

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Propuesta de simulación de un plan de mantenimiento para la mejora de la
productividad en la empresa El Águila SRL**

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

AUTOR

César Augusto Romero Pinedo

ASESOR

Marcos Gregorio Baca Lopez

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

Chiclayo, 2021

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Introducción	5
Referencias	20

Resumen

El mantenimiento constante de maquinaria en una planta es de vital importancia, tanto para el correcto desarrollo de las actividades productivas como para la calidad del producto. Por ello, el presente trabajo tuvo como fin la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo anual para el aumento de la productividad en el proceso de elaboración de sacos de polipropileno en una empresa del rubro. Se identificó el principal problema como la generación de mermas, siendo el área de extrusión aquella que mayor desperdicio generaba (94 kg/turno), por lo cual se propuso un plan de mantenimiento preventivo anual a la línea extrusora. En adición, gracias al DAP de proceso se identificaron actividades innecesarias y otras con posibilidad de ejecutarse en simultáneo, obteniendo nuevos tiempos estándar para la ejecución de un pedido genérico. La implementación de ambas propuestas en conjunto fue simulada, evidenciando la reducción de mermas hasta 50 kg/turno, lo cual significó un aumento en la productividad de la línea extrusora hasta un 98.5%, además, una reducción en los tiempos de procesamiento lo que duplicó la producción de fardos mensual de 120 a 260, generando un beneficio para la empresa de S/ 2 164 724,4 por sobre lo generado actualmente.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, Productividad, Mermas, Sacos de polipropileno.

Abstract

The constant maintenance of machinery in a plant is of vital importance, both for the correct development of productive activities and for the quality of the product. For this reason, the present investigation was aimed at proposing an annual preventive maintenance plan to increase productivity in the manufacturing process of polypropylene bags in a company in the plastics industry. The main problem was identified as the generation of waste, being the extrusion area the one that generated the greatest waste (94 kg / turn), for which an annual preventive maintenance plan was proposed for the extruder line. In addition, thanks to the PAD of the process, unnecessary activities and others with the possibility of executing simultaneously were identified, obtaining new standard times for the execution of a generic order. The implementation of both proposals together was simulated, showing the reduction of waste up to 50 kg / turn, which meant an increase in the productivity of the extruder line up to 98.5%, in addition, a reduction in processing times which doubled monthly bale production from 120 to 260, generating a profit for the company of S / 2 164 724.4 above what is currently generated.

Keywords: Preventive maintenance, Productivity, Waste, Polypropylene bags.

Introducción

La industria del plástico ha crecido constantemente con el paso de los años, sin embargo, desde la década de los 70's se ha acelerado a un crecimiento exponencial. El volumen de plásticos en 1950 era de 1,5 millones de toneladas métricas, aumentando a 50 millones para 1976. Posterior a ese año el crecimiento se tornó exponencial llegando a 360 millones de toneladas métricas para el año 2018. [1] Si bien los plásticos y polímeros tienen propiedades beneficiosas respecto a otros materiales por su resistencia y durabilidad, también causan a la par situaciones negativas como afecciones medioambientales. A nivel nacional, la ley que regula el uso de plásticos es la N°30884 [2], promulgada en 2018 y que, si bien excluye de su marco normativo a toda bolsa de base polimérica cuyo fin sea el de contener y trasladar alimentos a granel o de origen animal, como es el caso de los sacos de polipropileno; debe evitarse el exceso de residuos generados en su producción ya que, al tener un tiempo de vida largo, tienen un impacto acumulativo en el medio ambiente.

El Águila SRL es un fabricante de este tipo de envases (telas y sacos) a base de polipropileno, con miras a ser una de las más exitosas de la región en su rubro. Sin embargo, como toda planta, existen ciertas deficiencias en su maquinaria y/o procesos, lo que hace que existan mermas. Según información recopilada por Heredia [3], la productividad mensual calculada por cada una de las áreas, en cuanto a materiales arrojó los siguientes valores: Extrusión (97%) con 3% de mermas (2 662,85 kg. de cinta), telares (99%) con 1% de merma (1756.95 kg. de tela defectuosa), laminado (97%) con 3% de mermas (1 625 kg. de chancaca), impresión (95%) con 5% de mermas (416 kg. de tintas residuales) finalmente, corte y costura (98%) con 2% de mermas (5 987,8 kg. en sacos de segunda). Como se observa, puede que el porcentaje de mermas no sea considerablemente alto, sin embargo, ello depende de la cantidad de producción (kg. / mes) realizada, además de existir problemas respecto a los procedimientos de trabajo.

En base a lo descrito cabe preguntarse ¿Qué efecto tiene un plan de mantenimiento preventivo y un correcto manejo de recursos, simulados en un escenario del software ProModel, en la productividad de la empresa El Águila SRL? El fin de la presente investigación es el de incrementar la productividad del proceso de elaboración de sacos mediante las dos propuestas mencionadas planteándose para ello como objetivo general el proponer un PMP y simplificar el proceso de producción de la empresa El Águila SRL, desarrollando para ello objetivos específicos, los cuales son: Diagnosticar la situación actual de la producción en la empresa El Águila SRL, simular el proceso productivo de los sacos de polipropileno utilizando el software ProModel, para finalmente, plantear y analizar propuestas de mejora para el proceso productivo.

Marco teórico

Previo al desarrollo de la investigación, es pertinente dejar en claro ciertos conceptos que permitan un mayor entendimiento de los términos y referencias utilizados, iniciando con la materia prima base del proceso. El polipropileno es un hidrocarburo perteneciente a la familia de poliolefinas, obtenido por la polimerización del propileno. Tiene múltiples usos, entre ellos las películas para empaques, rafia, laminaciones, etc., dependiendo del tipo específico de polipropileno y sus propiedades. [4] Existen investigaciones que tratan estos temas y estudian dichas propiedades para la mejora continua de materiales.

Barbosa *et al.* [5], en su artículo titulado “Properties and Morphology of Polypropylene/Big Bags Compounds”, se plantean el análisis térmico, mecánico y morfológico de las propiedades de los productos hechos con materia prima virgen (polipropileno) y un porcentaje de reciclado de big bags (R_{BB}) en un rango de 10 a 50% del peso total, ello con el objetivo de obtener el mejor contenido de RBB a ser agregado; concluyendo finalmente que la mezcla de material virgen con un 30% de reciclado brindaba las propiedades más satisfactorias.

Entre la variedad de usos para el polipropileno, uno de ellos es la elaboración de telas y envases como sacos, los cuales tienen variedad de presentaciones, entre colores, dimensiones y pesos. Estos sacos pasan por diferentes etapas para su fabricación, siendo las básicas: Extrusión, tejido en telar circular, laminado, impresión, conversión y basteado. [6] Como en todo proceso, cuando se utiliza maquinaria, existen diversos problemas, deficiencias en el proceso, lo cual se hace evidente en la baja de la productividad y debe hacerse frente aplicando herramientas ingenieriles.

Florencio [7], en su investigación titulada “Análisis de riesgos en el proceso de elaboración de sacos de polipropileno empresa Reysac”, se enfocó en realizar un análisis de riesgos aplicando la normativa OSHAS 18001. Para ello se identificaron los riesgos por puesto de trabajo, seguido se realizó la evaluación de los mismos y se tomaron las medidas para minimizar dichos peligros. Como resultados se optó por exigir el cumplimiento de los procedimientos adecuados para adoptar la norma, así como la asignación de un responsable a cargo, necesitando para ello una inversión de \$ 33 164,25 que se recuperaría a 5 meses.

Por su parte, Gopura y Jayawardene [8] en su artículo “Analysis of Risks and Bottlenecks of a Poly Bag Manufacturing Factory -A Case Study” analizan no solo riesgos, sino también cuellos de botella en el proceso de manufactura de bolsas de polipropileno, aplicando tres métodos de análisis incluida una matriz FODA. Como resultados se obtuvo que el cuello de botella era causado principalmente por el equilibrio inadecuado en las líneas de producción, así

mismo, los inconvenientes identificados de la fábrica fueron un alto tiempo de entrega, mayor desperdicio, baja productividad y la falta de mantenimiento.

En cuanto al aumento en la productividad, Castillo [9] desarrolla la investigación titulada “Optimización en la producción de sacos utilizando Lean manufacturing para incrementar la productividad en la empresa Atlántica SRL Lambayeque – 2017”, la cual se evocó a elaborar un plan de optimización para la producción de sacos utilizando herramientas Lean, aplicando las 5s para facilitar la ejecución del “mantenimiento autónomo”. Como resultado de la aplicación del método, se prevé que los nuevos ingresos serían de S/ 54 740,00 en los tres meses, obteniendo un B/C de 2.15, reduciendo los sacos clase B.

Salazar [10], presenta el trabajo “Kanban y su incidencia en el lead time de una fábrica de sacos de polipropileno”, donde pretende reducir el Lead time de los sacos pesqueros de 28” en Norsac SA haciendo uso del sistema de etiquetas Kanban y un balance de línea, logrando reducir el número de operarios en enfardado de 2 a 1 y reduciendo el lead time actual en un 27,9%, logrando satisfacer los plazos de entrega de cliente.

Ahora bien, también se han estudiado partes específicas del proceso de manufactura, tal es el caso de la investigación de Navarro [11], que lleva por título “Diseño de un sistema automatizado en el área de corte de la línea de producción de sacos de polipropileno para mejorar la productividad de la empresa PERUSAC E.I.R.L.”, donde se propone optimizar el proceso productivo mediante la automatización en la etapa de corte. Dicha automatización demostró mejoras en ciertos indicadores, el 97,8% del producto que ingresa ya no va a reproceso, el porcentaje de saturación del personal disminuyó de 100% a 29,4% aumentando su productividad y generando un beneficio anual de S/ 107 363,10 sobre la empresa.

Otro punto a considerar para el aumento en productividad viene a ser la reducción del desperdicio en los procesos, tal como lo demuestran Hamad et al. [12] en su caso de estudio denominado “Waste reduction of polypropylene bag manufacturing process using Six Sigma DMAIC approach: A case study”. En el presente se proponen la minimización de residuos en términos de rechazo de sacos utilizando el enfoque Lean SixSigma. Posterior a la aplicación, el nuevo rechazo promedio de sacos tejidos resultó ser 1,13% frente al 2,27% antes de iniciar el proyecto, proporcionando una ganancia financiera de 11 millones de rupias (S/ 580 500,00) por año.

Las investigaciones mencionadas han podido ser aplicadas experimentalmente, así como también quedar en la etapa de planificación, como es el caso de las tesis, sin embargo, pueden utilizarse diversos software para lograr una representación de la realidad, la simulación. Según Cárdenas, García E. y García H. [13], dicha simulación es definida de manera formal como el

“conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio, cuando se presenta un evento determinado...cuyo objetivo es comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema”. Al igual que con la productividad, múltiples investigaciones sobre la industria del envase de polipropileno han sido realizadas.

Gopura, Jayawardene y Amarasena [14], en su investigación “Simulation of a Poly-Bag Manufacturing System”, presentan un modelo matemático para el estudio de simulación de un sistema de manufactura de bolsas de polipropileno. Dicho modelo fue utilizado en simulaciones Montecarlo. El programa de producción se desarrolló logrando la máxima productividad utilizando los resultados simulados, como evidencia se tuvo que las contribuciones del tiempo de impresión, el tiempo de soplado de la película y el tiempo de fabricación de la bolsa para el tiempo mínimo de fabricación son aproximadamente del 79% al 94%, del 3% al 16% y del 2% al 6%, respectivamente.

A su vez, Sprodowski, Sagawa y Pannek [15] en su investigación “Frequency Based model predictive control of a Manufacturing system”, indican que deben incorporarse a los modelos muchas otras influencias dinámicas, como pedidos urgentes o falta de disponibilidad de recursos y para hacer frente a ello, deben emplearse herramientas de teoría de control y modelado dinámico. Por ello, con su modelo dinámico multi producto, el controlador pudo dirigir el sistema de fabricación utilizando una función de costo cuadrática, manteniendo niveles de existencias pequeños.

Finalmente, Mongrut y Tigre [16], en la tesis presentada “Aplicación de la programación lineal en el área de extrusión para optimizar la producción en la empresa PROCOMSAC”, aplican la programación lineal con el software TORA, buscando optimizar la producción en el área de extrusión específicamente. Para ello desarrollan en principio, el diagnóstico de la producción en área de extrusión, para después elaborar el modelo matemático, culminando con la determinación del costo beneficio de la propuesta. Aplicada la maximización en producción de la función “Z”, la utilidad máxima percibida asciende a S/ 837 532,60, reduciendo la utilidad no percibida de 18,73% a 2,40%, recuperando además la inversión en un periodo de 5 meses.

Materiales y métodos

Diagnóstico de la situación actual de la producción.

Debido a la coyuntura actual de pandemia no fue posible el acceso a plantas o empresas para la toma de datos, por ello, la recopilación de información se hizo mediante fuentes secundarias, investigaciones realizadas con anterioridad, con el fin de dar un valor agregado a la misma, es

decir, complementarla. Se recopilaron los datos generales de la empresa, identificando los tipos de productos que fabrican y ofertan, además de las materias primas, aditivos e insumos requeridos para dicha elaboración. Seguido se obtuvo el diagrama de flujo para el reconocimiento de las etapas del proceso productivo y el diagrama de análisis de procesos (DAP) con el fin de corroborar los tiempos estándar por rollo de tela, plasmados en una tabla resumen. Esta información permitió identificar las problemáticas principales que afronta la empresa en su proceso productivo.

La identificación del problema se basó en los indicadores de productividad mensual por materia prima consumida y producto resultante, evidenciando la cantidad de materia desperdiciada en Kg/turno, de todas las áreas de producción, siendo extrusión aquella donde mayor cantidad de material se pierde. Para identificar las causas de dicha situación se obtuvo el diagrama de Ishikawa, el cual hace uso de las “6 M” para la identificación de causas raíces y que sirvió como base para reconocer las actividades por las que se originaban las merma. Adicional a ello, al analizar el DAP del proceso se evidenció la ejecución de actividades que podían suprimirse para mejorar los tiempos de producción y acortar los plazos de entrega de pedidos a los clientes.

Simulación del proceso productivo de los sacos de polipropileno utilizando el software ProModel

Para el segundo objetivo, se inició con el establecimiento de condiciones básicas para la simulación del proceso. Una de las condiciones, las más importantes a considerar eran que se trabajaría con un producto genérico, aquel cuya mayor demanda tenía y el que recorría todas las etapas del proceso productivo. Cabe resaltar que, si bien la información del producto y los tiempos tomados en la parte diagnóstica provienen de fuente bibliográfica, estas fueron mejoradas, corrigiendo a datos más realistas, haciendo uso de plantillas elaboradas previamente por el investigador. La segunda condición fue establecida en base a que, al utilizar un software versión gratuita (estudiantil), se tuvo que simular el proceso con solo 1 máquina por área. Otras condiciones fueron dadas en base a la totalidad del pedido a simular, así como por la capacidad real de la maquinaria utilizada.

Con las condiciones establecidas, se definieron las diferentes variables a ingresar a la simulación, tales como las entidades, locaciones, procesos y tiempos. Respecto a las entidades, locaciones y procesos, estos fueron detallados en la primera parte diagnóstica de la investigación. Sin embargo, para el establecimiento de tiempos estándar fueron requeridos cálculos adicionales ya que los obtenidos estaban en función a 1 rollo de tela, lo cual no es significativo para la ejecución de una simulación y requiriendo el establecimiento de los

tiempos para un pedido mínimo completo. Con dicha información obtenida se procedió a la simulación en ProModel, siguiendo un orden de entrada de datos, estableciendo primero las locaciones necesarias, seguido las entidades globales, las relaciones entre locaciones, incluyendo procesos y los tiempos de ejecución para el pedido, para finalmente simular los pedidos posibles en el periodo de un mes y analizar los resultados.

Planteamiento y análisis de las propuestas de mejora para el proceso productivo

Se propuso un plan de mantenimiento anual, en el cual se describen todas las acciones a llevar a cabo por el personal para conservar el buen estado de la máquina. En adición, se suprimieron etapas innecesarias y se combinaron otras que podían ser ejecutadas en conjunto, reduciendo así los tiempos de producción de un pedido. Ambas propuestas fueron analizadas en base a la mejora reflejada en el indicador de productividad, reducción de tiempos de proceso y el beneficio económico generado a la empresa.

Resultados y discusión

La empresa El Águila SRL fábrica de envases elaborados a base de polipropileno cuya planta se localiza en la Carretera Vía de Evitamiento Km. 2.5 – La Victoria, Chiclayo; desarrollando sus actividades productivas desde marzo del 2004. Dicha materia prima se combina con otros aditivos e insumos a lo largo del proceso (carbonato de sodio, masterbatch, tintas, disolvente e hilo) para lograr producir su producto bandera, los sacos de polipropileno. No obstante, en las etapas realizadas en su proceso productivo, así como la secuencia de actividades y los tiempos estándar por rollo de tela poseen ciertas deficiencias en cuanto a productividad de materiales. El nivel de mermas en cada etapa viene siendo de 3% en extrusión, 1% en telares, 3% en laminado, 5% en impresión y 2% en conversión. A continuación, se muestra el cuadro resumen de los kilos de mermas en las diferentes áreas, así como las actividades identificadas posterior la realización del Diagrama de Ishikawa:

Tabla 1. Mermas en el proceso productivo

ETAPA	ACTIVIDADES	MERMA
Extrusión	<ul style="list-style-type: none"> - Puesta en marcha y parada de la extrusora. - Cambio de color o modificación de especificaciones de cinta. - Los residuos del filtro de malla. - Las cintas que rompen en el proceso de estiraje en el horno. - Cambio de bobina con cinta por nuevo tubo. - Material reciclado eliminado por ventilador en tolva. 	94 kg./turno
Telares	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio de bobinas urdimbre y trama - Cambio de tejido (nuevo pedido) 	33 kg./turno
Laminado	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio de rollo, no se tiene sistema automático - Pruebas en matriz iniciales - Tolerancia de laminado a los extremos (5 mm) 	15 kg./turno
Impresión	<ul style="list-style-type: none"> - Bombas en mal estado - Inicio de impresión, sacos de segunda 	10 kg./turno
Conversión	<ul style="list-style-type: none"> - Sacos al inicio del rollo - Mal corte realizado por las cuchillas en caliente - Falla en la máquina cosedora 	16 kg./turno

Fuente: Elaboración propia basado en [3]

Como se aprecia, el proceso con mayores mermas es el de extrusión, no obstante, si bien las mermas son el problema principal, el que le sigue son los procedimientos de trabajo. Al observar el DAP del proceso (Anexo 4) se identifican actividades que pueden ser suprimidas o combinadas, para lo cual puede plantearse otra propuesta de mejora. Ello reafirma lo descrito por Gopura y Jayawardene [8] acerca de los inconvenientes en la manufactura de bolsas de polipropileno, al indicarse que uno de los de mayor importancia era la baja productividad por el desperdicio generado, ocasionado en parte por una falta de mantenimiento periódico.

Previo al planteamiento de las mejoras se realiza la simulación del proceso productivo en su estado actual haciendo uso del ProModel y bajo las siguientes condiciones: Se simula la manufactura de un solo producto genérico cuyas especificaciones se detallan en la Anexo 7, el pedido mínimo que acepta la empresa es de 20 000 sacos para lo cual se requieren 1 123,2 kg de polipropileno, 20 kg de tinta y 20 kg de hilo para conversión; el metraje del rollo es de 5 000 m, las entidades en cuanto a materia prima se globalizan (en conjunto) y la secuencia de procesos y sus tiempos están basados en el DAP. Finalmente se calcula el tiempo estándar para un pedido completo, dichos tiempos se plasman en la Tabla 2.

Tabla 2. Tiempo estándar para pedido genérico

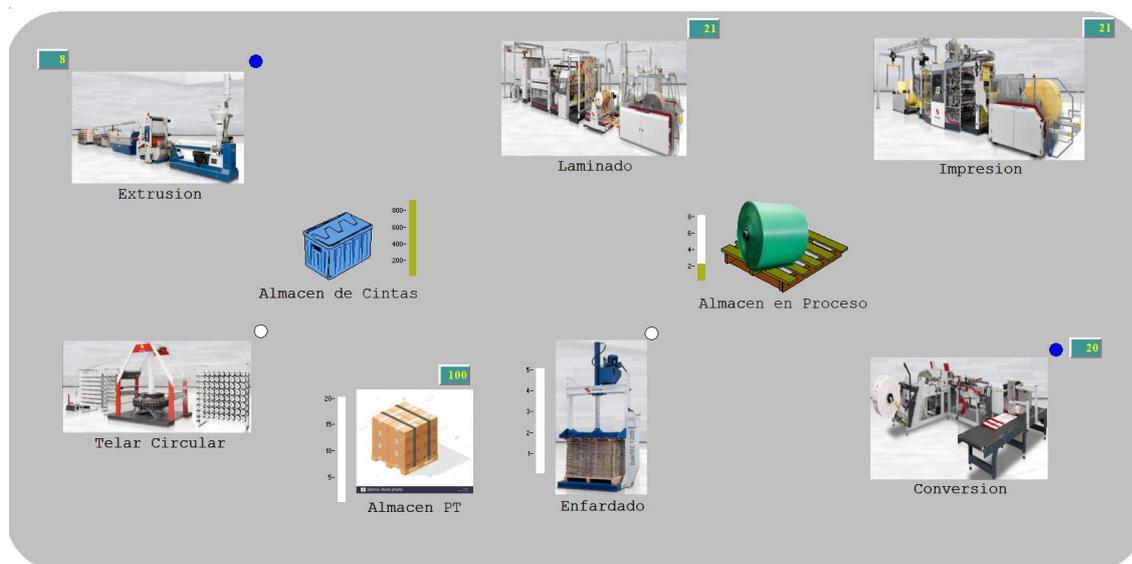
ÁREA	ACTIVIDAD	TIEMPO (min.)
Extrusión	Calentamiento de línea	120
	Lanzamiento de línea	60
	Extrusión de cintas	464
	Transporte almacén cintas	5
Telares	Verificación de denier	5
	Transporte a telares	8
	Vestido de telares	90
	Tejido de rollos	2555
	Controles y transporte almacén	12
Laminado	Recubrimiento	180
	Transporte a impresión	12
Impresión	Impresión del rollo	180
	Transporte a conversión	40
Conversión	Corte y costura	1048
Enfardado	Recepción de sacos	5
	Enfardado (5000 sacos)	50
	Transporte almacén PT	10
	TIEMPO TOTAL (minutos)	4844
	TIEMPO TOTAL (horas)	80.73
	TIEMPO TOTAL (días)	4

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que los datos se basan en las capacidades reales maquinarias, es de esperarse que la variación de tiempos sea mínima. De hecho, la empresa permite una variación de más menos 2% en los tiempos, de no ser así, los mecánicos deben intervenir para regularizar los parámetros de maquinaria. Ahora bien, teniendo claro el pedido a simular, las maquinarias a utilizar, y los tiempos de proceso, se procede a realizar la simulación haciendo uso del ProModel. Los resultados se presentan en la Ilustración 1.

Como se contrasta en el ejercicio, con el estado y las capacidades máximas de la maquinaria actualmente pueden producirse un máximo de 120 fardos del pedido genérico al mes. Considerando que cada fardo tiene 1 000 sacos y que el precio está fijado a S/ 1,55 el saco, los ingresos totales por la ejecución de dichos pedidos es de S/ 186 000, lo que en un año representa ingresos por S/ 2 232 000,00.

Ilustración 1. Lay out y resultados - Situación Actual



Variable Resumen						
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Hr)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Rollos totales laminados	28.00	11.56	0.00	28.00	28.00	12.18
Rollos totales impresos	28.00	11.56	0.00	28.00	28.00	12.18
Rollos totales procesados	27.00	12.36	0.00	27.00	27.00	11.45
Total fardos	120.00	2.49	0.00	120.00	120.00	52.77
Total pedidos ingresados	10.00	33.60	0.00	10.00	10.00	5.64

Fuente – Elaboración: Propia

Para la propuesta de mejora, la investigación se enfocó en el área de extrusión. Como se observó en la Tabla 1, las mermas en el área son de 94 kg/turno representando al año un promedio de 31 954,2 kg, ello considerando que se trabaja dos turnos por día, 14 días por mes. De la totalidad de mermas el 45% (14 379,39 kg) son defectos en la película, 35% (11 183,97 kg.) se da por el soplado, 10% (3 195,42 kg.) por el barrido y el otro 10% (3 195,42 kg.) por el scrap. Si bien las mermas por soplado y barrido son comunes debido a la naturaleza misma del proceso, los defectos en la película y el scrap puede reducirse si se conserva la maquinaria en óptimas condiciones.

Para hacer frente a esta situación se propone realizar un plan de mantenimiento preventivo, el cual se enfoca en la mejora de la confiabilidad de la extrusora para reducir el porcentaje de mermas. [17] Este plan se basa en la realización de una secuencia de actividades a lo largo del año para preservar el estado de la maquinaria seleccionada, el cual se apoyará en recursos tanto económicos como de personal. Dicho plan se muestra como información documentada (procedimiento).

LOGO DE EMPRESA	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - EXTRUSORA	CODIGO: PMA VERSIÓN: 01 FECHA DE REVISIÓN: 15/01/2022
-----------------	---	--

1. OBJETIVO.

Prevenir fallas potenciales en la línea de extrusión con el fin de incrementar su confiabilidad, optimizando su eficiencia y disminuyendo el nivel de mermas generadas durante su uso al comenzar el proceso productivo.

2. ALCANCE.

EL presenta plan de mantenimiento aplica a la línea extrusora, en el área de extrusión de la empresa, tomando en cuenta desde la actividad de mezclado de materia prima, hasta el embobinado y bajada de cintas.

3. DEFINICIONES.

- **Extrusión:** Proceso de plastificación del polipropileno, mediante el cual, las partículas sólidas de dicho polímero son transformadas en una película plana a lo largo de la línea extrusora. Dicha película es cortada por un porta cuchillas el cual brinda el ancho de cinta requerido, para ser finalmente embobinadas y almacenadas.

- **Plan de mantenimiento preventivo:** Son todas aquellas acciones a realizar por los mecánicos especializados, que permitan la preservación de una o más piezas y partes de la maquinaria, con el objetivo de prevenir fallas y paradas inesperadas durante la producción. Ello además de optimizar el rendimiento de la maquinaria, permitiendo su uso a máximas capacidades.

4. RESPONSABILIDADES.

- Es responsabilidad del jefe de mantenimiento, la supervisión y mejora del mantenimiento anual, así como de gestionar las actividades y el personal necesario para la ejecución de las mismas.
- Es responsabilidad del mecánico de extrusión, la ejecución de las actividades plasmadas en el presente plan, así como la revisión continua del estado de la maquinaria, reportando cualquier cambio no planificado al jefe de mantenimiento.
- Es responsabilidad del electricista, asegurar el bloqueo total de flujo de corriente durante los mantenimientos, garantizando la seguridad del personal asignado, así como también realizar los cambios de componentes eléctricos cuando sea requerido, reportando cualquier cambio no planificado tanto al mecánico como al jefe de mantenimiento.

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Cesar Augusto Romero Pinedo Ing. Industrial	Jefe de mantenimiento	Gerente General

LOGO DE EMPRESA	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - EXTRUSORA	CODIGO: PMA VERSIÓN: 01 FECHA DE REVISIÓN: 15/01/2022
-----------------	---	--

5. DESARROLLO DE ACTIVIDADES.

Las actividades a desarrollar se describen a continuación, sin orden jerárquico ya que cada una tiene un tiempo específico para su realización:

- **Mantenimiento de cuchillas:** Se realiza el cambio de las navajas del porta cuchillas utilizando kit de herramientas básicas. La ejecución de la actividad es mensual, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 50 minutos. (Última semana de cada mes)

- **Mantenimiento de matriz:** Se realiza la limpieza de la matriz con un removedor de óxidos y trapos industriales. La ejecución de la actividad es semanal, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 15 minutos. (Todas las semanas)

- **Mantenimiento de ejes y rodamientos:** Se realiza el ajuste de eje y cambio de los rodamientos, utilizando grasa, trapos industriales y herramientas como vernier, esmeril y micrómetro. La ejecución de la actividad es anual, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 180 minutos. (Fines de mes de diciembre)

- **Mantenimiento de mangueras y filtros:** Se realiza el cambio de las mangueras y filtros de la extrusora utilizando kit de herramientas básicas, lubricador y los repuestos necesarios. La ejecución de la actividad es trimestral, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 180 minutos. (Última semana de los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre)

- **Mantenimiento de componentes eléctricos:** Se verifica el funcionamiento de todos los componentes eléctricos de la extrusora, utilizando principalmente un multítester. La ejecución de la actividad es trimestral, realizada por el electricista y con la máquina parada por un tiempo de 30 minutos. (Última semana de los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre).

- **Mantenimiento de ventiladores:** Se realiza la limpieza de los ventiladores de extrusora haciendo uso de trapos industriales y lubricante. La ejecución de la actividad es semanal, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 60 minutos. (Todas las semanas)

- **Mantenimiento de embobinadoras:** Se realiza la calibración manual de las embobinadoras utilizando kit de herramientas básicas, trapos industriales y grasa. La ejecución de la actividad es mensual, realizada por el mecánico y con la máquina parada por un tiempo de 120 minutos. (Última semana de cada mes)

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Cesar Augusto Romero Pinedo Ing. Industrial	Jefe de mantenimiento	Gerente General

LOGO DE EMPRESA	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - EXTRUSORA	CODIGO: PMA VERSIÓN: 01 FECHA DE REVISIÓN: 15/01/2022
-----------------	---	--

6. FORMATOS.

El formato de apoyo para el control del plan de mantenimiento preventivo es el siguiente:

Formato N°1: "REGISTRO ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO"

REGISTRO ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO						
Personal Asignado: _____			FECHA: _____		TURNO: _____	
N°	ACTIVIDAD DIARIA		RECURSOS EMPLEADOS			
	ÁREA ATENDIDA	DESCRIPCIÓN	TIEMPO EMPLEADO	SUB-TIENDA	ORDENAMIENTO	OBSERVACIONES
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						

MECÁNICO / ELECTRICISTA

JEFE DE MANTENIMIENTO

IDENTIFICACION Y CONTROL DE CAMBIOS

N de revisión	Fecha de revisión	Responsables	Motivo de la Revisión	Cambios realizados

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Cesar Augusto Romero Pinedo Ing. Industrial	Jefe de mantenimiento	Gerente General

La ejecución de las actividades establecidas, permite reducir las mermas hasta en un 85% según Galarreta [17]; ello disminuye los defectos en la película y el scrap de 17 574,81 kg hasta un total de 2 636,22 kg por al año, lo que por turno representa una reducción del 46,12% de merma disminuyendo de 94 kg/turno a 50,64 kg/turno. En cuanto a productividad, esta reducción hace que las mermas ahora representen un 1.5%, aumentando la productividad de dicha área de 97 a 98,5%. Adicional a ello, al mantenerse las piezas de la extrusora en estado óptimo, se hace posible el aumento en su capacidad de producción de 145,45 kg/h a 200 kg/h, reduciendo los tiempos de ejecución de pedidos. Finalmente, el mantenimiento también hace posible que la calidad de las cintas en cuanto a denier y espesor mejore, ello en beneficio para el procesamiento en telares ya que permite aumentar la velocidad del tejido, pudiendo llegar de 117,39 m/h a 180 m/h. [3]

Una segunda propuesta a integrar se da enfocada a la combinación y/o eliminación de actividades innecesarias basado en el DAP del proceso. En primer lugar, suprimir el transporte a un almacén de cintas, las cintas urdimbre pueden ser llevadas directamente al telar para realizar el montaje, mientras que las cintas trama pueden ser dispuestas en cajas a los costados de cada telar, optimizando espacios y reduciendo tiempos de transporte. El pesado de cintas y verificación del denier se realizan durante el embobinado, al igual que los controles de la tela durante el tejido del rollo, eliminando el pesado de rollo final y quedando solo con el transporte del mismo al almacén de producto en proceso. El nuevo tiempo estándar para un pedido posterior a la implementación de la propuesta integrada se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Nuevo tiempo estándar para pedido genérico

ÁREA	ACTIVIDAD	TIEMPO (min.)
Extrusión	Calentamiento de línea	120
	Lanzamiento de línea	60
	Extrusión de cintas	269
Telares	Transporte a telares	8
	Vestido de telares	90
	Tejido de rollos	1320
	Transporte almacén	5
Laminado	Recubrimiento	180
	Transporte a impresión	12
Impresión	Impresión del rollo	180
	Transporte a conversión	40
Conversión	Corte y costura	1048
Enfardado	Recepción de sacos	5
	Enfardado (5000 sacos)	50
	Transporte almacén PT	10
	TIEMPO TOTAL (minutos)	3397
	TIEMPO TOTAL (horas)	56.62
	TIEMPO TOTAL (días)	3

Fuente – Elaboración: Propia

Considerando los nuevos tiempos estándar, se realiza nuevamente la simulación del proceso con las mejoras aplicadas, haciendo uso del ProModel. Los resultados se presentan a continuación.

Ilustración 2. Lay out y resultados - Propuesta de mejora



Variable Resumen						
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Hr)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Rollos totales laminados	52.00	6.08	0.00	52.00	52.00	25.07
Rollos totales impresos	52.00	6.08	0.00	52.00	52.00	25.07
Rollos totales procesados	52.00	6.36	0.00	52.00	52.00	23.70
Total fardos	260.00	1.29	0.00	260.00	260.00	109.49
Total pedidos ingresados	15.00	20.86	0.00	15.00	15.00	8.33

Fuente – Elaboración: Propia.

Como se evidencia, posterior a la mejora planteada, existe la capacidad para producirse hasta un máximo de 260 fardos del pedido genérico al mes, el cual, de acuerdo a los parámetros de precio fijados con anterioridad, representa un ingreso de S/ 4 836 000,00. No obstante, en caso de implementar la mejora, debe tenerse en cuenta aspectos que involucra la realización de las actividades preventivas (Ver Anexo 9). En principio, se debe considerar, a lo largo del año, el costo de los materiales y repuestos necesarios (S/ 2 395,0), la mano de obra (S/ 50 400,00) y el más importante, el hecho que la extrusora tenga que estar parada por un promedio de 120 horas, representando también un costo de oportunidad para la producción (S/ 386 480,10). Al considerar dichos valores en negativo, aun se obtiene un ingreso alto de S/ 4 396 724,40.

De esta manera, se reafirma que las propuestas no solo minimizan mermas, aumentando la eficiencia de la máquina extrusora, sino también reducen los tiempos de producción, logrando duplicar la oferta y venta de este tipo de saco altamente demandado en el mercado. Otras

investigaciones proponen como alternativa el uso de herramientas Lean, tal es el caso de Castillo [9], implementando la técnica de las 5s para facilitar el mantenimiento autónomo, llevando a la empresa en estudio a generar nuevos ingresos de S/ 54 740,00 en los tres primeros meses, reduciendo además los sacos de segunda. Otra alternativa brinda Salazar [10], haciendo uso del sistema de etiquetas Kanban y un balance de línea, logrando reducir el lead time actual en un 27,9%, logrando satisfacer los plazos de entrega de cliente hasta en 8 días.

Conclusiones

Mediante revisión bibliográfica se logró realizar el diagnóstico de la situación actual respecto al proceso productivo de la empresa El Águila SRL, identificando la generación de mermas en el área de extrusión y la ejecución de actividades innecesarias y/o con posibilidad de realizarse en simultáneo, como las principales causas de la baja productividad.

Utilizando el software ProModel, se logró simular el proceso productivo en base a las capacidades y tiempos estándar de la elaboración de los sacos, cuantificando la cantidad máxima posible de fardos producidos y pedidos genéricos que pueden ser satisfechos en el lapso de un mes, ello en un escenario ideal para fines de estudio.

Se propuso un plan anual de mantenimiento preventivo para la línea extrusora, así como la eliminación de actividades innecesarias y la combinación de aquellas con capacidad de realizarse en simultáneo. Ello pudo ser simulado en un nuevo escenario, evidenciando un impacto positivo en la productividad del proceso elevándola a 98,5%. Ello gracias a la reducción de mermas en el área en un 46,12% y una reducción de tiempos de procesamiento, permitiendo duplicar la producción de fardos de 120 a 260 fardos al mes.

Referencias

- [1] PlasticsEurope, «Statista,» Guerra contra el plástico, 9 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/grafico/20441/produccion-de-plastico-a-nivel-mundial/>. [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [2] MINAM, «Ley N°30884 - Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables,» *El Peruano*, 18 Diciembre 2018.
- [3] A. D. R. Heredia Espinoza, «Reducción de mermas en la producción de sacos de polipropileno para la mejora de la productividad en la empresa El Águila S.R.L.,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2016.
- [4] Asociación Colombiana de Ingeniería química y profesionales afines, «Acoplásticos,» [En línea]. Available: [https://www.acoplásticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/41-opc-fag-pre9#:~:text=POLIPROPILENO%20\(PP\),un%20grupo%20vinilo%20\(CH2\)..](https://www.acoplásticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/41-opc-fag-pre9#:~:text=POLIPROPILENO%20(PP),un%20grupo%20vinilo%20(CH2)..) [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [5] F. E. d. S. Barbosa, P. C. H. ó, E. M. Araujo, B. E. Bezerra, S. D. Diniz y R. M. Ramos Willen, «Properties and Morphology of Polypropylene/Big Bags Compounds,» [En línea]. Available: <https://www.scielo.br/j/mr/a/qDhTXzX7ybVVKmwb6cfW64B/?lang=en#>. [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [6] Reysac, «¿Cómo se hace una bolsa de polipropileno?,» Muchomejor Ecuador, Quito, 2019.
- [7] F. R. Villón Villón, «Análisis de riesgos en el proceso de elaboración de sacos de polipropileno en la empresa Reysac,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [8] Gopura y Jawardene, «Analysis of Risks and Bottlenecks of a Poly Bag Manufacturing Factory -A Case Study,» Universidad de Moratuwa, Moratuwa, 2008.
- [9] J. L. Castillo Lazo, «Optimización en la producción de sacos utilizando Lean manufacturing para incrementar la productividad en la empresa Atlántica SRL Lambayeque - 2017,» Universidad César Vallejo, Chiclayo, 2017.
- [10] C. A. Salazar Castro, «Kanban y su incidencia en el lead time de una fábrica de sacos de polipropileno,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2020.
- [11] J. E. Navarro Yovera, «Diseño de un sistema automatizado en el área corte de la línea de producción de sacos de polipropileno para mejorar la productividad de la empresa Perusac E.I.R.L,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2019.
- [12] M. Hamad Sajjad, K. Naeem, M. Zubair, Q. M. Usman Jan, S. Bilal Khattak, M. Omair y R. Nawaz, «Waste reduction of polypropylene bag manufacturing process using Six Sigma DMAIC approach: A case study,» *Cogent Engineering*, vol. 8, n° 1, 2021.

- [13] E. García Dunna, H. García Reyes y L. E. Cárdenas Barrón, *Simulación y Análisis de sistemas con ProModel*, México: Pearson Educación, 2006.
- [14] R. A. Gopura, T. S. Jayawardene y K. G. Amarasena, «Simulation of a Poly-Bag Manufacturing System,» Universidad de Moratuwa, Moratuwa, 2009.
- [15] T. Sprodowski, J. K. Sagawa y J. Pannek, «Frequency based model predictive control of a manufacturing system,» *ScienceDirect*, vol. 51, n° 2, pp. 801 - 806, 2018.
- [16] E. E. Mongrut Cuba y E. A. Tigre Acosta, «Aplicación de la programación lineal en el área de extrusión para optimizar la producción en la empresa PROCOMSAC,» Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, 2019.
- [17] M. D. C. Galarreta Cabanillas, «Propuesta de plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad en la empresa Procode S.A.C. para la reducción de pérdidas económicas,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2019.