puestos de trabajo: clasificación, pre-ensamble, línea de ensamble, tapizado, calidad y embalaje. Este cambio supone una mejoría significativa, puesto que se eliminan esperas, excesos de transporte, reprocesos acumulación de producto terminado y movimientos innecesarios, lo que a su vez reduce costos y tiempos de proceso de ensamble.

Así pues, las ventajas presentes en la planta al trabajar mediante una línea de ensamble son resumidas en: tiempos más cortos de producción, mayor productividad al aumentar la producción con menores recursos, mejor flujo de trabajo y reducción a 11 minutos/moto de “takt time”, es decir, el tiempo medio entre el inicio de la producción de un producto y el inicio de la producción de la siguiente. En lo referente a costos, se pudo abaratar en un 0,51% por motocicleta debido a la reducción del personal operacional de 18 a 14; aunque este dato en particular no pareciera representar una mayor influencia, al hablar de grandes volúmenes de producción sí repercute en los costos de la organización. Por otro lado, al disminuir el tiempo de procesamiento se pudo lograr un aumento de la productividad de la planta, puesto que, tomando como indicador la capacidad de producción de la misma, se logró un incremento del 30%. Esto a su vez influye directamente en los beneficios monetarios de la organización, ya que en la actualidad en promedio se obtiene una utilidad por motocicleta de \$343, mientras que, con el nuevo sistema productivo, al obtener una reducción de costos y al trabajar al máximo de la capacidad, este beneficio aumentaría hasta \$451 por motocicleta.

La implementación de la herramienta 5S, como práctica de ME, representa una reducción significativa en los desperdicios dentro de la planta, ya que la aplicación de dicha herramienta permite tener un lugar de trabajo ordenado y una utilización de maquinaria estrictamente necesaria para el proceso productivo. Aunque resulta complicado la medición de la incidencia de esta herramienta puesto que no se cuenta con indicadores propios, los resultados presentados en varios estudios demuestran la validez de la misma. Por ejemplo, Palomino (2013) menciona que con ayuda de las 5S se pudo reducir sustancialmente los tiempos de preparación y limpieza, impactando directamente en la reducción de tiempo de proceso. Marín (2013) expresa que la herramienta 5S fue la base para una buena gestión de recursos, ya que permitió el acceso a todas las partes interesadas al área de trabajo, logrando así un ambiente positivo y una optimización tanto de tiempo como de recursos. De igual manera, Sarria *et al.* (2017) mencionan que la implementación de las 5S se enlazó directamente con la disminución de inventario



en proceso, cuellos de botella y productos defectuosos. Es necesario mencionar que, debido al alcance de la investigación, la propuesta de optimización no se implementó directamente en la empresa tomada como caso de estudio, sino se realizó una simulación de la planta mediante el software FlexSim. Aunque no se pudo evidenciar realmente la repercusión de la aplicación de esta herramienta; sin embargo, al ser las empresas mencionadas similares a la planta ensambladora tomada como caso de estudio, se espera que los resultados sigan estos lineamientos. Es importante indicar que, a diferencia de varios autores, los cuales toman como base a la herramienta 5S, como implementación de ME, este estudio enfocó sus primeros cambios en la distribución de planta ya que se propone una modificación del sistema productivo al pasar de celdas de ensamble a línea de ensamble, para luego, una vez determinada la distribución de final planta, enfocar sobre ésta los principios de 5S.

Al aplicar el Sistema Pull se pudo reducir los niveles de stock y los inventarios de producto en proceso al mínimo posible, equilibrando de esta manera el flujo y reduciendo los cuellos de botella. Este sistema se basa en la producción únicamente de lo que el cliente exija, por lo que es fundamental determinar las necesidades del mercado a través de pronósticos. Para el presente estudio se utilizó el método de Holt-Winters que es un método de alta confianza para elaborar pronósticos en periodos cortos de tiempo, permitiendo identificar tendencias presentes en estos intervalos a través de datos históricos, esto sumado a que, los productos presentes en esta investigación cuentan con características que hacen adecuada su aplicación. De acuerdo a los datos de años anteriores, se logró identificar la estacionalidad de la demanda, debido a que la misma no es altamente variable. Arango (2013) menciona a esta técnica como un medio idóneo para el cálculo de pronósticos, ya que le permitió el balance en los niveles de inventario, logrando evitar pérdidas de ventas por falta de inventario, eliminar inventarios totales y sobre costo de mantener producto en bodega, brindando el servicio oportunamente al cliente con el mismo costo. De igual manera, Mira (2018) concluye que el método Holt-Winters es apto para una buena gestión de inventarios, ya que su precisión disminuye el trabajo administrativo; además, debido a su naturaleza, éste puede ser actualizado con nuevos datos logrando así una mejor precisión. Escamilla (2017) menciona que se redujo en un 15% los productos en proceso logrando así un mejoramiento del flujo, con un aumento del nivel de servicio al cliente hasta el 90%. En el presente caso de estudio, los resultados de la simulación evidencian una reducción del 90% de los niveles de inventario de productos en proceso, logrando así un mejor manejo de los recursos, además de la liberación del espacio que el área de bodega de trabajo en proceso ocupaba. Estos espacios fueron reorganizados mediante la distribución de planta para la zona de control de calidad, obteniendo un mejor flujo



de piezas. Ruiz de Arbulo *et al.* (2010) indican que el tamaño mínimo del lote de producción debe ser calculado en función de los tiempos de preparación de la maquinaria, para que éstas permanezcan en funcionamiento el mayor tiempo posible. Sin embargo, al ser el sistema de ensamble netamente manual para el caso de estudio de la presente investigación, no existiría esta restricción por lo cual se trabajaría en el caso ideal de flujo, es decir, lote a lote, logrando una alta flexibilidad al cambio de mix de producción. Lo anterior se refleja directamente en los resultados del estudio debido a que la planeación de producción se centra en las necesidades del mercado generando una disminución en los niveles de la bodega de producto terminado. De esta manera se soluciona los problemas secuenciales y de interdependencia entre los diferentes puestos de trabajo antes mencionados, ya que al trabajar en línea es posible identificar las falencias del proceso en el punto exacto, reduciendo los sobreprocesamientos.

Adicionalmente y diferenciándose de los estudios presentados en la Introducción, la validación de las herramientas de ME del presente caso de estudio, a excepción de la herramienta 5S, es dado por la simulación de eventos discretos, con apoyo del software FlexSim. Simón *et al.* (2013) señalan a FlexSim como uno de los softwares más sólidos en lo que respecta a la simulación de sistemas industriales, ya que, construido el modelo, permite la toma de mejores decisiones para elevar la rentabilidad. Rodríguez (2008) menciona ocho pasos para una correcta simulación. El primero de ellos consiste en la formulación del problema, que, para el presente estudio, se enfoca en “el sistema de producción de celdas de ensamble que ralentiza el proceso de ensamble de motocicletas”. A continuación, se realiza el modelado del sistema “ensamble de motocicletas” tomando como atributos a las motocicletas M1, M2 y M3. Seguido de esto se verifica y valida el sistema con el objetivo de que el modelo se comporte de acuerdo a lo indicado y refleje la situación de la planta ensambladora. Por tal motivo, en primera instancia, se realizó una simulación de la situación actual, para luego determinar el número de iteraciones, obteniendo así 30 réplicas para cada motocicleta, dando por sentada la estabilidad dentro del sistema modelado. Finalmente, el último paso consistió en la ejecución del modelo tomando en cuenta una jornada laboral normal dentro de la planta ensambladora, la cual trabaja nueve horas diarias (540 minutos) durante los cinco días de la semana. Estos fundamentos dan certeza de que los resultados obtenidos deben ser usados como indicadores reales del mejoramiento de la organización. Esto permite además demostrar los resultados teóricos a una situación próxima a lo real, ya que, considerando la distribución estadística de los tiempos de cada puesto de trabajo (Tabla 4), el sistema presentó estabilidad en las réplicas realizadas en la simulación, entregando los tiempos estándar para la situación futura sin muestras de variabilidad. Se debe considerar que la simulación no considera la fatiga



(cansancio) de los operarios, que puede implicar fallos y ausentismos; para estos escenarios la empresa debe proponer criterios para evitarlo.

5. CONCLUSIÓN.

Al finalizar el presente estudio se logró comprobar que la propuesta de optimización, basada en ME, presenta resultados positivos dentro de la planta ensambladora caso de estudio, cumpliendo de esta manera los objetivos planteados. Esto se logra con la ayuda de la simulación, debido que se puede tomar decisiones sin modificar la planta física, además con los datos obtenidos propios de la empresa se refleja la disminución de tiempos estándar como el aumento de la capacidad de producción de la planta. La distribución de planta sirvió como base para la optimización, ya que, se logró implantar una línea de ensamble, implantando una secuencia en el flujo del producto. Esto permitió eliminar movimientos que no agregan valor y una reducción de reprocesos y productos defectuosos, además de disminuir las distancias recorridas, logrando así una reducción sustancial en los tiempos de producción.

Mediante la implementación del Sistema Pull como base para la producción, se redujo la cantidad de producto en proceso debido a que únicamente se ensamblarán motocicletas de acuerdo a las exigencias del mercado. De esta manera, el retorno de la inversión se lo logrará en un menor lapso de tiempo, ya que los recursos de la empresa se destinarán únicamente al ensamble de los productos que se ha planificado vender de acuerdo a los pronósticos de datos históricos y tendencias del mercado. Del mismo modo, al trabajar bajo este sistema se eliminarán los productos en proceso y a su vez el espacio utilizado para este fin dentro de la planta productiva, reduciendo el costo de almacenamiento de inventario en exceso. Además, se disminuirán los problemas de calidad de los productos debido a que estos se ensamblarán en un tamaño mínimo de lote ideal (pieza a pieza), además de que se obtendrá una mayor flexibilidad respondiendo así adecuadamente a los cambios que presente el mercado.

Como limitaciones dentro de la propuesta se encuentra que el impacto de la herramienta 5S solo es posible evaluar o constatar al realizar su implementación en la empresa. De igual manera, el Sistema Pull al ser un sistema que se basa en la demanda no puede ser verificado hasta su aplicación, pero por medio del pronóstico realizado con los datos entregados por la empresa, se estima que va a tener éxito.

El estudio realizado es una base para futuros análisis, en donde se pueda incluir otras herramientas, como Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance TPM en inglés), SMED y Kanban, e inclusive el desarrollo total como



es el caso del Sistema Pull, se lo puede convertir en su totalidad a una filosofía de producción JAT para obtener mejores resultados. Estas herramientas, en conjunto, pueden disminuir considerablemente todos los desperdicios que aquejan diariamente a la mayor parte de industrias.

AGRADECIMIENTO.

Se agradece al 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) que hizo posible el presente estudio. De igual manera al personal directivo y operativo de la planta ensambladora de motocicletas por su disposición para analizarla como caso de estudio.



REFERENCIAS.

1. Arango, J., Giraldo, J., Castrillón, O., 2013. Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. *Scientia Et Technica*, 743-747.
2. Arrieta, J., Muñoz, J., Salcedo, A., Sossa, S. 2011. Aplicación Lean Manufacturing en la industria colombiana. Revisión de literatura en tesis y proyectos de grado. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI)*, 1-11.
3. Baluis, C., 2013. Optimización de Procesos en la Fabricación de Termas Eléctricas utilizando herramientas de Lean Manufacturing. Tesis de Grado, 3-5 pp. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5001/baluis_carlos_optimizacion_procesos_fabricacion_termas_electricas_lean_manufacturing.pdf?sequence=1&isallowed=y
4. Beltrán, C., Soto, A., 2017. Aplicación de herramientas lean manufacturing en los procesos de recepción y despacho de la empresa Hlf Romero S.A. Tesis de Grado, 28 pp. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21273/47121001_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Benavídez, X., Segarra, E., 2018. Levantamiento de procesos de la industria de ensamblaje. Caso de estudio Empresa de producción semiautomatizada de tarjetas electrónicas y empresa de producción manual de motocicletas. Tesis de grado. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
6. Bravo, D. (2008). Diseño de un Plan de Mejoras en una industria de plástico aplicando técnicas de Manufactura Esbelta. Tesis de Grado, 19-20 pp. Escuela Superior Politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13403/3/plan%20de%20mejoras%20aplicando%20manufactura%20esbelta.pdf>
7. Cardona, J., 2013. Modelo para la implementación de técnicas Lean Manufacturing en Empresas Editoriales. Tesis de Grado, 27-30 pp.



- Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, Disponible en:
<http://bdigital.unal.edu.co/12191/1/8912001.2013.pdf>
8. Castillo, J., 2016. Propuesta de redistribución de planta para la reducción de costos operacionales y aumento en la tasa de cumplimiento de ordenes de entrega en una empresa metalúrgica. Tesis De Grado. Pontificia Universidad Javeriana Cali, Cali, Colombia, Disponible en:
<http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/7983>
 9. Escamilla, L., Herrera, V., 2017. Diseño de un sistema de gestión de inventarios de prendas terminadas en la empresa French Vanilla Lingerie. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana Cali, Cali, Colombia, Disponible en:
http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/10065/Dise%C3%B1o_de_un_sistema_gestion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 10. García, E., García, H., Cárdenas, L., 2006. Simulación y análisis de sistemas con ProModel. México D.F.: Pearson Educación, 270 pp.
 11. Hernández, J., Vizán, A., 2013. Lean Manufacturing. Conceptos, Técnicas e Implantación. Madrid: E.O.I. 100 pp.
 12. Melton, T., 2005. The benefits of lean manufacturing, what lean thinking has to offer the process industries, Institution of Chemical Engineers, 662–673.
 13. Mira, L., Trejo, A., López, D., 2018. Aplicación de Holt-Winters para pronóstico de inventarios. Revista Ciencia UANL, 90-102.
 14. Mora, A., Tobar, J., Soto, J., 2012. Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo pull, mediante simulación. Scientia et Technica, 100-106.
 15. Muñoz, D., 2009. Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios. México D.F.: Cengage Learning, 521 pp.
 16. Nahmias, S., 2005. Production and Operations Analysis (5th ed). New York: McGraw-Hill/Irwin, 820 pp.
 17. Ortiz, V., Caicedo, A., 2012. Plan óptimo de producción en una planta embotelladora de gaseosas. Revista Ingeniería Industrial, 69-82.



18. Ospina, J., 2016. Propuesta de distribución de planta, para aumentar la productividad en una empresa metalmecánica en Ate-Lima, Perú. Tesis de Grado. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú, Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_aebdfe05b12e4d6f48c2155e2b2f7255
19. Palomino, M., 2013. Aplicación de herramientas de lean manufacturing en las líneas de envasado de una planta envasadora de lubricantes. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1707>
20. Pedraza, L. (2010). Mejoramiento productivo aplicando herramientas de manufactura esbelta. Soluciones de Postgrado EIA, 175-190.
21. Rajadell, M., Sánchez, J., 2010. Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad. Madrid: Díaz de Santos, 272 pp.
22. Ramírez, J. 2018. Predicción de tiempos estándar en líneas de ensamble usando mínimos cuadrados en modelos lineales multivariados. Tesis de grado. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
23. Restrepo, J., Medina, P., Cruz, E., 2008. Problemas de balanceo de línea salbp-1 y salbp-2: un caso de estudio. Scientia et Technica, 40.
24. Revista Patio de Autos, 2017. Industria automotriz ecuatoriana genera más de 50.000 mil empleos. Disponible en: <https://patiodeautos.com/general/industria-automotriz-ecuatoriana-genera-mas-de-50-000-mil-empleos/>
25. Rodarte, A., Blanco, M., 2009. 5S's una herramienta de calidad para la mejora del desempeño operativo: Un estudio en las empresas de la cadena automotriz de Nuevo León, Innovaciones de Negocios, 189-205.
26. Rodríguez, J., Serrano, D., Monteleón, T., Caro, J., 2008. Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. Gaceta Sanitaria, 151-161.
27. Ruiz, P., Zarrabeitia, E., Álvarez, I., Díaz, P., 2010. Análisis de la implantación de un sistema de planificación Pull Mixto en un fabricante de componentes para bienes de equipo. In: 4 th International Conference on



- Industrial Engineering and Industrial Management-XIV Congreso de Ingeniería de Organización, Donostia- San Sebastián, España, pp. 889-897.
28. Salazar, A., Vargas, L., Añasco, C., Orejuela, J., 2010. Propuesta de distribución en planta bietapa en ambientes de manufactura flexible mediante el proceso analítico jerárquico. *Revista EIA*, pp 161-175.
 29. Sarria, P., Fonseca, G., Bocanegra, C., 2017. Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista EAN*, 51-71.
 30. Socconini, L. (2008). *Lean Manufacturing Paso a Paso*. Ciudad de México: Norma, 257 pp.
 31. Sortino, R., 2001. Radiación y distribución de planta (Layout) como gestión empresarial. *Invenio*, 125-139 pp.
 32. Taj, S., Berro, L., 2006. Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 332-345.
 33. Tamayo, A., Urquiola, I. 2014. Concepción de un procedimiento para la planificación y control de la producción haciendo uso de herramientas matemáticas. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 130- 145.
 34. Tejeda, A., 2011. Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*, 276-310.
 35. Tobón, V., Villegas, L., 2017 Propuesta de mejoramiento del proceso de producción de madera plástica de la empresa Colombia Ecológica Madera Plástica. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia.
 36. Vargas, J., Muratalla, G., Jimenez, M., 2016. Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción?, *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 153-174.
 37. Vidal, S., 2007. Estrategia logística del justo a tiempo para crear ventajas competitivas en las organizaciones, *PROSPECTIVA*, 78-81.
 38. Villaseñor, A., Galindo, E. 2007. *Manual de Lean Manufacturing*. Ciudad de México: Limusa, 112 pp.



ANEXOS

ANEXO 1. Pronósticos

Modelo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
M1	226	140	225	125	100	25	450	450	20	300	239	239
M2	50	0	0	42	0	0	205	79	318	0	229	228
M3	130	60	83	0	50	0	180	180	300	200	123	123
M4	0	0	19	0	5	42	0	0	43	0	39	38
M5	0	24	0	0	8	0	20	80	0	32	60	60
M6	7	53	41	19	0	0	0	0	6	155	206	206
M7	27	80	125	140	50	25	25	0	25	200	156	156



ANEXO 2. Planeación Agregada

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
PRONÓSTICO	M1	226	140	225	125	100	25	450	450	20	300	239	239
	M2	50	0	0	42	0	0	205	79	318	0	229	228
	M3	130	60	83	0	50	0	180	180	300	200	123	123
	M4	0	0	19	0	5	42	0	0	43	0	39	38
	M5	0	24	0	0	8	0	20	80	0	32	60	60
	M6	7	53	41	19	0	0	0	0	6	155	206	206
	M7	27	80	125	140	50	25	25	0	25	200	156	156
	TOTAL	440	357	494	326	213	92	879	789	711	887	1051	1050
HORAS NECESARIAS	M1	243	151	242	134	108	27	484	484	22	322	257	257
	M2	63	0	0	52	0	0	257	99	398	0	286	286
	M3	178	82	114	0	69	0	246	246	411	274	168	168
	M4	0	0	32	0	9	70	0	0	71	0	64	64
	M5	0	32	0	0	10	0	26	107	0	43	80	80
	M6	12	88	68	32	0	0	0	0	10	259	344	344
	M7	43	128	200	224	80	40	40	0	40	320	250	250
	TOTAL	539	481	656	442	275	137	1053	937	951	1218	1450	1449
CAPACIDAD	PERSONAS	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	HH	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240
	M1	243	151	242	134	108	27	484	484	22	322	257	257
	M2	63	0	0	52	0	0	257	99	398	0	286	286
	M3	178	82	114	0	69	0	246	246	411	274	168	168
M4	0	0	32	0	9	70	0	0	71	0	64	64	



	M5	0	32	0	0	10	0	26	107	0	43	80	80
	M6	12	88	68	32	0	0	0	0	10	259	344	344
	M7	43	128	200	224	80	40	40	0	40	320	250	250
	TOTAL	539	481	656	442	275	137	1053	937	951	1218	1450	1449
PRODUCCIÓN	M1	226	140	225	125	100	25	450	450	20	300	239	239
	M2	50	0	0	42	0	0	205	79	318	0	229	228
	M3	130	60	83	0	50	0	180	180	300	200	123	123
	M4	0	0	19	0	5	42	0	0	43	0	39	38
	M5	0	24	0	0	8	0	20	80	0	32	60	60
	M6	7	53	41	19	0	0	0	0	6	155	206	206
	M7	27	80	125	140	50	25	25	0	25	200	156	156
INVENTARIO	M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0