

Improvement in the washing and dyeing clothes processes using lean manufacturing tools and mathematical optimization

Tatiana Collantes Champi, Ing¹, Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Alexia Cáceres Cansaya, Ing.¹, Miguel Rodríguez Anticona, Ing.¹, Renzo Benavente Sotelo, Mg.¹, Steffano Reyes Arteaga¹
¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, collantesc.t@pucp.pe, jrojas@pucp.pe, alexia.caceres@pucp.pe, miguel.rodriguez@pucp.pe, renzo.benavente@pucp.pe, s.reyes@pucp.pe

Abstract -- In Peru, during last decade, both SME and MSE represent the biggest percentage of the enterprise sector. Likewise, the textile sector has a high potential added value to position itself in the local and international market; however, due to the international market competence, its positioning in Latin America has been decreasing. This is the reason why this research appears in order to produce value in a textile sector SME, this SME dedicates exclusively to the finishing process of clothes. The principal objective is the optimization of the production processes and the resources usage in the laundry and dyeing lines through the applying of both lean manufacturing and mathematic optimization tools. The research started with the SME diagnosis and the analysis of its process through waste identification and critical areas and factors. Tools such as Value Stream Mapping and 5 Whys were applied showing that the main problems were the number of reprocessed clothes and work in process inventory. After that, the 5s methodology was implemented as the base of the continual improvement organizational culture, the kanban system minimized the work in progress inventory; both of this with the kaizen philosophy in mind; finally, resources usage optimization through work standardization and operations research tools.

For the final step, the economic impact of the research proposals was evaluated and showed an annual profit increase of approximately S/. 200757.744. Besides process waste was removed which was reflected in a 12% capacity increase.

Keywords– Lean manufacturing, clothing sector, mathematic modeling, dyeing process optimization.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.179>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Mejora en el proceso de lavado y teñido de prendas de vestir usando herramientas de manufactura esbelta y optimización matemática

Tatiana Collantes Champi, Ing¹, Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Alexia Cáceres Cansaya, Ing.¹, Miguel Rodríguez Anticona, Ing.¹, Renzo Benavente Sotelo, Mg.¹, Steffano Reyes Arteaga

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, collantesc.t@pucp.pe, jrojas@pucp.pe, alexia.caceres@pucp.pe, miguel.rodriguez@pucp.pe, renzo.benavente@pucp.pe, s.reyes@pucp.pe

Abstract— *In Peru, during last decade, both SME and MSE represent the biggest percentage of the enterprise sector. Likewise, the textile sector has a high potential added value to position itself in the local and international market; however, due to the international market competence, its positioning in Latin America has been decreasing. This is the reason why this research appears in order to produce value in a textile sector SME, this SME dedicates exclusively to the finishing process of clothes. The principal objective is the optimization of the production processes and the resources usage in the laundry and dying lines through the applying of both lean manufacturing and mathematic optimization tools. The research started with the SME diagnosis and the analysis of its process through waste identification and critical areas and factors. Tools such as Value Stream Mapping and 5 Whys were applied showing that the main problems were the number of reprocessed clothes and work in process inventory. After that, the 5s methodology was implemented as the base of the continual improvement organizational culture, the kanban system minimized the work in progress inventory; both of this with the kaizen philosophy in mind; finally, resources usage optimization through work standardization and operations research tools.*

For the final step, the economic impact of the research proposals was evaluated and showed an annual profit increase of approximately S/. 200757.744. Besides process waste was removed which was reflected in a 12% capacity increase.

Keywords— *Lean manufacturing, clothing sector, mathematic modeling, dying process optimization.*

Resumen— *En el Perú, durante la última década, tanto las Pymes como Mypes representan el mayor porcentaje del sector empresarial; asimismo, el sector textil es uno de los potenciales rubros en posicionarse con mayor valor agregado en el mercado nacional e internacional; sin embargo, debido a la competitividad del mercado extranjero, ha ido perdiendo posicionamiento en América Latina. Es por ello, que la presente investigación surge para generar valor en una Pyme del sector textil, dedicada exclusivamente a los procesos de acabado de prendas de vestir. Siendo el principal objetivo optimizar los procesos de producción y los recursos en la línea de lavado y teñido mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta y optimización matemática. La investigación inicio con el diagnóstico de la empresa y el análisis de los procesos, mediante la identificación de desperdicios, factores y áreas críticas, usando herramientas como Value Stream Mapping y los 5 porqués, obteniendo como principales problemas el número de prendas reprocesadas e inventarios en el proceso.*

Posteriormente se implementó la metodología de 5S's como base de cultura organizacional de mejora continua, el sistema Kanban para minimizar el nivel de inventario en tránsito, Kaizen como filosofía, estandarización de trabajo e investigación de operaciones para optimizar el uso de los recursos. Finalmente se evaluó el impacto económico de las propuestas de investigación con un incremento en las utilidades de aproximadamente S/. 200,757.744 soles al año. Además, se eliminó los desperdicios de proceso, lo cual impacto en un incremento de la capacidad del 12%.

Palabras clave— *manufactura esbelta sector textil, modelación matemática, optimización del proceso de teñido.*

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el sector textil peruano se ha enfrentado a una serie de cambios, donde las Pymes y Mypes han sobrevivido a la guerra de precios con los competidores extranjeros. La confección de ropa y elaboración de textiles, son una de las industrias más globalizadas con complejos sistemas de producción a la vanguardia de nuevas tecnologías, metodologías y técnicas que les permita liderar en calidad de producto y bajos costos. Por otro lado, en nuestro país el sector textil es la primera división dentro de la industria manufacturera, representando el 10% de la producción manufacturera y el 27% del total de la Población Económicamente Activa, según el Ministerio de Producción (Diario Gestión, 2013). Lo que refleja su nivel de empleabilidad; por lo tanto, es prioritario realizar el uso eficiente de recursos, controlar costos y mantener un ambiente laborable seguro para nuestros colaboradores.

Dentro del enfoque internacional, Unión Europea, el sector textil y confección es una industria basada en las pymes que representan más del 90% de la fuerza de trabajo y producen casi el 60% del valor agregado [1]; análogamente el Perú presenta una situación similar, en donde las Mypes y Pymes representan el 99.5% del total de la fuerza laboral [2], contribuyendo al aumento de empleo y al incremento del PBI.

Según el INEI, durante los últimos cuatro años, el crecimiento de la economía peruana se ha visto reflejada en la tasa de crecimiento de las Pymes, donde el 26.7% del total de las empresas pertenecen al sector textil y confecciones [3]. Sin embargo, en los últimos años el sector ha perdido competitividad frente a los precios de países asiáticos, no siendo la única variable causal el precio, sino también la

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.179>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

variable de análisis de la calidad influyo en este fenómeno. Además, los precios de venta de las confecciones chinas oscilan entre un 20% y 25% menor que el precio nacional [4]. Reflejado en la desaceleración de -11.05% en la confección de prendas, según reporte del INEI, todo generado por la baja demanda externa proveniente de USA por productos de algodón [5]; lo que evidencia que el entorno de la industria textil peruana se ve afectada por factores tanto exógenos como endógenos.

Las industrias textiles peruanas, actualmente, están en la obligación de contar con procesos efectivos que les permitan ser más competitivos y rentables en su rubro, disminuir sus costos, aumentar su calidad y mantener su presencia en el mercado. Siendo de vital importancia investigar e invertir en nuevas técnicas, tecnologías y mercados potenciales para poder resurgir. Es por ello que la presente investigación se centra en dos unidades de negocio, la primera enfocada al servicio de lavado y teñido masivo de prendas de vestir y el segundo dedicado a la producción de una amplia gama de prendas de vestir especializados en pantalones drill, jeans, polos para sus propias marcas y terceros; cuyo objetivo es optimizar los procesos productivos y recursos, además de aumentar sus indicadores de productividad y disminuir sus ratios de reprocesamiento.

II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se detallará el estado del arte y definiciones conceptuales de las principales herramientas que servirán de soporte a la presente investigación:

A. *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing fue desarrollado hace décadas, principalmente por las empresas Ford y Toyota, esta filosofía se ha ido perfeccionando con el tiempo por investigadores y profesionales, no hay modelo único para su implementación [6]. Muchos expertos coinciden que para el éxito de la aplicación se requiere una amplia planificación, análisis, formación, la comunicación y, tal vez lo más importante, control continuo en cada uno de los procesos de implementados que generan los beneficios. Según diversos investigadores, la implementación del Lean Manufacturing se define como el proceso de aplicación de un conjunto de principios y prácticas, explorando sus sinergias y adaptándolos a las particularidades de cada empresa. Los procesos de implementación Lean Manufacturing no tiene fin [7], ya que se basa en la mejora continua [8]. Los principios claves del Lean Manufacturing son la eliminación de residuos, la estrategia de producción, control y mejora de la calidad, el compromiso y la participación de los empleados de gestión, y la participación del vendedor - proveedor.

A.1. *Desperdicios o muda*

La metodología de Lean Manufacturing se enfoca en la eliminación del desperdicio. La palabra Mura, Muri y Muda son tres palabras japonesas que forman parte de Kaizen. Mura, Muri, Muda, conocidas como las 3 Mu, van siempre juntas, las

cuales ayudan a identificar y eliminar todo aquello que no agrega valor, desperdicio o muda [9], dando como resultado una mayor agilidad y eficiencia, sin errores ni defectos, capaces de responder a los requerimientos y expectativas del cliente. Una práctica común en el área de producción es que los gastos en recursos que no creen valor para el producto final del cliente sean considerados como un desperdicio y por lo tanto el objetivo centrar esfuerzos en eliminarlos [10]. Los principales desperdicios son [10, 11]:

- **Transporte:** Actividad asociada al transporte de materiales que no crea valor, pero es indispensable. Genera costos, retrasos, o un aumento de daños.
- **Espera:** Ocurre cuando los operadores están detenidos a la espera de piezas, maquinas, o de otros colegas. Las posibles causas son por lo general la falta de material en almacén.
- **Movimiento:** Personas o equipos móviles o caminatas más de lo necesario para realizar el procesamiento.
- **Inventario:** Se refiere a las materias primas, producto en proceso o productos terminados que se encuentran en un taller y almacén. Sin embargo, el periodo de almacenamiento de productos y componentes es un tiempo que no añade ningún tipo de valor, genera costos y riesgos.
- **Sobre-procesamiento:** Incluyen el uso de componentes complejos y caros, procesos que agregan valor pero que no se hacen de la manera más eficiente.
- **Sobreproducción:** Cuando el producto se produce más de la demanda solicitada, se relaciona con la muda en la pérdida de existencias de productos terminados.
- **Defectos:** existen diversos tipos de defectos de producción que aumentan los tiempos, estos pueden ocurrir reiteradas veces y representar una amenaza para la compañía.
- **Talento mal empleado:** Personas que realizan trabajos innecesarios y no se usa al máximo de sus capacidades.

Adicionalmente, en un proceso pueden encontrarse en un proceso. Tipo Uno, son aquellas actividades que no crean valor para el cliente final, pero que son necesarias y aún no pueden ser eliminadas, sin embargo, estos desperdicios deben ser minimizados en lo mayor posible. Tipo Dos, son aquellas que no agregan valor para el cliente y pueden ser tratadas de inmediato para su pronta y rápida eliminación.

A.2. *Metodología 5S's*

5S es un sistema para reducir los desperdicios y optimizar la productividad y la calidad, mediante la realización de acciones sencillas como mantener una estación de trabajo ordenada, limpia, segura y usando señales visuales para lograr más consistencia en los resultados operacionales. La práctica de las 5S tiene como objetivo integrar los valores de la organización, pulcritud, limpieza, estandarización y disciplina en el lugar de trabajo [12]. Esta herramienta se ha aplicado a varios contextos sin importar el tipo o tamaño de las organizaciones. La implementación de las 5S puede ayudar a descubrir problemas que han ido pasando desapercibidos. Dentro de los beneficios de las 5S, destaca lo siguiente:

- **Seiri y Seiton:** Se encargan de maximizar la eficiencia y efectividad reduciendo los errores humanos, a través de simplificar procesos.
- **Seiso y Seiketsu:** Maximizan la eficacia al contribuir con la seguridad y el bienestar laboral en relación con el aumento de productividad.
- **Shitsuke:** a través del entrenamiento y la educación, se encargan de mejorar el nivel de moral que conduce al incremento de la calidad de vida y trabajo.

A.3. Value stream mapping (VSM)

Value Stream Mapping es una herramienta aplicada al diagnóstico, implementación y mantenimiento. Esta herramienta identifica el valor de las actividades, desperdicios de materiales, desperdicios de flujo de información y desperdicios en el aprovechamiento de las personas. Es decir, es una herramienta eficaz, desarrollada por Mike Rother y John Shook como método para identificar la muda que principalmente ayuda a visualizar los flujos del proceso, a definir la visión futura y, más importante todavía, permite ver las fuentes de desperdicio de la cadena de valor [13].

La incorrecta aplicación del VSM puede complicar la identificación de los desperdicios, generando malas interpretaciones y errores en la evaluación para futuras implementaciones de mejora [14]. Siendo la base de un plan de acción que permite tomar decisiones visibles para cambios y mejoras. Por consiguiente, el VSM es una colección de todas las acciones (valor añadido y sin valor añadido) sobre un producto o un grupo de productos (familia) que utilizan los mismos recursos a través de los principales flujos, a partir de la materia prima y terminando con el cliente [15].

Para el análisis del VSM se considera cinco pasos necesarios: la selección de la familia de productos, el mapeo estado actual, el futuro de mapeo del estado, la definición del plan de trabajo, y poner este plan en práctica [16]. En la figura 1, se presenta un mapa de la cadena de valor de la situación actual que describe desde el flujo de producción hasta que el producto llega al cliente.

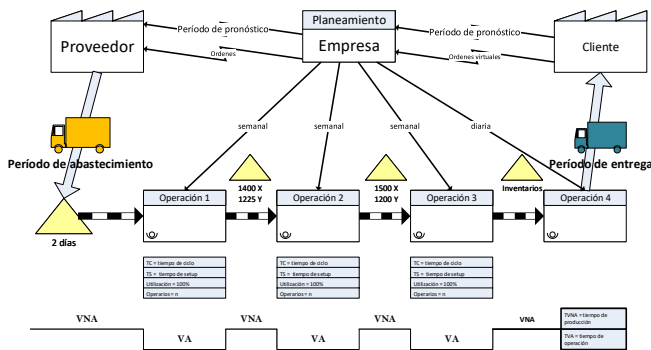


Fig. 1 Mapa de flujo de valor (VSM).

A.4. Kaizen

El Kaizen denominado mejora continua solo puede ocurrir después de un proceso estable y estandarizado, su núcleo y su

aprendizaje están basados en una actitud de autorreflexión e incluso autocritica del deseo de mejorar. Para poder abordar correctamente el Kaizen, es necesario tener estabilidad de personal, una promoción lenta y un sistema cuidadoso de sucesión para proteger los conocimientos de la organización [9]. Los principios básicos del Kaizen son [17]:

- La orientación al cliente.
- Mejora continua.
- Reconocimiento abierto del problema.
- Creación de equipos de trabajo.
- Desarrollo de la autodisciplina.
- Provisión de información constante a los empleados.
- Promoción del desarrollo de los empleados.

B. Investigación de operaciones

La investigación de operaciones es reconocida mundialmente como una ciencia moderna que ayuda a la toma de decisiones y que ha demostrado ser de gran valor para la administración de los negocios y la industria [18], tratando de resolver problemas de gestión y de operaciones en empresas no gubernamentales y gubernamentales. El principal pilar de la investigación de operaciones es el desarrollo de la programación lineal, el cual ha sido clasificado como uno de los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX. Su efecto desde 1950 ha sido extraordinario [19]. En la actualidad es una herramienta que ha ahorrado miles o millones de dólares a muchas compañías o negocios, incluso empresas medianas, en los distintos países industrializados del mundo; su aplicación a otros sectores de la sociedad se ha ampliado con rapidez. Una proporción muy grande de los programas científicos en computadoras está dedicada al uso de la programación lineal, dado el nivel de complejidad de desarrollo que requieren para obtener solución [20]. Dantzig y Thapa (1997) comentan que la programación lineal tiene una relación especial con la programación matemática. La programación lineal tiene un papel análogo al de las derivadas parciales a una función en el cálculo de primer orden. Para muchas aplicaciones, la solución del sistema matemático puede ser interpretada como un programa, es decir, una declaración del tiempo y la cantidad de acciones a realizar por el sistema para que pueda pasar de su estado dado a algún objetivo definido. Los modelos de programación lineal pueden ser muy grandes en la realidad empresarial u organizacional; algunos tienen muchos miles de restricciones y variables. Para resolver grandes sistemas se requieren de softwares especiales. A medida que ha pasado el tiempo el tamaño de los modelos que se pueden resolver ha ido crecido, por lo que ha evolucionado el arte de la gestión de modelación [21].

Un programa lineal es un problema de optimización en el que la función objetivo es lineal en las incógnitas y las restricciones consisten en igualdades lineales y desigualdades lineales. La forma exacta de estas restricciones puede diferir de un problema a otro, pero como se muestra a continuación, cualquier programa lineal puede transformarse en la siguiente forma estándar [21]:

$$\text{minimizar } c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n = b_3$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$\text{y } x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

Donde los b_i , c_i y a_{ij} son constantes reales fijas y los x_j son números reales a determinar. Además, es necesario garantizar que cada $b_i \geq 0$. Las variables x_j se denominan variables de decisión. Por lo general se denotan como: $x_j \geq 0$, $j = 1, 2, \dots, n$. Además, en la programación lineal, el objetivo es siempre maximizar o minimizar alguna función lineal de estas variables de decisión.

III. CASO DE ESTUDIO

A. Situación actual

A continuación, se describirá los productos, maquinaria y personal que constituyen la empresa.

A.1. Descripción de la empresa

La presente investigación se desarrolló en una empresa perteneciente al sector textil, la cual fue constituida hace 26 años, conformado por dos unidades de servicio, el primero enfocado en el lavado, teñido y limpieza de productos textiles, y el segundo dedicado a la confección de prendas de vestir. Las entidades que intervienen en el desarrollo de la empresa son:

- **Clientes:** Son quienes reciben el servicio por parte de la empresa, esperando que sus necesidades sean satisfechas a plenitud.
- **Proveedores:** Son quienes abastecen de insumos químicos, tintes y otros materiales a la empresa.
- **Colaboradores:** Es el equipo de trabajo administrativo y operativo que vela por el crecimiento de la empresa.

La empresa inició en los años 90 como un proyecto familiar, la cual se dedicaba a la producción y comercialización de prendas de algodón, como polos en diferentes calidades algodón 20/1 y 30/1, diferentes modelos y tallas. En el año 2000, añadieron la elaboración de prendas jean, dirigiendo así dos marcas independientes, una exclusiva para damas y otra para caballeros. En el 2004 iniciaron las actividades de servicio a terceros, realizando servicios de confección desde camisetas deportivas hasta uniformes escolares, sin dejar de lado la producción interna para su cadena de marcas propias. En el año 2006 iniciaron sus actividades dedicadas exclusivamente a la prestación de servicios de lavado y teñido de prendas; lo que permitió, un aumento en sus ingresos. En los últimos años, su mayor enfoque ha sido refinar sus procesos de acabado para obtener un mejor servicio. La empresa creció con la misión de ser líderes en su rubro, buscando entregar productos y servicios

de buena calidad a tiempo. Sus fortalezas se basan en su infraestructura y la experiencia de su equipo profesional.

En la presente investigación se abordará la unidad de negocio de lavado y teñido, por ser la actividad que se ha venido realizando periódicamente y genera mayores ingresos. Esta planta de proceso se encuentra ubicada en la zona Pro industriales, San Martín de Porres. Posee una dimensión de 895.32 m², de los cuales aproximadamente 351.8 m² le pertenecen al área administrativa y 543.52 m² le pertenecen a la zona de producción. La planta posee tres niveles. En el primer nivel se encuentran la oficina de gerencia, la caseta de seguridad, almacenes, la zona de bordado y la zona de lavandería y teñido, dentro de la zona productiva se encuentran ubicadas el pozo de agua y la caldera industrial; en el segundo piso se encuentran el área de tendido te tela, corte, diseño, acabado y oficinas administrativas, en el tercer nivel se encuentra la zona de confección; cada uno de los niveles cuenta con sus respectivos servicios higiénicos. En la figura 2 se presenta el layout de la planta del primer nivel.

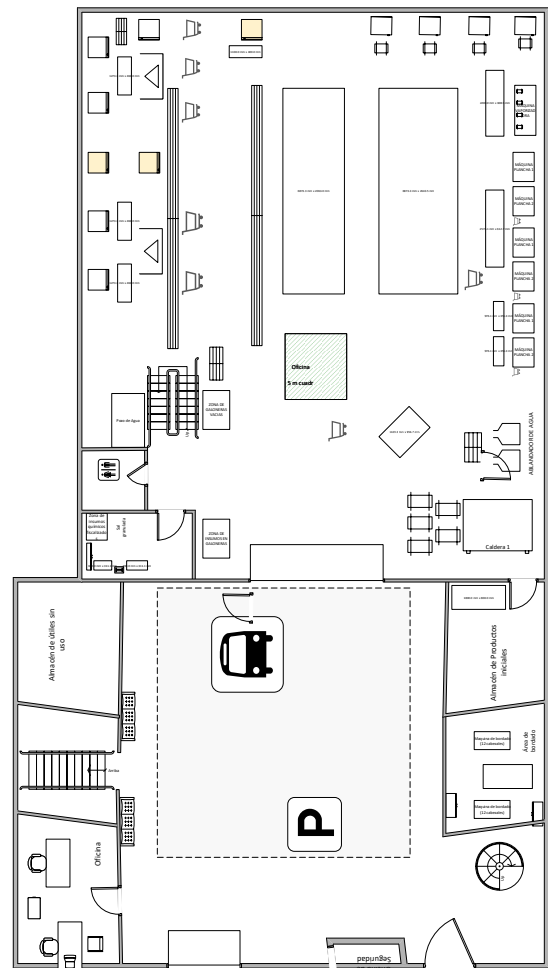


Fig. 2 Layout de la planta nivel 1.

Organización

El organigrama general de la empresa se encuentra basado en la coordinación con todos sus entes y en la supervisión de las mismas; no existe un organigrama oficial sin embargo en la figura 3 se ha recopilado y organizado la formación actual.

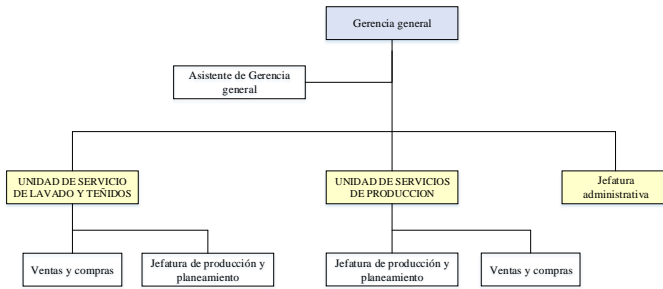


Fig. 3 Layout de la planta nivel 1.

Al ser una Pyme, la dirección está a cargo de un gerente general, quien es apoyado, estratégicamente, por un asistente; de esta forma gerencia toma medidas junto con las otras unidades de negocio, que son retroalimentadas al resto de jefaturas. La empresa posee dos unidades de negocio que se identifican visiblemente en su estructura organizacional; concluyéndose que cada uno posee independientemente sus propias jefaturas para los controles y mejoras de sus unidades.

Descripción de sus productos

Dentro del servicio de lavado y teñido, la compañía posee diferentes procesos de acabado, que son de acuerdo al requerimiento del cliente. En la tabla I, se describe cada uno de los servicios de lavado, teñido y acabado que la empresa ofrece a sus clientes.

Tabla I Descripción de tipo de servicio

Servicios	Descripción	Prenda
Lavado en crudo (solo)	El lavado de una prenda jean pasa por un simple proceso de lavado en crudo y suavizado.	
Teñido en crudo (solo)	Para el proceso de teñido de una prenda en tela cruda, en su mayoría drill o prendas de colores, pasa primero por un proceso de lavado, luego un teñido directo y finalmente una fijación del color.	
Focalizado	Después de haber pasado por un proceso de lavado y teñido la prenda puede pasar por un proceso de focalizado, el cual consiste en blanquear ciertas zonas de la prenda mediante insumos químicos.	
Rasgado	Este servicio se realiza mediante una máquina manual que efectúa pequeños raspones, agujeros y roturas en ciertas zonas de la prenda. Dándole un aspecto maltratado y gastado a la prenda.	
Moteado	Consiste a través de una esponja y chisquete darles una tonalidad nevada a ciertas zonas de la prenda	

Maquinarias y equipos

La unidad empresa cuenta con una variedad de máquinas, equipos de apoyo y utensilios de uso diario en las jornadas.

- *Caldera piro tubular horizontal:* Se cuenta con una caldera de cilindro horizontal que funciona con aceite quemado como combustible. Esta caldera es el corazón de la planta, observe la figura 4.



Fig. 4 Caldera de la planta.

- *Lavadoras industriales frontales:* Dispone de 7 lavadoras; sin embargo, solo 5 se encuentran funcionando y en uso, observe la figura 5.



Fig. 5 Lavadoras frontales industriales.

En la tabla II se detallan las capacidades actuales que manejan cada una de las lavadoras.

Tabla II Capacidad de las lavadoras industriales

Máquina	Tipo	Capacidad (Kg)	Capacidad (Unid.)
Lavadora industrial horizontal frontal	L2	70 kg	100
	L3	20 kg	50
	L4	120 kg	200
	L5	20 kg	50
	L6	70 kg	100

- *Lavadoras de muestra:* La empresa posee 2 máquinas y hace uso de ellos cuando existen colores nuevos. La capacidad es de 12 kg.
- *Centrifugadora hidroextractoras industriales:* Se tiene 2 máquinas centrífugas que se encargan de separar el líquido de las prendas mediante una fuerza centrífuga, observe la tabla III y la figura 6.

Tabla III Capacidad de las centrifugadoras industriales

Máquina	Tipo	Capacidad (Kg)	Capacidad (Unid.)
Centrifuga industrial	C1	70 kg	100
	C2	120 kg	200



Fig. 6 Centrifugadora hidroextractora industrial

- **Secadoras industriales:** Poseen 5 secadoras industriales; sin embargo, solo se encuentran en funcionamiento 4. Estas máquinas se encargan de acortar el tiempo del proceso de secado, mediante la circulación de aire caliente dentro del tambor mientras va rotando las prendas internamente. Observe la tabla IV y figura 7.

Tabla IV
Capacidad de las lavadoras industriales

Máquina	Tipo	Capacidad (Kg)	Capacidad (Unid.)
Secadora industrial	S0	70 kg	100
	S1	70 kg	100
	S2	120 kg	200
	S3	70 kg	100



Fig. 7 Secadoras industriales.

- **Vaporizadores:** Se cuenta con 3 vaporizadores, denominados pretinadoras. La máquina se encarga de darle un planchado consistente y rápido a zonas específicas como las pretinas y bolsillos, observe la figura 8.



Fig. 8 Vaporizador industrial

- **Planchas industriales:** Dispone de cuatro planchas, modelo mesas horizontales. Se hace uso de estas máquinas, en su mayoría, para realizar el proceso de planchado en la zona de las piernas de la prenda, observe la figura 9.



Fig. 9 Plancha industrial

- **Máquina de rasgado:** Dispone de dos máquinas. La primera solo se encarga de hacer pequeñas pinzas en el pantalón, mientras que la otra se encarga de realizar roturas y desgarros en la tela mediante una fuerza ejercida.
- **Ablandador de agua:** Poseen filtros que permiten la realización de una purga al agua que ingresará a la caldera.
- **Mesas de despacho:** Son mesas de grandes dimensiones, en donde se colocan las prendas secas y planchadas.
- **Mesas de soporte:** son mesas de dimensiones medianas que realizan un papel de soporte al operario, es decir permite que el operario se suba a la mesa y pueda realizar el proceso de lavado.

Recursos Humanos

La empresa dispone de 32 trabajadores de los cuales 9 pertenecen al área administrativa mientras que los 23 restantes pertenecen al área de producción.

A.2. Diagnóstico

Los niveles de producción, del servicio de lavado y teñido de las prendas de vestir, en general, han sido variable en los últimos años. En la figura 10 que el nivel de producción ha ido incrementando, considerablemente, en los últimos meses.

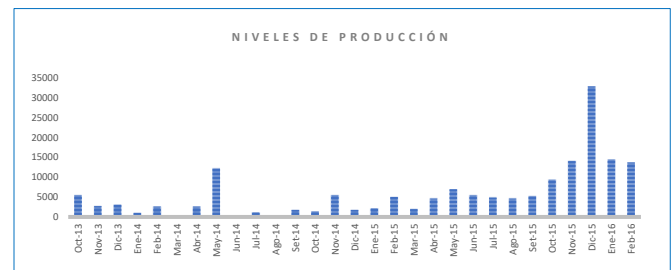


Fig. 10 Niveles de producción

Análisis de Pareto en base a los tipos de servicio.

Existen diversos servicios de acabado que se le puede dar a las prendas. En la figura 11 se muestra los ingresos en soles por tipo de servicio durante el periodo 2014 - 2016. Donde el servicio de lavado y teñido es el servicio estrella, ya que representa más del 80% del total de servicios. Posteriormente se aplicó la herramienta de 5 porqués.

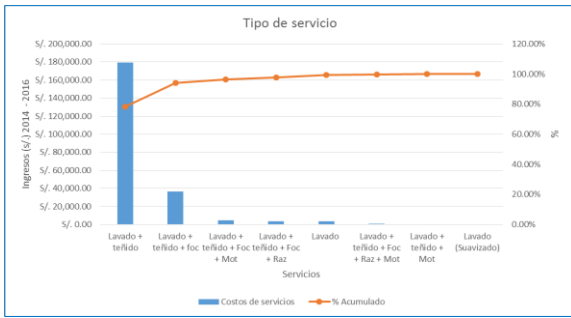


Fig. 11 Diagrama de Pareto con respecto a los ingresos por línea de servicio

Análisis de los 5 porqués

En la figura 12 se observa el análisis de los 5 porqués en el problema de Inventarios en el proceso, donde se muestran la variedad de causas raíces que desencadenan la abundancia de prendas en la línea de producción.

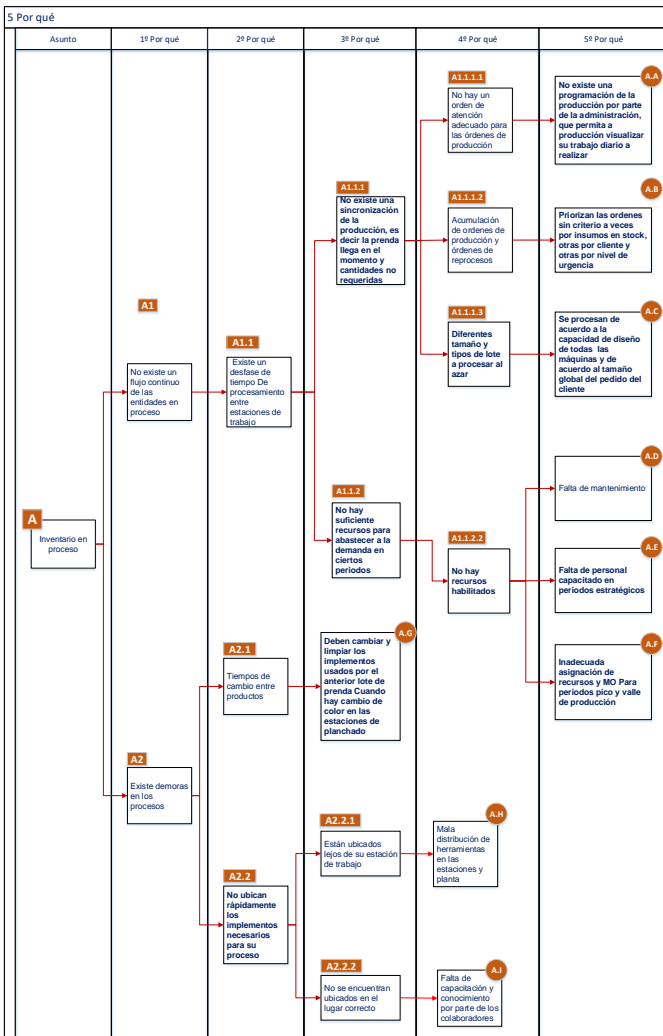


Fig. 12 Aplicación de los 5 porqués para los inventarios en proceso.

En la figura 13 se observa el análisis de los 5 porqués en el problema de Reprocesos, donde se muestran las causas raíces que generan reprocesos y reclamos por partes de los clientes.

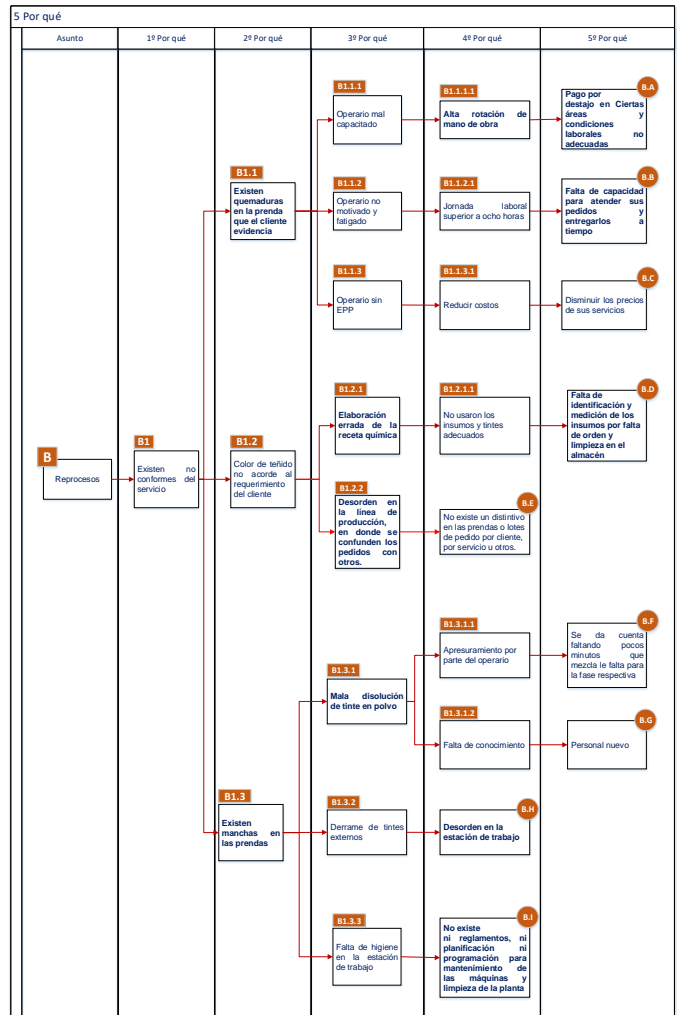


Fig. 13 Aplicación de los 5 porqués para los reprocesos.

Luego del análisis de los 5 porqués se determinó:

- **Inventarios en procesamiento:** En el proceso de lavado y teñido existe una desincronización en la producción y las estaciones de trabajo, debido a que no existe programación de la producción, falta criterio de atención de pedidos, falta de recursos y desorden en la línea de producción.
- **Reprocesos:** La mayoría de los reprocesos suceden por la falta de limpieza en la planta que origina errores en la identificación de materiales y malas mediciones, además el desorden en la línea de producción origina confusión en los pedidos de los clientes. La falta de conocimiento de los procesos productivos y la falta de motivación en los operarios repercute en la calidad del producto.

VSM actual e identificación de los desperdicios

En la figura 14 se observará el análisis del value stream mapping de la situación actual de la empresa. El tiempo de valor agregado presenta un total de 10265.812 segundos que es equivalente a 2.8516 horas. Así también, se observa el lead time de producción con un valor de 2.272549 días. Durante el análisis del VSM se calculó el Takt time y Pitch time.

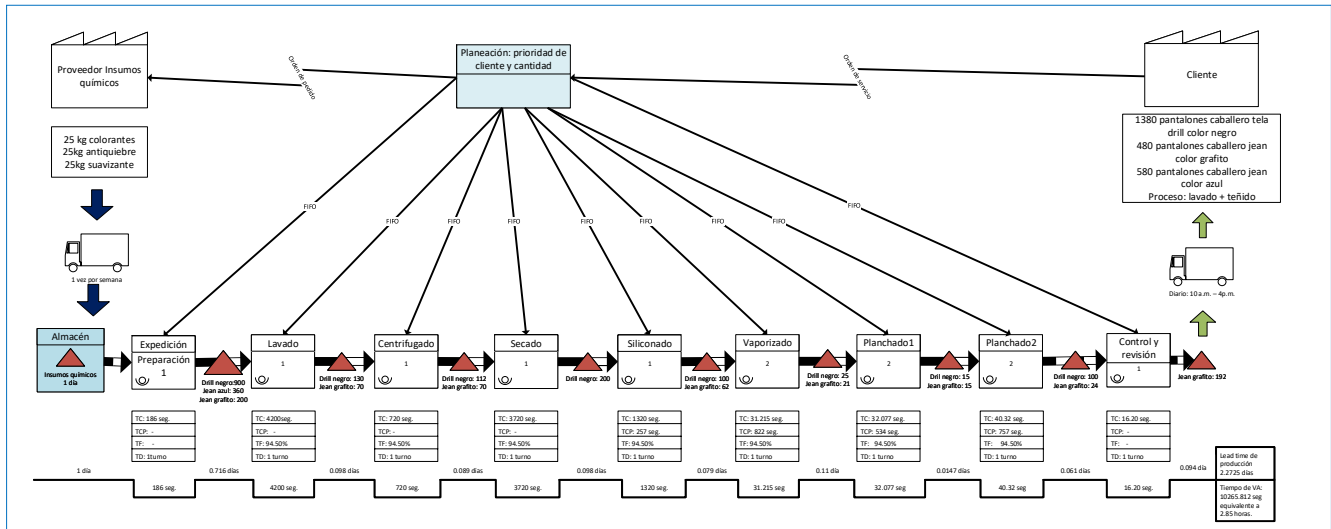


Fig. 14 VSM de proceso de los procesos de lavado y teñido

Tabla V

Capacidad de la planta familia pantalones: drill y jean

N.º	Descripción de operación	T. estándar (s/pr.)	T. estándar final (s/pr.)	T. estándar (h/pr.)	T. estándar (pr./h)	N.º pr.	Capacidad (pr./h)	T. disp. (h)	Capacidad por turno (prendas/turno)
Pantalón de tela jean									
1	Conteo de prendas	0.67	0.67	0.0002	5397.3	1	5397.3	10	53973.01
2	Cerrado de cierre	0.83	0.83	0.0002	4326.92	1	4326.92	10	43269.23
3	Lavado	73.68	14.74	0.0041	244.29	1	244.29	10	2442.86
4	Centrifugado	20.57	10.29	0.0029	350	1	350	10	3500
5	Secado	52.29	13.07	0.0036	275.41	1	275.41	10	2754.1
6	Ordenado	0.86	0.86	0.0002	4176.33	1	4176.33	10	41763.34
7	Pretinado	39.43	19.72	0.0055	182.58	1	182.58	10	1825.84
8	Planchado 1	39.25	19.62	0.0055	183.46	1	183.46	10	1834.6
9	Planchado 2	32.93	16.47	0.0046	218.63	1	218.63	10	2186.29
10	Doblado	16.2	16.2	0.0045	222.22	1	222.22	10	2222.22
Pantalón tela drill									
1	Conteo de prendas	0.67	0.67	0.0002	5397.3	1	5397.3	10	53973.01
2	Cerrado de cierre	0.83	0.83	0.0002	4326.92	1	4326.92	10	43269.23
3	Lavado	56	11.2	0.0031	321.43	1	321.43	10	3214.29
4	Centrifugado	11.25	5.63	0.0016	640	1	640	10	6400
5	Secado	33.6	8.4	0.0023	428.57	1	428.57	10	4285.71
6	Vertido de prenda	8.51	8.51	0.0024	423.03	1	423.03	10	4230.32
7	Siliconado	47.14	11.79	0.0033	305.45	1	305.45	10	3054.55
8	Ordenado	0.86	0.86	0.0002	4176.33	1	4176.33	10	41763.34
9	Pretinado	39.43	19.72	0.0055	182.58	1	182.58	10	1825.84
10	Planchado 1	39.25	19.62	0.0055	183.46	1	183.46	10	1834.6
11	Planchado 2	32.93	16.47	0.0046	218.63	1	218.63	10	2186.29
12	Doblado	16.2	16.2	0.0045	222.22	1	222.22	10	2222.22

Además, debido a los errores del personal, bajos controles de calidad, entre otros se tienen una elevada cantidad de reprocesos, quejas y reclamos por parte los clientes. En la tabla VI se detallan los desperdicios relevantes por proceso.

Tabla VI

Desperdicios por proceso y Frecuencia

Procesos Desperdicios	Proceso						Frecuencia	Frecuencia acumulada	% Acumulado
	Lavado	Centrifugado	Secado	Pretinado	Planchado	Acabado			
Inventarios	x	x	x	x	x	x	7	7	31.82%
Reprocesos	x	x	x	x	x		6	13	59.09%
Movimientos Innesarios	x			x	x		4	17	77.27%
Procesamiento Inadecuado				x	x		3	20	90.91%
Espera		x				x	2	22	100.00%

El Takt Time es la velocidad con la que el cliente demanda las prendas lavadas y teñidas, es decir es el ritmo al que la planta debe trabajar. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Turno de trabajo: } 11 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 39600 \text{ s}$$

$$\text{Refrigerio: } 1 \text{ hora} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

$$\text{Tiempo set up: } 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

$$\text{Tiempo de producción disponible: } 39600 - (3600 + 3600) = 32400$$

$$\text{Demanda promedio diario} = 2040 \frac{\text{prendas}}{\text{diario}}$$

$$\text{Takt Time (TT): } \frac{32400}{2040} = 15.88 \frac{\text{seg}}{\text{prenda}}$$

El pitch time se calcula como: $TT \times \text{Cant. de prendas} = PT$

$$\text{Pitch Time (PT): } 15.88 \times 10 = 158.8 \text{ segundos}$$

Capacidad de la planta

Durante la investigación se obtuvo que el proceso de lavado y teñido de una prenda jean toma mayor tiempo en comparación que una prenda drill, debido a su peso; lo que genera que las cantidades manejadas en un lote de prendas jean sea menor que un lote de prendas drill. En la tabla V se muestra la capacidad de planta para la línea de pantalones jean y drill. La menor capacidad de los procesos indica el cuello de botella de cada tipo de producto, obteniéndose que los clientes solicitan prendas a un ritmo de 15.88 segundos; sin embargo, la planta tiene la capacidad para procesar las prendas a un ritmo de 19.72 segundos por prenda. Esto refleja que la planta no tiene la capacidad para cumplir con los pedidos a tiempo.

A.3. Priorización de desperdicios

Para controlar o eliminar las operaciones que no agregan valor en el servicio de lavado y teñido se evaluó cada uno de los tipos de mudas. En el desarrollo del VSM, se evidencian inventarios en procesamiento siendo los más elevados en el área de lavado, secado, siliconado y centrifugado. Paralelamente al mapeo se observó que dentro del área de lavado existen movimientos innecesarios que no generan valor al producto, evidenciados en la manipulación de las lavadoras.

Finalmente se obtuvo que los principales desperdicios a controlar son los inventarios en procesamiento que representa el 31.82%, el segundo desperdicio que debe ser controlado es el reproceso, que abarca el 59.09% de los desperdicios totales.

B. Propuesta de mejora

Para eliminar los desperdicios se implementó el uso del tamaño del lote óptimo en las estaciones de trabajo, implementación de las 5'S y estandarización de trabajos.

B.1. Modelo para tamaño de lote óptimo

Mediante la programación lineal se calculará la cantidad de lote óptimo en cada una de las estaciones con la finalidad de planificar la producción por turno, evaluar la disponibilidad de las máquinas para procesar otro tipo de prendas y no generar atoramientos en la cadena productiva a lo largo de la jornada laboral. En la figura 15, se observa el flujo actual en máquina.

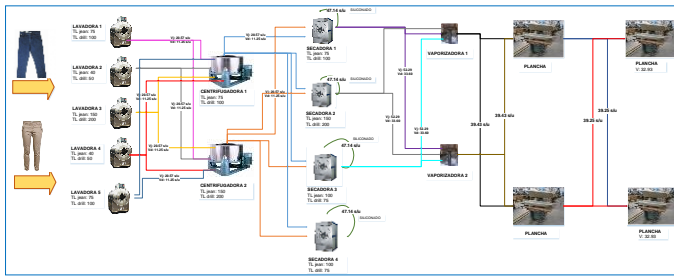


Fig. 15 Flujo actual de las prendas en máquinas

El modelo propuesto considera habilitar una secadora, un vaporizador y adquirir dos planchas adicionales. Sean las siguientes variables a usar en el modelo:

Variables de decisión:

- Xip: Número de lotes a procesar del tipo de prenda "p" en la lavadora "i". Donde "i" = 1, 2, 3, 4, 5.
 - Yjp: Número de lotes a procesar del tipo de prenda "p" en la centrifugadora "j". Donde "j" = 1, 2.
 - Zkp: Número de lotes a procesar del tipo de prenda "p" en la secadora "k". Donde "k" = 1, 2, 3, 4, 5.
- Sea "p" definido como: 1 = jean, 2 = drill.

Función objetivo:

$$Max \left(\sum_{i=1}^5 \sum_{p=1}^2 X_{ip} + \sum_{j=1}^2 \sum_{p=1}^2 Y_{jp} + \sum_{k=1}^5 \sum_{p=1}^2 Z_{kp} \right)$$

Restricciones

Balace de nodos:

$$TL_{1a} \times X_{1a} + TL_{2a} \times X_{2a} + TL_{3a} \times X_{3a} + TL_{4a} \times X_{4a} + TL_{5a} \times X_{5a} \leq TC_{1a} \times Y_{1a} + TC_{2a} \times Y_{2a}$$

$$TL_{1b} \times X_{1b} + TL_{2b} \times X_{2b} + TL_{3b} \times X_{3b} + TL_{4b} \times X_{4b} + TL_{5b} \times X_{5b} \leq TC_{1b} \times Y_{1b} + TC_{2b} \times Y_{2b}$$

$$TC_{1a} \times Y_{1a} + TC_{2a} \times Y_{2a} \leq TS_{1a} \times Z_{1a} + TS_{2a} \times Z_{2a} + TS_{3a} \times Z_{3a} + TS_{4a} \times Z_{4a} + TS_{5a} \times Z_{5a}$$

$$TC_{1b} \times Y_{1b} + TC_{2b} \times Y_{2b} \leq TS_{1b} \times Z_{1b} + TS_{2b} \times Z_{2b} + TS_{3b} \times Z_{3b} + TS_{4b} \times Z_{4b} + TS_{5b} \times Z_{5b}$$

Restricción de demanda:

$$Z_{1a} \times TS_{1a} + Z_{2a} \times TS_{2a} + Z_{3a} \times TS_{3a} + Z_{4a} \times TS_{4a} + Z_{5a} \times TS_{5a} \leq Demanda_a$$

$$Z_{1b} \times TS_{1b} + Z_{2b} \times TS_{2b} + Z_{3b} \times TS_{3b} + Z_{4b} \times TS_{4b} + Z_{5b} \times TS_{5b} \leq Demanda_b$$

Restricción de capacidad:

Estación de lavado:

$$VX_a \times TL_{1a} \times X_{1a} + VX_b \times TL_{1b} \times X_{1b} \leq 3600 \times CT$$

$$VX_a \times TL_{2a} \times X_{2a} + VX_b \times TL_{2b} \times X_{2b} \leq 3600 \times CT$$

$$VX_a \times TL_{3a} \times X_{3a} + VX_b \times TL_{3b} \times X_{3b} \leq 3600 \times CT$$

$$VX_a \times TL_{4a} \times X_{4a} + VX_b \times TL_{4b} \times X_{4b} \leq 3600 \times CT$$

$$VX_a \times TL_{5a} \times X_{5a} + VX_b \times TL_{5b} \times X_{5b} \leq 3600 \times CT$$

Estación de centrifugado:

$$VY_a \times TC_{1a} \times Y_{1a} + VY_b \times TC_{1b} \times Y_{1b} \leq 3600 \times CT$$

$$VY_a \times TC_{2a} \times Y_{2a} + VY_b \times TC_{2b} \times Y_{2b} \leq 3600 \times CT$$

Estación de secado:

$$(VZ_a) \times (TS_{1a} \times Z_{1a}) + (VZ_b) \times (TS_{1b} \times Z_{1b}) + (VS_b) \times (TS_{1b} \times Z_{1b}) \leq 3600 \times CT$$

$$(VZ_a) \times (TS_{2a} \times Z_{2a}) + (VZ_b) \times (TS_{2b} \times Z_{2b}) + (VS_b) \times (TS_{2b} \times Z_{2b}) \leq 3600 \times CT$$

$$(VZ_a) \times (TS_{3a} \times Z_{3a}) + (VZ_b) \times (TS_{3b} \times Z_{3b}) + (VS_b) \times (TS_{3b} \times Z_{3b}) \leq 3600 \times CT$$

$$(VZ_a) \times (TS_{4a} \times Z_{4a}) + (VZ_b) \times (TS_{4b} \times Z_{4b}) + (VS_b) \times (TS_{4b} \times Z_{4b}) \leq 3600 \times CT$$

Estación de vaporizado y planchado:

$$(VV/3) \times (TS_{1a} \times Z_{1a} + TS_{2a} \times Z_{2a} + TS_{3a} \times Z_{3a} + TS_{4a} \times Z_{4a} + TS_{5a} \times Z_{5a} + TS_{1b} \times Z_{1b} + TS_{2b} \times Z_{2b} + TS_{3b} \times Z_{3b} + TS_{4b} \times Z_{4b} + TS_{5b} \times Z_{5b}) \leq 3600 \times CT$$

$$(VP1/3) \times (TS_{1a} \times Z_{1a} + TS_{2a} \times Z_{2a} + TS_{3a} \times Z_{3a} + TS_{4a} \times Z_{4a} + TS_{5a} \times Z_{5a} + TS_{1b} \times Z_{1b} + TS_{2b} \times Z_{2b} + TS_{3b} \times Z_{3b} + TS_{4b} \times Z_{4b} + TS_{5b} \times Z_{5b}) \leq 3600 \times CT$$

$$(VP2/3) \times (TS_{1a} \times Z_{1a} + TS_{2a} \times Z_{2a} + TS_{3a} \times Z_{3a} + TS_{4a} \times Z_{4a} + TS_{5a} \times Z_{5a} + TS_{1b} \times Z_{1b} + TS_{2b} \times Z_{2b} + TS_{3b} \times Z_{3b} + TS_{4b} \times Z_{4b} + TS_{5b} \times Z_{5b}) \leq 3600 \times CT$$

El modelo se ejecutó en AMPL con el Solver Cplex y se obtuvo que la capacidad del sistema está delimitada por 2025 prendas, se realizó variaciones en la demanda tomando en cuenta un horizonte de tiempo de 10 horas, la tabla VII, indica la capacidad de producción.

Tabla VII
Variación de la demanda

DEMANDA DIARIA		MÁQUINAS												
		L1	L2	L3	L4	L5	C1	C2	S1	S2	S3	S4	S5	
Jean	Drill													
825	500													
625	650													
825	0													
0	1200													
800	950													
800	800													
1750	250													

Horizonte de tiempo: 10 horas

B.2. Implementación de las 5S's

Paso 1: Identificar las zonas 5S - A continuación, se presenta un Layout con las dos zonas, en dónde se identifican las áreas de aplicación 5S's, observe la figura 16.

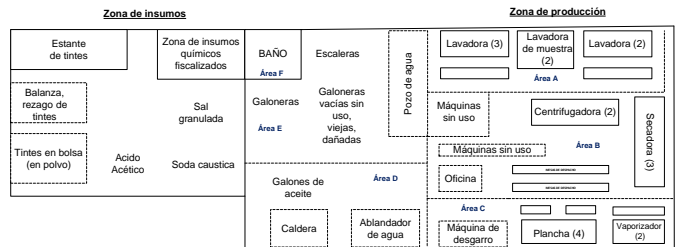


Fig. 16 Identificación de zonas 5

Posteriormente, se procederá a preparar un tablero de gestión visual, ver figura 17, ubicado en el área B, sector oficina.

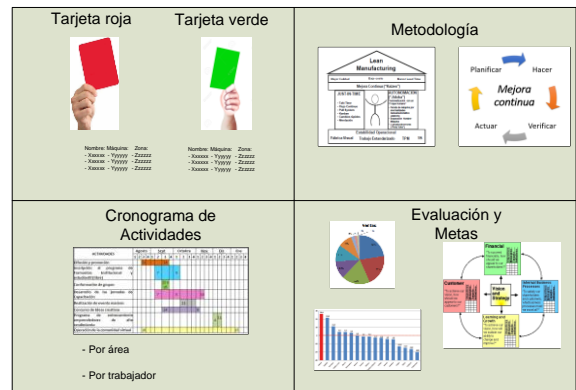


Fig. 17 Tablero de gestión visual para las 5S

Paso 2: Formar los equipos 5S. Se iniciará con la formación de equipos de trabajo liderados por el consultor junior en lean. En la gerencia se encuentran los auditores, quiénes serán representados por el ingeniero de planta, el consultor, gerente general y asistente de gerencia. Debajo de ellos se tiene al ingeniero de planta liderando a su equipo de operarios líderes.

Paso 3: Seleccionar la zona piloto de aplicación. La primera zona de aplicación será el almacén de materia prima, ya que es una zona crítica y de gran impacto. Posteriormente, se iniciará con la implementación de las 5S's en la zona productiva.

Paso 4: Registrar la situación actual. La zona de insumos y la zona productiva queda reflejada mediante fotografías para la estandarización de los procesos.

Limpieza profunda inicial + 5S: Se iniciará con una limpieza y luego el desarrollo de cada una de las fases.

B.3. Estandarización de trabajo, Kaizen, Poke Yoke:

Dentro del diagnóstico se evidencio una serie de problemas, los cuales pueden solucionarse mediante medidas sencillas y de baja - media complejidad. Por ejemplo, con el uso de Kaizen – Poke Yoke, donde se desarrolló a continuación diversas oportunidades de mejora que aportarán significativamente a la organización; así mismo, se pretende fomentar una cultura de mejora continua en todos los trabajadores, de tal forma que ellos mismos busquen soluciones a problemas diarios. Respecto a la metodología Poke Yoke, colocar alarmas que serán programadas por el jefe de planta apenas ingrese la orden de producción a la estación de lavado. De este modo los colaboradores sabrán con minutos previos de anticipación que mezcla deben preparar, traer y vaciar. La alarma será programada para cada inicio de fase. Y ellos podrán ser partícipes e identificar que mejoras realizar a mayor detalle en cada una de las fases de lavado. Además, se implementará un tablero de órdenes de producción denominado tablero O/Pd, en donde se identificarán los pedidos por parte del cliente, este tablero estará ubicado en la oficina del ingeniero. Los trabajadores podrán observar este tablero que contendrá tres columnas, Pedidos, Proceso y órdenes Atendidos.

IV. CONCLUSIONES

Con el modelo matemático se pudo optimizar el aprovechamiento de la capacidad del lavado. Para el caso de producción mixta se obtuvo 1200 prendas drill y 825 prendas jean por turno laboral.

Las herramientas Lean manufacturing aplicadas deberán ser medidas cuantificablemente, ya que la inversión en las 5S's debe impactar positivamente en la tasa de reprocesos, fallas y tiempos de entrega. Además, el uso de los 5 porqués detallo los puntos críticos y las causas raíces que desencadenan el valor y competitividad de la organización.

Finalmente se evaluó el impacto económico de las propuestas de investigación con un incremento en las utilidades de aproximadamente S/. 200,757.744 soles al año. Además, se

eliminó los desperdicios de proceso, lo cual impacto en un incremento de la capacidad total del 12%.

REFERENCIAS

- [1] Dity, S. (2015). Europe in the World: The garment, textiles & fashion industry. Fashion Revolution. Acceso el 20 de octubre de 2018. <https://www.fashionrevolution.org/europe-in-the-world-the-garment-textiles-fashion-industry/>
- [2] La República (2015). Las pymes y la economía peruana. Publicado el 19 de mayo de 2015. Acceso el 12 de noviembre de 2018. <https://larepublica.pe/economia/189727-las-pymes-y-la-economia-peruana>
- [3] empreNDE (2013). INEI: El 99.6% de empresas son micro, pequeñas y medianas, pero las grandes concentran el 79% de ventas. Publicado por Roberto Rosado el 3 setiembre de 2013. Acceso el 03 de noviembre de 2018. <http://emprende.pe/inei-el-99-6-de-empresas-son-micro-pequenas-y-medianas-pero-las-grandes-concentran-el-79-de-ventas/>
- [4] El Comercio (2015). Confecciones asiáticas son 25% más baratas que las peruanas. Publicado por Zaida Ysla el 17 abril de 2015. Acceso el 03 de noviembre de 2018. http://elcomercio.pe/economia/peru/confecciones-asiaticas-son-25-mas-baratas-que-peruanas-noticia-1804808?ref=flujo_tags_362928&ft=nota_2&e=titulo
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2015). Informe técnico N°3 marzo 2015. Informe de producción nacional. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n03_produccion_ene2015.pdf
- [6] Industrial Engineer (2015). Lean in six steps: The right best practices can drive a company's complete transformation. Industrial Engineer - Engineering and Management Solutions at Work. May 2015. Volume 47. Number 5. Author: Walter Garvin.
- [7] Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve. International Journal of Operations & Production Management, 24(10).
- [8] Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. Journal of Operations Management, 25(4), 785–805.
- [9] Liker, J. K (2011). Toyota: Como el fabricante más grande del mundo alcanzó el éxito, pp 335.
- [10] Womack, J., & Jones, D. (2003). Lean Thinking banish waste and create wealth in your corporation. First Free Press Edition 2003.
- [11] Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Tokyo: Productivity.
- [12] Takashi Osada (1991). The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment.
- [13] Gómez, P. (2010). Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad.
- [14] Dal Forno, A.; Pereira, F., Forcellini, F. & Kipper, M. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol 72, pp. 779 – 790.
- [15] Tabanlı, R. M., & Ertay, T. (2012). Value stream mapping and benefit-cost analysis application for value visibility of a pilot project on RFID investment integrated to a manual production control system—a case study. The International Journal of Advanced Manufacturing.
- [16] Serrano Lasa, I., Ochoa Laburu, C., & de Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. Business Process Management Journal, 14(1), 39–52.
- [17] Aoki, K. (2008). Transferring Japanese kaizen activities to overseas plants in China. International Journal of Operations & Production Management, 28(6), 518–539.
- [18] Arjang A. Assad & Saul I. Gass (2011). Profiles in Operations Research Pioneers and Innovators. International Series in Operations Research & Management Science. Volume 147. Springer New York.
- [19] Robert J. Vanderbei (2014). Linear Programming Foundations and Extensions. International Series in Operations Research & Management Science. Volume 196. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- [20] Hillier, F. & Liberman, G. (2015). Introduction to operations research. Mcgraw Hill Education.
- [21] Dantzig, g. & Thapa, M. (2015). Linear Programming. Vol 1 – Introduction. Springer New York.