

# Mejora en el proceso de confección de ropa deportiva usando herramientas de manufactura esbelta y optimización matemática

Luque Huanca Juan Carlos, Ing<sup>1</sup>, Jonatan Edward Rojas Polo, Mg.  
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, [carlos.luque@pucp.pe](mailto:carlos.luque@pucp.pe), [jrojas@pucp.pe](mailto:jrojas@pucp.pe)

**Abstract** - *The Peruvian textile and clothing sector has been competing with companies from Asia and Central America, which have gained market with their lower-priced products. This market loss is the result of a lack of productivity in the production chain. Lean Manufacturing has several tools for increasing productivity that have produced successful results in multiple organizations. Lean Manufacturing is recognized for its application to production systems and the results obtained after its correct implementation. The aim of this research was to increase the productivity of a small company located in the city of Juliaca dedicated to the manufacture of sportswear through the application of lean manufacturing tools and mathematical optimization.*

*The diagnostic procedure of the current situation includes the elaboration of the value stream mapping, establishment of main indicators, identification of activities that add and do not add value and identification of bottleneck processes. Faced with the main problems, the root cause was found by asking 5 times why; then the problem solving tools were identified. Among the applied tools there are 5S's, Standardization and operations programming.*

*Finally, the results of the implementation of the tools received an improvement in the reduction of the cutting process time (bottleneck) of 50 minutes. This reduction translates into an increase in production capacity of 4 units per day (12% of capacity).*

**Resumen** - *El sector textil y confecciones peruano viene compitiendo con empresas de Asia y Centroamérica, los cuales han ganado mercado con sus productos de menor precio. Esta pérdida de mercado es el resultado de la falta de productividad en la cadena productiva. Manufactura esbelta tiene diversas herramientas para el incremento de productividad que han dado resultados exitosos en múltiples organizaciones. Manufactura esbelta es reconocida por su aplicación a sistemas de producción y los resultados que obtiene tras su correcta implementación. El objetivo de la presente investigación fue incrementar la productividad de una pequeña empresa ubicada en la ciudad de Juliaca dedicada a la confección de ropa deportiva mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta y optimización matemática.*

*El procedimiento de diagnóstico de la situación actual comprende la elaboración del mapeo de flujo de valor, establecimiento de principales indicadores, identificación de actividades que agregan y no agregan valor e identificación de procesos cuello de botella. Ante los principales problemas, se encontró la causa – raíz preguntando 5 veces por qué; luego se identificó las herramientas de solución a los problemas. Entre las herramientas aplicadas se tiene 5S's, Estandarización y programación de operaciones.*

*Finalmente, los resultados de la implementación de las herramientas mencionadas dieron una mejora en la reducción del tiempo de*

*proceso de corte (cuello de botella) de 50 minutos. Esta reducción se traduce en incremento de la capacidad de producción de 4 unidades por día (12% de capacidad).*

**Palabras clave**- *manufactura esbelta, sector textil y confecciones, modelación matemática,*

## I. INTRODUCCIÓN

El sector textil y confecciones peruano cumple un rol importante en la generación de puestos de trabajo en la sociedad peruana. Según la Sociedad Nacional de Industrias (2018), el sector textil y confecciones genera 463 mil puestos de trabajo de los cuales 63.5% son mujeres, siendo el sector con más puestos de trabajo generados directamente [1]. Si bien el sector textil y confecciones peruano cuenta con una serie de beneficios aduaneros que promocionan su comercialización exterior, ha visto reducida su participación en la producción mundial debido a competidores de América Latina y el Caribe [2]. Es así que las exportaciones peruanas del mencionado sector ascienden a 1,354 millones de dólares en el año 2019 (3.3% menor al año 2018). Entre los países donde disminuyó la participación de mercado se tienen China (-54.8%), Argentina (-34.7%), Brasil (-12.3%) y Noruega (-34.3%) [3]. Ello amerita un análisis más detallado de los problemas que afectan a este sector y las empresas participantes.

El número de empresas registradas del sector textil y confecciones al año 2016 asciende a 53365, de los cuales 50924 (95.42%) son microempresas, 2156 (4.15%) pequeñas empresas y 284 (0.5%) grandes y medianas empresas [1]. Por un lado, las grandes y medianas empresas (0.5% empresas del sector) se enfocan en producir productos de calidad y exportación. Para estas empresas los factores más relevantes a tener en cuenta son el tipo de cambio real, los acontecimientos en países externos, el sistema fiscal (drawback) y la demanda interna [4]. Por otro lado, tomando en consideración los estadísticos presentados, las micro y pequeñas empresas (mype) del sector textil ascienden a un total de 53081 empresas (99.5% de empresas del sector). Un problema para este sector es la baja productividad de su sistema productivo. Las mype de todos los sectores económicos del país solo aportan el 23.5% del valor agregado nacional [2]. Estas mypes tienen como principales clientes a la demanda interna del país y a las grandes empresas quienes tercerizan parte de su proceso productivo. Sin embargo, ni grandes empresas ni pymes logran competir a la producción proveniente de Bangladesh, India y Vietnam [4].

Ante esta problemática de productividad, El Ministerio de la Producción determinó la productividad total de la rama industrial "Fabricación de prendas de vestir" en 41% en su estudio "Situación Actual de las Empresas Peruanas" (2015). También determinó 6 factores que influyen en la productividad de las empresas: Tecnologías de información, capital humano, productos financieros, infraestructura productiva, prácticas de gestión e innovación [2]. Viendo la baja productividad de las empresas de confección es importante proponer herramientas de solución que mejoren la situación actual. Entre las principales herramientas enfocadas a mejorar la productividad están

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.251>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390  
DO NOT REMOVE

<sup>1</sup> 19<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future", Buenos Aires -Argentina, July 21-23, 2021.

manufactura esbelta, investigación de operaciones, administración de la calidad, diseño de puestos de trabajo. Por ello, la presente investigación se realiza sobre una pequeña empresa de confección de ropa deportiva ubicada en la ciudad de Juliaca, departamento de Puno. Que ante la globalización de la economía tiene nuevos competidores como productos de origen asiático y competidores nacionales en su mercado local.

## II. ESTADO DEL ARTE

Los temas que se abordará corresponden a manufactura esbelta: mapeo de flujo de valor, 5S y estandarización. También se abordará investigación de operaciones.

### A. *Manufactura Esbelta*

Manufactura esbelta es una filosofía de trabajo basada en el cambio y mejora continua, intentando eliminar desperdicios y producir más con menos. Se enfoca en producir lo que el cliente solicita en la cantidad demandada y en el momento requerido [5].

Manufactura esbelta se desarrolló a partir de las mejores prácticas del Sistema de producción de Toyota (TPS por sus siglas en inglés); asimismo, el TPS se desarrolló en base a la mejora continua del sistema de producción en masa de Henry Ford [5]. El sistema de producción en masa debía su éxito a la intercambiabilidad de piezas y a la simpleza de su ensamble [6], lo que actualmente denominamos producto estándar o estandarizado. Mientras que el TPS y, por ende, la filosofía esbelta se concentra en eliminar actividades improductivas y reducir inversiones necesarias manteniendo el nivel de eficiencia [7]. Según Ohno la base del TPS es la eliminación absoluta del desperdicio [8].

Manufactura Esbelta fue evolucionando y va cambiando conforme lo requieren los tiempos actuales, sin embargo, se basa en 5 principios definidos por Jones y Womack. Estos principios son: Valor, lo que realmente desea el cliente; flujo de valor, todas las acciones que ejecute la empresa contribuyan con el aumento de valor; flujo de materiales; materializar el flujo de valor; pull, producir en función a la demanda del mercado; perfección, resultado del funcionamiento correcto de los anteriores [9]. Manufactura Esbelta aplicada a pequeños lotes de producción tiene ciertas particularidades en su aplicación. Si bien no hay restricción o preferencia por alguna de sus herramientas, se debe tener en consideración dos aspectos. El primero se refiere a que cada empresa debe adaptar las herramientas de acuerdo a su contexto. La segunda es que la mayoría de empresa aplica en conjunto herramientas diferentes como gestión de proyectos, ERP, MRP [10].

Veres recomienda 4 pasos genéricos e importantes para la implementación de Manufactura Esbelta, los cuales son Planeamiento, Entrenamiento, Desarrollo y Coaching [11]. Considerando al planeamiento como el paso más importante del proyecto. El entrenamiento tiene en su importancia en dar a conocer lo relevante del proyecto. En el desarrollo se recomienda adoptar el ciclo de mejora continua. Finalmente, el coaching empodera a las personas que hacen posible implementar el proyecto.

#### A.1. *Desperdicio o despilfarro*

Todo lo que no agrega valor es desperdicio, cualquier acción que no contribuya a la rentabilidad es desperdicio [12], así lo define Hirano y describe los 8 tipos de desperdicio de Manufactura Esbelta en producción:

- **Sobreproducción:** Se ocasiona en los puestos de trabajo cuando hay desbalance en la capacidad de los procesos. Obstaculiza el flujo de producción e incrementa el nivel de inventarios.
- **Inventario:** Incluye materia prima, producto en proceso y producto terminado. Ocupa espacios, requiere transportes innecesarios e incrementa los tiempos de entrega.
- **Transporte:** Es consecuencia de una mala distribución de planta o mal manejo de materiales. Genera trabajo innecesario moviendo productos.
- **Productos defectuosos:** Produce quejas en los clientes, costos de reproceso. Brindan oportunidad a mejorar moldes y herramientas.
- **Procesos inadecuados o sobreprocesamiento:** Es procesar un producto más de lo necesario y requerido por el cliente. Agregar más operaciones o actividades a un producto no necesariamente agrega valor. A veces no es necesario mejorar el proceso sino el diseño del producto.
- **Relacionado con operaciones o movimientos:** Está relacionado con los movimientos innecesarios cuando hubo falta de capacitación o falta de entrenamiento.
- **Esperas:** Es el tiempo inactivo de un trabajador o una máquina. El tiempo inactivo es por desbalance de capacidad o lotes de producción muy grandes.

#### A.2. *Metodología 5S's*

La aplicación de las 5S's en una fábrica, taller, empresa u organización marca el punto de partida para el éxito o fracaso de sus operaciones a largo plazo [11]. Las 5S's consisten en poner orden y limpieza en el área de trabajo de tal modo que agreguen valor al producto que entregan. La finalidad de cada una de ellas es la siguiente:

- **Seiri (clasificar):** Su finalidad es descartar lo innecesario, logrando la eficiencia en el uso de espacio.
- **Seiton (ordenar):** Su finalidad es un orden que simplifique la búsqueda de materiales y herramientas, Se logra identificando al producto en ubicación, cantidad y descripción notoria.
- **Seiso (limpieza):** La limpieza hace del lugar de trabajo más confortante y seguro.
- **Seiketsu (estandarización):** Implica mantener las primeras 3S's. Su beneficio se expresa en la seguridad y bienestar laboral.
- **Shitsuke (disciplina):** Su logro se traduce en mejorar la calidad de vida de las personas dentro y fuera de las personas.

Hirano. [12] señala que la base para cualquier proyecto de mejora inicia con las 5S's, sin su correcta implementación no es posible desarrollar proyectos de Manufactura Esbelta.

#### A.3. *Mapeo de Flujo de valor o Value Stream Mapping (VSM)*

VSM es una herramienta gráfica que muestra los procesos actuales en un gráfico con la intención de mejorar la situación actual [13]. Esta herramienta se concentra en los principios lean (valor y flujo de valor), permite visualizar y analizar la situación actual del flujo de valor y proponer mejoras a nivel macroproceso [14]. Es una simple y efectiva herramienta para visualizar desperdicios e indicar caminos para la eliminación de los mismos sin realizar grandes inversiones [15]. El VSM trabaja en conjunto con otras herramientas que son a nivel operativo, en conjunto permite visualizar actividades que agregan y no agregan valor [16].

#### A.4. *Estandarización*

Entre los beneficios de tener el trabajo estandarizado tenemos: Disminuir la variabilidad, facilidad para entrenar nuevo personal, reducir el riesgo de accidentes de trabajo y una línea base para actividades de mejora [17].

Esta herramienta cumple un importante rol en el logro de resultados y contribución al desarrollo de sistemas, lo logra disminuyendo discrepancias en el tiempo requerido para actividades realizadas por diferentes personas y en diferentes turnos [18].

### B. Investigación de operaciones

La investigación de operaciones trabaja en función a técnicas matemáticas para asignar recursos limitados de forma óptima a diversas demandas que compiten por los recursos [19]. Desde la perspectiva de las Ciencias Administrativas, se utiliza un modelo matemático para representar un problema en estudio, al modelo en cuestión lo llamamos “programación lineal”. La palabra lineal por la forma del modelo matemático y programación se refiere a planeación, no a programación de computadora. La programación lineal es una ayuda valiosa en la toma de decisiones de la administración de cualquier organización. Un gerente de administración puede sacar mucho beneficio si sabe cómo interpretar los resultados [20].

A continuación, se expone un ejemplo de PL.

$$\begin{aligned} \max z &= 3x_1 + 2x_2 \\ \text{s. t. } x_1 + x_2 &\leq 6 \\ 0 &\leq x_1 \\ 0 &\leq x_2 \end{aligned}$$

Se tiene la función objetivo  $z$  que se busca maximizar sujeto a 3 restricciones que debe cumplir cualquier combinación de números.

En programación lineal se tiene formas de restricciones particulares que permiten expresar condiciones más sofisticadas como puede ser combinaciones

### Restricciones excluyentes, también conocidas como “o bien”

Supongamos que una planta de producción fabrica tres tipos de productos, pero para iniciar la producción de alguno debe producir como mínimo 1000 unidades ya que debe cubrir los costos fijos. Entonces se debe incluir la restricción:

$$x_i \leq 0 \quad \text{ó} \quad x_i \geq 1000$$

Para ello introducimos una variable binaria “ $y$ ” y un valor  $M$  muy grande para expresar la condición en 2 restricciones matemáticas.

$$\begin{aligned} x_i &\leq My \\ 1000 - x_i &\leq M(1 - y) \\ \text{Con } y &= [0,1] \end{aligned}$$

### Restricciones si entonces

Supongamos que la decisión de producir algún producto  $x_1$  implique no producir el producto  $x_2$ .

$$\text{Si } x_1 \geq 0 \quad \text{entonces} \quad x_2 = 0$$

Ello quiere decir

$$\text{Si } x_1 \geq 0 \quad \text{entonces} \quad x_2 \leq 0$$

Para ello introducimos una variable binaria “ $y$ ” y un valor  $M$  muy grande para expresar la condición en 2 restricciones matemáticas.

$$\begin{aligned} x_2 &\leq My \\ x_1 &\leq M(1 - y) \\ \text{Con } y &= [0,1] \end{aligned}$$

## III. CASO DE ESTUDIO

### A. Situación actual

A continuación, se describirá la reseña, productos, maquinaria e infraestructura con los que trabaja la empresa. Como segunda parte se describirá el diagnóstico antes de la implementación de Manufactura Esbelta.

#### A.1. Descripción de la empresa

La presente investigación se desarrolló en una pequeña empresa del rubro confección textil ubicada en la ciudad de Juliaca. La empresa tiene 33 años de funcionamiento e inició con la producción y comercialización de ropa deportiva en el año 1987 con indumentaria para deportes como fútbol y vóley. Durante la década del 90, amplió su línea de producción a productos como buzos, casacas y chalecos, al mismo tiempo incorporó maquinaria para procesos de serigrafía y bordados. En el año 2000, abrió un local comercial dedicado a compra y venta de materia prima para la confección textil. En el año 2010 logró ser uno de los mayores productores de industria textil de la región Puno ganando algunos premios como “Empresa del año” otorgado por la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. En los últimos años se ha visto en la necesidad de replantear su trabajo a raíz de la fuerte competencia de productos importados de origen asiático y la incursión de productores nacionales en su mercado regional.

#### Descripción de los productos

La empresa se dedica a la producción de ropa deportiva y la comercialización de accesorios deportivos detallados en la tabla 1

**Tabla I:** Productos que produce y comercializa

RUBRO	PRODUCTO	Detalle
PRODUCE	Buzos, casacas y chalecos	En tela polifix, polialgodon, tafeta, microsatin, gamberra y dril.
	Camisetas	Con procesos de serigrafía como sublimado y transfer
	Gorros	Con bordados
COMERCIALIZA	Accesorios deportivos	Pelotas, medias, guantes de fútbol, mallas de arco, trofeos y otros.
	Materia prima para la industria	Telas, material de serigrafía e insumos para la confección.

#### Maquinaria

La maquinaria con la que realiza en cada proceso se detalla a continuación:

- Corte: Cortadora industrial, accesorios de numerado
- Confección: Máquinas de costura recta, remalladora, recubridora, elástica
- Bordado: Máquina bordadora, computadora de diseño
- Serigrafía: Máquina transfer

#### Infraestructura

La presente investigación se enfocará en su sistema productivo el cual cuenta con dos locales de producción distanciados en 60 metros. El primer local de 200 m<sup>2</sup> y el segundo de 300 m<sup>2</sup>, La distribución del local 1 y taller de producción se describe en la figura 1.

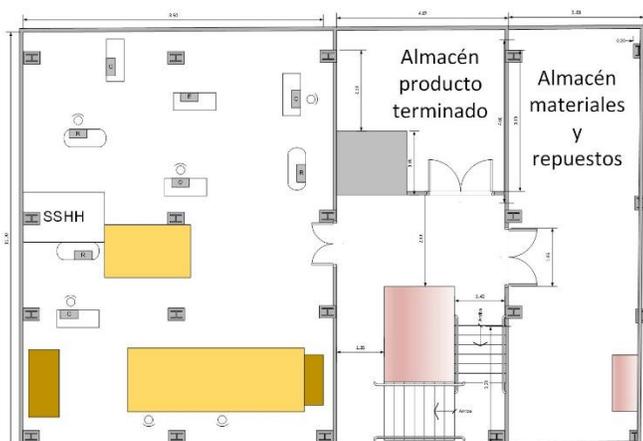


Figura 1. Distribución del local 1 – taller de producción.

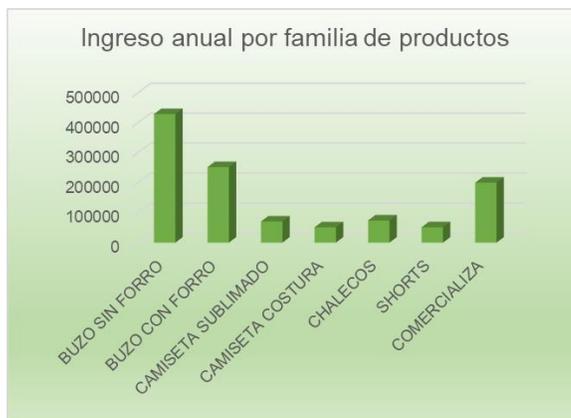


Figura 3. Ingresos por familias de productos

### A.2. Diagnóstico

Los ingresos de la empresa se pueden visualizar en la figura 2. Las ventas mensuales en promedio ascienden a 93,990 soles. La variabilidad del gráfico demuestra que hay picos de venta en Abril, Mayo y Setiembre; los cuales coinciden con campaña escolar y fechas que implican eventos deportivos. Al no tener una demanda constante es preciso que la empresa responda bien al cambio del mercado.

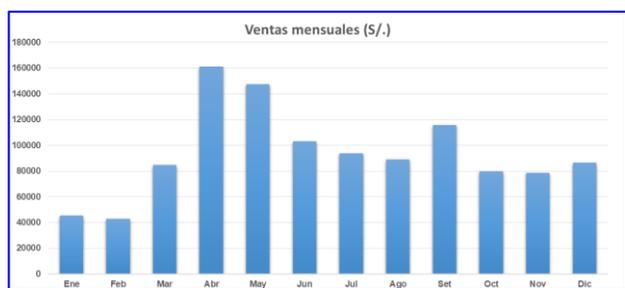


Figura 2. Ingresos mensuales 2018

En la figura 3 se puede visualizar los ingresos por producción según familia de productos. De los cuales, la familia Buzo sin forro representa el 46.2% de los ingresos de producción. Este es un motivo considerable para realizar el estudio en esta familia de producción.

La familia “buzos sin forro” son buzos deportivos y ligeros fabricados en telas como polialgodón, gabardina, polifix, impala y poliáridas. Por lo general el lote de producción corresponde a 26 unidades. El mapeo de flujo de valor de la familia de producto “buzo sin forro” se presenta en la figura 4. Donde se puede apreciar el proceso que recorre la materia prima hasta su entrega al cliente.

El proceso inicia con la recepción de tela proveniente de Lima (2 veces por semana) para luego elaborar el molde según especificaciones de cliente. Continúa con el proceso de corte donde intervienen 2 personas que trabajan en conjunto. Seguido de ello, la confección de casaca con 3 personas que trabajan independientemente, es decir cada uno con su lote de producción. Por lo general, la prenda requiere de bordado, por ende, se va al área de bordado. Finalmente, el proceso de acabado, donde también se realiza el control de calidad. Los dos últimos procesos atienden a todas las familias de productos. Dadas las particularidades en su demanda por lote es preciso trabajar los indicadores en función a lote de producción.

Del mapa de flujo de valor se pudo obtener los principales indicadores como los tiempos de ciclo por unidad y por lote. Con ello se establece la capacidad de producción y se compara con la demanda del cliente. Los tiempos “batch time” se presentan en la figura 5. El proceso cuello de botella es el de corte con tiempo de procesamiento de lote de 468 minutos.

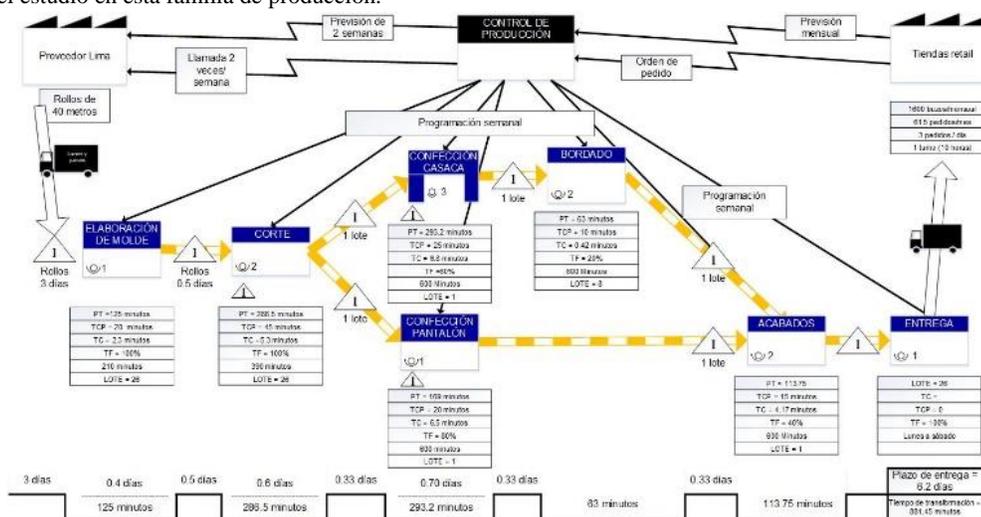


Figura 4. VSM de familia buzo sin forro

Como segundo proceso que limita la capacidad de producción se tiene confección de casaca con 433.4 minutos. Si comparamos ambos datos con el TAKT TIME, vemos que no se satisface la demanda del mercado que requiere un lote cada 390 minutos.

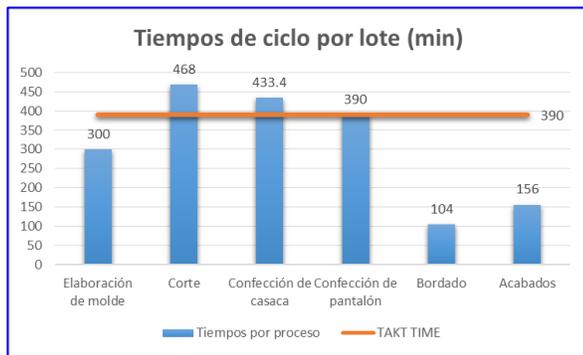


Figura 5. Tiempos por lote por proceso (min)

Se realizó Diagramas de operaciones (DOPs) de cada proceso para detallar y analizar qué actividades agregan y no agregan valor en el ciclo productivo y finalmente evaluar su impacto en la cadena de valor. Teniendo como resultado la tabla 2. Se resalta el proceso de corte con 468 minutos por lote de producción, de los cuales 316 minutos corresponden a actividades que agregan valor, 22.5 a actividades que no agregan valor, pero son necesarias en el proceso y 121.5 minutos a actividades innecesarias que no agregan valor. Análogamente en el proceso de confección de casaca, se tiene 75 minutos en actividades que no agregan valor y no son necesarias.

Tabla II: Actividades que agregan y no agregan valor en cada proceso

PROCESO	Tiempo de actividades por lote de 26 unidades (minutos)				TOTAL
	Agregan valor	No agregan valor y son necesarias	No agregan valor y no son necesarias	Otras causas	
Elaboración de molde	165	10	115	10	300
Corte	316	22.5	121.5	8	468
Confección casaca	286.3	55	75	17.1	433.4
Bordado	45	8	10		63
Acabados	78	9.75	26		113.75
<b>TOTAL</b>	<b>890.3</b>	<b>105.25</b>	<b>347.5</b>	<b>35.1</b>	<b>1378.15</b>

Como siguiente paso se identificó en planta de producción los 7 desperdicios definidos por Manufactura Esbelta. A cada desperdicio se le asocio el impacto que causa en la cadena productiva. Dando como resultado la descripción de la Tabla III. Los desperdicios más resaltantes son inventarios (140 minutos), esperas (111 minutos) y transportes (63 minutos). Estos 3 desperdicios fueron analizados para encontrar la causa que los origina mediante la herramienta de los 5 por qué.

En la figura 7 se presenta el análisis realizado a cada desperdicio, donde se visualiza resaltados por colores las causas que podrían ser solucionadas con la misma herramienta de Manufactura Esbelta. Por ejemplo, en color morado en la figura 6, se tiene el desperdicio inventario, al cual se le pregunta por qué ocurre. La respuesta al primer por qué es porque se tiene estancado productos en proceso. Luego de

repetir 5 veces la pregunta, la causa raíz es que no hay una programación de pedidos. Análogamente en el desperdicio esperas, se tiene esperas en los operarios cuya causa raíz es no anticipar la necesidad de entrega de materiales auxiliares o la inexistencia de MRP. En ambos casos requieren de una programación de pedidos y asignación correcta al operario disponible. Si se prevé un momento determinado para la necesidad de material, sería posible evitar la espera en los operarios y pedidos estancados en el proceso productivo.

Tabla III: Descripción de los desperdicios identificados

Proceso	Desperdicio	Duración
Elaboración de molde	Transporte	10 min - Traslado
	Inventario	115 min - Materia prima que no es trasladada desde almacén
Corte	Proceso inadecuado	45 min - Pretrazado
	Transporte	3 min - Traslado
	Sobreproducción	23.5 min - Se genera para poder abastecer a confección correctamente (desbalance de producción)
	Espera	50 min - Se genera en el traspaso y asignación de prendas cortadas a confección
	Transporte	25 min - Traslado desde corte a confección
Confección	Espera	30 min - Petición y reclamo de materiales faltantes
	Inventario	20 min - Explicar pedido y modelo a confeccionar
	Defecto/Reproceso	25 min - Reprocesos por falla en corte y falla de máquina
	Transporte	15 min - Traslado desde confección a bordado
Bordado	Inventario	5 min - Solicitar materiales
	Espera	5 min - Esperar entrega
	Transporte	10 min - Traslado de bordado a acabado
Acabado	Espera	26 min - Buscando accesorios como broches, ligas
Total de desperdicio identificado		407.5 minutos

En la tabla IV se presenta las herramientas propuestas para cada causa raíz de los desperdicios identificados en las tablas IV y figura 7. En ese sentido, se tiene para el color amarillo la herramienta de las 5S's; para el color verde la estandarización y finalmente para el color morado la herramienta de planeamiento de operaciones con programación lineal.

### B. Propuesta de mejora

Como respuesta a los desperdicios identificados y las causas raíz de cada problema se implementó herramientas de manufactura esbelta como 5'S y estandarización para eliminar los desperdicios. Por otro lado, se aplicó la investigación de operaciones para programar la secuencia de pedidos.

#### A.1. Implementación de 5'S

La implementación contemplo dos zonas diferenciadas. La primera corresponde a los almacenes de materia prima y materiales auxiliares donde se identificó correctamente los productos existentes, se creó un código de producto y se le definió un lugar para cada producto.

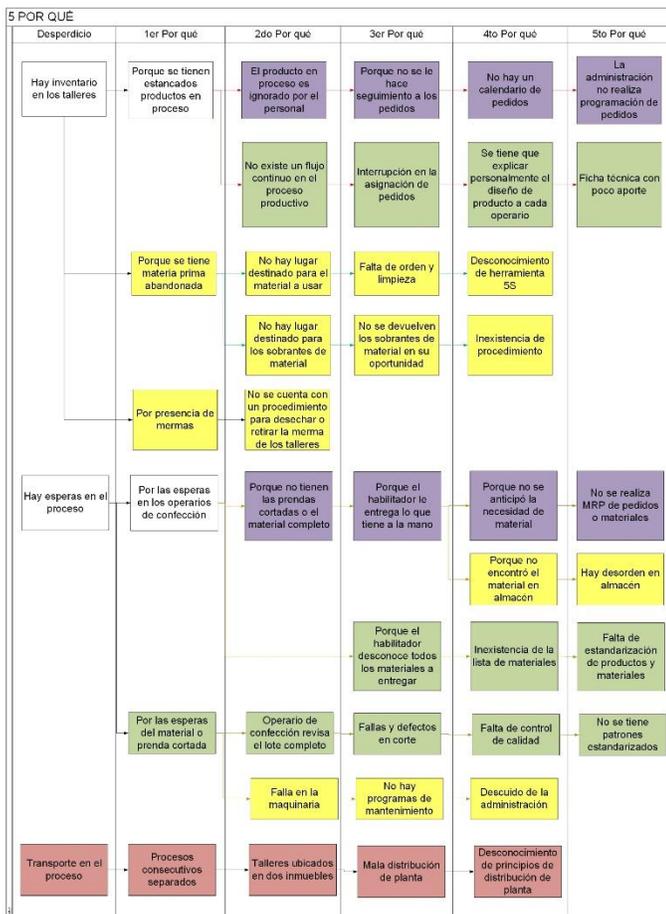


Figura 6: Los 5 por qué aplicados a la empresa

Esta decisión para facilitar la búsqueda de materia prima y en especial de materiales auxiliares como cierres, velcro, hilos, ligas, etc.

TABLA IV: Herramienta propuesta para eliminar los desperdicios identificados

PROBLEMA - CAUSA RAÍZ	HERRAMIENTA
Materia prima abandonada - Falta de orden	5S'S - clasificar y ordenar
No hay lugar destinado para sobrantes de material - Inexistencia de procedimiento	5S'S - limpieza y estandarización
Presencia de mermas - Inexistencia de procedimientos	5S'S - limpieza y estandarización
Habilitador entrega el material que tiene en stock - Hay desorden en almacén	5S'S - clasificar y ordenar
Falla en la maquinaria de confección - Falta de programas de mantenimiento	5S'S - limpieza y estandarización
Interrupción en la asignación de pedidos - Ficha técnica con poco aporte	Estandarización - Hoja de recepción de pedido
Habilitador se demora en entregar materiales - Falta de estandarización de productos y materiales	Estandarización - lista de materiales
Falta de control de calidad - No tiene patrones estandarizados	Estandarización - implementar patrones
No hay un calendario de pedidos - No se visualiza el avance de pedidos y su fecha de entrega	Programación - diagrama de gant
No se tiene el material completo antes de la confección - La administración no realiza programación de pedidos	Programación - secuenciamiento

El orden y limpieza sobre los almacenes impacta en la cadena productiva a través del tiempo de búsqueda de accesorios en 26 minutos promedio. La segunda zona contempló los talleres de producción donde se trabajó según puesto de trabajo (herramientas que necesitan) y áreas de trabajo limpias y seguras. El orden y limpieza en los talleres impactan en la percepción de seguridad y confort de los trabajadores. En la Tabla V se visualiza situación inicial y final del taller de materiales auxiliares.

TABLA V: Cambios realizados en almacenes de materiales complementarios



El proceso para implementar las 5S es el de mejora continua basada en la filosofía kaizen de pequeños cambios. Se empezó arreglando la infraestructura de talleres haciendo ambientes de trabajo más cómodos y seguros, asimismo con buena iluminación y comodidad. Luego se elaboró una lista de herramientas para determinar qué necesita cada puesto de trabajo como tijeras, piqueteras, desarmador, piezas de repuesto para diversos tipos de costura.

Finalmente se estableció cronogramas para la limpieza de taller, limpieza de puesto de trabajo y limpieza de maquinaria.

### A.2. Implementación de estandarización

Dados diversos reclamos en productos terminados se identificaron puntos estratégicos a estandarizar que se detallan a continuación:

#### a) Implementar una hoja técnica para el proceso de corte

Los reprocesos en el proceso de confección demoran en promedio 25 minutos por lote. La demora es por ajustes que debe hacer el costurero a la prenda por defectos provenientes de corte. Lo más frecuente corresponde a piezas que no encajan en pedidos con diversas tallas.

La situación inicial contemplaba la producción de prendas con tallas brindadas por el cliente ya sea entregando una prenda física o indicando una relación de tallas. Esta situación generaba disconformidades a la entrega del producto por discrepancia de tallas. También generaba trabajo innecesario acoplado los diseños de molde a las tallas del cliente. La situación se debe a que la mayoría de

operarios son resultado de un aprendizaje empírico y no tuvieron una capacitación adecuada para establecer tallas cuantificadas.

Por tanto, se propuso empezar a establecer las tallas estándar para cada tipo de producto: prenda con forro, prenda sin forro y camisetas. En cada caso sus variantes en tallas Small (S), Mediano (M), Largo (L) y variante de género dama. Es preciso mencionar que, dadas las condiciones geográficas de cada región, el cuerpo humano y sus medidas varían por región geográfica. Por ende, era necesario desarrollar tallas propias para las prendas.

En la figura 7 se puede visualizar la hoja técnica implementada con las medidas iniciales.

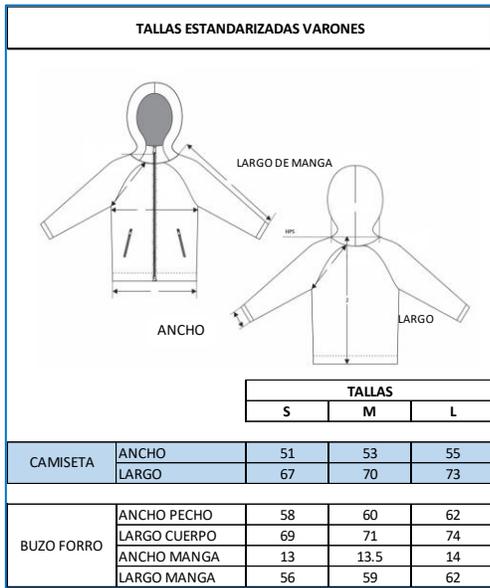


Figura 7. Tallas estándar de las familias Buzo sin forro y Camiseta

**b) Rediseñar la hoja de orden de pedido**

El lote de producción se queda estancado 20 minutos en promedio debido a que el operario debe recibir las indicaciones del modelo, detalles de prenda y tallas a pesar de recibir una hoja de producción.

Dados algunos reclamos del cliente acerca del modelo de prenda, de logotipo y detalles particulares en el producto terminado una persona de ventas debe explicar personalmente al operario. Ante esta situación se analizó las causas de este problema y se obtuvo como causa raíz que el formato no es el más adecuado para contener información útil y de calidad. Prueba de ello fue que muchos espacios del formato no fueron utilizados en las 100 últimas órdenes de pedido. En la revisión también se notó que los dibujos del formato deberían ser más grandes en tamaño para especificar mejor los detalles. En la figura 8 se presenta el formato actual de la orden de pedido.

Se propuso una hoja de orden de pedido acorde a la información recopilada de las personas involucradas como el vendedor, cortador, operario de costura y jefe de taller. La información fue procesada y se trabajó en una nueva orden de pedido que se presenta en la figura.

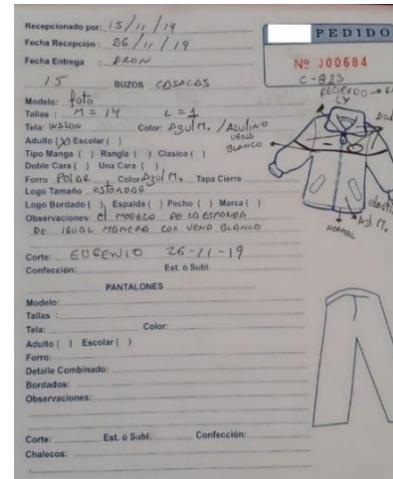


Figura 8. Orden de pedido actual.

**c) Establecer una lista de materiales y hacerla visual**

El tiempo identificado como demora o interrupción en el proceso de confección (30 min) se debe a la falta de entrega de materiales, lo cual ocasiona que los operarios de confección tengan que esperar materiales auxiliares como hilos, cierres, cordeles, velcro, entre otros. Las condiciones iniciales eran de entregar material según lo que solicitaba cada operario. Sin embargo, esta situación genera una demora ya que no se anticipa los requerimientos de accesorios que lleva una prenda ya que varían según modelo. Figura 9: Lista de materiales

Se propuso establecer una lista de materiales visual que contemple las principales variantes de los productos, según la lista de materiales presentada en la figura 9.

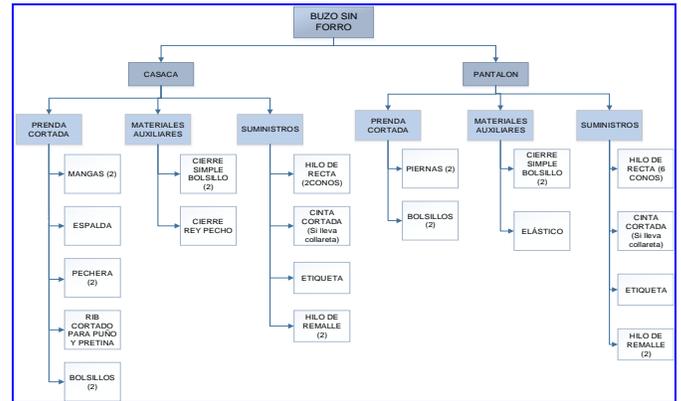


Figura 9. Lista de materiales de buzo sin forro

De modo que el habilitador visualice la imagen patrón, la compare con el diseño del cliente y aliste al menos el 80% de los materiales necesarios, ya que algunos materiales auxiliares son comunes a todos los modelos.

**A.3. Modelo para secuenciamiento de pedidos**

Uno de los problemas identificados es la programación y asignación de pedidos cuyo reflejo se da en desperdicios de espera (50 min) por no tener la programación anticipada. Esto ocurre en el traspaso del

proceso de corte a confección de casaca. En la situación inicial se le entrega nuevo pedido cuando termina el actual. Por ello la propuesta era planificar la producción mediante un programa lineal.

El modelo considera un total de 8 pedidos que corresponde a un rango de 2 semanas de trabajo. Para modelar la situación actual se trabajó con 3 procesos: Elaboración de molde (A) que es el inicio del proceso productivo, Corte (B) que es el cuello de botella y Confección de casaca (C) que tiene 3 operarios disponibles para asignarles un pedido. La capacidad de producción es limitada por los procesos B y C. En la tabla 6 se visualiza los datos concernientes a 8 pedidos como la cantidad de lote y el tiempo de sus procesos (TA: tiempo de proceso A, TB: tiempo de proceso B y TC: tiempo de proceso C).

El modelo se basa en una línea de tiempo de 2 semanas continuas simuladas en minutos, es decir el lunes a las 8:00 am corresponde al tiempo en 0, al final del día (10 horas después) correspondería al minuto 600, el día martes a las 8:00 horas continuaría con el minuto 601. Donde el programa lineal buscará los tiempos de inicio de cada pedido en cada proceso, cada inicio de semana se puede volver a correr el modelo con datos actualizados. Si un operario está ocupado con un trabajo de la semana anterior este dato se considera en disponibilidad inicial del operario o del proceso.

**TABLA VI.** Tiempos de operación y cantidad de lote de 8 pedidos.

PEDIDOS	CANTIDAD	TA	TB	TC
Nº 2 (Prioridad 1) Nº 4 (Sin prioridad) Nº 7 (Sin prioridad)	12 unid	245	345.5	600
Nº 1 (Sin prioridad) Nº 5 (Sin prioridad) Nº 8 (Prioridad 3)	26 unid	300	468	1300
Nº 3 (Sin prioridad) Nº 6 (Prioridad 2)	52 unid	380	565.5	2500

Se define las siguientes variables de decisión para los pedidos  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$

- $A_j$ : Tiempo de inicio del proceso de elaboración de molde del pedido  $j$
- $B_j$ : Tiempo de inicio del proceso de corte del pedido  $j$
- $C_{ij}$ : Tiempo de inicio del proceso de confección de casaca del operario  $i = 1, 2, 3$  en el pedido  $j$
- $TA_j$ : Tiempo de operación del proceso de elaboración de molde del pedido  $j$
- $TB_j$ : Tiempo de operación del proceso de corte del pedido  $j$
- $TC_{ij}$ : Tiempo de operación del proceso de confección de casaca en el operario  $i = 1, 2, 3$  del pedido  $j$
- $YC_{ij}$ : Asignación al operario  $i = 1, 2, 3$  el pedido  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$
- $FC_{ij}$ : Final esperado del operario  $i = 1, 2, 3$  en el pedido  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  del proceso de confección de casaca

Los siguientes parámetros.

- $D_A$ : Disponibilidad inicial en la línea de tiempo del proceso A (elaboración de molde)
- $D_B$ : Disponibilidad inicial en la línea de tiempo del proceso B (corte)
- $D_{C_i}$ : Disponibilidad inicial en la línea de tiempo del proceso C (confección de casaca)

$Prioridad_j$ : La prioridad del pedido  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  ingresada manualmente.

Se define, adicionalmente, las variables auxiliares para las restricciones "o bien" en cada proceso:

$$RA1_j, RA2_j, RA3_j, RA4_j, RA5_j, RA6_j, RA7_j, RA8_j;$$

$$RB1_j, RB2_j, RB3_j, RB4_j, RB5_j, RB6_j, RB7_j, RB8_j;$$

$$RC1_{ij}, RC2_{ij}, RC3_{ij}, RC4_{ij}, RC5_{ij}, RC6_{ij}, RC7_{ij}, RC8_{ij};$$

Finalmente se define las variables auxiliares para las restricciones si entonces en cada proceso:  $RYC_{ij}, RYD_{kj}$

**La función objetivo:**

$$MIN = \sum_{j=1}^8 \left( \sum_i^3 FC_{ij} \right) * PRIORIDAD_j$$

**Restricciones:**

Restricciones de secuencia de procesos A y B

$$B_j \geq A_j + TA_j$$

Restricción de la disponibilidad de recurso de cada proceso

$$A_j \geq D_A$$

$$B_j \geq D_B$$

$$C_{ij} \geq D_{C_i}$$

$$D_{kj} \geq D_{D_k}$$

Restricción para garantizar la asignación del pedido  $j$  a un solo costurero  $i$  para el proceso de confección de casaca.

$$\sum_{i=1}^3 YC_{ij} = 1$$

Restricción si entonces, cuya restricción condicional es la asignación del pedido al operario  $i$  en el proceso de casaca. Posteriormente si cumple la condición se aplica la restricción del secuenciamiento del proceso C y el final estimado de C (FC).

$$YC_{ij} \leq M1 * (1 - RYC_{ij})$$

$$B_j + TB_j - C_{ij} \leq M1 * RYC_{ij}$$

$$C_{ij} + TC_{ij} * YC_{ij} - FC_{ij} \leq M1 * RYC_{ij}$$

Restricciones o bien en el proceso A para  $j$  menor que 8. La restricción que garantiza que el proceso A (elaboración de molde) solo trabaje un pedido a la vez. En primer lugar, compara el pedido 1 con los demás pedidos. En las siguientes restricciones compara el pedido 2 con las restantes y así sucesivamente.

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_1 \leq M1 * RA1_j$$

$$A_1 + TA_1 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA1_j)$$

Para  $j$  menor que 8 y mayor igual que 2.

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_2 \leq M1 * RA2_j$$

$$A_2 + TA_2 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA2_j)$$

Para  $j$  menor que 8 y mayor igual que 3.

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_3 \leq M1 * RA3_j$$

$$A_3 + TA_3 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA3_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 4

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_4 \leq M1 * RA4_j$$

$$A_4 + TA_4 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA4_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 5.

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_5 \leq M1 * RA5_j$$

$$A_5 + TA_5 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA5_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 6

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_6 \leq M1 * RA6_j$$

$$A_6 + TA_6 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA6_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 7.

$$A_{j+1} + TA_{j+1} - A_7 \leq M1 * RA7_j$$

$$A_7 + TA_7 - A_{j+1} \leq M1 * (1 - RA7_j)$$

Restricciones o bien en el proceso B para j menor que 8. La restricción que garantiza que el proceso B (corte) solo trabaje un pedido a la vez. En primer lugar, compara el pedido 1 con los demás pedidos. En las siguientes restricciones compara el pedido 2 con las restantes y así sucesivamente.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_1 \leq M2 * RB1_j$$

$$B_1 + TB_1 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB1_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 2.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_2 \leq M2 * RB2_j$$

$$B_2 + TB_2 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB2_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 3.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_3 \leq M2 * RB3_j$$

$$B_3 + TB_3 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB3_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 4.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_4 \leq M2 * RB4_j$$

$$B_4 + TB_4 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB4_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 5.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_5 \leq M2 * RB5_j$$

$$B_5 + TB_5 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB5_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 6.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_6 \leq M2 * RB6_j$$

$$B_6 + TB_6 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB6_j)$$

Para j menor que 8 y mayor igual que 7.

$$B_{j+1} + TB_{j+1} - B_7 \leq M2 * RB7_j$$

$$B_7 + TB_7 - B_{j+1} \leq M2 * (1 - RB7_j)$$

Restricciones o bien en el proceso C para j menor que 8. La restricción que garantiza que el proceso C (confección de casaca) solo trabaje un pedido a la vez. En primer lugar, compara el pedido 1 con los demás pedidos. En las siguientes restricciones compara el pedido 2 con las restantes y así sucesivamente.

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i1} \leq M3 * RC1_{ij}$$

$$C_{i1} + TC_{i1} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC1_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 2

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i2} \leq M3 * RC2_{ij}$$

$$C_{i2} + TC_{i2} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC2_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 3

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i3} \leq M3 * RC3_{ij}$$

$$C_{i3} + TC_{i3} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC3_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 4

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i4} \leq M3 * RC4_{ij}$$

$$C_{i4} + TC_{i4} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC4_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 5

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i5} \leq M3 * RC5_{ij}$$

$$C_{i5} + TC_{i5} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC5_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 6

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i6} \leq M3 * RC6_{ij}$$

$$C_{i6} + TC_{i6} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC6_{ij})$$

Para cada i y para cada j menor que 8 y mayor igual que 7

$$C_{i(j+1)} + TC_{i(j+1)} - C_{i7} \leq M3 * RC7_{ij}$$

$$C_{i7} + TC_{i7} - C_{i(j+1)} \leq M3 * (1 - RC7_{ij})$$

Se define también las variables binarias

$$YC_{ij}, RYC_{ij}$$

$$RA1_j, RA2_j, RA3_j, RA4_j, RA5_j, RA6_j, RA7_j$$

$$RB1_j, RB2_j, RB3_j, RB4_j, RB5_j, RB6_j, RB7_j$$

$$RC1_j, RC2_j, RC3_j, RC4_j, RC5_j, RC6_j, RC7_j$$

#### IV. Resultados:

Para resolver el modelo se utilizó el software AMPL con el Solver CPLEX y se obtuvo los tiempos de inicio de cada pedido, así como la asignación de pedido j al operario i en el caso de confección. En la figura 10 se visualiza el resultado brindado por el software.

```

CPLEX 12.9.0.0: optimal integer solution within mipgap or
absmipgap; objective 8643985

372472 MIP simplex iterations

18913 branch-and-bound nodes

absmipgap = 629, relmipgap = 7.27674e-05

```

Figura 10: Resultados brindados por el software AMPL

En la tabla VII se puede apreciar los valores obtenidos por el software. Mientras que en la tabla 8 se presenta los resultados de las variables C, FC

**Tabla VII:** Tiempos de inicio de los procesos Elaboración de Molde y Corte

PEDIDO	A (Molde)	B (Corte)	YC (Asignación al operario)		
			YC1	YC2	YC3
1	2617.5	2917.5	0	1	0
2	100	345	0	1	0
3	3005.5	3385.5	1	0	0
4	1513.5	1758.5	0	1	0
5	2149.5	2449.5	0	0	1
6	345	725	1	0	0
7	1025	2104	0	1	0
8	725	1290.5	0	0	1

La suma de los FC asciende a 99636.5 que es el valor óptimo brindado por el software AMPL. A partir de los valores obtenidos por el software se elaboró un diagrama de Gantt para visualizar el secuenciamiento de pedidos (figura 11).

**A.4. Resultados**

Las 5S's impactan en el proceso de acabado, reduciendo el proceso en 26 minutos, además que entregan lugares de trabajo más confortantes y seguros. La estandarización mediante sus 3 herramientas detalladas disminuye el tiempo del proceso de confección de casaca en 75 minutos. El modelo de programación lineal permite tener un proceso global más ordenado que impacta en la reducción del tiempo de proceso de corte en 50 minutos.

**Tabla VIII** Tiempos de inicio y finalización del proceso confección de casaca

PEDIDO	C (Confección de casaca)			FC (Final de confección de casaca)		
	C1	C2	C3	FC1	FC1	FC1
1	8351	3385.5	4385.5	0	4685.5	0
2	100	690.5	100	0	1290.5	0
3	3951	9785.5	9358.5	6451	0	0
4	6451	2104	8758.5	0	2704	0
5	10251	5985.5	3058.5	0	0	4358.5
6	1290.5	7285.5	5685.5	3790.5	0	0
7	9651	2702	8158.5	0	3304	0
8	7051	4685.5	1758.5	0	0	3058.5

Finalmente, con una lista de materiales y una programación adecuada de pedidos se evita la sobreproducción en el proceso de corte (23 minutos). Dando como resultado la mejora en lead time de 174 minutos (0.3 días) por lote de 26 unidades.

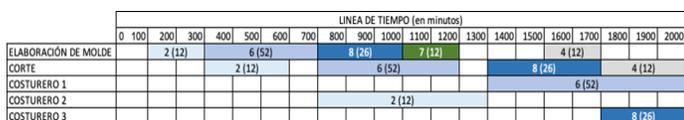


Figura 11: Programación de pedidos visual

Si evaluamos las mejoras en cada proceso tenemos que se incrementa la capacidad diaria de corte (4 unidades), confección de casaca (7.5 unidades), bordado (21.4 unidades) y acabado (47.7 unidades). Donde el proceso cuello de botella continúa siendo el corte, pero al mejorar su capacidad de producción en 12%, incrementa la capacidad de producción de todo el proceso Para visualizar estos resultados ver figura 12 y tabla 9.

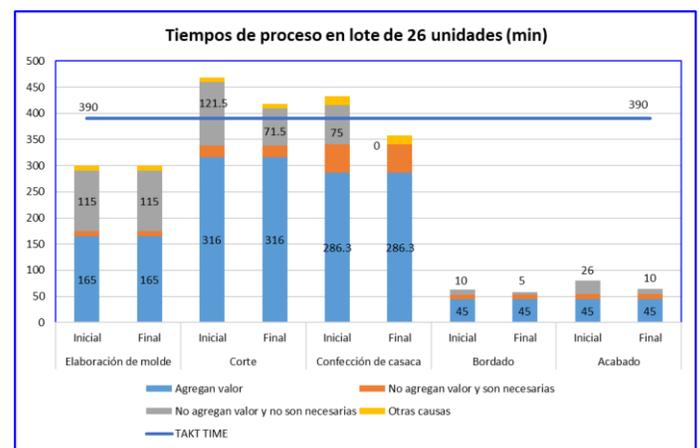


Figura 12: Tiempos de proceso en lote de 26 unidades

**Tabla IX** Tiempos de inicio y finalización del proceso confección de casaca

PROCESO	Tiempo en lote de 26 (min)		Capacidad diaria (unidad)		Variación (unidad)	Variación (%)
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
Elaboración de molde	300	300	52	52	0	0%
Corte	468	418	33.3	37.3	4	12%
Confección casaca	433	358	36	43	7.5	21%
Bordado	63	58	247	269	21.4	9%
Acabados	80	64	193	240	47.7	25%
<b>PROCESO GLOBAL</b>			<b>33.3</b>	<b>37.3</b>	<b>4</b>	<b>12%</b>

**V. CONCLUSIONES**

En el Perú existen miles de pymes con niveles bajos de productividad que requieren de la aplicación de herramientas como Manufactura Esbelta para que puedan competir en el mercado globalizado.

El Mapeo de Flujo de Valor permitió visualizar e identificar el proceso cuello de botella (corte). Este proceso marcaba el ritmo de producción de la empresa en 33 buzos diarios. Con las herramientas implementadas de Manufactura Esbelta se logró incrementar la capacidad a 37 buzos (mejorando 12%).

La identificación de actividades que agregan y no agregan valor permitió dentro de los Diagramas de Operaciones permitió asociar el impacto que tienen los desperdicios en el proceso productivo (lead time).

Las herramientas implementadas corresponden a un proyecto completo de Implementación de Manufactura Esbelta, siendo 5S's y Estandarización las primeras herramientas en ser implementadas, se optó por estas debido a la facilidad de su implementación y al bajo costo que representan en comparación de herramientas más sofisticadas. En su primera etapa, el proyecto obtuvo resultados de TIR 25.3% y VANN 16673 soles.

### Referencias

- [1] Sociedad Nacional de Industrias (2018). Tríptico IEES Junio 2018. Lima
- [2] Ministerio de Producción - Perú (2017). Estudio de la Situación Actual de las Empresas Peruanas. Lima, 1era edición.
- [3] Ministerio de Producción - Perú (2020). Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno. Lima.
- [4] Laguna, R.; Orozco, A.; Piedra, K. & Olarte, G. (2020). Análisis de las exportaciones del sector textil peruano. Análisis Económico y Financiero. VOL 2, 32- 49
- [5] Liker, J.K (2010). Las claves del éxito de Toyota: 14 Principios de Gestión del Fabricante más Grande del Mundo. Grupo Planeta. Barcelona.
- [6] Womack, J.; Jones, D. & Roos, D. (1990). The machine that changed the world. New York: Rawson Associates.
- [7] Cuatrecasas, LI (2016). Claves del Lean Management en tiempos de máxima competitividad. Profit Editorial.
- [8] Onho el sistema de producción de Toyoya
- [9] Womack, J. P & Jones, D. T (2005). Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa.
- [10] Adlin, N.; Nylund, H.; Lanz, M.; Lehtonen, T. & Juuti T. (2020). Lean Indicators for Small Batch Size Manufacturers in High Cost Countries. Procedia Manufacturing 51, 1371 – 1378.
- [11] Veres, C. (2020). Conceptual Model for Introducing Lean Management Instruments. Procedia Manufacturing 46, 233 - 237.
- [12] Hirano, H. (2009). JIT Implementation Manual. New York. Productivity Press.
- [13] Rother, M. & Shook, J. (1999). Observar para crear valor. Massachusetts.
- [14] Womack, J. & Jones, D. (2005). Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa. Barcelona. Gestión 2000.
- [15] Locher, Drew. (2008). Value Stream Mapping the development process: a how-to guide for streamlining time to market. Productivity Press.
- [16] Tesfaye, Y. & Panghal, D. (Setiembre de 2017). Reduction in production time via VSM: A case study. International Journal of Advanced Science and Research, 2, 69 – 76.
- [17] Milkva, M.; Prajová, V.; Yakimovich, B.; Korshunov A. & Tyurin I. (2016). Standardization – one of the tools of continuous improvement. Procedia Engineering 149, 329-332.
- [18] Antonioli, I.; Guariente, P.; Pereira T.; Pinto Ferreira, L. & Silva, F. (2017). Standardization and optimization of an automotive components production line. Procedia Manufacturing (13), 1120 -1127.
- [19] Chase, R.; Jacobs, R. & Aquilano, N. (2009). Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministro. McGraw – Hill / Interamericana Editores. México D.F.
- [20] Hillier, F. & Hillier, M. (2008). Métodos cuantitativos para administración. McGraw – Hill / Interamericana Editores. México D.F.