

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Simulación de la mejora del proceso productivo de módulos de cómputo de una empresa de muebles para incrementar su productividad**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Diego Enrique Chavez Chero**

**ASESOR**

**Marcos Gregorio Baca Lopez**

<https://orcid.org/0000-0003-4741-0122>

**Chiclayo, 2021**

## Índice

Resumen .....	3
Abstract .....	4
I. Introducción .....	5
II. Marco teórico .....	5
III. Metodología .....	9
IV. Resultados y discusión .....	9
V. Conclusiones .....	21
VI. Referencias bibliográficas .....	22

## **Resumen**

La presente investigación ha sido desarrollada en una empresa productora de muebles de distintos materiales (metal, madera y melamina); en donde sus trabajadores están expuestos a altas cargas de trabajo, horas extra de producción, tiempos muertos y actividades empíricas. El objetivo del estudio ha sido realizar la simulación de un balanceo de línea, en la que se incorpore un (01) operario adicional en la estación de armado; para lo cual, se realizó un diagnóstico del proceso productivo de los módulos de cómputo; asimismo, se calcularon los indicadores de producción actuales y se elaboró un modelado y posterior simulación del proceso para validar los resultados. Posteriormente, se desarrolló la mejora de tiempos de producción y se ajustó la simulación del proceso para validar los nuevos indicadores; para finalmente hacerse un análisis costo beneficio para determinar su viabilidad. Los resultados mostraron que la mejora se obtendría un incremento de la producción de 77%, la eficiencia de línea a un 84,09% y la productividad en un 32%, asimismo, el análisis costo beneficio arrojó un beneficio anual de S/. 33 913,20.

**Palabras clave:** Proceso productivo, Promodel, Balance de línea, Productividad

**Abstract**

The research was developed in a company dedicated to the production of metal, wood and melamine furniture, in which workers are exposed to high workloads, extra production hours, downtime and activities developed empirically. The objective of the study was to simulate a line balancing, in which an additional operator is incorporated into the assembly station; For which, a diagnosis of the production process of the computation modules was carried out, the current production indicators were calculated and a modeling and subsequent simulation of the process was developed to validate the results. Subsequently, the improvement was developed and the simulation of the process was adjusted to validate the new indicators; to finally do a cost benefit analysis to determine its viability. The results showed that the improvement would lead to an increase in production of 77%, line efficiency to 84.09% and productivity to 32%, likewise, the cost-benefit analysis showed an annual benefit of S/. 33 913.20.

**Keywords:** Productive process, Promodel, Line balance, Productivity

## **I. Introducción**

El día 20 de noviembre del 2020 en el diario oficial El Peruano se publicaron los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) con los niveles de Producto Bruto Interno (PBI) obtenidos durante el tercer trimestre del año 2020, en lo referente al sector de manufacturas de la industria de madera y muebles, que significó un crecimiento estable del 21%, pese al decrecimiento general de los sectores industriales, lo que ejemplifica los niveles de producción estables de este sector para la economía del país. [1]

La empresa estudiada es una perteneciente al rubro de la producción de muebles de melamina, la cual maneja una cartera de diecinueve productos, sin embargo, los productos principales son los módulos de cómputo y el escritorio de modelo A. La empresa trabaja bajo pedidos a un determinado tiempo de entrega, laborando 8 horas diario, 25 días mensuales, sin embargo, durante el transcurso del año 2019 no ha logrado satisfacer adecuadamente con su demanda, lo que la ha forzado a recurrir por horas extra de trabajo para poder cubrir con los requerimientos de sus clientes.

El análisis de la presente investigación está centrada en el proceso de elaboración de módulos de cómputo en el área de melamina, donde los trabajadores desarrollan sus actividades de forma empírica, desarrollando ciclos de producción muy variables y altas cargas de trabajo, lo cual provoca que la producción sea de 5,16 unidades/día, debido al cuello de botella de 93,08 minutos presente en la estación de armado, de manera que, la eficiencia de línea es de 64,14% y la productividad de MO sea de 1,72 (unidades/día)/Operario.

Ante lo descrito, surge la interrogante: ¿Cómo se incrementará la productividad de una empresa de muebles mediante la simulación de la mejora del proceso de productivo de módulos básicos de cómputo? Se definió como objetivo general simular una mejora del proceso productivo de módulos básicos de cómputo para el incremento de su productividad. Asimismo, se definieron objetivos específicos el realizar un diagnóstico del sistema productivo de los módulos de cómputo de la empresa, simular una mejora del proceso productivo de módulos básicos de cómputo para incrementar su productividad, realizar un análisis costo benéfico de la mejora propuesta.

## **II. Marco teórico**

Para una mejor comprensión del contenido de la presente investigación, a continuación, se definen los principales términos utilizados:

Simulación. La simulación es el proceso de modelado de un sistema real que es expuesto a diversos escenarios, con el objetivo de analizar su comportamiento. [2] Por su parte, para Blanco y Fajardo [3], la simulación es una herramienta de análisis muy compleja que ayuda a

entender el comportamiento de los sistemas reales, que de emplearse de buena manera, puede llegar a significar un ahorro monetario significativo para los procesos de mejora de los sistemas productivos.

Simulación de eventos discretos. Es el conjunto de relaciones matemáticas, lógicas y probabilísticas que componen el comportamiento de un sistema durante un evento en específico. [4]

Simulación de procesos industriales. Técnica informática basada en la simulación de eventos discretos, que posibilita la creación de modelos dinámicos de una planta productiva o sistema logístico, para examinar su comportamiento bajo distintos escenarios y circunstancias, con el objetivo de comprobar hipótesis sin la necesidad de llegar a implementarlas, así como, la detección de cuellos de botella. [5]

Modelado de concepto. Es la representación aproximada de un sistema o proceso que incorpora el tiempo y los cambios que ocurren sobre el mismo. Estos pueden ser de dos tipos; los modelos discretos son aquellos que cambian solamente cuando un evento ocurre; mientras que los modelos continuos son aquellos en el que el estado del sistema está cambiando constantemente sobre el tiempo. [6]

ProModel. Es uno de los softwares comerciales de simulación más utilizados, debido a que cuenta con herramientas de diseño y análisis de procesos de fabricación, líneas de ensamblajes, entre otros, que permiten trabajar de mejor manera la problemática y obtener resultados más confiables para la toma de decisiones. [4]

Productividad. Relación entre el número de bienes y servicios producidos, y los recursos empleados en un proceso productivo; empleada para la medición del rendimiento de maquinarias, equipos, operarios, etc. [7]

Arroyo y Villadeza [8] en su investigación titulada “Propuesta de mejora para la optimización del proceso de fabricación de tableros de melamina en la empresa Interforest S.A.C.” describen los procesos de la empresa e identifican un serio problema de eficiencia de 56%, respecto a los estándares de la industria, que repercute directamente contra la economía de la empresa, a través, de costos en horas extras por mano de obra, utilización de maquinarias u reprocesos de materiales. Para ello, proponen mejoras en la fabricación de tableros de melamina con el objetivo de incrementar la eficiencia en su proceso de fabricación. Al realizar el análisis de causas se identificó que la falta de métodos estandarizados durante el corte y canteado y ciertos fallos en la programación de las máquinas fundamentan el problema de la investigación; para lo cual se desarrollaron dos metodologías basadas en la ingeniería de métodos y la teoría de restricciones (TOC) con la intención de optimizar los métodos de trabajo

y eliminar los cuellos de botella y los tiempos desperdiciados durante el proceso productivo, con lo cual se obtuvo un incremento de 56% a 65% en la eficiencia del proceso.

Chapoñan [9] en su investigación titulada “Plan de mejora en los procesos productivos en la fabricación de muebles de melamina para incrementar la productividad en una empresa de Melamina Chiclayo 2018” busca mejorar la línea de producción de muebles de melamina con el fin de incrementar su productividad, debido a que se identificó una variabilidad de tiempos influenciada por la mano de obra, con lo cual se obtuvieron productividades por hora-hombre para los roperos básicos y escritorios de 0,078 y 0,0097 respectivamente. Los resultados de la estandarización del proceso a través del uso de hojas de instrucciones, la aplicación de fundamentos ergonómicos y la redistribución de la planta reflejaron un incremento de la productividad en un 23% y 37% para los roperos y escritorios, lo que a su vez significaría un beneficio neto de S/.71 944,7.

Quintanilla, *et al.* [10] en su artículo titulado “Applying SLP in a Lean Manufacturing Model to Improve Productivity of Furniture SME” mencionan la importancia de productividad en el uso eficiente de los recursos, evidenciando una relación entre baja productividad y eficiencia del proceso, como un problema recurrente en el sector del mueble que generalmente repercute en la falta de entrega de los pedidos. Por este motivo, las empresas deben buscar métodos de fabricación que les permita controlar eficientemente sus procesos, eliminando desperdicios y actividades que no generen valor. La investigación analiza la problemática de una empresa pyme peruana del sector del mueble que enfrenta mensualmente una gran cantidad de pedidos incumplidos que le representan pérdidas del 8% de sus ventas. Tras ello, los resultados muestran que la utilización de nuevos métodos para el proceso de corte y canteado, y un nuevo diseño de planta representarían un impacto positivo en las operaciones con un aumento en la productividad de 42,5% a 64,2%.

Bambura Sujová y Čierna [11] en su artículo titulado “Utilizing Computer Simulation to Optimize Furniture Production System” se centran en la optimización de los procesos de producción de muebles mediante simulación, con el objetivo de mejorar el sistema productivo de una empresa de muebles eslovaca mediante modelos de simulación de eventos discretos basados en el análisis de su estado, utilizando el software Tecnomatix Plant Simulation y los datos de producción reales recopilados. Con ello se propuso y simuló la incorporación de maquinaria más potente para mejorar la línea de producción. Los resultados de la simulación, evidenció una reducción en el tiempo total de producción de 34,25 a 12,02 h. Asimismo, la incorporación de una máquina CNC eliminó los cuellos de botella no deseados y redujo el tiempo de montaje en un 38%.

Opacic, Sowlati y Mobini [12] en su artículo titulado “Design and development of a simulation-based decision support tool to improve the production process at an engineered wood products mill” mencionan que la satisfacción de la demanda creciente es un punto importante en la toma de decisiones de mejora continua durante el proceso productivo, para lo cual, las herramientas como la simulación han demostrado ser beneficiosas para la toma de decisiones, especialmente en sistemas de producción. Esta investigación emplea datos industriales de una fábrica de productos de madera en Canadá para analizar el proceso productivo y evaluar las configuraciones alternativas de maquinaria y mano de obra con el fin de incrementar los rendimientos. Los resultados permitieron un ahorro monetario sustancial debido a que se evitó el reemplazo de equipos como el calibrado por alguno más moderno, que se tenía considerado con el fin de modificar los cuellos de botella durante la producción, estos resultados evidenciaron que el cambio de maquinaria no generaría ningún beneficio significativo, mientras que la incorporación de un operario y la automatización del transportador reflejaría un incremento de 21% en el rendimiento.

Izarra [13] en su investigación titulada “Aplicación del estudio de trabajo para mejorar la productividad en el área de carpintería de la empresa mueblería y transporte JVM S.A.C., lima 2018” sustenta la aplicación del estudio de trabajo buscando la mejora de la productividad, teniendo en consideración que la empresa no tiene procedimientos adecuados, sus trabajadores tienen un desconocimiento de los tiempos necesarios para la producción de cajas de madera, y existe un desconocimiento de la medición de productividad. Para ello el estudio fue realizado en el área de carpintería de la empresa, bajo una muestra recolectada de 16 semanas. Los resultados demostraron una mejora en la eficiencia, pasando de un 85% a un 91%, debido al alineamiento de las maquinarias bajo un mismo sentido de trabajo que permitió disminuir los tiempos estándar.

Tadeoy y Varela [14] en su investigación titulada “Diseño de una propuesta de mejoramiento en la línea de producción de sillas escolares en la empresa Industrias Henvag” mencionan la importancia del mejoramiento de las líneas de producción como una ventaja competitiva en el sector. El desarrollo del proyecto busca la disminución de los movimientos de materiales, mano de obra y producto durante el proceso, a través, del desarrollo de propuestas de mejora basadas en herramientas y metodologías para el mejoramiento de la producción, como VSM, uso y adquisición de nuevos equipos y maquinaria de trabajo y distribución de planta, que respondan al análisis de las causas identificadas. Los resultados fueron obtenidos luego de hacer una comparación de los estados de la empresa tras la validación de los indicadores, de tal manera que se demostró un aumento en la capacidad de la planta de 24 a 160 sillas por días, la reducción



en el tiempo del proceso de armado que pasa de 14 a 11 horas con dos operarios menos, y la disminución del tiempo total de producción de una silla de 422 minutos a 325, significando una disminución del 23%.

### **III. Metodología**

La metodología empleada en el presente estudio parte de la revisión literaria de informes y artículos científicos nacionales e internacionales.

El diagnóstico del sistema productivo de la empresa consistió en la recopilación de datos mediante análisis documental delimitado en el proceso productivo de los módulos de cómputo, luego de la realización de un análisis ABC que permitió determinar los productos de mayor interés para la empresa; con ello, se elaboró un diagrama de análisis de procesos (DAP) y un diagrama de Ishikawa de las causas que afectan la baja productividad de la empresa; además se diseñó una simulación para validar los resultados diagnosticados.

Posteriormente, se hizo un balance de línea del proceso productivo enfocado en la eliminación del cuello de botella presente en el área de armado, el cual fue validado mediante ajustes en la simulación diseñada durante el diagnóstico.

Finalmente, se realizó un análisis costo beneficio para determinar la viabilidad económica de la mejora frente a la situación diagnosticada.

### **IV. Resultados y discusión**

#### **4.1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa**

La empresa estudiada pertenece al rubro de la fabricación de mobiliario de metal, madera y melamina, cuenta con quince (15) operarios de producción, para un total de veinte (20) productos; sin embargo, únicamente ocho (08) productos son fabricados a base de madera y melamina, los cuales fueron analizados en análisis ABC (Tabla 1) de ventas mensuales del año 2019, para clasificar aquellos de mayor importancia para la empresa (clasificación A). Para los intereses del estudio únicamente se tomará el producto que mayores ingresos genere para la empresa (Modulo de cómputo).

**Tabla 1 Análisis ABC de productos producidos a base de madera y melamina**

Producto	Producción anual	Precio Venta	Ingreso Total	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Clasif.
Escritorio de computo	794	S/.420,00	S/.333 480,00	44,96%	45%	A
Escritorio Modelo A	355	S/.480,00	S/.170 400,00	22,97%	68%	A
Estante básico	269	S/.350,00	S/.94 150,00	12,69%	81%	B
Escritorio Modelo B	140	S/.660,00	S/.92 400,00	12,46%	93%	B
Mesa unipersonal	103	S/.160,00	S/.16 480,00	2,22%	95%	B
Mesa de reuniones	37	S/.420,00	S/.15 540,00	2,09%	97%	C
Mesa familiar	55	S/.270,00	S/.14 850,00	2,00%	99%	C
Sofá	8	S/.560,00	S/.4 480,00	0,60%	100%	C
<b>Total</b>	<b>1761</b>		<b>S/.741 780,00</b>	<b>100%</b>		

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.1. Descripción del sistema productivo

##### 4.1.1.1. Descripción del producto

El área de melamina produce un total de 8 productos elaborados bajo líneas de producción similares con variaciones en sus tiempos, para ello emplea tableros de melamina de distintos colores de 243,5 x 214,5 cm, cintas de tapacantos hecha de lámina de melamina como protección y acabado, entre otros insumos como tornillos, tapas, chapas, entre otros.

Las dimensiones del módulo de cómputo son 75 cm de alto, 120 cm de ancho y 60 cm de fondo; posee 3 cajones con enchapado multi seguro, una repisa destinada para el teclado, y una repisa especial para el CPU.

Para la elaboración de cada módulo la empresa gasta en materias primas un total de S/.309,71, distribuidos S/.242,25 en Tableros de melamina, S/. 27,24 en tapacantos y S/.40,22 en insumos varios.

##### 4.1.1.2. Mano de Obra

La empresa ha destinado 3 operarios trabajadores para la elaboración de este producto, distribuidos de la siguiente manera:

- Operario de Corte: Operario de la estación de corte, encargado de la selección y traslado de los tableros de melamina y MDF a la cortadora, y corte en piezas según las medidas previamente indicadas.
- Operario de Canteado: Operario de la estación de canteado, encargado del traslado de las piezas cortadas hacia la canteadora, donde se le realiza el acabado.

- Operario de Armado: Operario de la estación de armado, encargado del traslado de las piezas acabadas hacia la mesa de trabajo, donde se le realiza el armado del módulo, para posteriormente trasladarlo hacia el almacén de producto terminado.

#### 4.1.1.3. Descripción del proceso de producción

- Corte de piezas de melamina

En esta primera etapa el operario encargado corta las planchas según las medidas requeridas para cada pieza, luego de haberla seleccionado según el color solicitado.

- Canteado de piezas

Posteriormente, el operario transporta las piezas cortadas hacia la maquina canteadora, transportándose en repetidas ocasiones. El proceso de canteado solo se realiza en los lados visibles del producto terminado, para luego hacerse una breve limpieza con papel de lijar.

- Armado

Finalmente, el encargado del armado recoge las piezas canteadas y lijadas para su ensamble, transportándose repetitivamente hasta haber recogido todas las piezas a ensamblar, cabe destacar que durante esta actividad el operario regularmente suele distraerse.

#### 4.1.1.4. Estudio de Tiempo

Para esta etapa, se determinaron 3 muestras de ciclo para el proceso productivo, tal como se aprecia en la siguiente tabla, donde el tiempo promedio del ciclo sería de 179,11 minutos.

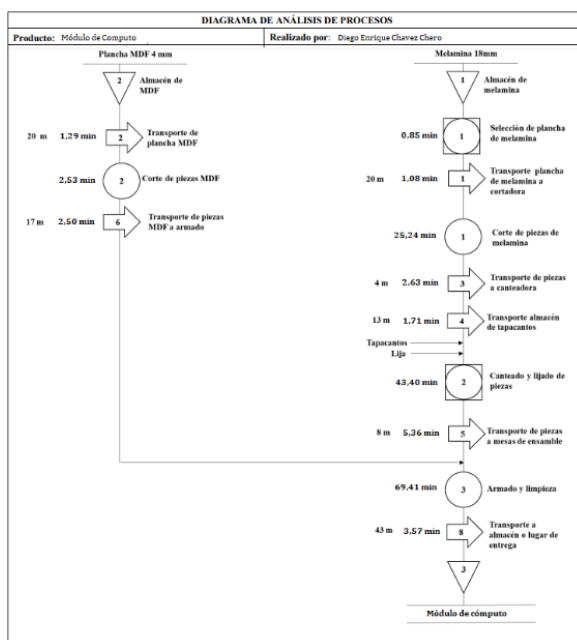
**Tabla 2 Estudio de tiempos para el módulo de cómputo**

Actividades del proceso	Ciclo (Min)			Sumatoria (Min)	Tiempo promedio (Min)
	1	2	3		
Selección de tablero de melamina	0,78	0,95	0,83	2,56	0,85
Transporte de tablero de melamina a cortar	1,08	1,17	0,98	3,23	1,08
Transporte de tablero MDF	1,28	1,32	1,27	3,87	1,29
Corte de piezas de melamina	28,05	27,3	27,43	82,78	27,59
Corte de piezas MDF	2,48	2,58	2,52	7,58	2,53
Transporte de piezas a canteadora	2,77	2,48	2,65	7,9	2,63
Transporte de tapacantos	1,82	1,63	1,67	5,12	1,71
Canteado y lijado de piezas	48,3	48,88	47,88	145,06	48,35
Transporte de piezas a mesas de ensamble	5,32	5,12	5,63	16,07	5,36
Transporte de piezas MDF a armado	2,57	2,45	2,48	7,5	2,50
Armado y Limpieza	81,65	81,6	81,72	244,97	81,66
Transporte a almacén producto terminado	3,65	3,57	3,48	10,7	3,57
<b>Total</b>	<b>179,750</b>	<b>179,050</b>	<b>178,540</b>	<b>537,34</b>	<b>179,11</b>

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.1.1.5. Diagrama de análisis de proceso

En el diagrama de análisis del proceso del producto, se han considerado todas las actividades mencionadas en el estudio de tiempos.



**Ilustración 1 Diagrama de análisis de proceso del módulo de cómputo**

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.1.6. Línea del proceso productivo

Para determinar la línea de producción se sumaron de los tiempos registrados de las actividades del proceso productivo agrupándolas en tres etapas como se muestra a continuación:

**Tabla 3 Línea del proceso productivo**

Actividades del proceso	Estaciones	Tiempo promedio (Min)	Operarios
Selección de tablero de melamina Transporte de tablero de melamina a cortar Transporte de tablero MDF Corte de piezas de melamina Corte de piezas MDF	1	33,34	1
Transporte de piezas a canteadora Transporte de tapacantos Canteado y lijado de piezas	2	52,69	1
Transporte de piezas a mesas de ensamble Transporte de piezas MDF a armado Armado y Limpieza Transporte a almacén producto terminado	3	93,08	1
<b>Total</b>		<b>179,11</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2. Indicadores Actuales del Proceso

Con los valores anteriormente descritos en la línea de producción, se identificó que la estación con mayor tiempo de ciclo pertenece a la etapa de armado, con 93,08 min, lo cual genera una eficiencia de línea de 64,14%.

$$\text{Eficiencia de línea} = \frac{\sum \text{Tiempo de operación}}{\text{Número estaciones} \times \text{Ciclo}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de línea} = \frac{33,34 + 52,69 + 93,08}{3 \times 93,08} \times 100\% = 64,14\%$$

La producción se determinó empleando un tiempo base de 480 minutos diarios para la producción, y el tiempo de ciclo correspondiente a la etapa de armado (cuello de botella) de 93,08 minutos.

$$\text{Producción Teórica} = \frac{\text{Tiempo Base}}{\text{Ciclo}}$$

$$\text{Producción} = \frac{480 \text{ minutos/día}}{93,08 \text{ minutos/unidad}} = 5,16 \text{ unidad/día}$$

Para calcular la productividad de mano de obra se consideraron los 3 operarios del proceso productivo con respecto a la producción previamente calculada, de la siguiente manera:

$$\text{Productividad de MO} = \frac{\text{Producción Teórica Diaria}}{\text{Número de operarios}}$$

$$\text{Productividad de MO} = \frac{5,16 \text{ unidad/día}}{3 \text{ operarios}} = 1,72 \frac{\text{unidad/día}}{\text{operarios}}$$

#### 4.1.3. Identificación de problemas

Las horas de trabajo destinadas para la producción de los escritorios de cómputo es de 8 horas diarias; sin embargo, debido a la diversidad de productos que maneja la empresa, al mes únicamente se destinan 10 días. Ante estos periodos de trabajo la empresa ha venido experimentando deficiencias en su capacidad de producción, lo cual la ha obligado a recurrir por horas extra de trabajo (S/7,20/hora), generando costos adicionales de S/8 812,80.

**Tabla 4 Horas extras para el módulo de cómputo**

Demanda mensual	Demanda	Unidades producidas	Muebles producidos en tiempo extra	Horas Extra / Operario	Total Horas extra	Costo mano de obra total
Ene-19	62	47	15	30	90	S/. 648,00
Feb-19	67	51	16	32	96	S/. 691,20
Mar-19	66	48	18	36	108	S/. 777,60
Abr-19	75	55	20	40	120	S/. 864,00
May-19	73	56	17	34	102	S/. 734,40
Jun-19	68	50	18	36	108	S/. 777,60
Jul-19	66	48	18	36	108	S/. 777,60
Ago-19	68	50	18	36	108	S/. 777,60
Set-19	61	46	15	30	90	S/. 648,00
Oct-19	69	52	17	34	102	S/. 734,40
Nov-19	62	46	16	32	96	S/. 691,20
Dic-19	65	49	16	32	96	S/. 691,20
<b>Total</b>	<b>802</b>	<b>598</b>	<b>204</b>	<b>408</b>	<b>1224</b>	<b>S/. 8 812,80</b>

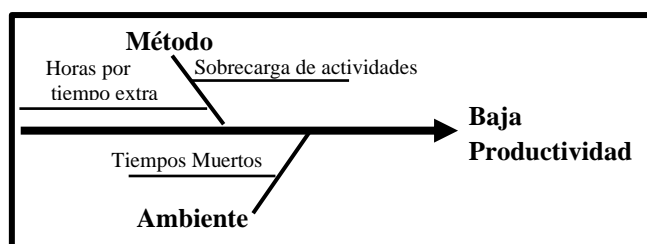
Fuente: Elaboración propia

Los operarios generan tiempos ociosos o muertos durante el proceso de producción, lo cual radica en la baja eficiencia de la línea de producción.

Tiempo Muerto = (Numero estaciones x Cuello Botella) – Tiempo de operación

$$\text{Tiempo Muerto} = (3 \times 93,08 \text{ min}) - 179,11 \text{ min} = 100,13 \text{ min}$$

Con el desarrollo del diagrama de análisis de proceso y el posterior análisis de línea, se determinó que el encargado de la etapa de armado y limpieza se encuentra sobresaturado de actividades debido a que presenta un tiempo de operación 93,08 min, que a su vez significa el cuello de botella del proceso productivo.



**Ilustración 2 Diagrama de Ishikawa**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Simulación del proceso productivo

Para la simulación del proceso productivo se empleó el software ProModel como herramienta para el diseño del modelo, en el cual se emplearon los datos definidos en durante el diagnostico, para determinar los siguientes componentes:

Entidades:

Iconos	Entidad	Descripción
	Tableros	Representa los tableros de melamina y MDF que ingresarán al proceso de envasado.
	Piezas Cortadas	Representan las piezas costadas de los tableros de melamina y MDF.
	Piezas Canteadas	Representan las piezas canteadas.
	Módulo de cómputo	Representa los productos terminados del proceso.

**Ilustración 3 Entidades**

Fuente: Elaboración propia

Locaciones:


Locaciones	Capacidad
Almacén de Materia Prima	10 tableros de Melamina y MDF.
Fila de Corte	1 tablero de Melamina y MDF.
Corte	1 tablero de Melamina y MDF.
Fila de Canteado	INFINITE
Canteado y lijado	1 lote de piezas de Melamina y MDF.
Fila de Armado	INFINITE
Armado y Limpieza	1 lote de piezas de Melamina y MDF.
Almacén Producto Terminado	10 módulo de cómputo.

**Ilustración 4 Locaciones**

Fuente: Elaboración propia

Llegadas: Para este componente se definió que al modelo llegaría 1 Tablero un total de 6 ocasiones (ocurrencias).




Recursos:

Iconos	Recursos	Cantidad	Ruta
	Operario de Corte	1	Recorrido de Corte
	Operario de Canteado	1	Recorrido de Canteado
	Operario de Armado	1	Recorrido de Armado

### Ilustración 5 Recursos

Fuente: Elaboración propia

Rutas:

Graphic...	Name	Type	T/S	Paths...	Interfaces...	Mapping...	Nodes
	Recorrido_de_Corte	Passing	Speed & Distanc	2	3	0	3
	Recorrido_de_Canteado	Passing	Speed & Distanc	2	3	0	3
	Recorrido_de_Armado	Passing	Speed & Distanc	3	4	0	4

### Ilustración 6 Rutas

Fuente: Elaboración propia

Variables:

Variable	Tipo	Valor Inicial	Stats
Modulos_de_computo_producidos	Integer	0	Time Series

### Ilustración 7 Variables

Fuente: Elaboración propia

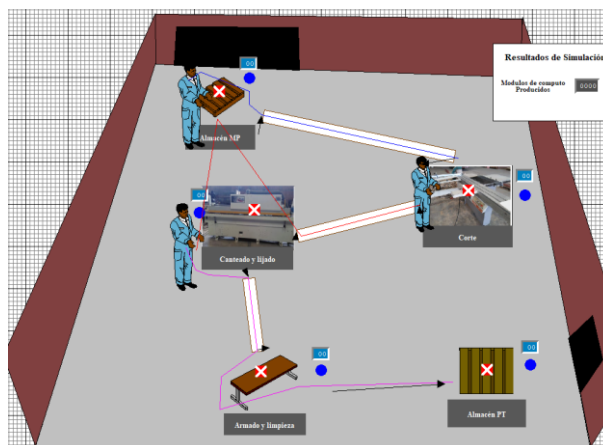
Proceso:

Entidad	Locación	Operación	Output	Destino	Regla	Lógica de Movimiento
Tablero	Almacén_MP	GET Operario_Corte	Tablero	Fila Corte	First 1	
		FREE Operario_Corte				
Tablero	Fila_Corte	GET Operario_Corte	Tablero	Corte	First 1	
		FREE Operario_Corte				
Tablero	Corte	GET Operario_Corte	Piezas	Fila Canteado	First 1	
		WAIT 33.34 MIN				
		FREE Operario_Corte				
Piezas	Fila_Canteado	GET Operario_Canteado	Piezas	Canteado_y_l	First 1	
		FREE Operario_Canteado		ijado		
Piezas	Canteado_y_l	GET Operario_Canteado	Piezas	Fila_Armado	First 1	
		WAIT 52.69 MIN				
		FREE Operario_Canteado				
Piezas	Fila_Armado	GET Operario_Armado	Piezas	Armado_y_li	First 1	
		FREE Operario_Armado		mpieza		
Piezas	Armado_y_li	GET Operario_Armado	Módulo	Almacén_PT	First 1	
		WAIT 93.08 MIN	Computo			
		FREE Operario_Armado				
Módulo	Almacén_PT	GET Operario_Armado	Módulo	EXIT	First 1	INC
Computo		FREE Operario_Armado	Computo			Modulos_de_computo_producidos

### Ilustración 8 Proceso

Fuente: Elaboración propia

## Entorno gráfico del modelo actual

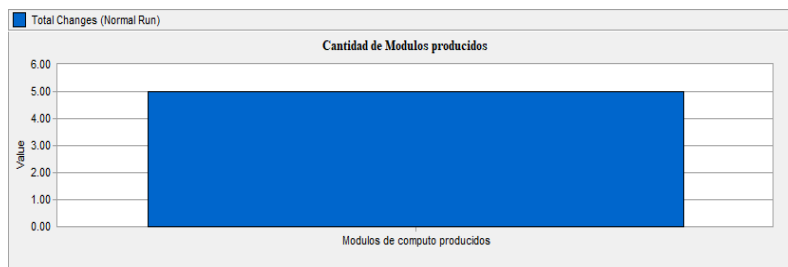


**Ilustración 9 Entorno gráfico**

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran algunos resultados obtenidos tras realizarse la simulación del proceso productivo con el software ProModel, que han sido representados en gráficas, tablas y columnas, para facilitar su entendimiento. Para esta se tomó en consideración un tiempo de simulación de 8 horas que son las horas de trabajo diario.

En la ilustración 10 se aprecia la cantidad de módulos de cómputo elaborados en el tiempo de simulación que sería igual a 5 unidades por día, el cual coincide con el indicador de producción previamente calculado.

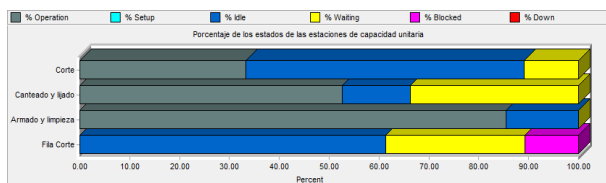


**Ilustración 10 Cantidad de Módulos Producidos**

Fuente: Elaboración propia

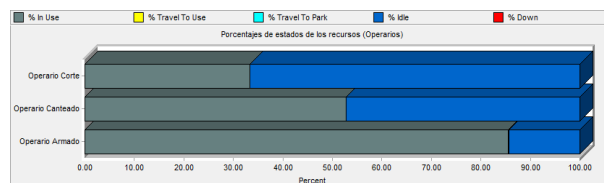
Por su parte, en la ilustración 11 se muestran los porcentajes de los estados de las estaciones, donde se aprecia que la estación con mayor porcentaje de operación le pertenece a la estación de armado con 85,48%, frente a la etapa corte, canteado y lijado con 33,34% y 52,69% respectivamente, lo cual demuestra el cuello de botella de la línea de producción. Finalmente, al evaluar el porcentaje de utilización de los operarios en las distintas etapas del proceso, se aprecia un elevado porcentaje de uso en el operario de la estación de armado (85,52%), confirmando la presencia del cuello de botella, en la estación ya mencionada.





**Ilustración 11 Porcentaje de los estados de las estaciones de capacidad unitaria**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 12 Porcentajes de estados de los recursos (Operarios)**

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Simular una mejora del proceso de elaboración de módulos de cómputo

### 4.2.1. Cálculo del Takt time

Para la elaboración de la mejora es necesario inicialmente calcular el tiempo de trabajo disponible (Takt Time) entre las demandas de los clientes, de la siguiente manera:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Requerimiento del cliente x día}}$$

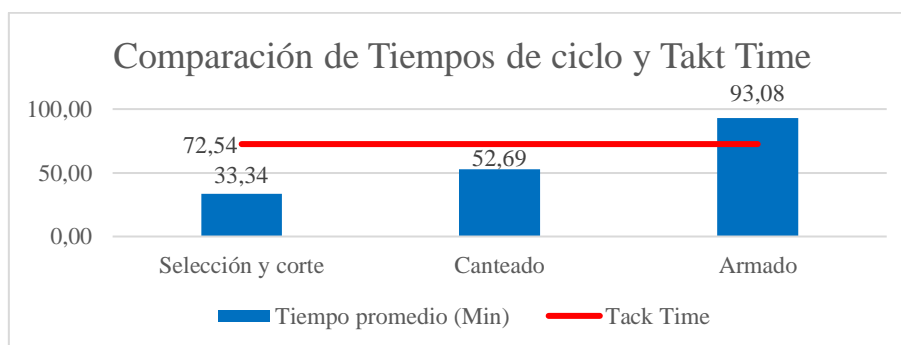
Donde el tiempo disponible son los 480 minutos de trabajo diario, y el valor de los requerimientos de los clientes por día está dado por la división de las unidades demandadas mensualmente entre el número de días destinados a la elaboración del presente producto.

$$\text{Demanda mensual promedio} = \frac{794 \text{ unidades/anuales}}{12 \text{ meses}} = 66,17 \text{ unidades/mes}$$

$$\text{Requerimiento del cliente x día} = \frac{66,17 \text{ unidades/mes}}{10 \text{ días/mes}} = 6,617 \text{ unidades/día}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{480 \text{ minutos/día}}{6,617 \text{ unidades/día}} = 72,54 \text{ minutos/unidad}$$

Utilizando el Takt Time de 72,54 min/unidad se hace la comparación con los tiempos de operación de cada estación de trabajo y se observa que la etapa de armado lo supera, de esta manera confirmando la necesidad de mejora para reducir y nivelar los tiempos de producción.



**Ilustración 13 Comparación de Tiempos estándar y Takt Time**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Balance de línea

Con los resultados revisados, se procedió a proponer un balanceo de línea, a través de la asignación de las actividades para cada recurso de las estaciones de línea de manera independiente, con el objetivo de establecer un ciclo de tiempo constante en todas las estaciones de trabajo.

Entre las consideraciones tomadas están los 10 días disponibles, 480 minutos para producción, un nivel de confianza de 95% y una producción diaria requerida de 6,617 unidades/día

$$\text{Indice de Producción} = \frac{\text{Producción diaria requerida}}{\text{Tiempo de producción}}$$

$$\text{Indice de Producción} = \frac{6,617}{480} = 0,013785$$

Cálculo del número de operarios:

$$\text{Operarios} = \frac{\text{Tiempo estandar} \times \text{Indice de producción}}{\text{Nivel de confianza}}$$

**Tabla 5 Cantidad de Operarios por estación**

Estación	Tiempo Estándar	Número de Operarios Teórico	Número de Operarios Real
Selección y corte	33,34	0,48	1
Canteado	52,69	0,76	1
Armado	46,18	1,35	2
<b>Total</b>			<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6, arroja la necesidad de 4 operarios para toda la línea de producción, requiriendo la contratación de un personal adicional en la estación de armado, que comparta las actividades realizadas, y que permita la reducción del tiempo de la estación a 46,90 minutos.

**Tabla 6 Distribución de actividades de la estación de armado**

Estación	Actividades del proceso	Tiempo Estándar	Tiempo por Operario
Operario 1	Transporte de piezas a mesas de ensamble	5,36 min	46,19 min
	Armado y Limpieza	40,83 min	
Operario 2	Transporte de piezas MDF a armado	2,50 min	46,90 min
	Armado y Limpieza	40,83 min	
	Transporte a almacén producto terminado	3,57 min	

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3. Simulación de la propuesta

El modelo de la propuesta cuenta con los mismos componentes descritos en el diagnóstico diferenciándose de la cantidad de operarios de armado (2), el nuevo tiempo de operación de la locación armado (46,90 min) y la cantidad de ocurrencias de las tablas de melamina durante el arribo (10).

Recursos:

Icon	Name	Units	DTs...	Stats	Specs...	Search...	Logic...	Pts...	Notes...
	Operario_Corte	1	None	By Unit	Recorrido_dNone		0	1	
	Operario_Canteado	1	None	By Unit	Recorrido_dNone		0	1	
	Operario_Armado	2	None	By Unit	Recorrido_dNone		0	1	

#### Ilustración 14 Recursos de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

Arribos:

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...
Tableros	Almacén_MP	1		10		

#### Ilustración 15 Arribos de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

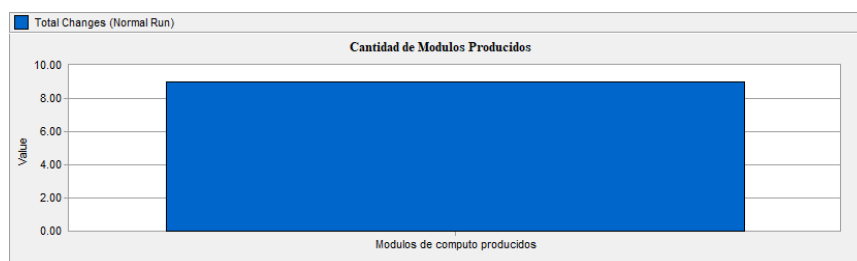
Etapas del Proceso:

Entidad	Locación	Operación	Output	Destino	Regla	Lógica de Movimiento
Piezas	Armado_y	GET Operario_Armado	Módulo	Almacén_	First 1	
	_limpieza	WAIT 46.90 MIN	Computo	PT		
		FREE Operario_Armado				

#### Ilustración 16 Etapa del Proceso Modificada

Fuente: Elaboración propia

En los resultados de la simulación de la propuesta se aprecian mejoras como un incremento en las unidades producidas de 5 a 9 diarias, una reducción del porcentaje de operación de la estación de armado a un 74,32% y la disminución del porcentaje de utilización de los operarios de esta estación a un 37,74%.



#### Ilustración 17 Salidas Totales: Actividad de las entidades de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Cálculo de nuevo indicadores:

La realización del balance de línea permitió reducir el cuello de botella del proceso 52,69 minutos, lo cual repercutió con el incremento de 77% en la producción, 31% la eficiencia de línea, y un 32% la productividad de mano de obra, pasando de 1,72 a 2,28, tal como se aprecia en la tabla 7.

**Tabla 7 Comparación de indicadores para módulo de cómputo**

	Actual	Propuesta	Variación
Producción	5,16	9,11	77%
Productividad	1,72	2,28	32%
Eficiencia de línea	64,14%	84,09%	31%

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3. Análisis costo benéfico de la mejora propuesta

Para determinar el costo-beneficio de la propuesta, es necesario determinar los ingresos y egresos anuales generados con la mejora. Para el cálculo del beneficio se tomó la diferencia de módulos producidos que sería de 4 unidades/día por la cantidad de días al año que se destinaría a su producción; por su parte, la única inversión para la implementación de la mejora es el contrato de un nuevo operario para la estación de armado.

**Tabla 8 Beneficios de producción y salario anual de nuevo operario**

Beneficio de producción (Uni)	4	Numero Adicional de operarios	1
Días de producción/año	120	Salario Anual	S/. 12 600,00
Precio Unitario	S/. 420,00	Beneficios (51%)	S/. 6 426,00
Beneficio Anual	S/.201 600,00	Total Salario Anual	S/. 19 026,00

**Fuente:** Elaboración propia

Asimismo, para el cálculo de la utilidad anual se tuvo en consideración que para la elaboración de cada modulo de cómputo el costo de los materiales es de S/.309,71. Con lo cual según los resultados de la tabla 9, el Beneficio del proyecto sería de S/.33 913,20 anuales

**Tabla 9 Cálculo de Beneficio Anual**

Beneficio Anual	S/.201 600,00
Egresos	
MO	S/. 19 026,00
MP	S/. 148 660,80
<b>Utilidad Anual</b>	<b>S/. 33 913,20</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4. Discusión

Según Quintanilla, Jimenez, et al. [10] la baja productividad es un problema recurrente en el sector del mobiliario debido a la baja eficiencia del proceso de producción, lo que repercute directamente en la entrega de los pedidos. Actualmente, la empresa no es indiferente a esta

problemática, ya que, posee una productividad de  $1,72 \frac{\text{unidad/día}}{\text{operarios}}$  y una eficiencia del 64,14%, que al igual que la investigación de Arroyo, Villadeza, y Savio [8], posee valores muy por debajo del estándar de la industria (75%).

Para la decisión de la mejora, la realización del balance de línea fue influenciado por los resultados de Izarra [13], Cadenillas [15], Garcia [16] y Cardenas [17], en los cuales fue posible aumentar la eficiencia de línea, la productividad y la producción en un 64%, 80% y 20% en promedio. Los resultados de la presente investigación demostraron una reducción del cuello de botella del proceso a 52,69 minutos, un incremento del 77% en la producción, 31% la eficiencia de línea, y un 32% la productividad de mano de obra, mediante la incorporación de un nuevo trabajador, tal como lo aplicado por Opacic, Sowlati y Mobini [12] en su artículo. Asimismo, con la simulación de la propuesta se validó que los porcentajes de utilización de los operarios de la estación de armado disminuirían de 85,48% a 37,74%, tal como los resultados de Shyam y Prabukarathi [18] en su artículo “Productivity improvement in furniture industry using lean tools and process simulation” donde demostraron una disminución del 54 al 29% y un incremento en la producción del 50%.

Con el incremento de la producción de módulos de cómputo con la propuesta, el beneficio anual sería de S/. 33 913,20, que resultan ser menor a los alcanzados por Chapoñan [9], donde con la aplicación de fundamentos ergonómicos y la redistribución de la planta obtuvieron beneficios de S/.71 944,7 frente a una inversión de S/.26 671 ,68.

## V. Conclusiones

La empresa estudiada pertenece al rubro de la fabricación de mobiliario de metal, madera y melamina, la cual cuenta con trabajadores que desarrollan sus actividades de forma empírica, con altas cargas de trabajo, y que constantemente se ven forzados a trabajar horas extra que le representa a la empresa un costo adicional de S/.8 812,80; su producto de mayor valor es el módulos de cómputo, el cual tiene una producción de 5,16 unidades/día, debido al cuello de botella de 93,08 minutos presente en la estación de armado, que genera una eficiencia de línea de 64,14% y una productividad de MO de 1,72 (unidades/día)/Operario.

El balance de línea enfocado en la reasignación de actividades, mediante la incorporación de un nuevo operario en la etapa de armado permitió incrementar la producción de 5,16 a 9,11 unidades/día, la eficiencia de línea a un 84,09% y la productividad en un 32%, el cual se validó mediante la construcción de un modelo de simulación ProModel.

Mediante el análisis costo beneficio se concluye que la propuesta es viable para la empresa ya que el beneficio anual sería de S/. 33 913,20.

## VI. Referencias bibliográficas

- [1] Diario El Peruano, «INEI: Economía peruana mostró mayor dinamismo en tercer trimestre del 2020,» 20 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://elperuano.pe/noticia/109402-inei-economia-peruana-mostro-mayor-dinamismo-en-tercer-trimestre-del-2020>.
- [2] R. Shannon, Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implementación. Primera Edición, Trillas, Mexico, 1988.
- [3] L. E. Blanco Rivero y I. D. Fajardo Piedrahita, Simulación con ProModel. Casos de producción y logística. Segunda Edición, Bogota, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.
- [4] E. García Dunna, H. García Reyes y L. Cárdenas Barrón, Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Segunda Edición, Mexico: Pearson, 2013, p. 4.
- [5] Centro Tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Asturias, «La simulación de procesos industriaLes: cLave en la toma de decisiones para procesos de reingeniería de pLanta y diseño de nuevas instaLaciones de fabricación.,» 2010. [En línea]. Available: [https://issuu.com/femetales/docs/gu\\_a\\_simulaci\\_n](https://issuu.com/femetales/docs/gu_a_simulaci_n).
- [6] A. Law y W. D. Kelton, Simulation modeling and analysis. Third edition, USA: McGraw-Hill Education, 2000.
- [7] H. Koontz, H. Wehrich y M. Cannice, Administración. Una perspectiva Global y Empresarial. Decimocuarta Edición, Mexico: Mc Graw Hill, 2012.
- [8] N. D. Arroyo Catamayo y J. . S. Villadeza Villavicencio, «Propuesta de mejora para la optimización del proceso de fabricación de tableros de melanina en la empresa Interforest S.A.C.,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas(UPC), Lima, Perú, 2018.
- [9] J. Chapoñan Valdivieso, «Plan de mejora en los procesos productivos en la fabricación de muebles de melamina para incrementar la productividad en una empresa de Melamina Chiclayo 2018,» Universidad Cesar Vallejo (UCV), Chiclayo, Perú, 2018.
- [10] Z. F. Quintanilla, M. C. Jimenez, F. S. Raffo, C. R. Ibañez y M. Perez, «Applying SLP in a Lean Manufacturing Model to Improve Productivity of Furniture SME,» Intelligent Human Systems Integration 2020. IHSI 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1131, n° 1, p. 690–696, 2020.
- [11] R. Bambura, E. Sujová y H. Čierna, «Utilizing Computer Simulation to Optimize Furniture Production System,» Utilizing Computer Simulation to Optimize Furniture Production System, vol. 15, n° 3, pp. 6752-6765, 2020.
- [12] L. Opacic, T. Sowlati y M. Mobini, «Design and development of a simulation-based decision support tool to improve the production process at an engineered wood products mil,» International Journal of Production Economics, vol. 199, pp. 209-219, 2018.
- [13] J. A. Izarra Boza, «Aplicación del estudio de trabajo para mejorar la productividad en el área de carpintería de la empresa mueblería y transporte jvm s.a.c., lima 2018,» Universidad Cesar Vallejo (UCV), Lima, Perú, 2018.

- [14] L. A. Tandeoy Cabezas y J. D. Vaarela Valencia, «Diseño de una propuesta de mejoramiento en la línea de producción de sillas escolares en la empresa "Industrias Henvag",» Pontificia Universidad Javeriana, Cali, 2017.
- [15] M. L. Cadenillas Castro, «Propuesta de un sistema de planificación y control de la producción para cumplir con los pedidos no entregados de la empresa Ingenia Muebles,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2020.
- [16] M. V. Garcia Perla, « Incremento de la productividad de una empresa de mobiliarios mediante la teoría de restricciones,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2020.
- [17] J. A. A. Cárdenas Venegas, «Propuesta de mejora de tiempos de entrega en una empresa metal-mecánica que fabrica y vende muebles a pedido,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2018.
- [18] C. Shyam Murali y A. Prabukarthi, «Productivity improvement in furniture industry using lean tools and process simulation,» International Journal of Productivity and Quality Management, vol. 30, n° 2, pp. 214-233, 2020.