



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

Propuesta de Optimización de Procesos basado en Herramientas de Manufactura Esbelta en Industrias de Ensamblaje. Caso de Estudio: Ensambladoras de Televisores y de Tarjetas electrónicas.

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

Autora:

Silvana Alexandra Cuesta Chaca

CI: 0105926570

correo electrónico: silvi_cuesta@hotmail.com

Director:

Ing. Juan Carlos Llivisaca Villazhanay

CI: 0105627269

Cuenca, Ecuador

10-enero-2020



RESUMEN

En el contexto global actual, donde la competencia está creciendo, es necesario cambiar la forma en que operan las empresas, eliminando el desperdicio mediante la implementación de herramientas como las de la filosofía Lean Manufacturing (ME). Definido como un proceso sistemático de eliminación de residuos, que logra una tasa sostenida de mejora en el tiempo. El presente trabajo propone una propuesta de optimización con herramientas ME, realizando un análisis del estado de los procesos de dos empresas dedicadas al montaje de televisores y al montaje de placas de circuito impreso para televisores. A través de Value Stream Mapping (VSM), fue posible identificar problemas en los procesos de producción para los dos estudios de caso. Aquí, el uso de varias herramientas como 5S y Workloads llevó, en el caso de los televisores, a la eliminación de una estación de trabajo. Proyectando un aumento en la capacidad de montaje de la planta, con hasta casi el 5% de las unidades producidas, y la reducción de una estación de trabajo. En el caso de las placas de circuito impreso, esto significaba reducir las distancias recorridas por los operadores con la distribución de la planta y la creación de un supermercado para el suministro de actividades posteriores al ensamblaje. Con una reducción del 35% en las distancias recorridas y un aumento del 3.69% en el número de unidades producidas. La validación de la propuesta de optimización se realizó mediante simulaciones por computadora utilizando software de modelado de procesos.

Palabras clave: Empresas de ensamble. FlexSim. Manufactura esbelta. Simulación de procesos.



ABSTRACT

In the current global context, where competition is growing, it is necessary to change the way companies operate, eliminating waste through the implementation of tools such as those of the Lean Manufacturing (ME) philosophy. Defined as a systematic process of waste elimination, which achieves a sustained rate of improvement over time. The present work proposes an optimization proposal with ME tools, performing an analysis of the state of the processes of two companies dedicated to the assembly of televisions and the assembly of printed circuit boards for televisions. Through Value Stream Mapping (VSM), it was possible to identify problems in the production processes for the two case studies. Here, the use of various tools such as 5S and Workloads led, in the case of televisions, to the elimination of one workstation. Projecting an increase in the assembly capacity of the plant, with up to almost 5% of the units produced, and the reduction of a workstation. In the case of printed circuit boards, this meant reducing the distances travelled by operators with plant distribution and the creation of a supermarket for the supply of post-assembly activities. With a 35% reduction in distances travelled and a 3.69% increase in the number of units produced. Validation of the optimization proposal was done through computer simulations using process modeling software.

Keywords: Assembly companies. FlexSim. Lean Manufacturing. Process simulation.



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Silvana Alexandra Cuesta Chaca en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS BASADO EN HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA EN INDUSTRIAS DE ENSAMBLAJE. CASO DE ESTUDIO: ENSAMBLADORAS DE TELEVISORES Y DE TARJETAS ELECTRÓNICAS", 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, 10 de enero de 2020

Silvana Alexandra Cuesta Chaca

C.I: 0105926570



Cláusula de Propiedad Intelectual

Silvana Alexandra Cuesta Chaca, autor/a del trabajo de titulación "PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS BASADO EN HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA EN INDUSTRIAS DE ENSAMBLAJE. CASO DE ESTUDIO: ENSAMBLADORAS DE TELEVISORES Y DE TARJETAS ELECTRÓNICAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 10 de enero de 2020

A handwritten signature in blue ink, reading 'Silvana Cuesta'.

Silvana Alexandra Cuesta Chaca

C.I: 0105926570



1. INTRODUCCIÓN

Las empresas del sector industrial deben afrontar demandas cambiantes y exigentes dentro del mercado actual, elaborando productos que sean cada vez más competitivos en cuanto a costo y calidad a la vez que hacen frente a los retos de sustentabilidad y eficiencia (Nujoom, Mohammed, & Wang, 2019). También, las empresas buscan cambiar la manera de dirigir y operar los procesos, optimizarlos, eliminando los desperdicios, y adquiriendo las destrezas necesarias para competir en el mercado (Barcia et. al, 2007). Para esto, su principal reto es eliminar lo que no agrega valor a los procesos, que muchas veces no están libres de desperdicios e ineficiencias. Además, sabiendo que la mayoría de las empresas necesitan adaptar su modo de operar para seguir siendo competitivas (Odhiambo et. al, 2018), ya que, algunas se encuentran enfocadas únicamente en volumen y no en calidad (Tejeda, 2011), otro reto a considerar es el poder eliminar desperdicios, manteniendo el volumen de producción.

La Manufactura Esbelta, ME (en inglés. Lean Manufacturing) es vista como un proceso metódico que permite la identificación y eliminación de desperdicios, entendiendo como desperdicio todo aquello que no le agrega valor al proceso, generado en sus involucrados una nueva cultura de mejora, enfocada en el trazado de metas (Socconini, 2008) Siendo una alternativa versátil al adaptarse en los diferentes escenarios dentro del sector industrial (Sarría et. al, 2017). La ME se trata no solo del uso de herramientas, si no, del cambio completo de operar los negocios (Melton, 2005). Se ha utilizado diferentes enfoques para la mejora, en ME e incluso se ha tratado de empatar la ME con la reducción de desechos ambientales y así crear equilibrio entre la parte ambiental y económica (Nujoom et al., 2019). Para esto las técnicas para optimización de procesos más utilizadas son las pertenecientes a esta filosofía, que definen las estrategias para que las personas puedan mejorar y optimizar sistemas productivos, enfocándose específicamente en eliminar los desperdicios existentes (Hernández y Vizán, 2013). Con la aplicación de ME se utiliza menos de cada recurso, menos esfuerzo humano, se disminuye la cantidad de inversión en almacenamiento de materiales, distribuyendo apropiadamente el espacio disponible (Wilches et. al, 2014). Además, se puede optimizar diferentes objetivos a la vez considerando los costos y la eficiencia, como en el trabajo de (Nujoom, Wang, & Mohammed, 2018)



En la literatura se encuentran varias aplicaciones de herramientas de ME, destacando que la implementación de sus principios ha tenido un impacto favorable (Matt & Rauch, 2013); sin embargo, las de mayor acogida y, resultados positivos en las empresas han tenido, son VSM, 5S, Distribución de Planta, Manejo de Supermercados, Kanban, JIT (en inglés. Just In Time, en español Justo a Tiempo) y SMED (en inglés. Single Minute Exchange of Die o en español cambio de matriz en diez minutos) (Rajadell & Sánchez, 2010, Arrieta *et al.* 2011, Sanz y Gisbert, 2017). Un resumen de las principales herramientas encontradas en la literatura es presentado en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de revisión bibliográfica por herramienta

	Barcia , Loor (2007)	Fortuny , et al. (2008)	Stamm , Neitzer t (2012)	Paredes A. (2017)	Martínez , et al. (2015)	Giraldo , et al. (2013)	Nevárez (2016)	Wilches , et al. (2014)	López , et al. (2016)	TOTAL
5S`s	x			x		x	x	x		6
VSM	x	x	x	x	x					5
SMED										0
TPM									x	1
Kanban	x							x		2
JIT								x	x	2
Jidoka									x	1
Heijunka										0
Distribución de planta	x		x	x						3
Kaizen									x	1

Nota: VSM= Value Stream Mapping, SMED= Single Minute Exchange of Die, TPM= Total Productive Maintenance), JIT= Just In Time.

De la Tabla 1 se tiene que las herramientas más usadas por varios autores, fueron VSM, 5S y distribución de planta. El uso de VSM, también llamado mapa de flujo de valor (Stamm y Neitzer, 2012), es la representación gráfica de los elementos de producción e información, que es la base para el análisis de la situación inicial de un proceso; es decir, la identificación del flujo del proceso que permite visualizar en donde se encuentra el valor y en donde se encuentra el desperdicio. Por ejemplo, Fortuny *et al.* (2008) realizaron un análisis de la situación actual de plantas industriales mediante la herramienta VSM. En ese trabajo observaron que, al tomar medidas correctivas hubo un incremento de la productividad, un aumento de capacidad en los cuellos de botella y mejoras en la homogeneidad de la producción. Por otro lado, Paredes (2017), Barcia *et al.* (2007) y Stamm y Neitzer (2012) utilizaron VSM como herramienta base para el análisis de la situación actual de empresas de manufactura, identificando el comportamiento de procesos críticos y oportunidades de



mejoras, para luego establecer planes de acción a corto plazo por medio de herramientas como 5S, Distribución de Planta y Kanban. Martínez et al. (2015) presentan una propuesta de mejora en el tiempo de la atención al cliente en una unidad de urgencias de un hospital, representando la situación actual y futura del proceso por medio de un VSM. Los autores, además, mediante la herramienta 5S incluyeron un plan de acción que conduce a cambiar la Distribución de Planta para la atención, de forma que el paciente siga una secuencia y recorra la menor distancia, en el menor tiempo posible. Como resultado, se logró tener un correcto orden de los implementos en cada departamento, reduciendo notablemente el tiempo de atención e incrementando la atención a un mayor número de pacientes.

Las herramientas 5S son técnicas orientadas a crear una cultura de orden y limpieza, para crear lugares de trabajo limpios y ordenados, conseguir la reducción de los tiempos de búsqueda y mejorar las condiciones de trabajo y son consideradas un método básico para optimización pero que han demostrado ser una técnica con cambios positivos (Randhawa & Ahuja, 2018). Estas herramientas representan cinco principios expresados con cinco palabras japonesas que empiezan por la letra S: Seiri (clasificar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (disciplinar) (Giraldo, 2013). En el trabajo desarrollado por Pérez et al. (2007), en base al análisis de la situación inicial en una empresa del sector de la confección, se propone la implementación de las 5S, Producción Nivelada, Kanban y SMED. Los autores utilizan estas herramientas para lograr cambios en cuanto a organización de los puestos de trabajo, identificación de materiales, control del proceso, definición de flujo al producto, incremento de la confiabilidad en el proceso, disminución de tiempos y aumento de la eficiencia. Por otro lado, Wilches Arango et al. (2014) muestran un análisis para el mejoramiento de la cadena de valor, partiendo de la identificación de los desperdicios o mudas, para posteriormente eliminar las mudas identificadas con las herramientas 5S, JIT, Kanban. y Poka Yoke. Los autores López et al. (2016) presentan un estudio y análisis del impacto de la utilización de herramientas de ME en pequeñas y medianas empresas (PYME), mediante el uso de entrevistas y cuestionarios validados con un software estadístico. En este estudio se destaca la implementación de las herramientas 5S, JIT y Kaizen y se reportan resultados en relación a la obtención de beneficios relativos a la disminución de desperdicios, el orden en espacios de producción, la disminución de tiempos de búsqueda, la reducción de inventarios y la reducción en costos de producción. Sin embargo, Diez y Abreu (2009), como recomendación, proponen que previo a la implementación de las 5S es de vital importancia la estandarización de los procesos para una correcta aplicación y desarrollo.

Como se menciona anteriormente, existe diversidad de ejemplos de aplicaciones de herramientas ME en diferentes sectores para mejora del proceso y eliminación de



desperdicios, en los cuales no se define los lineamientos para su aplicación. La importancia del presente trabajo, se basa en una propuesta de optimización considerada en dos empresas de ensamble, donde se define las fases para conseguir una mejora sustancial mediante la implementación de herramientas ME. Partiendo de la evaluación del estado actual de las empresas con VSM, se prevé una mejora sustancial con: la creación de una cultura de orden y la reducción de tiempos incensarios con 5S, la correcta utilización de los espacios o asignación de cargas de trabajo con Distribución de Planta, ampliando la posibilidad de reducir los recursos empleados e incrementando el número de unidades producidas. A diferencia de los trabajos previos, en el presente se proporciona una idea de los posibles resultados en el caso de llevar a cabo la implementación para facilitar la interpretación de los efectos de la resolución problemas mediante una propuesta de optimización utilizando un software especializado.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: La sección 2 en la que se explicará el desarrollo de la metodología para la investigación, en la sección 3 se revelan los principales resultados, en la cuarta sección se destaca lo más relevante del estudio y finalmente en la sección 5 donde se establece el nivel de cumplimiento del objetivo.

2. MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se desarrolló utilizando dos casos de estudio, correspondientes a dos empresas ensambladoras, una de televisores y otra de tarjetas electrónicas para televisores. Se aplicó una metodología de tipo propositiva, ya que se tiene por objetivo la comprobación teórica, descriptiva y computacional del éxito de las herramientas de Manufactura Esbelta mediante el sistema programado “FlexSim”¹. El objetivo principal del trabajo es presentar una propuesta de optimización de procesos de las empresas casos de estudio. Para la realización de esta propuesta se desarrolló una metodología conformada por las cuatro etapas que se observan en la Figura 1.

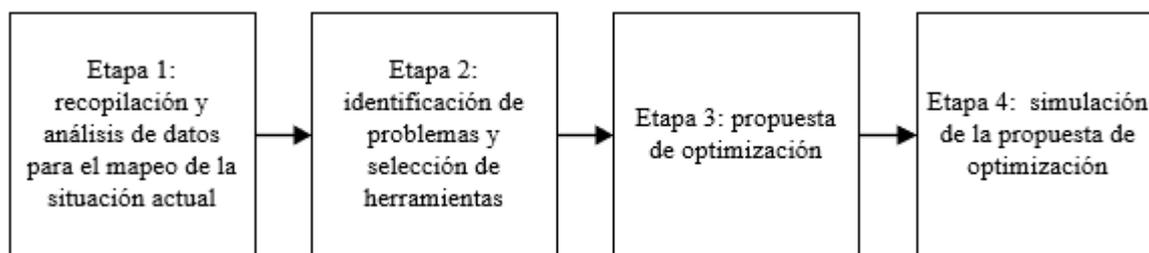


Figura: 1. Metodología para el desarrollo de la propuesta de optimización en los dos casos seleccionados.

2.1 Etapa 1: recopilación y análisis de datos para el mapeo de la Situación Actual

¹ <https://www.flexim.com/>



Para el análisis de la situación actual de los dos casos de estudio, se partió de los datos del trabajo realizado por Guerrero et al. (2019), perteneciente al proyecto “*Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamble*” de la Universidad de Cuenca. Se identificó las actividades que conforman los procesos de ensamble, sus respectivos tiempos y el número de operadores que intervienen en el ensamble de un modelo específico de televisor, seleccionado con base a un análisis de la demanda por modelo, es decir, al modelo más vendido. Por razones de confidencialidad, en todo el estudio se colocará un código a cada modelo de televisor y tarjeta electrónica. De la Figura 2 se tiene que, el modelo de televisión que más ventas generó en el año 2017 es TV3, de igual manera para las tarjetas electrónicas ya que son la principal materia prima para el ensamble de estos televisores.

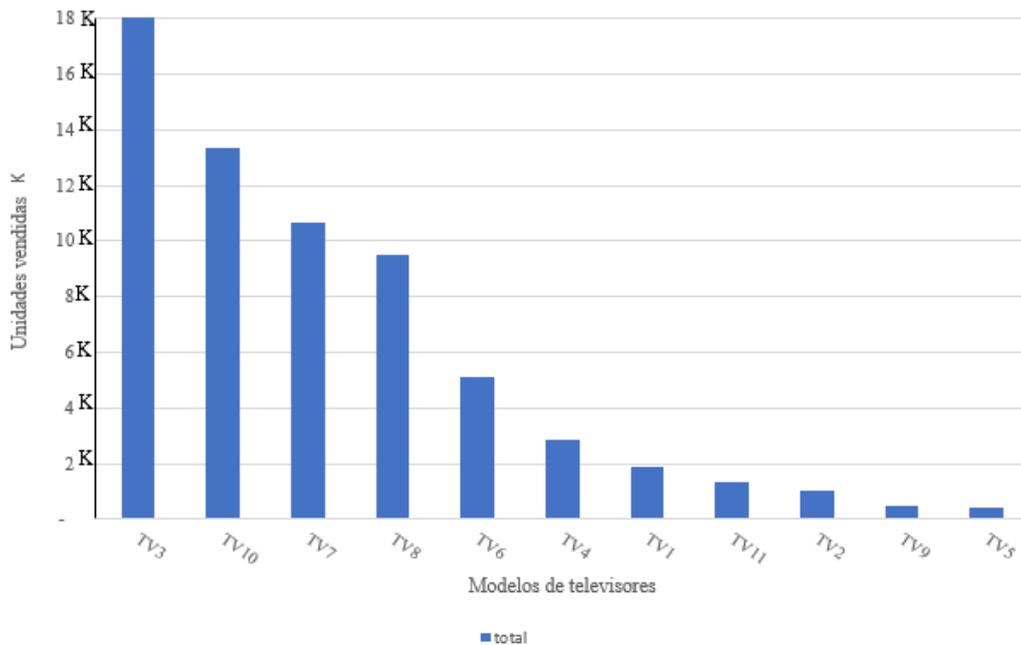


Figura: 2. Ventas de televisores en el año 2017. Fuente. El autor.



Para el caso de televisores se tiene lo siguiente. La fuerza laboral es de nueve operadores, el tiempo disponible de trabajo es 771800 segundos mensuales, es decir, 1 turno de 12 horas, 5 días a la semana, por 4 semanas al mes, restando el tiempo no productivo (media hora de almuerzo, el tiempo de preparación al inicio del turno). La demanda promedio mensual de televisores TV3 es 14068 televisores mensuales. El takt time que es el ritmo de producción para alcanzar la demanda de los clientes, se calcula, según la Ecuación 1, dividiendo las horas de trabajo disponibles entre la demanda del producto escogido para el caso de estudio. Para el caso considerado, el takt time es de 54.86 segundos.

$$Tiempo\ takt = \frac{Tiempo\ disponible}{Demanda} \quad (1)$$

En la Tabla 2 se describe la secuencia de actividades necesarias para el ensamble de televisores TV3 con sus respectivos tiempos de ciclo, i.e., el tiempo en el que se lleva a cabo cada una de las actividades, expresado en segundos. Con todos los datos recabados, es posible mapear la situación actual del caso de televisores (Figura 3), donde se muestran los tiempos de ciclo y tiempos de cambio de cada actividad. La Figura 3 contiene además la forma de llevar a cabo el proceso con proveedores y clientes. Así mismo, en la misma Figura se resaltan los problemas encontrados, los cuales corresponden a esperas entre procesos y exceso de inventario inicial. Se tiene que el tiempo de procesamiento, es decir, el tiempo necesario para elaborar un televisor TV3 es de 340 segundos.

Tabla 2. *Actividades del proceso de ensamble del caso de televisores*

Actividad	Descripción	T/C segundos
Preparación	Sacar de caja el TV y colocar en línea de producción	34
	Colocar las tarjetas de video y poder en la parte posterior de TV	
Ensamble 1	Atornillar tarjeta de video y poder	38
Ensamble 2	Preparar cables de video	
	Colocar cable de poder entre la tarjeta de poder y de video	30
	Colocar cable de wifi	
Ensamble 3	Preparar tapa posterior con cables y parlantes	
	Sujetar cables con cintas	37
	Colocar tapa en el lado posterior de la pantalla	
Ensamble 4	Colocar sellos en la parte posterior	
	Atornillar la tapa posterior	52
Ensamble 5	Colocar etiqueta de especificaciones	
	Conectar cable de corriente y poner la TV en soporte	30
	Colocar sellos en la parte delantera de TV en los extremos	
Control de Calidad	Verificar volumen, HDMI e INTERNET	48
	Verificar sellos y desconectar	
Empacado	Colocar sellos en las cajas	
	Colocar la funda protectora a la TV	71
	Cerrar de caja del producto terminado	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nota: T/C= tiempo de ciclo

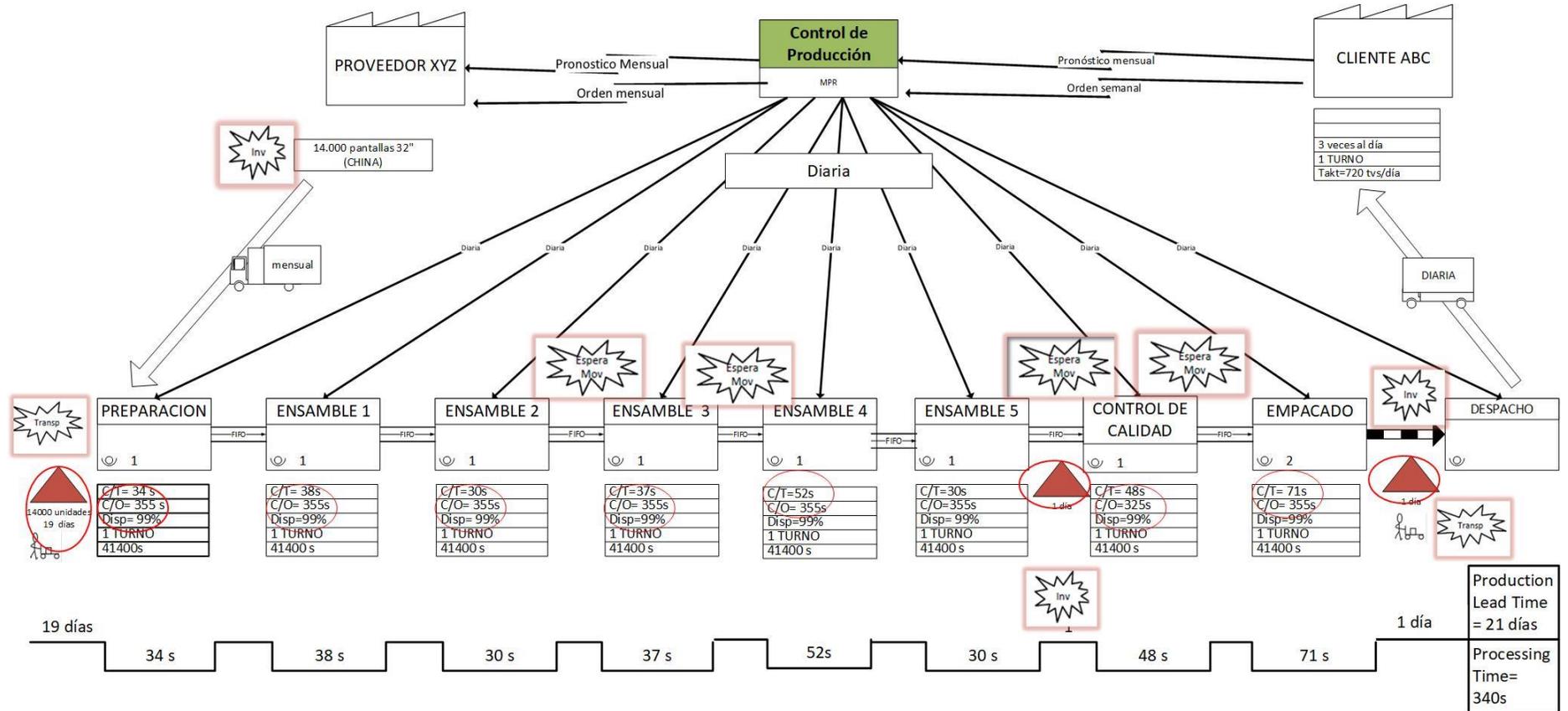


Figura: 3. VSM para el caso de ensamble de televisores. Fuente: El Autor.



Para el caso de la ensambladora de tarjetas electrónicas se tiene una fuerza laboral de tres operadores, el tiempo disponible es de 772580 segundos al mes, con una demanda mensual de 13000 tarjetas electrónicas para el modelo TV3 y se tiene un tiempo takt de 59.42 segundos. En la Tabla 3 se muestran las actividades necesarias para el ensamble de una tarjeta electrónica para el modelo TV; mientras que, el desarrollo del mapeo de la situación actual de la empresa ensambladora de tarjetas electrónicas, se visualiza en la Figura 4. En ésta se observa que la secuencia del proceso de ensamble no es un flujo en línea recta. También, se señala que los problemas son esperas entre procesos y transportes e inventarios. Además, se tiene que el tiempo de procesamiento es de 294 segundos.

Tabla 3. *Actividades del proceso de ensamble del caso de tarjetas electrónicas*

Actividad	Descripción	T/C segundos
Ensamble de la parte inferior	Colocar la tarjeta vacía en el inicio de la línea, para que automáticamente en las distintas máquinas se coloquen los componentes de la parte de arriba.	35
Ensamble de la parte superior	Dar la vuelta a la tarjeta y colocar nuevamente en el inicio de la línea para la adición de los componentes en la parte de abajo.	90
Control de Calidad	Sacar de rack y cortar tarjeta Sacar protecciones de tarjeta Inspeccionar visualmente y colocar tarjeta Grabar software, probar tarjeta Marcar tarjeta, sacar tarjeta Colocar sello, colocar disipador	155
Empacado	Colocar protector plástico Colocar en el cartón	44

Nota: T/C= tiempo de ciclo.

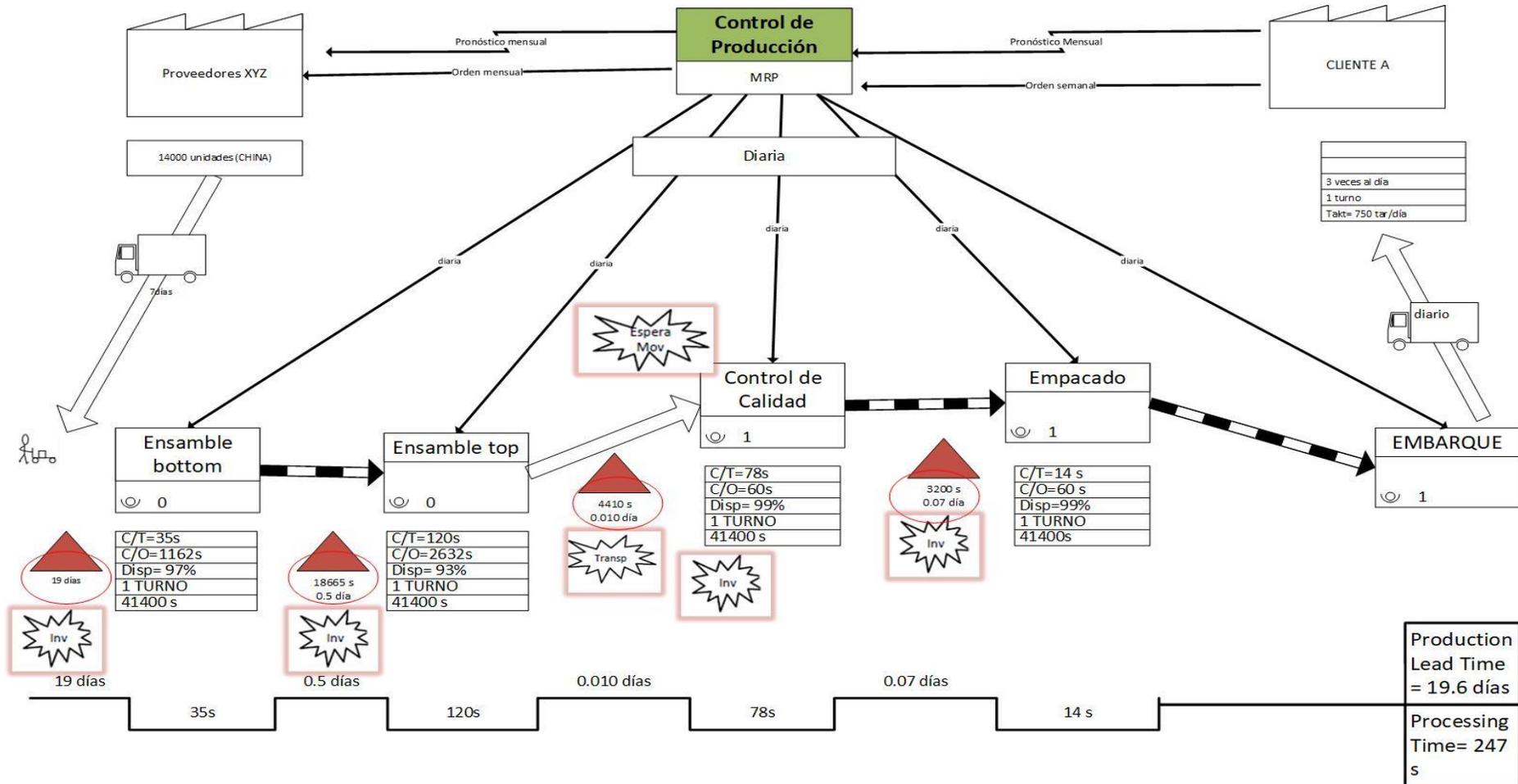


Figura: 4. VSM caso ensambladora de tarjetas electrónicas. Fuente: El Autor.



2.2 Etapa 2: identificación de problemas y selección de herramientas

El análisis de la situación actual de los procesos productivos de los dos casos de estudio mediante la herramienta VSM condujo a identificar las mudas o desperdicios que existen a lo largo de las líneas de producción. Adicionalmente, con las observaciones del proceso *in situ*, a simple vista se identificaron problemas que lo afectan y se priorizaron según su ocurrencia para proponer medidas correctivas que los mitiguen. En la Figura 5 se encuentran graficados los tiempos ciclo y tiempos takt (representado por la línea horizontal de color naranja) de las actividades del caso de televisores. Se observa que la actividad de empaclado se encuentra por encima de la línea del tiempo takt, siendo la actividad que marca el ritmo del proceso; además, las actividades de ensamble 2 y 5 se encuentran muy por debajo del tiempo takt.

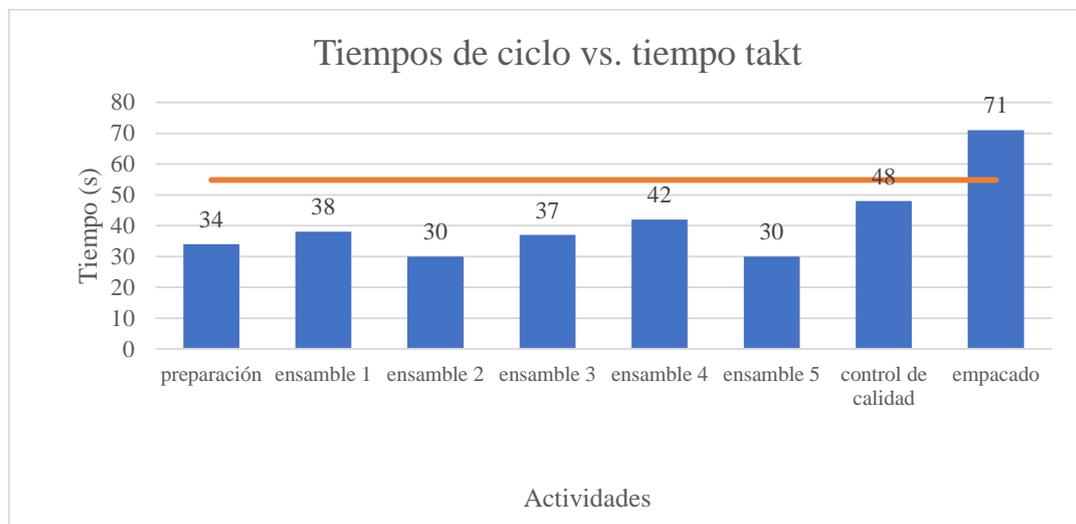


Figura 5: Tiempo ciclo vs. Tiempo takt para el caso de televisores. Fuente: El Autor.

En la Figura 6 se encuentra graficado el tiempo ciclo de las actividades del caso de estudio de tarjetas electrónicas frente al tiempo takt encontrado en la etapa 1, y se tiene que la actividad de control de calidad se encuentra por encima del tiempo takt, por lo que representa la actividad que marca el ritmo del proceso.

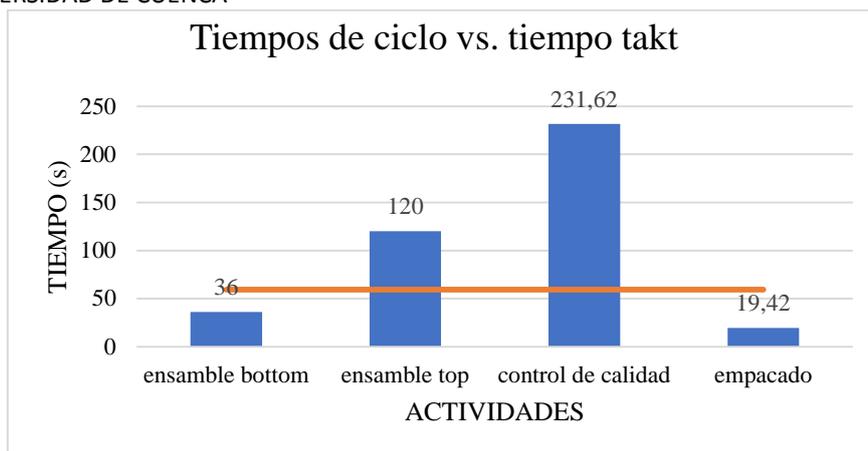


Figura: 6: Tiempo ciclo vs. Tiempo takt caso de tarjetas electrónicas. Fuente: El Autor.

En la Tabla 4 se muestran los problemas que fueron identificados en el caso de televisores y el de tarjetas electrónicas, para los cuales se seleccionó una herramienta de LM con la que se podrá mitigar de cierta forma el mismo. En este caso, la herramienta seleccionada fue el Diagrama de Ishikawa, el cual permite visualizar en diversos entornos las posibles causas de los problemas encontrados. Por consiguiente, para el caso de los televisores, las herramientas seleccionadas fueron: 5S y Nivelación de Cargas, ya que los problemas con mayor índice de ocurrencia fueron el desorden, movimientos incensarios por búsqueda y el tiempo ciclo de las actividades de ensamble (se encuentra por encima del tiempo takt encontrado en la etapa 1). Para el caso de las tarjetas electrónicas se seleccionaron las herramientas 5S, Distribución de planta y supermercados.

Tabla 4. Problemas Identificados en el proceso para los casos de televisores y tarjetas electrónicas

Problema	Herramienta Lean	Medida correctiva
Desorden del puesto de trabajo	5S, Gestión Visual	Estandarización
Movimientos innecesarios, por búsqueda de herramientas o materiales	5S, SMED	Estandarización
Obstrucción de pasillos con materiales	5S	Implementación de 5S
Esperas entre procesos (cuello de botella)	Supermercados	Balanceo de líneas
Tiempos ciclo de actividades por encima de Takt time	5S	Nivelación de cargas
Falta de organización de materiales y herramientas	5S	Implementación de 5S
Transportes innecesarios	5S	Redistribución
Falta de espacio en área de ensamble	5S	Redistribución



2.3 Etapa 3: propuesta de Optimización

Basados en las herramientas de LM, se propone la implementación de las 5S en los dos casos de estudio para crear una cultura de orden y limpieza, ya que no se necesita de inversión, sino involucramiento y compromiso del personal. Además, se propone la estandarización del proceso de ensamble para el modelo TV3, ya que según Tafolla (2000), la estandarización es el desarrollo sistemático, aplicación y actualización de patrones para productos, para que su elaboración se lleve a cabo en una secuencia definida.

En el caso de los televisores, para el estudio se analizaron las cargas de trabajo y se determinó que las mismas no se encuentran niveladas, se descubre que existen actividades con un tiempo sumamente inferior al tiempo takt. Por lo tanto, se propone la división de las actividades, de manera que éstas continúen por debajo del tiempo takt, proporcionando al operador tiempo para realizar actividades internas. Meyers y Stephens (2006) mencionan que cuando se tiene una línea de ensamble balanceada cada trabajador tiene asignada una cantidad de trabajo lo más parecida posible.

En el caso de las tarjetas electrónicas, se realizó una distribución de planta para el área de ensamble automático con el objetivo de disminuir las distancias que tienen que recorrer los operadores para el abastecimiento de materia prima al inicio de la línea. Con la distribución de planta se intenta mejorar problemas asociados a distancias recorridas (Salazar, Vargas, Añasco, & Orejuela, 2010). Por ende, se pretende eliminar los transportes innecesarios. La distribución de planta consiste en planificar la ubicación de los insumos y recursos tecnológicos, así como la disposición del producto terminado, recorriendo la menor distancia posible. La distribución debe estar acorde a la disponibilidad de espacio a fin de optimizar las operaciones de las empresas. En las Figuras 7 y 8 se muestra la distribución del área de ensamble del caso de las tarjetas electrónicas en su estado actual y futuro respectivamente. Se determinó que, actualmente, para el transporte de materia prima, desde bodega hacia el inicio de la línea, el operador debe recorrer una distancia de 22.81 metros, mientras que, para el transporte de producto terminado desde la zona de empaqueo hacia la zona de despacho de producto terminado recorre 32.81 metros.

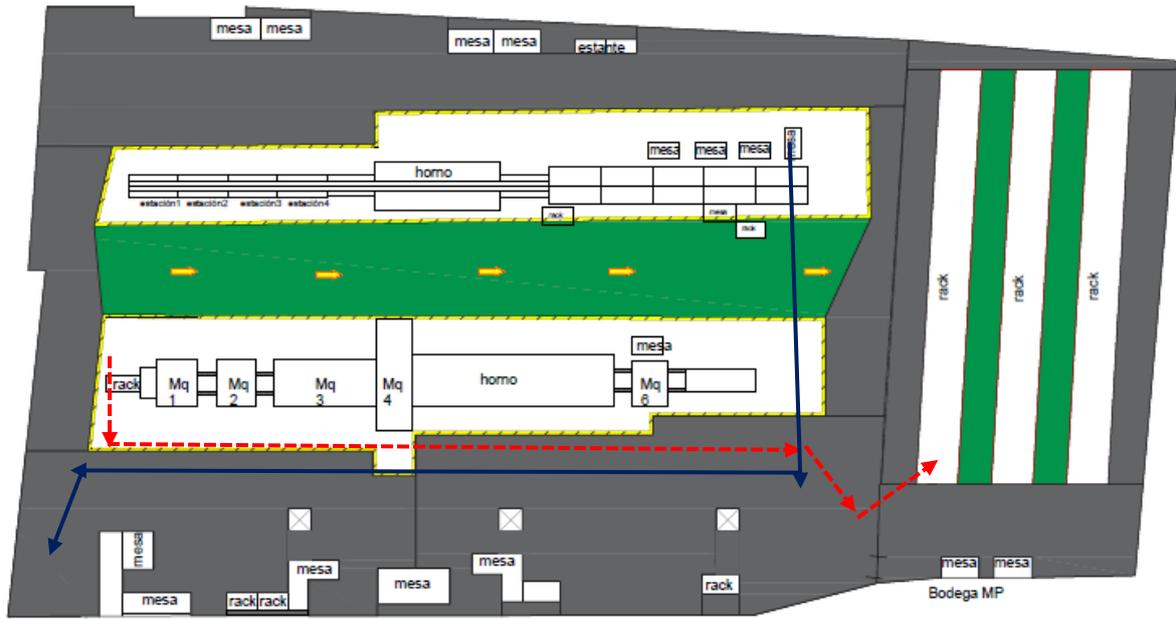


Figura: 7. Distribución de área de ensamble caso de tarjetas electrónicas, estado actual.
Fuente: El Autor.

Nota: las líneas rojas entrecortadas el flujo para el abastecimiento de materia prima y las líneas continuas el flujo para despacho de producto terminado.

En la Figura 8 se observa el cambio de sentido en el flujo del proceso de ensamble del caso de tarjetas electrónicas; además, se incorpora en la misma línea las actividades de control de calidad y empaclado, para que exista un flujo en línea recta.

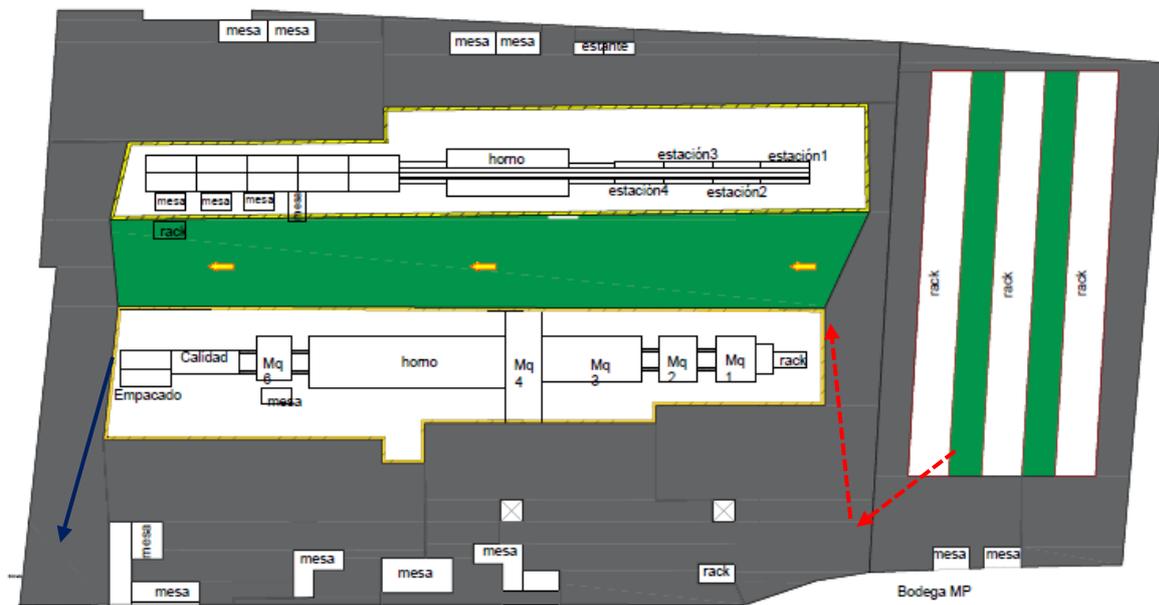


Figura: 8. Distribución del área de ensamble caso de tarjetas electrónicas, estado futuro.
Fuente: El Autor.

Nota: las líneas intertrazadas representan el flujo propuesto para el abastecimiento de materia prima a la línea y la línea continua el flujo para el despacho de producto terminado.

Continuando con el caso de las tarjetas electrónicas, para mitigar las esperas entre procesos se propuso la creación de un sistema de supermercado, ya que, según Hernández y Vizán (2013), la demanda puede ser satisfecha mediante un “buffer”. En el mismo, se deberá de rellenar o reemplazar el material que fue consumido, haciendo las veces de un amortiguador, de tal forma que parezca que el material fluye de forma continua y se disminuyan las esperas.

La capacidad máxima y mínima del buffer se calcula en base a la producción mensual y considerando la desviación de la misma. El inventario de seguridad se encuentra determinada por tres zonas. La zona 3 es la parte inicial del amortiguador, el inventario podrá consumirse para cumplir órdenes, es decir, satisfacer la demanda. La zona 2 es la parte media, aquí serán la variabilidad y la incertidumbre quienes consuman esta parte del inventario. La zona 1 indica que es momento en el que se deberá de reaprovisionar el inventario con productos de la actividad anterior; cabe recalcar que, esta parte del inventario no se debe consumir en su totalidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Zona 3 (verde): parte inicial del amortiguador, tiempo para que muchas ordenes puedan consumirlo. Inventario > 2/3 del NOI.
- Zona 2 (amarillo): la variabilidad e incertidumbre consumen parte o todo este segmento. 1/3 del NOI < inventario < 2/3 del NOI
- Zona 1: es importante que este segmento del amortiguador no se consuma en su totalidad. Inventario < 1/3 del NOI.

NOI= Nivel Objetivo de Inventario, es decir, demanda promedio diaria (mes pasado) +(2 desviación estándar * tiempo básico histórico de reposición).

$$(NOI = 1303.405 + 2(1024) * 1)=3351.4$$

Para cada zona del amortiguador se destina una cantidad de inventario, la misma que está calculada para la producción diaria con base a datos de producción mensual. Se tiene en la Zona 1 un inventario máximo de 112 unidades, en la Zona 2 debe ser menor a 112 y mayor a 56, en la Zona 3 un inventario mínimo de 56 unidades para de esta manera reducir el tiempo de espera entre procesos.

2.4 Etapa 4: simulación de la propuesta de optimización.

Para la representación del sistema mediante la simulación computacional, se escogió el software “FlexSim Update 2”, bajo licencia educacional proporcionada por la Universidad de Cuenca, el cual permitió modelar y entender con precisión los problemas básicos de un sistema sin tener que escribir un código de software, en un ambiente 2D y 3D (Simón, Francisca, Granillo, y Piedra, 2013). Ocampo y Pavón (2012) mencionan que la simulación inicia con una hipótesis, a partir de la cual, se desarrolla el modelo de simulación o escenario, que luego será validado para por último poder hacer conclusiones acerca de la validez de la misma y confirmar si el sistema se comportó como se esperaba o no. (García, García, & Cárdenas, 2006) indican que la simulación es la representación ficticia de una situación real, tratando de que sea lo más aproximado a la realidad, partiendo de un buen conocimiento del sistema real, es decir, todo el entorno en el que se desarrolla el proceso. A través de la simulación se puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por ende pueden surgir estrategias para mejorar el mismo. La simulación se lleva a cabo bajo condiciones previamente establecidas referente a tiempos, capacidades, número de operadores, además, se considera necesario tener en cuenta el “warm up” que es el tiempo que debe transcurrir para llegar a la estabilidad del sistema, cuando todas las estaciones se encuentran trabajando.



2.4.1 Simulación de la situación actual de los casos de televisores y tarjetas electrónicas.

La situación actual de los casos de televisores y tarjetas electrónicas fueron validadas mediante simulación y fue posible representar un sistema de producción mediante objetos y observar cómo se lleva a cabo el proceso con cada uno de los elementos que lo integran lo más semejante posible a la realidad de cómo está efectuada la distribución de planta. Para realizar la simulación y comprobar los resultados que se tendrá con la implementación de dichas herramientas en los casos de estudio, se utilizó un proceso de simulación de eventos discretos con un sistema estocástico, que consiste en relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado del sistema por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema en cuestión. En la Figura 9 se ve plasmada la situación actual del caso de televisores; se observa el recorrido de la materia prima a lo largo de la línea hasta que se transforma en producto terminado. Por su parte, en la Figura 10, se observa cómo se encuentra actualmente el proceso del caso de tarjetas electrónicas, cómo se encuentra el “layout” y por ende el flujo del proceso.

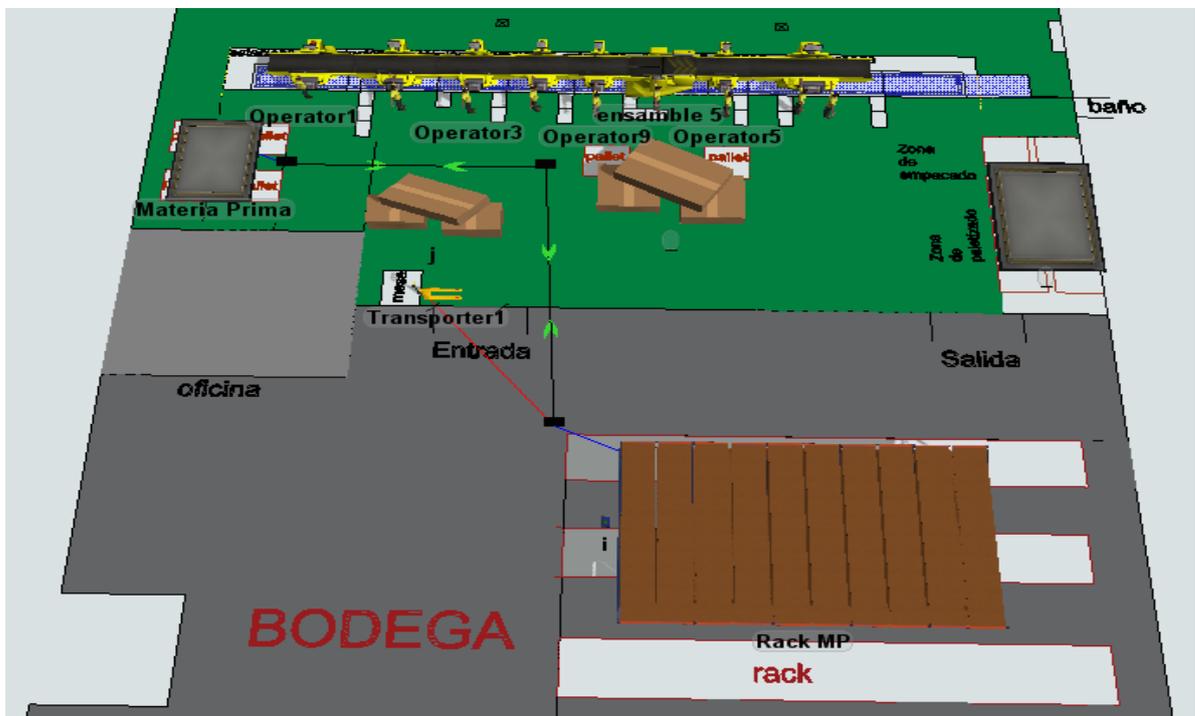


Figura: 9. Simulación de la situación actual caso de televisores. Fuente: El autor.

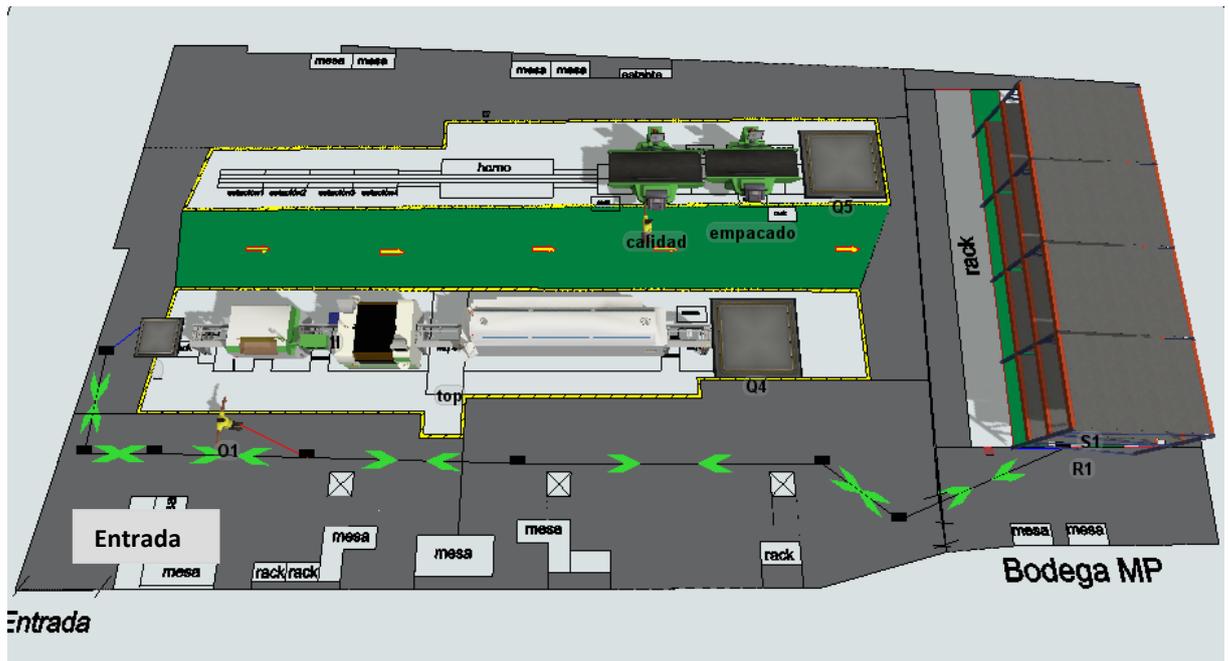


Figura: 10. Simulación de la situación actual caso de tarjetas electrónicas. Fuente: El autor.

2.4.2 Simulación de la situación futura.

Caso de televisores

Para llevar a cabo la simulación de la situación futura del caso de televisores, considerada eventos discretos, se realizó la distribución probabilística con los tiempos tomados del trabajo de Guerrero et al. (2019) obteniendo la distribución estadística de tiempos que se muestra en la Tabla 5. Con ayuda de la herramienta “Stat Fit” del software “ProModel”, la cual arroja tiempos con una distribución normal y logarítmica normal, a partir de una base de 10 tomas de tiempo de cada actividad del proceso, para hacer que se asemeje mayormente a la realidad (García et al., 2006). Todo esto a través de un análisis de ajuste de curvas y análisis de datos para la simulación, además, de realizar 30 réplicas para verificar la estabilidad del sistema. De acuerdo a la propuesta de optimización que se realizó anteriormente se observan los cambios en la Figura 11, en la que se tiene pasillos libres de cajas o materiales.

Tabla 5. Distribución de probabilidad de tiempos caso de televisores

ACTIVIDAD	Distribución	Tiempo ciclo (s)
Preparación	Log normal, LN (γ, μ, σ)	LN (22.2;1.06;0.507)
Ensamble 1	Log normal, LN (γ, μ, σ)	LN (43.5;0.909;1.39)
Ensamble 2	Normal, N (μ, σ)	N (36.4;4.79)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ensamble 3	Log normal, LN (γ , μ , σ)	LN (27.1;1.96;0.292)
Ensamble 4	Log normal, LN (γ , μ , σ)	LN (16.1;2.05;0.727)
Control de calidad	Log normal, LN (γ , μ , σ)	LN (27.7;1.69;0.64)
Empacado	Normal, N (μ , σ)	N (47.2;2.76)

Nota: μ =Media, σ =Desviación Estándar, γ =Localización.

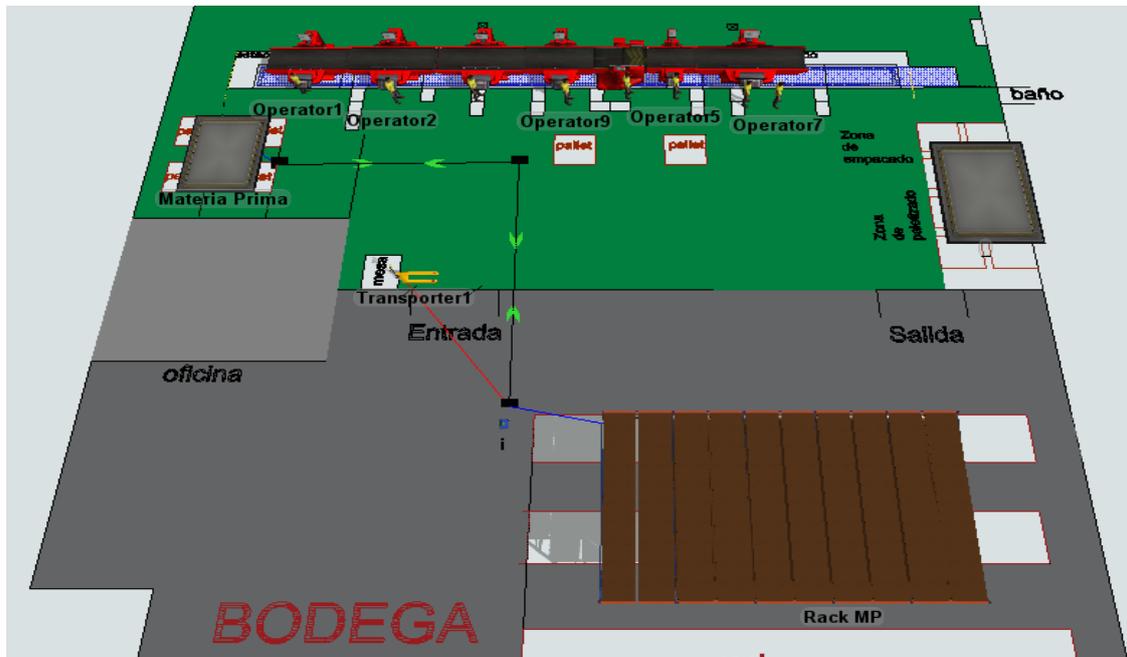


Figura: 11. Simulación de la situación futura caso de televisores. Fuente: El autor.

Caso de tarjetas electrónicas

Para la simulación del caso de tarjetas electrónicas, de igual manera, se realizó la distribución estadística con los tiempos observados por Guerrero et al. (2019), obteniendo como resultado una distribución normal para las actividades de control de calidad y empacado como se muestra en la Tabla 6. Además, debido a que las dos principales actividades de ensamble son netamente automáticas, los tiempos de éstas dependerán únicamente de la programación de cada una de las máquinas. De la misma manera se realizó 30 réplicas para anular la variabilidad del sistema al ser procesos estocásticos y así asegurar su estabilidad. En la Figura 12 se visualiza la nueva distribución de planta del proceso, se cambió el sentido del flujo de la línea, se colocaron al final de la línea las estaciones de control de calidad y empacado, con lo que se consigue un flujo en línea recta para el proceso de ensamble.



Tabla 6. Distribución de probabilidad de tiempos caso de tarjetas electrónicas

ACTIVIDAD	Distribución	Tiempo ciclo (s)
Ensamble bottom		36
Ensamble top		120
Control de Calidad	Normal, N (μ , σ)	N (51.8; 1.29)
Empacado	Normal, N (μ , σ)	N (22.6; 25.6)

Nota: μ =Media, σ =Desviación Estándar.

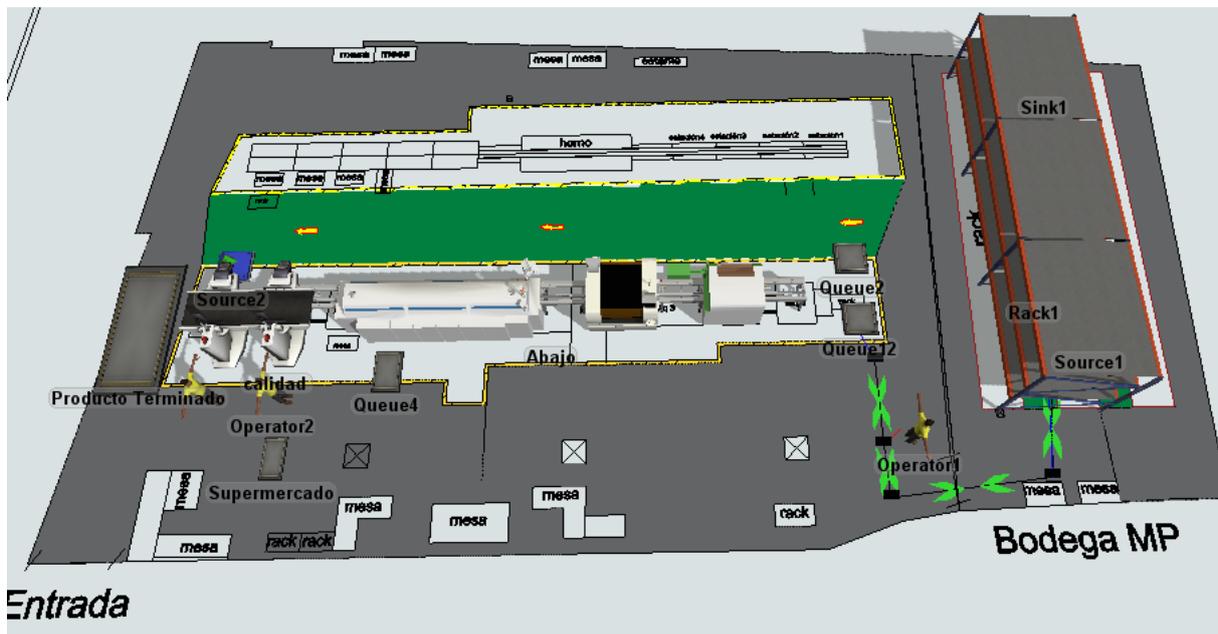


Figura: 12. Simulación de la situación futura caso de tarjetas electrónicas. Fuente: El autor.

3. RESULTADOS

En la Etapa 1, luego de la recopilación de datos e información, se elaboró el VSM de la situación actual; luego, en la Etapa 2, se identificó los diferentes desperdicios que se presentan en el proceso de ensamble: esperas entre procesos, transportes innecesarios, exceso de inventario y se seleccionaron las herramientas 5S, Distribución de Planta y Supermercados como las idóneas para mitigar estos problemas y ser parte de la propuesta de optimización en la Etapa 3. En la Etapa 4 se realizó la simulación del proceso actual y futuro del caso de televisores y de tarjetas electrónicas. Para el proceso actual de ensamble de televisores y bajo las condiciones previamente establecidas, se tiene que se pueden elaborar 650 unidades diarias. Además, se observa que las actividades de ensamble no usan su capacidad por completo. En la Figura 14 se observa que la actividad de empacado



es la que tiene mayor carga de trabajo, por ende, esta actividad es la que determina el ritmo del proceso.

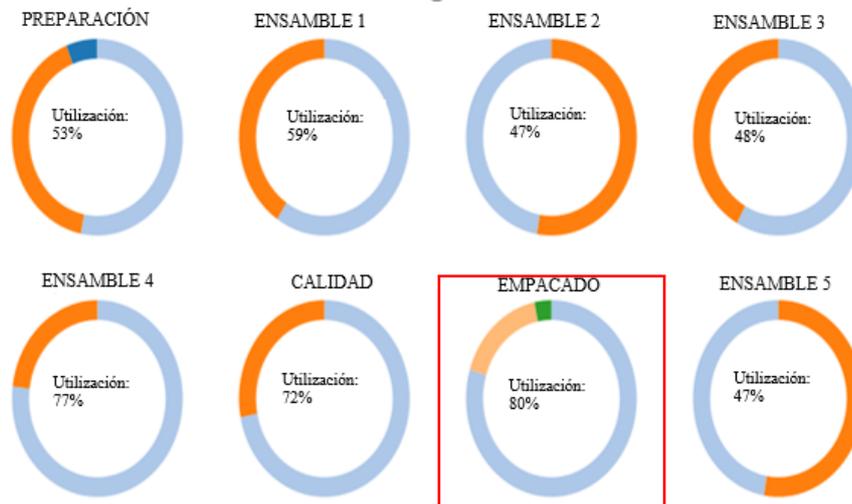


Figura: 9. Porcentaje de utilización de las actividades caso de televisores, actual. Fuente: El autor.

Nota: porcentaje de utilización (color celeste), tiempo de espera (color naranja)

Para la simulación del estado futuro del caso de televisores, con la aplicación de la herramienta 5S es posible una reducción de tiempos de búsqueda de hasta 5%, según lo analizado en la Etapa 2 en los trabajos de Giraldo et al. (2013) y Pérez et al. (2007). Simulando la reducción de tiempos que se obtendrá con la dotación de dispensadores de etiquetas y fundas para producto terminado, con lo que aumentará el tiempo disponible y por lo tanto la capacidad de producción. Realizando estos cambios y mejoras será posible elaborar 682 unidades. La Figura 15 presenta los porcentajes de utilización obtenidos.

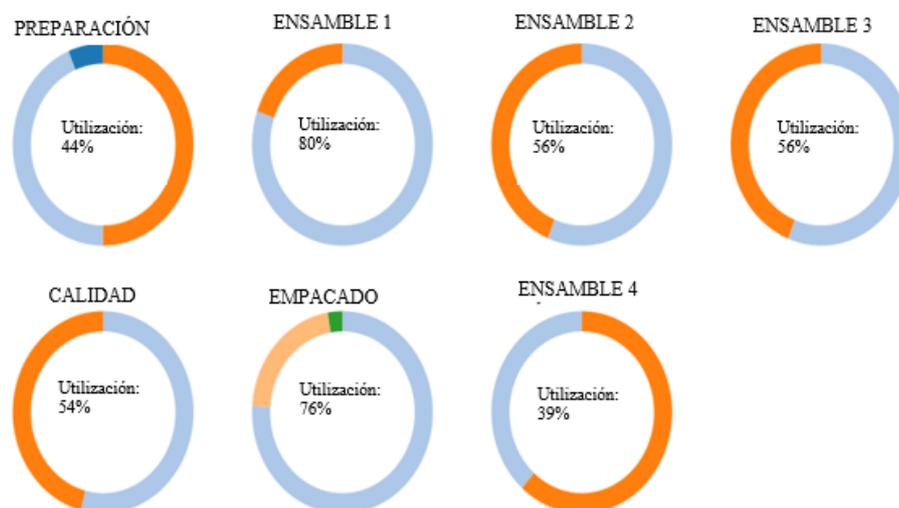


Figura: 10. Porcentaje de utilización de las actividades caso de televisores, simulación futura. Fuente: El autor.

Nota: porcentaje de utilización (color celeste), tiempo de espera (color naranja)



Con la aplicación de la propuesta para la optimización del proceso se logró disminuir el porcentaje de carga de la actividad cuello de botella de 80% a 76%, siendo la actividad de empaçado la que sigue marcando el ritmo de producción. Además, se consiguió reducir de 9 a 8 el número de operadores y de 8 a 7 el número de estaciones con base a un análisis de cargas de trabajo, el cual demuestra que es posible reagrupar las actividades de manera que el tiempo restante sea el suficiente para poder realizar las mismas actividades internas que conlleva el proceso. En la Tabla 7 se muestra como quedarían definidas las actividades de ensamble, con la eliminación de una estación y un operador en la línea. En la Figura 16 se encuentran graficados los tiempos de ciclo mejorados y el tiempo takt (representado por la línea horizontal de color naranja) de las actividades del caso de televisores.

Tabla 7. *Agrupamiento de actividades de ensamble caso de televisores*

ACTIVIDAD	OPERADOR
Sacar de la caja el TV Colocar las tarjetas de video y poder en la parte posterior de la TV	Preparación
Atornillar tarjetas de video y de poder Preparar de cables de video Colocar cable de poder entre la tarjeta poder y de vídeo	Ensamble 1
Colocar cable de wifi Preparar la tapa posterior con cables y parlantes Sujetar cables con cintas Colocar tapa en el lado posterior de la pantalla	Ensamble 2
Colocar sellos en la parte posterior Atornillar la tapa posterior	Ensamble 3
Colocar etiqueta de especificaciones Conectar cable de corriente y parar la TV en soporte Colocar sellos en la parte delantera de la TV en los extremos	Ensamble 4
Verificar volumen, HDMI e Internet Verificar sellos y desconectar	Control de Calidad
Colocar sellos en las cajas Colocar la funda protectora a la TV Cerrar de caja del producto terminado	Empacado

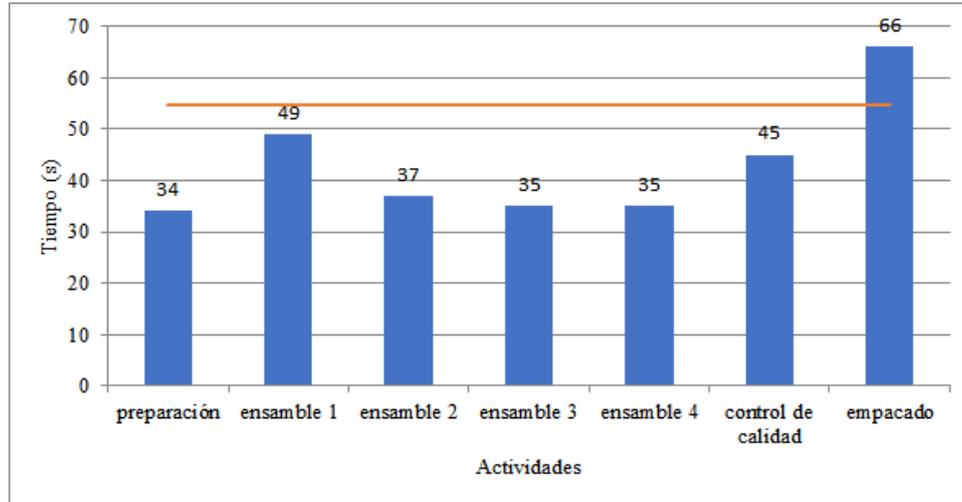


Figura 16. Tiempo ciclo mejorado vs. Tiempo takt para el caso de televisores. Fuente: El Autor

Continuando con la Etapa 4, también se desarrolla la simulación del proceso actual del caso de tarjetas electrónicas que, bajo las condiciones establecidas se elaboran 650 unidades. Teniendo como resultado que, mientras se realiza la actividad de ensamblaje de la parte inferior y las actividades de ensamblaje de la parte superior, las actividades de control de calidad y empacado se encuentran a la espera del producto para iniciar su trabajo. Luego de aplicar la propuesta de optimización al proceso y realizar las mejoras, con la simulación de la situación futura del caso de tarjetas electrónicas se tiene que se pueden elaborar 674 unidades. Este resultado se logra con la creación de un supermercado, el mismo que abastece a la actividad de control de calidad con un inventario máximo de 112 unidades y un mínimo de 56, el cual es provisionado en base a tiempo. También se realizó la integración de las actividades de control de calidad y empacado al final de la línea de ensamblaje, por lo que existe un incremento favorable en el número de unidades producidas y una disminución en los tiempos de espera, que se ve reflejado en el porcentaje de uso de las actividades. En la Figura 17 se visualiza que existe un alto porcentaje de utilización de las actividades de control de calidad y empacado de producto terminado al inicio del turno ya que al implementar un sistema de supermercado antes del control de calidad, se consigue que estas actividades comiencen su trabajo simultáneamente con la actividad de ensamblaje. Por último, con los cambios realizados en la distribución de planta, se logró disminuir las distancias recorridas por los operadores para abastecimiento de materia prima desde bodega hacia el inicio de la línea de 14.68 metros. Para el despacho de producto terminado, desde la estación de empacado se tiene una reducción de 19.98 metros.

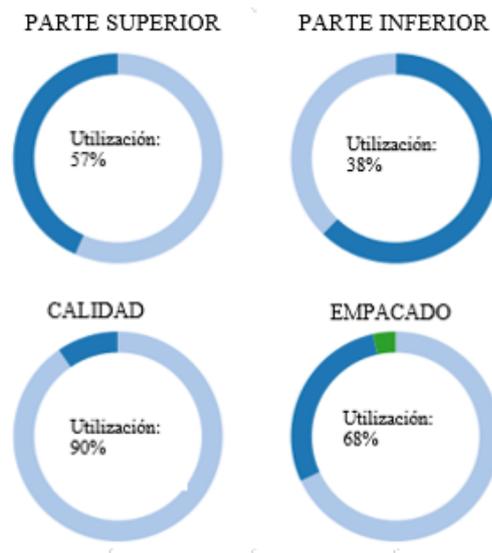


Figura: 11. Porcentaje de utilización actividades de ensamble caso de tarjetas electrónicas, simulación futura.

Nota: porcentaje de utilización (color celeste), tiempo de espera (color azul)

4. DISCUSIÓN

En la actualidad, las empresas tienen como principal reto la competitividad en el mercado, debido a las demandas cambiantes y exigentes de los clientes; además, la tecnología avanza cada día, por lo que para sobresalir o mantenerse a flote surge la necesidad de implementar herramientas de Manufactura Esbelta. Mejorar los procesos se basa sobre la negativa a aceptar los desperdicios aumentando la flexibilidad del proceso según (Aqlan & Al-Fandi, 2018). Arrieta et al. (2011) mencionan que las empresas que han adoptado la filosofía LM presentan mejoras en la producción en general, disminuyendo desperdicios y los recursos empleados, siendo posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos que no solo es recurrente para empresas tradicionales si no, incluso para empresas que han optado por la Industria 4.0, donde la eficiencia de los procesos es un requisito fundamental (Butzer, Kemp, Steinhilper, & Schötz, 2016)

El objetivo principal de esta investigación fue la optimización de procesos mediante la aplicación de herramientas LM para incrementar la productividad de las empresas, ya que el continuo cambio en el mercado obliga a las organizaciones a trabajar a diario en la búsqueda de herramientas que les permitan tener ventaja competitiva. Pedraza (2010) menciona que, con el cambio y los requerimientos de los clientes, las organizaciones se encuentran buscando alternativas que generen una mayor productividad y eficiencia, pero lo que se busca sobre todo es caracterizarse y sobresalir al poder responder a las exigencias de los clientes.



Por lo tanto, partiendo del análisis de la situación actual del proceso mediante un VSM, para ambos casos de estudio, se identificaron los problemas y desperdicios existentes, además de los identificados en observaciones *in situ*, siendo este el punto de partida para priorizar las mejoras a proponer. Al presentarse de manera frecuente problemas como: tiempos de ciclo muy por debajo del tiempo takt, esperas entre procesos, desorden en las áreas de trabajo, pasillos obstruidos. Luego, basados en el análisis, así como revisión de artículos y trabajos sobre el desarrollo e implementaciones exitosas de herramientas de LM en el sector manufacturero a modo de casos de estudio fue posible desarrollar una propuesta de optimización para mitigar o eliminar los desperdicios en dos empresas ensambladoras. Apoyados en los datos levantados, se determinó necesario proponer la implementación de herramientas específicas de Manufactura Esbelta como: 5S, Distribución de Planta y Nivelación de cargas de trabajo y sistema de supermercado, con base a lo determinado en el análisis de la situación actual del proceso.

A través de un análisis de cargas de trabajo, en el caso de televisores se cree conveniente su nivelación, al igual que Pedraza (2010) en su trabajo, donde plantea nivelar las cargas de trabajo, con base a la información obtenida del VSM, ajustando los tiempos de ciclo lo más cercano al takt time. Por lo que, se propuso eliminar una estación de ensamble y por ende un operador, se distribuyeron las actividades entre ocho operadores en siete puestos de trabajo, incrementando la capacidad productiva en 4.92%. En promedio inicialmente se elaboraban 650 unidades, mientras que con la nueva asignación de cargas de trabajo se ensamblan un total de 682 unidades al día, con una reducción del 12,5% en costos de mano de obra, lo cual implica producir mayor cantidad de unidades con menos personas. Generando una disminución de operadores en el proceso, ya que la disponibilidad de tiempo es la suficiente.

Al proponer la implementación de la herramienta 5S, se busca complementar la propuesta de mejora al crear una cultura de orden y limpieza dentro de las áreas de trabajo, y obtener resultados positivos al reducir el índice de accidentes laborales mediante la liberación de los espacios en el pasillo. Además, se pretende disminuir los movimientos innecesarios, al sugerir que se proporcionen estantes que sean colocados al frente de los operadores a una altura adecuada, para que de esta manera el operador pueda tener fácil acceso a los componentes para el ensamble de televisores, esperando la reducción de hasta 5% en tiempos de búsqueda de material, permitiendo contar con más tiempo para ensamblar productos. Con esto, los operadores podrán mantener una postura adecuada, reducir el número de movimientos, reducir el tiempo de búsqueda de materiales y por ende aumentar el tiempo disponible para producción.



Aplicando la Distribución de planta y mediante un análisis de las distancias recorridas en el caso de tarjetas electrónicas, se cambia el sentido de la línea de ensamble de manera que la bodega de materia prima quede cerca del inicio de la línea para su abastecimiento, también se colocan las actividades de control de calidad y empackado al final de la línea. Permitiendo una reducción del 35 % en distancias recorridas, ya que para el abastecimiento de materiales el operador recorrerá una distancia de 14. 68m desde la bodega y para el despacho de producto terminado la distancia a recorrer será de 18.93 m desde el final de la línea.

Así mismo, con la incorporación de un sistema de supermercado que conste de un buffer o inventario de seguridad máximo y mínimo de 112 y 56 respectivamente para que abastezca únicamente a la estación de control de calidad. Con este cambio, se conseguirá un incremento del 3.69% en la capacidad productiva referente al número de unidades producidas ya que se podrá elaborar 674 unidades por día, eliminando el tiempo de espera entre el proceso de ensamble y el control de calidad, influyendo positivamente en la organización, ya que antes de proponer estos cambios se realizaban 650 unidades diarias. A diferencia de autores como Pedraza (2010) que en su trabajo para eliminar las esperas propone agrupar las operaciones, para ser llevadas a cabo en celdas de manufactura, controlando el inventario para cada celda acorde a la demanda. Además, con el sistema de supermercado se tendrá un flujo constate al trabajar solo en la línea automática, ya que inicialmente no se contaba con este inventario de seguridad, y para agilizar el trabajo se optaba por dividir una parte del ensamble en la línea automática y otra en la línea manual.

Además, como aporte importante y a diferencia de otros estudios encontrados en la literatura, en este trabajo sobresale la validación de la propuesta de mejora con herramientas de ME, mediante simulación a través del software "FlexSim", a excepción de la herramienta 5 S. Siendo una propuesta de valor ya que, al exponer un ambiente más ajustado a la realidad, al sentar la estabilidad del sistema basada en 30 réplicas y con un periodo de arranque o calentamiento, permitiendo que los datos no presenten variaciones. Un modelo de simulación de eventos discretos, permite presentar resultados teóricos, con base en la distribución estadística de los tiempos (Tabla 5 y 6), los mismos que sirven como indicadores y como una fuente alternativa de efectividad en la toma de decisiones, al verificar la factibilidad de las mejoras realizadas a través de la propuesta de optimización. Por otro lado, para la simulación del proceso se considera que se desarrolla un escenario en el que la demanda es constante, se considera que el personal está capacitado y no existe ausentismo.

CONCLUSIONES



Finalizando este trabajo se logró verificar que la propuesta de optimización basada en herramientas de ME proporciona resultados favorables para las empresas caso de estudio, cumpliendo con los objetivos planteados. Ya que inicialmente con el trazado del VSM y observaciones *in situ* se encontraron problemas en las cargas de trabajo asignadas, en la distribución de planta, además de esperas entre procesos, transportes, movimientos innecesarios y desorden. Por lo que se seleccionaron herramientas como Nivelación de Cargas, 5S, Distribución de planta y sistema de supermercados, para con su aplicación mitigar los problemas existentes. Siendo su principal propósito corroborar la factibilidad de la implementación de las herramientas de ME seleccionadas, mediante la ayuda de la simulación y eliminando la variabilidad de los datos, proporcionando un sistema estable y un ambiente semejante a la realidad, al simular la propuesta y sus cambios, para con base al resultado que se obtenga, tomar decisiones sin necesidad de modificar la planta.

En el caso de televisores, al aplicar la nivelación de cargas de trabajo, se consiguió reducir una estación de trabajo y un operador. Considerando también que con la aplicación de la herramienta 5S será posible reducir los tiempos de búsqueda, por ende, aumentado el tiempo disponible para producción.

Para el caso de tarjetas electrónicas, con la implementación de un sistema de supermercado que sea ubicado antes de la estación de control de calidad, se conseguirá que ésta arranque simultáneamente con las actividades de ensamble, disminuyendo el tiempo de espera entre procesos. Además, es posible visualizar la mejora en la distribución de planta con el cambio de flujo del proceso y con la unificación de las actividades de control de calidad y empaclado en la misma línea, con lo que se conseguirá que los operadores recorran menor distancia para el abastecimiento de materiales a la línea.

Dentro de este trabajo se presentan limitaciones debido al alcance del mismo, al no poder verificar el impacto de la implementación de la propuesta de optimización, por ello se desarrolla la simulación del proceso y sus mejoras. Simular la situación futura de los casos de estudio es la base para la posterior toma de decisiones, ya que, al realizar los cambios propuestos en el proceso dentro de la misma, permitió analizar la factibilidad y conocer el impacto que tendrá la implementación de las herramientas de LM.

La Manufactura Esbelta es una técnica que no posee una secuencia para la implementación de sus herramientas, es decir, pueden ser aplicadas indistintamente según la necesidad. Por ello el presente trabajo sirve para futuras investigaciones como cimiento para parametrizar un modelo que considere los problemas de cada organización. Con base a esto señalar las herramientas y comprobar si es posible mitigarlos con la implementación de las



herramientas seleccionadas, mediante la comparación de resultados a través de simulación del proceso.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Proyecto “Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamble”, ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos de Investigación, financiado por la Dirección de Investigación Universidad de Cuenca (DIUC) por haber brindado la apertura y el apoyo para la culminación de este trabajo. De la misma manera un agradecimiento al personal de las plantas ensambladoras que sirvieron como caso de estudio.

5. BIBLIOGRAFIA

- Aqlan, F., & Al-Fandi, L. (2018). Prioritizing process improvement initiatives in manufacturing environments. *International Journal of Production Economics*, 196, pp. 261-268.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.004>
- Arrieta, J. G., Domínguez, J. D. M., Echeverri, A. S., & Gutiérrez, S. S., 2011. *Aplicación Manufactura esbelta en la industria colombiana. Revisión de literatura en tesis y proyectos de grado*. En *Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development*. En: Ninth LACCEI American and Caribbean Conference (p. 11). Medellín, Colombia.
- Barcia, K., Loor, C. D., & Maderas, M., 2007. Metodología para Mejorar un Proceso de Ensamble Aplicando el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM). *Revista Tecnológica ESPOL*, 20 (1), 31-38.
- Butzer, S., Kemp, D., Steinhilper, R., & Schötz, S. (2016). Identification of approaches for remanufacturing 4.0. *2016 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS.2016.7912603>
- Díaz, M., & Vega, W., 2015. Metodología para el Sistema de Costos de Calidad en Redes Eléctricas utilizando Técnicas del Costeo ABC. *Gestión Joven*, 1(14), 121-128.



- Diez, J., & Abreu, J. L., 2009. Impacto de la capacitación interna en la productividad y estandarización de procesos productivos: un estudio de caso. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 4(2), 97-144 pp.
- Fortuny, J., Cuatrecasas, L., Cuatrecasas, O., & Olivella, N., 2008. Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. *Universia Business*, 4(1), 20 - 41.
- García, E., García, H., & Cárdenas, L. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel* (primera, Vol. 1). México: Pearson Educación.
- Giraldo, S., Saldarriaga, L., & Moncada, Y., 2013. *Diseño de una Metodología e implementación de Manufactura esbelta en una PYME*. Tesis de Pregrado, 72pp. Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia. Disponible en: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1614/1/Dise%C3%B1o_metodologia_lean__Giraldo_2013.pdf
- Guerrero, P. (2018). *Tiempos estándar y modelización de proceso de ensamble: televisores y tarjetas electrónicas usando Programación no Lineal y BPMN*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Hernández, J., & Vizán, A., 2013. *Manufactura esbelta conceptos técnicas e implantación*. Madrid, fundación EOI, 177 pp.
- López, E. M., Zavála, F. J., Guerrero, D. C., & Ibarra, S. L., 2016. Análisis del impacto en la aplicación de las metodologías de la manufactura esbelta en las pymes de la región centro de Coahuila. *Revista Global de Negocios*, 4(1), pp. 99-108.
- Martínez, P., Martínez, J., Nuño, P., & Cavazos, J., 2015. Mejora en el Tiempo de Atención al Paciente en una Unidad de Urgencias Mediante la Aplicación de Manufactura Esbelta. *Información tecnológica*, 26(6), 187-198 pp.
- Matt, D., & Rauch, E. (2013). Implementation of Lean Production in Small Sized Enterprises. *Procedia CIRP*, 12, pp. 420-425. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.procir.2013.09.072>.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(Issue 6), pp. 662-673

Meyers, F., & Stephens, M., 2006. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales* (3era ed.), 527 pp. México: Pearson Educación.

Nujoom, R., Mohammed, A., & Wang, Q. (2019). Drafting a cost-effective approach towards a sustainable manufacturing system design. *Computers & Industrial Engineering*, 133, pp. 317-330. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.007>

Nujoom, R., Wang, Q., & Mohammed, A. (2018). Optimisation of a sustainable manufacturing system design using the multi-objective approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96(5-8), pp. 2539-2558. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1649-y>

Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. En: *Proceeding of the 10 Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Panama.

Odhiambo, H., Wainaina, G., & Ogoro, T. (2018). Lean Supply Chain and Performance Enablers at Homa Lime Company. *American Journal of Industrial and Business Management*, 8(5), pp.1157-1171. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2018.85080>.

Paredes, A. M., 2017. Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. *ENTRAMADO*, 13(1), 262-277. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25103>

Pedraza, L. M., 2010. Mejoramiento productivo aplicando herramientas de manufactura esbelta. *Soluciones de Postgrado EIA*, 1(5), 175-190.

Pérez, F., Cardoso, N., Infante, C., & Ugueto, M., 2007. Manufactura esbelta en la PYME. Pequeños cambios grandes resultados. En: *International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management*, Madrid, pp. 1281-1289.

Rajadell, M., & Sánchez, J. L., 2010. *Manufactura esbelta: la evidencia de una necesidad*. Madrid: Díaz de Santos, 259 pp.



- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2018). An investigation into manufacturing performance achievements accrued by Indian manufacturing organization through strategic 5S practices. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(4), pp. 754-787. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2017-0149>
- Reyes, J., Aguilar, L., Hernández, J., Mejías, A., & Piñero, A., 2017. La Metodología 5S como estrategia para la mejora continua en industrias del Ecuador y su impacto en la Seguridad y Salud Laboral. *Polo del Conocimiento*, 2(7), 1040-1059 pp.
- Salazar, A. F., Vargas, L. C., Añasco, C. E., & Orejuela, J. P. (2010). BIPHASE PLANT DISTRIBUTION PROPOSED IN FLEXIBLE MANUFACTURING ENVIRONMENT BY THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. *Revista EIA*, (14), pp. 161-175.
- Sanz Horcas, J., & Gisbert Soler, V., 2017. Manufactura esbelta en pymes. 3c empresa: *Investigación y pensamiento crítico*, 6(5), pp. 101-107.
- Sarria, M., Fonseca, G., & Bocanegra, C. (2017). Methodological model in the implementation of lean manufacturing. *EAN*, 83, pp. 51-71. <https://doi.org/10.21158/01208160.N83.2017.1825>
- Simón, I., Francisca, S., Granillo, R., & Piedra, V., 2013. La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. *Científica*, 17(1), 39-49 pp.
- Socconini, L., 2008. *Manufactura esbelta paso a paso* (1era ed.). México: Norma, 257 pp.
- Stamm, M., & Neitzer, T., 2012. *Value Stream Sapping (VSM) in a manufacture to roder small and medium enterprise*. Presentado en *3rd World Conference on Production and Operations Management*, Tokyo, Japan: JOMSA, pp. 15.
- Tapia, J., Escobedo, T., Barrón, E., Martínez, G., & Estebané, V., 2017. Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & trabajo*, 19(60), 171-178 pp. <https://doi.org/10.4067/S0718-24492017000300171>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tejeda Anne, A. S., 2011. Mejoras de Manufactura esbelta en los sistemas productivos.

Ciencia y Sociedad, 36(2), 276- 310.

Wilches Arango, M. J., Cabarcas, J., Lucuara, J., & González, R., 2014. Aplicación de herramientas de manufactura esbelta para el mejoramiento de la cadena de valor de una línea de producción de sillas para oficina. *Dimensión Empresarial*, 11(1), 126-136.