



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Modelo de mejora para incrementar la eficiencia en una MYPE de
manufactura de plásticos aplicando TPM, Método de Taguchi y Kanban

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR(ES)

De Montreuil Macalupu, Carlos Jesus
Malca Santos, Rodrigo Franco

0000-0001-5949-6512
0000-0001-5624-3093

ASESOR(ES)

León Chávarri, Claudia Carolina

0000-0002-2919-8351

Lima, 16 de noviembre de 2023

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a nuestros queridos padres y hermanos por su apoyo incondicional, confianza y amor, y por siempre tratar de motivarnos para dirigirnos en el camino correcto.

Agradecimientos

Agradecer enormemente a Dios por brindarnos la oportunidad de poder desarrollarnos profesionalmente y darnos las fuerzas necesarias para ser perseverantes en el anhelo de lograr nuestras metas.

A todos nuestros amigos que se han formado a lo largo de todo este camino y nos han ayudado a mejorar de forma profesional y personal, y que no pueden ser mencionados, pues la lista sería demasiada extensa.

Resumen

La industria productora de plásticos se encuentra experimentando una recuperación tras un estancamiento respecto a la producción, a nivel mundial, debido a la pandemia del COVID-19. Por tanto, la cantidad y competitividad de las MYPES pertenecientes a este sector ha incrementado, constituyendo un tema relevante de investigación debido a la relevancia que presenta este sector tanto en la economía nacional como en la calidad de vida de la población. En el presente proyecto se presenta a la empresa Plásticos XYZ como caso de estudio, cuyo principal producto es el envase de polietileno de alta densidad (PEHD). El problema que genera un mayor impacto, en términos económicos, radica en la baja eficiencia del proceso productivo. Plásticos XYZ posee una demanda aproximada de 265 lotes por mes, de los cuales solo se logra cubrir el 80%. Ello como consecuencia del elevado breakdown de la máquina sopladora, cantidad de productos no conformes e interrupciones en el flujo de material. Por este motivo, el presente proyecto expone un modelo de aplicación de prácticas Lean integrado por los pilares de Mantenimiento Autónomo y Planificado de la metodología TPM, Método de Taguchi y Sistema Kanban, los cuales permitieron una mejora de los indicadores Process Cycle Efficiency (PCE) y Throughput del 17.75% y 16.65%, respectivamente. Finalmente, el proyecto es validado desde el enfoque de sostenibilidad respecto a los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Palabras clave: TPM; Método de Taguchi; Sistema Pull; PCE; Eficiencia; Plástico.

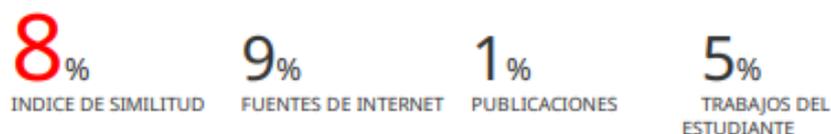
Abstract

The plastics manufacturing industry is experiencing a recovery after a stagnation in production, worldwide, due to the COVID-19 pandemic. Therefore, the quantity and competitiveness of the MYPES belonging to this sector has increased, constituting a relevant research topic due to the relevance of this sector in the national economy as well as in the quality of life of the population. This project presents the company Plásticos XYZ as a case study, whose main product is high-density polyethylene plastic (HDPE). The problem that generates the greatest impact, in economic terms, is the low efficiency of the production process. Plásticos XYZ has a demand of approximately 265 batches per month, of which only 80% is met. This is due to the high breakdown of the blowing machine, the amount of non-conforming products and interruptions in the flow of material. For this reason, this project presents an application model of Lean practices integrated by the Autonomous and Planned Maintenance pillars of the TPM methodology, Taguchi Method and Kanban System, which allowed an improvement in the Process Cycle Efficiency (PCE) and Throughput indicators of 17.75% and 16.65%, respectively. Finally, the project is validated from the sustainability approach respect to economic, social and environmental aspects.

Keywords: TPM; Taguchi method; Pull system; PCE; Efficiency; Plastic.

U201810969_CARLOS JESUS DE MONTREUIL
MACALUPU_Modelo de mejora para incrementar la eficiencia
en una MYPE de manufactura de plásticos aplicando TPM,
Método de Taguchi y Kanban

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	1%
5	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

Tabla de contenido

1. Capítulo I - ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco teórico.....	4
1.2.1. Lean Manufacturing	4
1.2.2. Gemba Walk.....	5
1.2.3. Value Stream Mapping (VSM).....	5
1.2.4. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	5
1.2.5. Sistema Pull.....	5
1.2.6. Método de Taguchi.....	6
1.2.7. PCE.....	6
1.2.8. Throughput	6
1.2.9. Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	6
1.2.10. Disponibilidad	6
1.2.11. Rendimiento	6
1.2.12. Calidad.....	7
2. Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN.....	8
2.1. Descripción de la organización.....	8
2.2. Identificación del problema	8
2.3. Análisis de causas	11
2.4. Planteamiento de objetivos.....	15
3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA	18
3.1. Vinculación de causa con la solución.....	18
3.2. Diseño detallado de la solución	19
3.3. Diseño de indicadores.....	28
3.4. Consideraciones para la implementación	29
3.4.1. Propuesta de la solución: Gestión de recursos	29
3.4.2. Cronograma de desarrollo: Gestión del tiempo.....	30
4. Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO.....	33
4.1. Validación Funcional.....	33

4.2.	Evaluación del impacto económico	35
4.3.	Evaluación de impactos no económicos	37
CONCLUSIONES		38
RECOMENDACIONES		39
Referencias		40
Anexos.....		44

Lista de Tablas

Tabla 1. Variaciones porcentuales respecto a la producción en el subsector manufacturero no primario	1
Tabla 2. Indicadores ambientales respecto a la utilización de productos plásticos	4
Tabla 3. Cálculo del tamaño de muestra para la toma de tiempos	9
Tabla 4. Cálculo del OEE por estación de trabajo.....	10
Tabla 5. Características del sistema de producción – Situación actual	10
Tabla 6. Impacto económico por tipo de muda y subproceso	13
Tabla 7. Distribución porcentual respecto al impacto económico por tipo de muda y subproceso	14
Tabla 8. Variables de salida resultantes respecto a los ensayos de Taguchi	23
Tabla 9. Respuestas para relaciones de señal a ruido respecto a la variable masa.....	24
Tabla 10. Diseño lógico del sistema Kanban.....	26
Tabla 11. Resultados As Is y To Be proyectado.....	28
Tabla 12. Costos operativos para la implementación del proyecto	29
Tabla 13. Costos administrativos para la implementación del proyecto	29
Tabla 14. Resultados As Is y To Be tras la implementación de la prueba piloto	34
Tabla 15. Indicadores financieros de evaluación del proyecto.....	37

Lista de Figuras

Figura 1. Evolutivo de producción mundial de plásticos, en millones de toneladas.....	1
Figura 2. Distribución del tejido empresarial en el sector de manufactura de productos plásticos	2
Figura 3. Ingresos tributarios recaudados de la industria de plástico.....	3
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo.....	8
Figura 5. Problemas identificados en las operaciones de la organización	9
Figura 6. Comparativo de producción y demanda mensual	11
Figura 7. Distribución de tiempo por subproceso	11
Figura 8. Distribución del Tiempo de Valor No Agregado (NVA) por subproceso	12
Figura 9. Ratio de defectos por subproceso.....	13
Figura 10. Distribución por tipo de defecto en la estación de soplado.....	14
Figura 11. Merma respecto al WIP por exposición al calor en la estación de flameado....	15
Figura 12. Árbol de objetivos respecto a la problemática	15
Figura 13. Value Stream Mapping (VSM) – Situación actual	16
Figura 14. Árbol de problemas respecto a la problemática	17
Figura 15. Modelo de solución propuesto	19
Figura 16. Manual de actividades de Mantenimiento Autónomo para la máquina sopladora	21
Figura 17. Manual de actividades de Mantenimiento Planificado para la sopladora.....	22
Figura 18. Verificación de supuestos de ANOVA	24
Figura 19. Metodología de aplicación para el sistema Kanban.....	25
Figura 20. Esquema de implementación del sistema Kanban	25
Figura 21. Modelo para la determinación de la cantidad de cambios de referencia	26
Figura 22. Diseño del ascensor de carga a implementar	27
Figura 23. Esquema Pull implementado en la línea de HDPE.....	27
Figura 24. Cronograma de planificación e implementación del proyecto de mejora.....	30
Figura 25. Comparativo As is vs To Be - Tiempo de breakdown en la estación de soplado	33
Figura 26. Comparativo As is vs To Be - Envases defectuosos en la estación de soplado	34
Figura 27. Flujo de caja para la evaluación financiera del proyecto	36

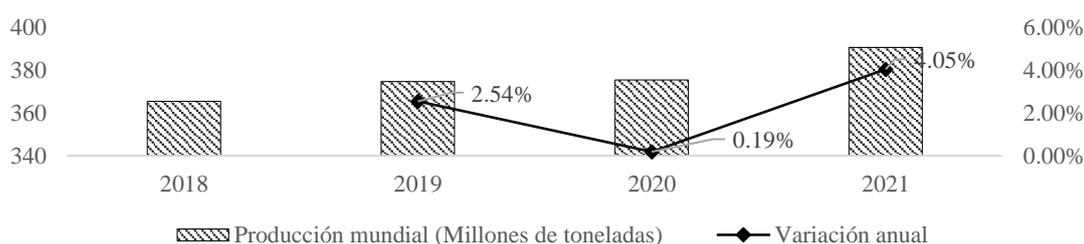
1. Capítulo I - ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes

La industria productora de plásticos se encuentra experimentando una recuperación tras un estancamiento respecto a la producción, a nivel mundial, debido a la pandemia del COVID-19, logrando alcanzar los 390.70 millones de toneladas en el 2021, de las cuales el 44.00% son utilizados como envases (PlasticEurope, 2022).

Figura 1

Evolutivo de producción mundial de plásticos, en millones de toneladas



Nota. Adaptado de “Plásticos – Situación en 2022”, por PlasticEurope, 2022 (<https://acortar.link/d8yIkU>).

En el contexto nacional, con relación al periodo de enero a mayo de 2023, la producción de plásticos se contrajo en un 9.50%, con respecto al 2022, lo que se relaciona con un mayor consumo de biodegradables de origen extranjero aunado a un decremento en la demanda externa por parte de los países de la región Latinoamericana (Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos [OGEIEE], 2023).

Tabla 1

Variaciones porcentuales respecto a la producción en el subsector manufacturero no primario

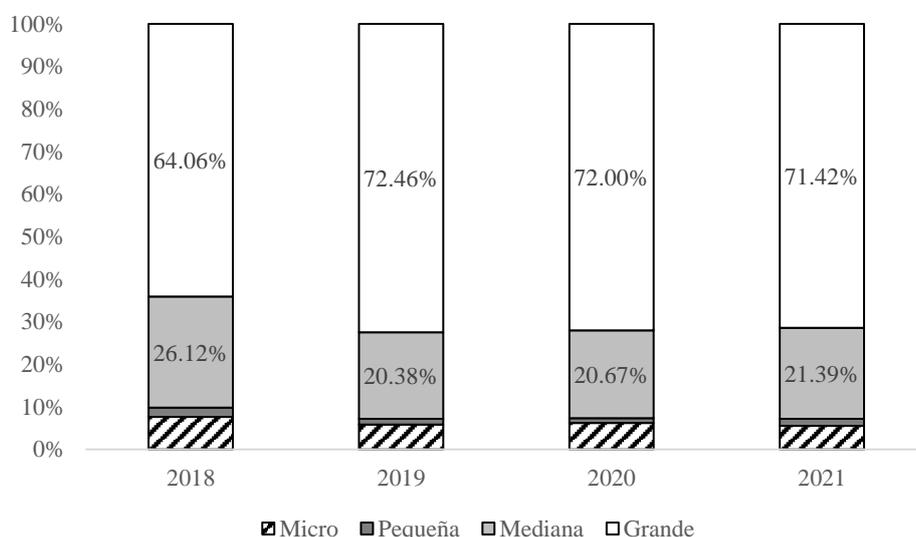
Sector industrial	May 23/ May 22	Ene-May 23/ Ene-May 22
Productos farmacéuticos y medicinales	3.60%	8.30%
Cemento, cal y yeso	-10.80%	-13.30%
Productos de plástico	-9.50%	-9.50%
Bebidas malteadas y de malta	-10.20%	-4.50%
Productos de panadería	1.70%	0.20%
Muebles	-5.20%	-4.10%

Nota. Adaptado de “Boletín de Producción manufacturera. Reporte de producción manufacturera”, por OGEIEE, 2023 (<https://acortar.link/MxXxsU>).

Con relación a la demografía empresarial peruana, se puede vislumbrar un contexto de promoción al emprendimiento, a nivel nacional, pues las MYPES representaron el 96.4% del tejido empresarial peruano empleando un 45.8% de la PEA (Sociedad de Comercio Exterior [ComexPeru], 2023). En Lima Metropolitana, en el 2021, cerca del 90% del sector de manufactura de productos plásticos, fue conformado por Micro y Pequeñas empresas; ello implica un entorno de alta competitividad en el que se deben orientar los esfuerzos de mejora en optimizar los procesos de producción (Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos [OGEIEE], 2021)

Figura 2

Distribución del tejido empresarial en el sector de manufactura de productos plásticos

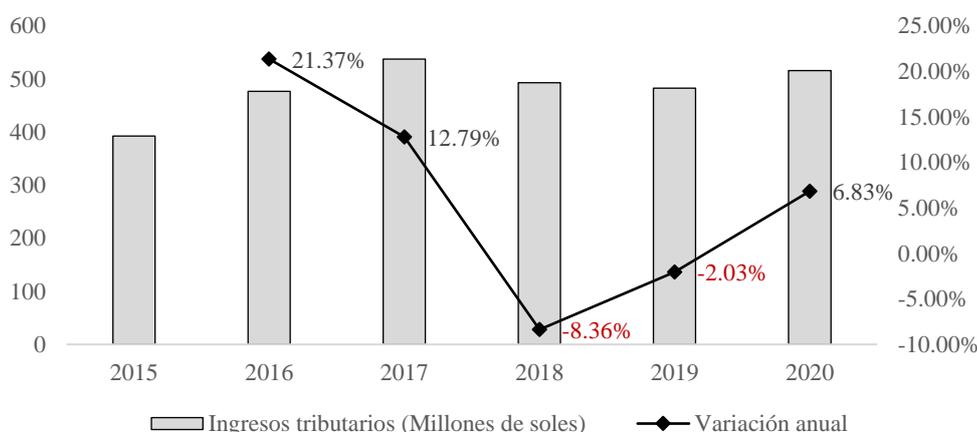


Nota. Adaptado de “Tejido empresarial en el Perú”, por OGEIEE, 2021 (<https://acortar.link/7zdGiG>).

Respecto a su contribución a la economía nacional, en el 2019, dicho sector industrial empleó alrededor de 60 mil personas como mano de obra directa; asimismo, en el 2020, contribuyó con cerca de 516 millones de soles en ingresos gubernamentales por concepto de tributos, representando un incremento de 6.83% respecto al año anterior (Instituto de Estudios Económicos y Sociales, 2021).

Figura 3

Ingresos tributarios recaudados de la industria de plástico



Nota. Adaptado de “Situación Actual del Sector Plástico y Perspectivas de la Industria Plástica”, por Instituto de Estudios Económicos y Sociales, 2021 (<https://acortar.link/y11c1h>).

Con relación al aspecto técnico, se hace patente la carencia de intervenciones de carácter gubernamental y/o de organizaciones que adopten buenas prácticas asociadas con la eficiencia técnica en la producción, dado que índice ponderado general de eficiencia para el conglomerado de sectores industriales en el Perú es de 51.98% acorde con Tello (2022). Asimismo, los principales factores que restringen el crecimiento de las MYPES se relacionan con aspectos de mercadeo, control de inventarios y control de la producción, siendo esta última la más recurrente (Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos [OGEIEE], 2020)

Por otra parte, en referencia al contexto medioambiental, son cada vez mayores los esfuerzos por reducir el consumo innecesario de productos plásticos, debido a su potencial impacto en el ecosistema derivado de su baja capacidad para degradarse, entre 200 a 1000 años en promedio (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2018). En Perú, solo Lima Metropolitana y el Callao generan 886 toneladas de residuos plásticos al día, en promedio, representando el 46% de los residuos a nivel nacional (Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos [OGEIEE], 2020).

Tabla 2*Indicadores ambientales respecto a la utilización de productos plásticos*

Indicador	Unidad de medida	Valor
Uso promedio de plásticos	Kg/persona-año	30
Contribución de residuos plásticos a los residuos nacionales	%	46
Residuos plásticos reaprovechables	%	6.5

Nota. Adaptado de “Cifras del mundo y el Perú”, por Ministerio del Ambiente, 2021 (<https://acortar.link/IXLH6R>).

Respecto a esta situación, se vienen desarrollando iniciativas orientadas a la reducción y optimización de los procesos asociados a la manufactura de productos con este tipo de material, tales como la promulgación de la Ley N° 30884 (Ley que regula consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente) y la difusión de la campaña Menos plástico, más vida (Ministerio del ambiente, 2018, Ley 30884, Artículo 1).

En este contexto, en virtud de la relevancia que representa este sector tanto en la economía nacional como en la calidad de vida de la población, se hace patente la necesidad de optimizar los procesos de manufactura redireccionándolos hacia una producción con enfoque sostenible, en el marco de una regulación ambiental cada vez más exigente, que promueve la preservación de los recursos para las futuras generaciones a través de buenas prácticas tales como la minimización de mermas, adecuada segregación y disposición de residuos e incentivos por la reducción de la huella ambiental.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Lean Manufacturing

Según Adeodu et al. (2021), Lean Manufacturing es un conjunto de principios utilizado por muchas organizaciones industriales para mejorar la eficiencia en la producción y la satisfacción del cliente al mismo tiempo. Asimismo, Sutoni et al. (2019) indica que este se encuentra enfocado en reducir la cantidad de recursos y mudas del proceso al mínimo posible, y maximizar la eficiencia para que se pueda crear valor en el producto para el cliente final. Según Kumar et al. (2018), se conoce como muda al desperdicio que no aporta un valor añadido y no está alineado con lo que el cliente está dispuesto a pagar.

1.2.2. Gemba Walk

Según Kumar et al. (2018), se conoce como Gemba Walk al recorrido por el lugar del objeto de estudio cuyo objetivo es observar a los empleados y entender los procesos y su desarrollo para encontrar una mejor de forma continua.

1.2.3. Value Stream Mapping (VSM)

Según Adeodu et al. (2021), Value Stream Mapping es una herramienta de Lean Manufacturing que se utiliza para analizar y diseñar el flujo de materiales y flujo de información para la entrega de productos a los clientes. Del mismo modo, Singh y Gurtu (2021) indican los beneficios de la utilización correcta del VSM, los cuales son los siguientes:

- Identificación del cuello de botella en sistemas complicados para el correcto enfoque en el proceso de mejora.
- Permite identificar problemas de disponibilidad, rendimiento, limitaciones de recursos y otros factores que retrasan la finalización del producto.
- Transmite el flujo de información y material del sistema a analizar.

1.2.4. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Pinto et al. (2020) indican que el TPM (Total Productive Maintenance) es una metodología de estrategia de mantenimiento industrial, la cual consiste en afrontar las tareas de mantenimiento de una forma participativa y colectiva, en lugar de dejar este trabajo solamente con la supervisión de los técnicos especializados. Asimismo, indica que el TPM debe ejecutarse con la participación los empleados de la empresa para que el mantenimiento de su propio entorno pueda ser más efectivo.

1.2.5. Sistema Pull

Según Martins et al. (2021), se conoce como sistema pull a un mecanismo de liberación de órdenes, la cual tiene como objetivo realizar la nivelación de carga; asimismo, es la que envía órdenes de trabajo al taller para la producción.

- Kanban

Arango et al. (2015) indican que Kanban es una representación visual del proceso y nivel de inventarios en la producción, el cual permite al equipo monitorearlo en tiempo real.

Del mismo modo, Martins et al. (2021), menciona que este sistema crea la noción de que los productos deben ser fabricados solo cuando son demandados por algún usuario.

1.2.6. Método de Taguchi

Según Yu et al. (2019), el método de Taguchi es una herramienta diseñada para el control y el mejoramiento en la calidad del producto (con respecto a sus dimensiones). Asimismo, indica que este se centra en el uso de la estadística para que se permita un establecimiento en los límites de control, los cuales son los que garantizan la calidad en los productos, y, del mismo modo, desechan aquellos que no cumplan con las condiciones establecidas.

1.2.7. PCE

Según Adeodu et al. (2021), se define como tiempo de valor agregado al tiempo productivo; es decir, es la actividad que transforma el producto.

1.2.8. Throughput

Singh y Gurtu. (2021) indican que la capacidad de manufactura es la que refiere a las limitaciones técnicas y físicas de una empresa de manufactura y cada una de sus plantas.

1.2.9. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

El Overall Equipment Effectiveness (OEE) es un indicador que mide la eficacia de la maquinaria industrial, y se utiliza como uno de los indicadores clave para el TPM o procesos de mejora continua (Sharma, 2019). Asimismo, es un indicador que especifica el funcionamiento total de una máquina, es decir, desde el tiempo de operación disponible, la capacidad productiva y la calidad.

1.2.10. Disponibilidad

Pinto et al. (2020) indican que la disponibilidad indica el tiempo de funcionamiento de la máquina o el tiempo en que la máquina puede producir. Asimismo, menciona que, para obtener la disponibilidad de una máquina, se debe realizar la relación entre el tiempo de operación y la planificación de producción.

1.2.11. Rendimiento

Según Pinto et al. (2020), el rendimiento es la producción real que puede realizar una máquina; es decir, mide la cantidad de productos terminados que un proceso entrega en un período determinado.

1.2.12. Calidad

Según Pinto et al. (2020), la calidad es la producción real sin fallos ni paradas; es decir, es la obtención satisfactoria del producto, cumpliendo con todas las cualidades y características en un proceso determinado.

2. Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN

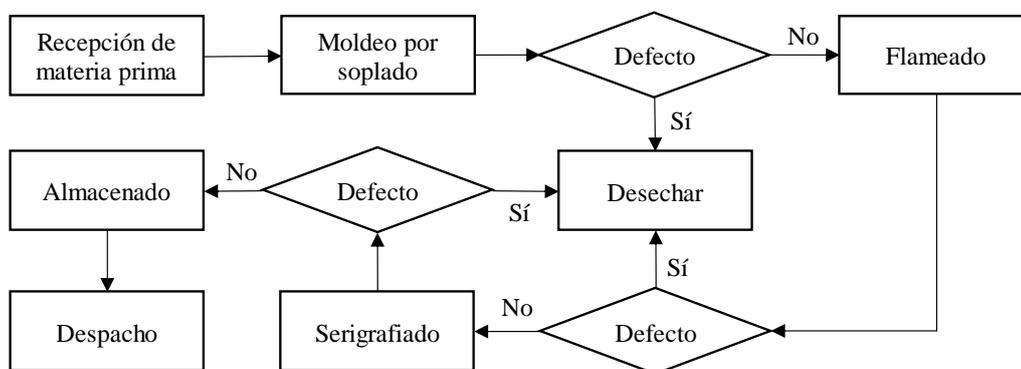
2.1. Descripción de la organización

La organización donde se desarrolla el presente proyecto es Plásticos XYZ, empresa dedicada a elaborar envases plásticos a base de polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) y polietileno tereftalato (PET). Con relación a las características comerciales, acorde a reportes del área contable, se determinó que la principal fuente de ingresos deviene de la manufactura de envases de PEHD, representando, un 78.34% de la facturación mensual. Respecto a la línea de polietileno de alta densidad (HDPE) se destaca la contribución del envase de 1 litro, 62.34% sobre los ingresos, consolidándose como el producto más representativo de la organización.

A grandes rasgos, el esquema de producción de los envases de HDPE está constituido por tres etapas; durante el soplado se obtiene el envase en bruto, el flameado sirve como preparación de la superficie para que, finalmente, el envase sea serigrafiado con el diseño solicitado por el cliente.

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso productivo



2.2. Identificación del problema

En relación con el caso de estudio, se realizó un análisis integral respecto a las operaciones de la organización, donde se identificaron, en esencia, tres problemas significativos, tal como se aprecia en la Figura 5. Se determinó orientar los esfuerzos de mejora en el eslabón de “manufactura”, en virtud de la complejidad e impacto que representa respecto a la operatividad de la organización.

Figura 5*Problemas identificados en las operaciones de la organización*

OPERACIONES		
Sourcing	Manufacturing	Delivery
Elevada tasa de deterioro de materia prima	Baja eficiencia de proceso productivo	Baja disponibilidad de unidad de transporte

Con el fin de caracterizar el desempeño del sistema de producción, se recolectaron datos durante un periodo de 12 meses respecto a los tiempos de setup, breakdown, esperas, cantidad de defectos y tiempos de ciclo. Para este último, se realizó la estimación mediante cronometraje. Cabe destacar que se consideró una muestra preliminar de diez observaciones por subproceso y se descartaron los valores atípicos para evitar sesgar los resultados garantizando una confiabilidad del 95%.

Tabla 3*Cálculo del tamaño de muestra para la toma de tiempos*

Estación	p (%)	n (lotes)	e (%)	T	CV	n* (lotes)
Soplado	97.50%	10	5.00%	2.23	0.16	51
Flameado	97.50%	10	5.00%	2.23	0.14	39
Serigrafiado	97.50%	10	5.00%	2.23	0.13	34

Con base en ello, se confeccionó el Value Stream Mapping (VSM), véase Figura 13, de donde se aprecia que el tiempo de valor agregado (VA/T) es de solo 140.40 minutos; mientras que el Lead Time del proceso (PLT) corresponde a 2357.10 minutos generando un Process Cycle Efficiency (PCE) de 5.62%, el cual es significativamente menor al estándar mundial de 25% (Nakajima, 1988).

$$\text{Process Cycle Efficiency (PCE)} = \frac{140.40}{140.40 + 2357.10} * 100\% = 5.62\% < 25\%$$

Por otra parte, en virtud de que gran parte del valor añadido (VA) es generado por la maquinaria, se han calculado los indicadores de disponibilidad, performance y calidad para la totalidad de estaciones. En este sentido, resulta notorio el impacto que ejercen las distintas

fuentes de ineficiencia, pues el Overall Equipment Effectiveness (OEE) oscila entre el 68 y 75%, siendo menor al estándar mundial de 85% (Sharma, 2019).

Tabla 4

Cálculo del OEE por estación de trabajo

Estación	Disponibilidad	Performance	Calidad	OEE
Soplado	83.09%	92.70%	89.09%	68.62%
Flameado	97.94%	80.50%	96.29%	75.92%
Serigrafiado	91.12%	85.93%	96.78%	75.77%

Como consecuencia de la existencia de *mudas* en el proceso, no es posible satisfacer la demanda promedio en un 19%, aproximadamente, según datos históricos; aun cuando se cuenta con la capacidad para tal fin.

Tabla 5

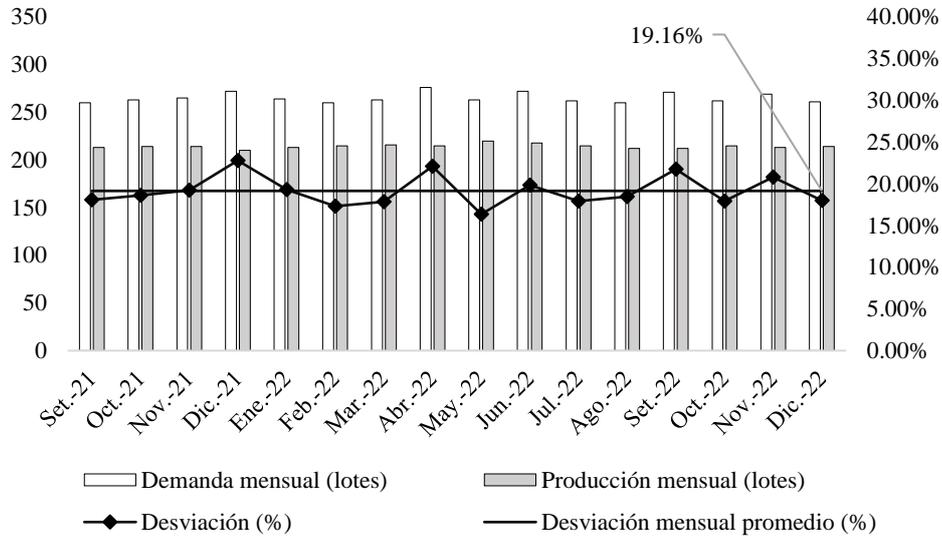
Características del sistema de producción – Situación actual

Subproceso	Cantidad de turnos por día	Tiempo disponible (min/mes)	Capacidad de producción (lotes/mes)	Demanda mensual (lotes/mes)	Producción efectiva (lotes/mes)
Soplado	3	19680	315	265	260
Flameado	2	13120	305	265	237
Serigrafiado	2	13120	258	265	214
Sistema	-	-	258	265	214

Ello resulta en la materialización de una penalidad, por incumplimiento, del 5% (1500 PEN mensuales en promedio) y aún más importante, el efecto de pérdida de solidez respecto a la confiabilidad de la organización como proveedor, lo cual representa una potencial pérdida de clientes en un contexto altamente competitivo tal como el de las MYPES. Por lo anterior, se hace patente la necesidad de orientar los esfuerzos de mejora en el diseño de una solución orientada a minimizar las distintas fuentes ineficiencia presentes en el proceso.

Figura 6

Comparativo de producción y demanda mensual

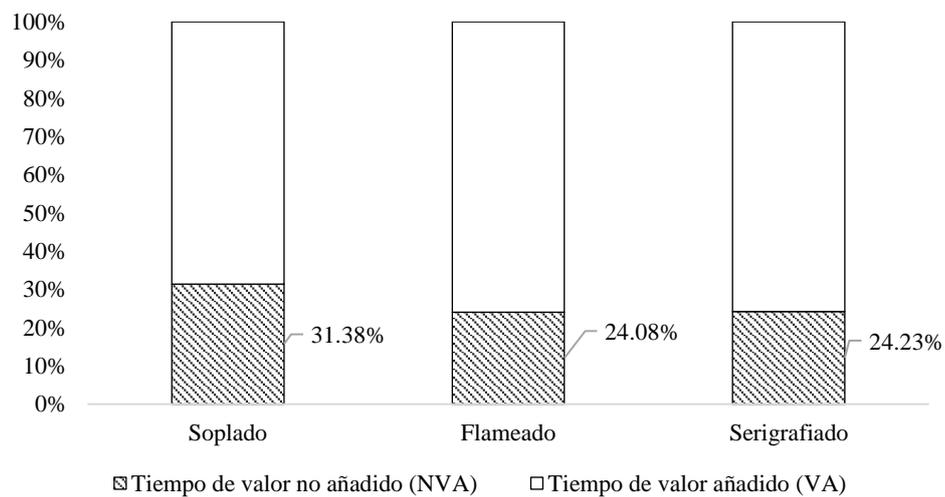


2.3. Análisis de causas

Al profundizar en el estudio del VSM, se pone de manifiesto la presencia de mudas en la totalidad de estaciones de trabajo, pues el índice de valor no añadido (NVA) oscila entre 20 y 30% aproximadamente.

Figura 7

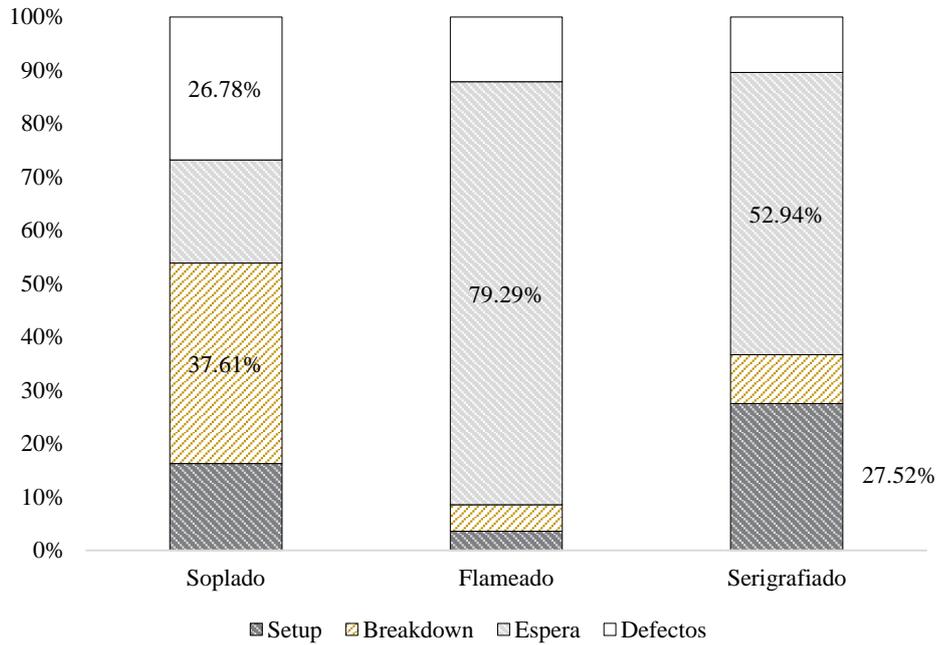
Distribución de tiempo por subprocesso



La distribución del tiempo de valor no añadido se desglosa en tiempos de setup, breakdown, espera y generación de productos defectuosos, como bien se puede apreciar en la Figura 8.

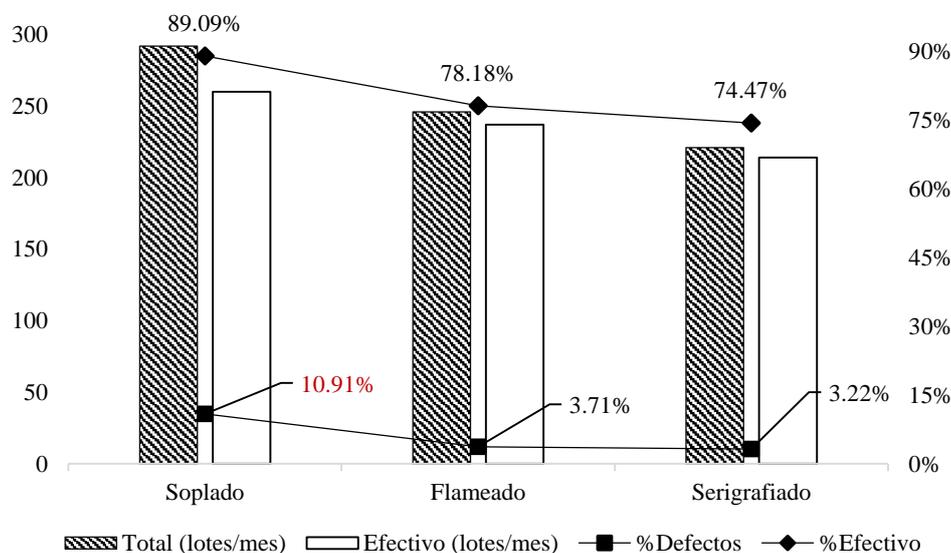
Figura 8

Distribución del Tiempo de Valor No Agregado (NVA) por subproceso



En el área de soplado, se hace patente la significancia del tiempo de breakdown (37.6%) y defectos (26.78%); debido a ello, la estación genera un cuello de botella, limitando la capacidad de las estaciones de flameado y serigrafiado, donde el tiempo por espera por material representa el 79.3% y 52.9% del tiempo de valor no agregado respectivamente.

Respecto a la generación de productos defectuosos, se hace evidente el efecto de la interacción entre estaciones de trabajo, pues el indicador de línea se encuentra en torno al 75%, dado que la pérdida en una estación limita la capacidad de la subsiguiente. Se aprecia que el mayor ratio se encuentra en el subproceso de soplado (10.91%); lo cual reafirma su carácter restrictivo para el sistema de producción.

Figura 9*Ratio de defectos por subproceso*

A fin de priorizar las fuentes de ineficiencia sobre las cuales centrar el análisis, se cuantificó el impacto económico que representan y, en función de ello, se asignaron porcentajes de contribución a la problemática.

Tabla 6*Impacto económico por tipo de muda y subproceso*

Estación	Setup (PEN/mes)	Breakdown (PEN/mes)	Espera (PEN/mes)	Defectos (PEN/mes)	Total
Soplado	288.48	2322.38	343.05	1030.07	3983.98
Flameado	14.17	157.05	719.46	252.03	1142.72
Serigrafiado	83.7	290.7	483.19	211.56	1069.16
Total general	-	-	-	-	6195.85

Con base en ello, se determinó abarcar, por un lado, la generación de defectos y elevado breakdown en la estación de soplado y; por otro lado, la demora por interrupción del flujo de material en las estaciones de serigrafiado y flameado, adicionalmente, los defectos generados en esta última, en virtud de que su significancia agregada representa el 77.59% de la problemática, en términos económicos, tal como se aprecia en la Tabla 7.

Tabla 7

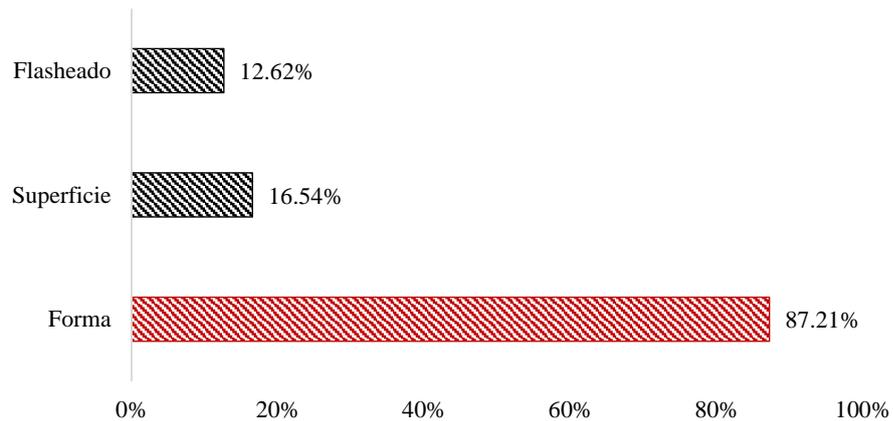
Distribución porcentual respecto al impacto económico por tipo de muda y subprocesso

Estación	Setup	Breakdown	Espera	Defectos
Soplado	4.66%	37.48%	5.54%	16.63%
Flameado	0.23%	2.53%	11.61%	4.07%
Serigrafiado	1.35%	4.69%	7.80%	3.41%
Alcance del análisis				77.59%

Cabe aclarar que, con fin de acotar el alcance del análisis, en cuanto los defectos generados en la estación de soplado, se determinó la existencia de tres tipos de defectos recurrentes; tales son el defecto de superficie, flasheado y de forma, donde este último se presenta con una mayor frecuencia (87.21%) y se asocia con la contracción de la preforma.

Figura 10

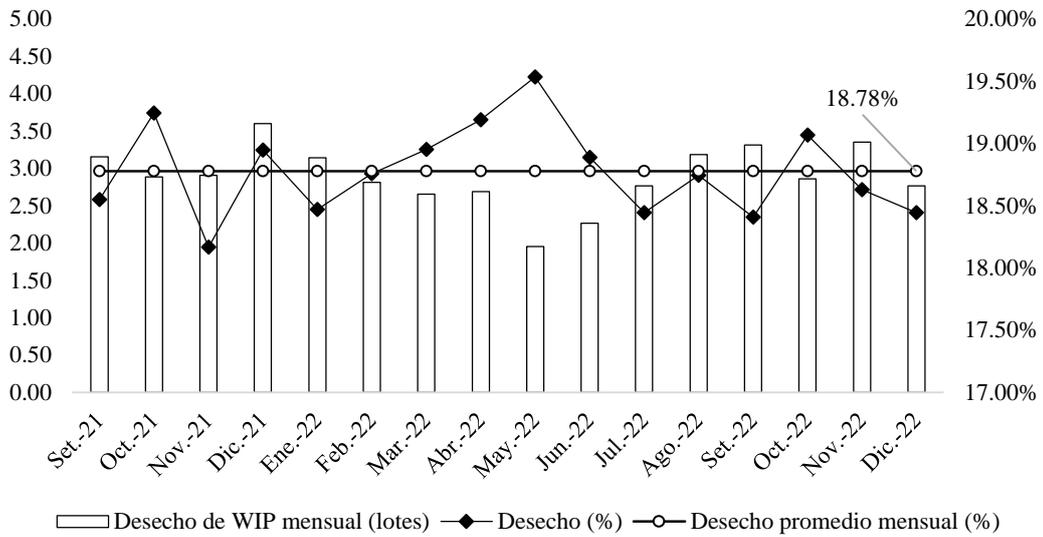
Distribución por tipo de defecto en la estación de soplado



De manera análoga, con relación a los desechos generados en la estación de flameado, la exposición del exceso de Work-in-process (WIP) al calor, genera una merma promedio alrededor del 18.78% respecto al material que se retiene en dicha estación.

Figura 11

Merma respecto al WIP por exposición al calor en la estación de flameado



Finalmente, se ha plasmado el análisis realizado en un árbol de problemas, donde se pueden apreciar trece causas, de carácter cuantitativo, asociadas con las ineficiencias expuestas.

2.4. Planteamiento de objetivos

Con base en la priorización realizada, se ha diseñado un esquema de objetivos interrelacionados que decantan en una mejora con relación a la eficiencia y, por consecuencia, en la capacidad de producción efectiva del sistema.

Figura 12

Árbol de objetivos respecto a la problemática

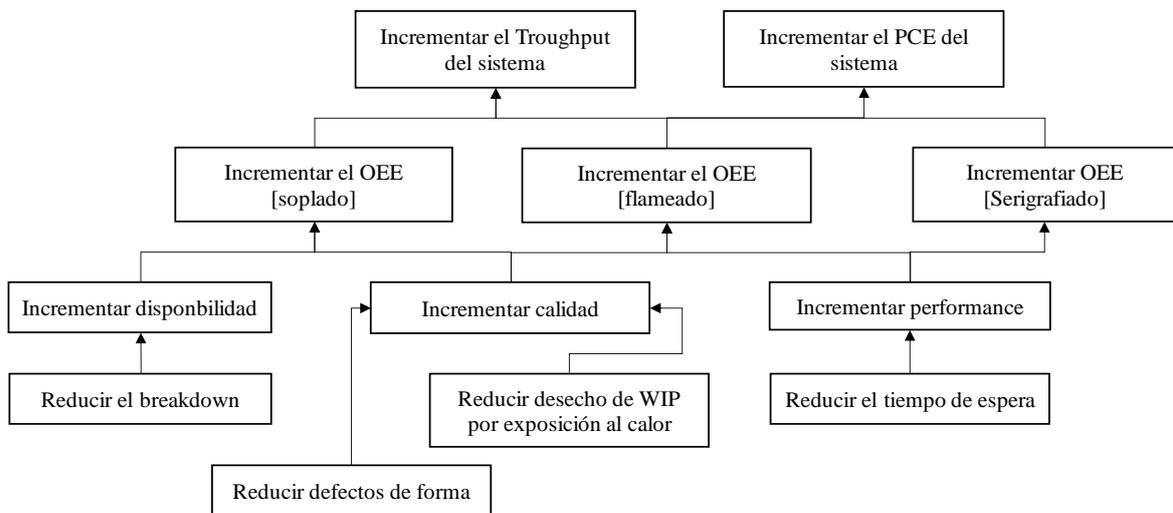


Figura 13

Value Stream Mapping (VSM) – Situación actual

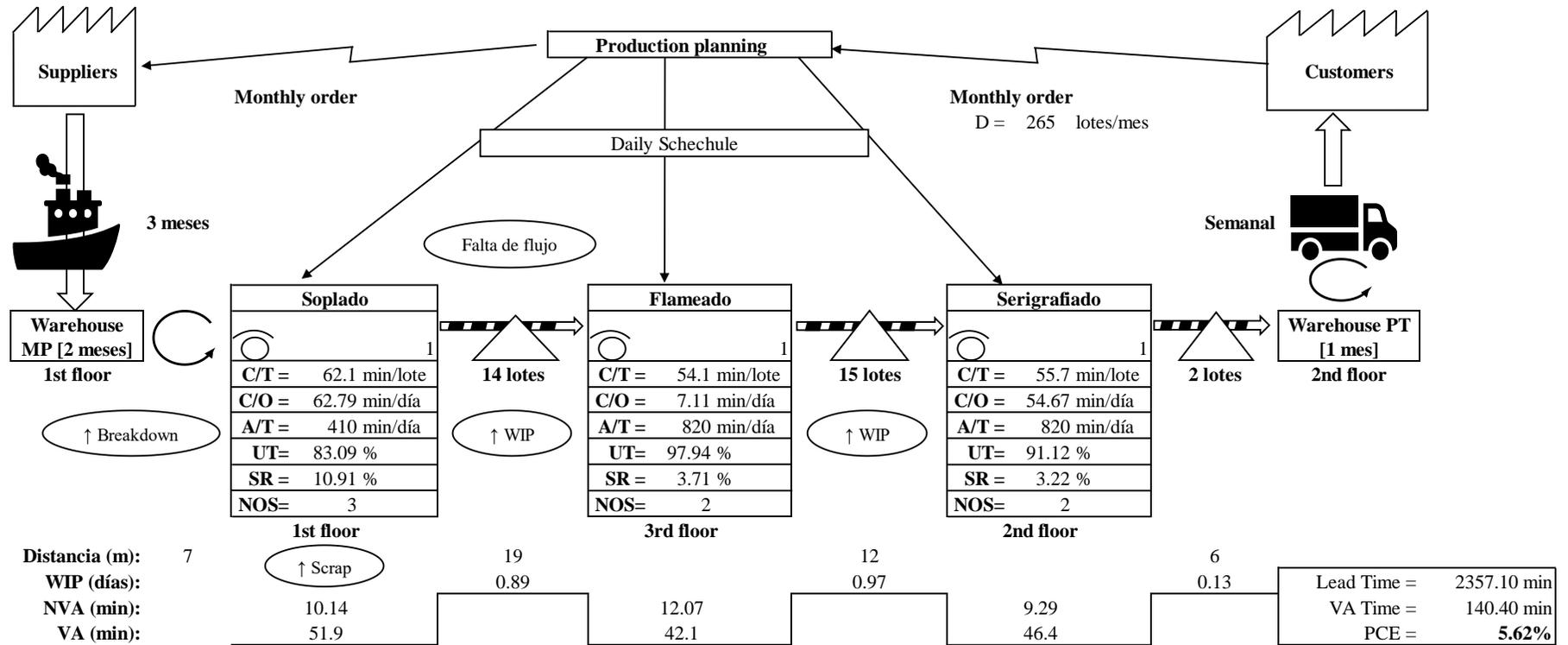
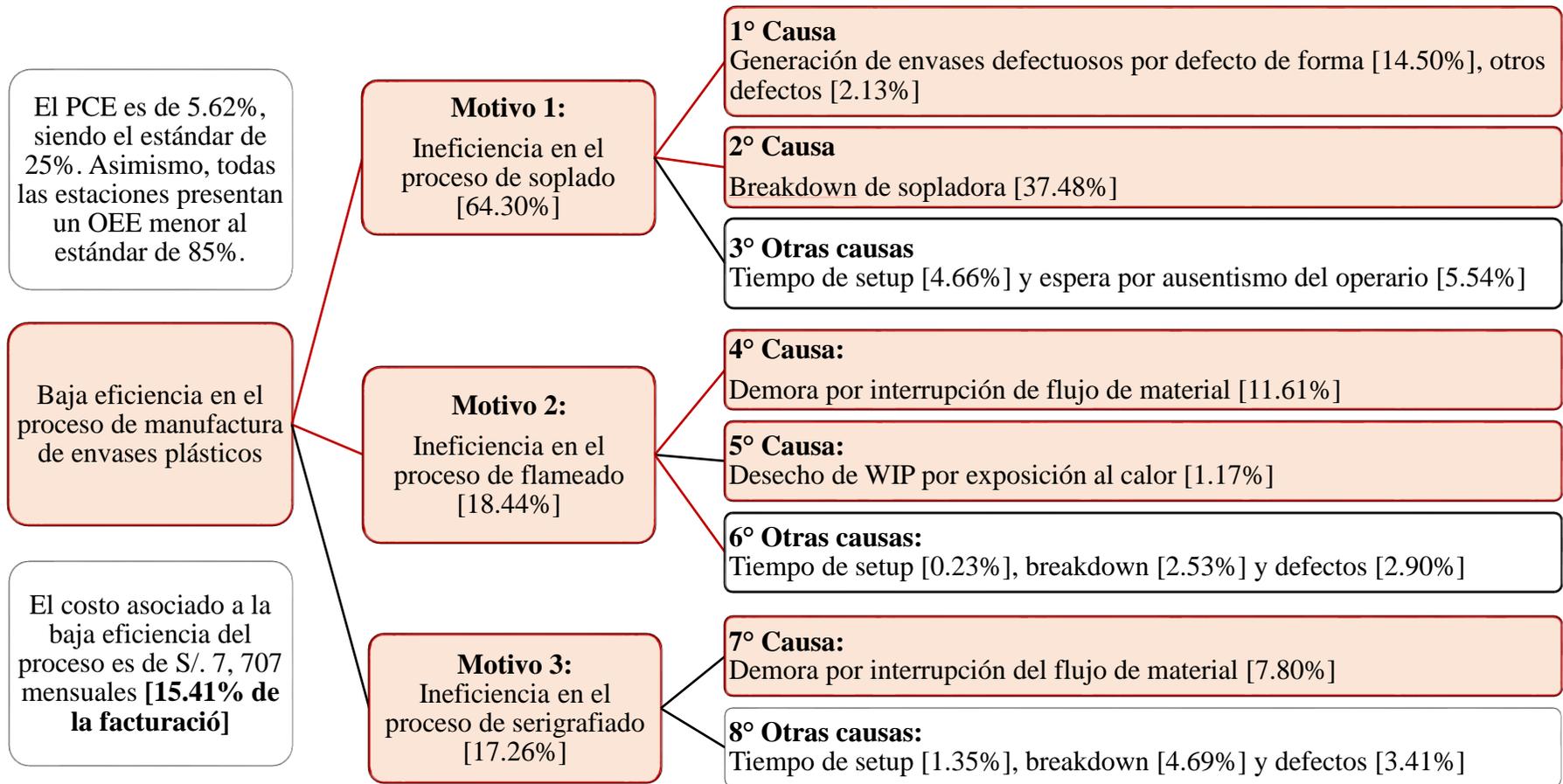


Figura 14

Árbol de problemas respecto a la problemática



3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA

3.1. Vinculación de causa con la solución

Con base en el diagnóstico realizado, se procedió a realizar una revisión integral en la literatura, a fin de determinar soluciones potenciales a las causas raíz identificadas y seleccionar la que más se ajuste al contexto organizacional de Plásticos XYZ.

En primer lugar, en relación con el elevado tiempo de breakdown en la estación de soplado, se consideró la implementación de dos pilares del Total Productive Maintenance (TPM), tales son el Mantenimiento Planificado y Mantenimiento Autónomo, dado que, según Chaurey et al. (2021), están orientados a maximizar la eficacia de los equipos mediante el establecimiento de una sinergia entre la planificación de mantenimiento y procedimientos entre operarios y maquinaria. Asimismo, en el caso de estudio desarrollado por dicho autor, se demuestra que se logra disminuir el tiempo medio de reparación (MTTR) en un 28%, lo cual aumenta la disponibilidad en un 13.2%.

En segundo lugar, con respecto al elevado ratio de defectos en la estación de soplado, se consideró la aplicación del método de Taguchi, el cual, según indica Suthar et al. (2019), cumple el objetivo de controlar experimentalmente y, a base de ensayos, los procesos para lograr una mejora en la calidad del producto. Asimismo, el citado autor expone, en su caso de estudio, que la presión, tiempo de corte, temperatura de molde y el tiempo de enfriamiento son variables que influyen en las especificaciones técnicas de los envases plásticos, y, obteniendo las configuraciones óptimas de dichas variables, logró reducir los productos defectuosos por deformación en un 16.42%.

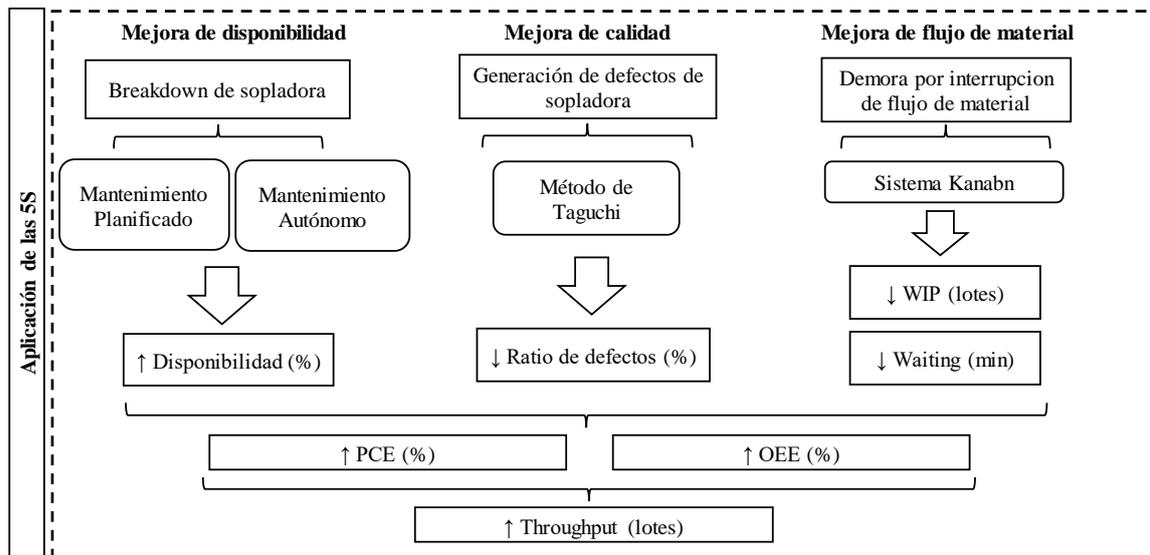
Finalmente, para la elevada cantidad de Work in process (WIP) entre la estación de flameado y serigrafiado, se consideró el desarrollo el mecanismo de control Kanban para el lanzamiento de órdenes. Kabadurmus y Durmusoglu (2020) exponen que los sistemas Kanban se desarrollaron para coordinar la confluencia de diferentes flujos de productos, y, de este modo, constituyen un sistema de liberación de pedidos que restringe el trabajo en la planta, puesto que se debe esperar a que se autorice a través de las tarjetas Kanban, reduciendo el tiempo de espera en 20.9%.

3.2. Diseño detallado de la solución

Con base a la vinculación de causas y sus potenciales herramientas de solución, se presenta un modelo orientado en aumentar la eficiencia del proceso de manufactura.

Figura 15

Modelo de solución propuesto



En primer lugar, como menciona Pinto et al. (2020), 5S es considerada una herramienta de partida orientada a la estabilización del sistema, la cual plantea una mejor detección de desperdicios para poder solucionarlos mediante un modelo dado, el cual, para este caso, será ejecutado secuencialmente. En esta ocasión, se utilizó esta metodología para promover la limpieza, salud y seguridad en el ambiente de trabajo. En su ejecución, principalmente, se organizó, ordenó y limpió los espacios en las áreas de inyección de plásticos, flameado y serigrafiado.

En segundo lugar, se utiliza el Mantenimiento Productivo Total (TPM) para poder aumentar la disponibilidad de la maquinaria de soplado, debido a que las frecuentes fallas mecánicas suponen una pérdida significativa en la capacidad de todo el sistema. Para este caso, los pilares de Mantenimiento Planificado y Mantenimiento Autónomo son los que proporcionarán dicha solución, tal como alude Singh y Gurtu (2021) en su caso de estudio.

Es importante mencionar que, para iniciar el procedimiento, se realizó la formación de tres equipos según las áreas existentes de la planta, los cuales estaban liderados por el ingeniero

y subliderados por los técnicos. El Mantenimiento Autónomo inició promoviendo el conocimiento a los empleados sobre los diversos beneficios para la organización de este pilar, en los que resaltan el ahorro de mano de obra por la autonomía en la ejecución y verificación de los procesos en la maquinaria. Consecuentemente, se iniciaron las capacitaciones asociadas con la limpieza e inspecciones iniciales, las cuales consistían en que los operarios puedan cumplir con las actividades de eliminación de residuos tales como aceite, polvo, suciedad y otros residuos, y se involucren en el proceso, identificando posibles fallas como fugas, tornillos sueltos, grietas, contaminación, sonidos, olores anormales y sobrecalentamiento. Asimismo, se continuó la metodología, eliminando los focos de contaminación; es decir, determinar de donde provienen la mayoría de las impurezas y los problemas que estos pueden generar. Entre estos, se encuentran la desviación del punto de inyección, presión alta en la sopladora, barra de estiramiento doblada y calentamiento o enfriamiento no uniforme en la sopladora. Por último, se planificó el monitoreo de la limpieza e inspección de maquinaria de manera periódica para que la ejecución correcta se sostenga en el tiempo.

Figura 16*Manual de actividades de Mantenimiento Autónomo para la máquina sopladora*

MANTENIMIENTO AUTÓNOMO		
CODIGO	MEC-TP-01	
EQUIPO	EXTRUSORA	
MODELO	C10TM	
FABRICANTE	MASHTROY TROYAN	
NORMAS A CUMPLIR DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO		
1	Verificar que las portezuelas se encuentren cerradas.	
2	Verificar el estado de la conexión de la máquina	
3	Verificar la sujeción de la pieza mediante el ajuste de las mordazas	
4	Verificar tornillos de fijación de la torre portaherramientas.	
5	Verificar la posición de los apoyos de las barras de roscar, cilindrar de mandos.	
6	Comprobar el casquillo de corte, mandril de calibración y de soplado	
7	Comprobar los cantos de corte del molde	
8	Comprobar los platos de corte de calibración	
9	Comprobar el ajuste del dispositivo de calibración	
10	Comprobar el nivel de aceite hidráulico y rellenar aceite	
11	Comprobar las tuberías de la hidráulica	
12	Controlar la hermeticidad de los cilindros de hidráulica y neumática	
13	Verificar el nivel de aceite en todos los depósitos y reponer en caso necesario.	
14	Verificar el funcionamiento de la bomba de aceite mediante el goteo en indicador de flujo de aceite.	
15	Lubricar las guías de la bancada y de los carros longitudinales y transversales.	
16	Lubricar cojinetes, tornillo y ejes de contrapunta.	
17	Lubricar barra de roscar y barra de cilindrar.	
18	Lubricar ruedas de cambio y cojinete de intermedio.	
19	Utilizar la dotación de seguridad personal suministrada por la empresa	
20	Desconectar el interruptor principal si se terminó el trabajo o se aleja de la máquina	
21	Antes de efectuar el mantenimiento, apagar y desconectar máquina.	
22	Controlar el aceite hidráulico	
23	Controlar las tuberías hidráulicas	
24	Controlar las tuberías de agua de refrigeración	
25	Controlar el acumulador de nitrógeno	
26	Descalcificar el agua de refrigeración	
27	Cambiar el aceite hidráulico	
28	Cambiar el filtro de aceite	

Seguidamente, se realizó el Mantenimiento Planificado, el cual inició con la identificación del estado actual de la maquinaria y herramientas que intervienen en el proceso de soplado. Estos fueron recopilados en una base donde se especificaba adicionalmente un criterio de evaluación de su estado actual, fallas potenciales y tipos de mantenimientos adecuados. Después de recopilar la información, se definieron cuáles son los procedimientos que involucran cada mantenimiento y el encargado de realizarlo, donde se especificaron los materiales, herramientas y tareas desglosadas para trabajar en el activo.

Figura 17

Manual de actividades de Mantenimiento Planificado para la sopladora

Máquina	Actividad	Tipo	Materiales	Frecuencia	Prioridad
Sopladora	Inspección de Faja	Revisión	Aire Comprimido, guantes	Quincenal	Media
	Cambio de Aceite	Cambio	Lubricante	Quincenal	Media
	Revisión de Motor	Revisión	Trapo industrial	Quincenal	Media
	Ajuste del sistema de encolado	Ajustar	Cambio de tuerca 3/4"	Quincenal	Media
	Revisión del sistema de calentamiento	Revisión	Guantes, trapo industrial, filo de cuchilla	Mensual	Media
	Revisión de Cuchillas de corte	Revisión	Guantes, trapo industrial, filo de cuchilla	Semanal	Alta
	Revisar botos de disparo	Revisión	Guantes, trapo industrial, filo de cuchilla	Quincenal	Media
	Revisión de tablero eléctrico	Revisión	Guantes, trapo industrial	Semanal	Alta

En el Anexo 1, se presenta las actividades especificar para cada una de las realizaciones de mantenimiento planificado a cada una de las partes analizadas de la sopladora. Finalmente, se realizó un indicador de monitoreo para evaluar el estado actual de la maquinaria y se asignó un nivel de prioridad a los mantenimientos con el cual se definió la periodicidad en la que se ejecutarán cada uno de ellos.

En tercer lugar, se procedió a realizar el Método de Taguchi para evaluar cuales son las variables de ingreso óptimos para que las salidas cuenten con los parámetros requeridos. Esta herramienta comienza con la validación del sistema de medida, el cual en este caso es un dispositivo vinculado a la misma sopladora, el cual cumple el objetivo de medir las variables input del sistema (temperatura y presión), véase en Anexo 6. Para la medición de la masa y diámetro de boquilla (variables output), se utilizó una balanza y vernier, respectivamente. Para determinar la cantidad de ensayos que se realizarán en este método,

se utilizó la fórmula de muestra de una población finita, donde resulto una muestra de 381 envases, considerando una población de 47 244 envases (productos fabricados al mes), un nivel de confianza de 95% y un error permitido del 5%.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N-1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} = \frac{47244 * 1.96^2 * 50\% * 50\%}{5\%^2 * (47244-1) + 1.96^2 * 50\% * 50\%} = 381 \text{ envases}$$

Con respecto a la cantidad de subgrupos, se utilizaron 20 subgrupos de 19 muestras cada una, debido a que, como menciona Gutierrez & De La Vara (2004), para evaluar la estabilidad de un proceso, se debe realizar un estudio entre 20 a 25 subgrupos de muestras. Los niveles utilizados para la temperatura y la presión fueron 100 °C, 110 °C, 120 °C y 10 MPa, 14 MPa y 18 MPa, respectivamente para la ejecución de los ensayos, considerando 381 envases, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8

Variables de salida resultantes respecto a los ensayos de Taguchi

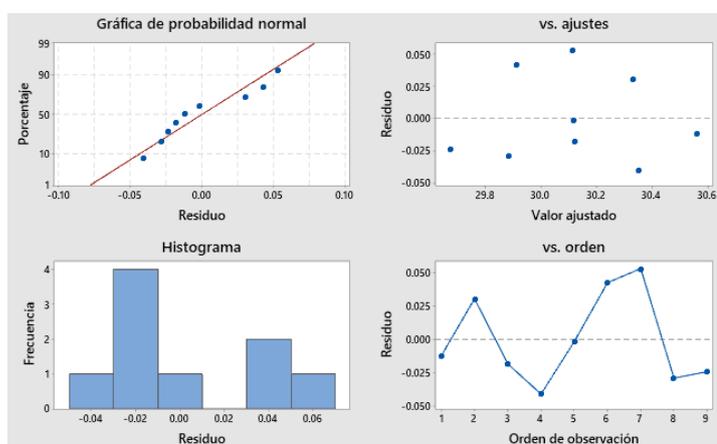
Temperatura (°C)	Presión (MPa)	Masa de pieza (g)	Diámetro de boquilla (mm)	Masa de pieza ideal (g)	Diámetro de boquilla ideal (mm)
100	10	53.42	26.62	50.00	25.00
100	14	52.37	26.03	50.00	25.00
100	18	50.29	25.34	50.00	25.00
110	10	52.70	25.80	50.00	25.00
110	14	51.13	25.28	50.00	25.00
110	18	49.50	24.89	50.00	25.00
120	10	51.79	25.39	50.00	25.00
120	14	50.17	24.46	50.00	25.00
120	18	48.05	24.01	50.00	25.00

A partir de los datos proporcionados en la tabla anterior, se realizó el Método de Taguchi, cuyos cálculos se ejecutaron en el aplicativo Minitab. Es importante mencionar que, antes de realizar este experimento, se debe determinar si las variables resultantes cumplen con los supuestos de ANOVA. En primer lugar, los datos deben cumplir con una distribución normal; para ello, se utilizará la prueba de Anderson-Darling con un nivel de confianza del 95%, en donde la hipótesis nula es que los datos provienen de una distribución normal y la hipótesis alterna es que los datos no provienen de una distribución normal. En la prueba, se obtuvo 0.930 como valor p, lo cual es mayor 0.05; por lo tanto, se puede afirmar que los

datos cumplen con una distribución normal. En segundo lugar, los datos deben poseer varianzas homogéneas; para ello, se utilizará la prueba de Barlett, en donde la hipótesis nula es que los datos tienen varianzas iguales y la hipótesis alterna es que los datos no tienen varianzas iguales. En la prueba, se obtuvo 0.753 como “valor p”, lo cual es mayor 0.05; por lo tanto, se puede afirmar que los datos poseen varianzas iguales. Finalmente, los datos deben ser independientes, lo cual se verificó con la gráfica “Residuos vs. Orden”.

Figura 18

Verificación de supuestos de ANOVA



Finalmente, se ejecuta el método de Taguchi en donde resulta que la presión causa mayor impacto que la temperatura en las variables de salida. Asimismo, los parámetros óptimos son los que se acercan más a la masa ideal (50 gramos) y diámetro de boquilla (25mm); es decir, el tercer nivel de la temperatura (120°C) y el tercer nivel de la presión (18 MPa).

Tabla 9

Respuestas para relaciones de señal a ruido respecto a la variable masa

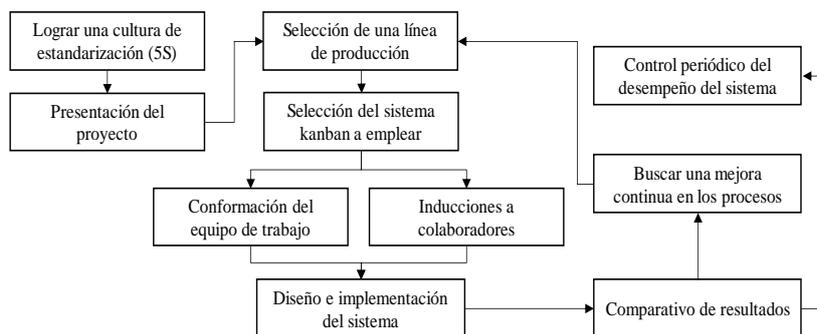
Variable	Masa (g)		Diámetro (mm)	
	Temperatura	Presión	Temperatura	Presión
Nivel				
1	52.02	52.64	26	25.94
2	51.11	51.22	25.32	25.26
3	50	49.28	24.62	24.75
Delta	2.02	3.36	1.38	1.19
Influencia	2	1	1	2

Después de ello, se comunica a la directiva que se programen los parámetros 120°C y 18 MPa para la temperatura y presión, respectivamente. Es importante mencionar que, con dichos parámetros, se obtuvo un diámetro de boquilla promedio de 25.1 centímetros y una masa de 49.7 gramos en una muestra de 381 envases.

Finalmente, a fin de garantizar la correcta implementación de la técnica Kanban, se diseñó una metodología de aplicación basada en la revisión de literatura realizada.

Figura 19

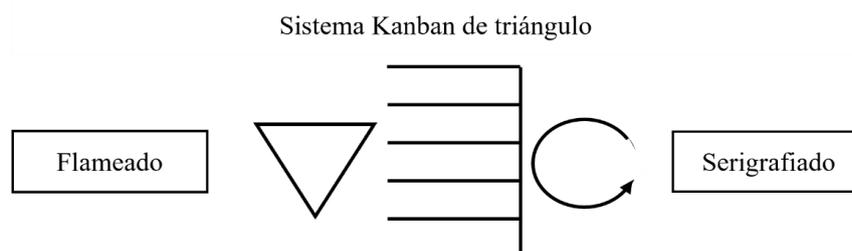
Metodología de aplicación para el sistema Kanban



En primera instancia, Kumar et al. (2018) expone que la conformación de un equipo que lidere la implementación y monitoreo inicial del sistema Kanban constituye una práctica recomendada según la evidencia empírica. En tal sentido, acorde a este lineamiento, se conformó y asignaron roles a los miembros del equipo en función de su interés y disponibilidad involucrando a la alta gerencia con dicho proyecto. Respecto a ello, se inició con la ejecución gradual de capacitaciones soportada en un cronograma de reuniones, véase Anexo 6. Posteriormente, según el análisis realizado, se diseñó la conexión los procesos de flameado y soplado mediante la aplicación de un sistema Kanban “Tipo Triángulo”, ya que este se ajusta a entornos de producción por lote (Arango et al., 2015), tal como se esquematiza en la Figura 20.

Figura 20

Esquema de implementación del sistema Kanban



Con base en ello, se realizaron los cálculos correspondientes a fin de determinar el número de tarjetas Kanban que circularán en el sistema. Cabe destacar que se consideraron ciertas restricciones que fueron optimizadas empleando un modelo de Programación Lineal (PL) resuelto con el Software Lingo ®.

Figura 21

Modelo para la determinación de la cantidad de cambios de referencia

```
sets:
producto/1..4/:dem,setup,calidad,t_ciclo,x,tt;
end sets

data:
dem      =      200      50      22      28;
setup    =      7.11     7.11     7.11     7.11;
calidad  =      0.0371   0.0248  0.0135   0.0084;
t_ciclo  =      0.0238   0.0253  0.0250   0.0256;
end data

Min = (tt(1)-tt(2))^2 + (tt(1)-tt(3))^2 + (tt(1)-tt(4))^2+ (tt(2)-tt(3))^2+ (tt(2)-tt(4))^2+(tt(3)-tt(4))^2;

@sum(producto(i): x(i)*setup(i))<93.67;
@for(producto(i): tt(i)=(dem(i)*(1+calidad(i))/(x(i)*t_ciclo(i)))+setup(i));
@for(producto(i):@gin(x(i)));

End|
```

Tabla 10

Diseño lógico del sistema Kanban

Sistema Flameado – Serigrafiado	UM	Referencias			
		1L	1/2 L	1/4 L	Ácido
Tiempo planificado	min/mes	16000			
Demanda	lote/mes	265	50	22	28
Capacidad de envase	lote/caja	4	8	10	4
Cadencia de producción	lote/min	0.0238	0.0253	0.0250	0.0256
Pérdidas de calidad	%	3.71%	2.48%	1.32%	0.84%
Tiempo para producción	min/mes	11561	2022	892	1101
Tiempo para setup	min/cambio	7.11	7.11	7.11	7.11
Downtime Flameado	%	2.06%			
Tiempo para setup	min/mes	93.67			
Cantidad de cambios		9	2	1	1
Bloque	lote	29	25	22	28
Cantidad de cajas	cajas	8	4	3	7
Punto de reposición	cajas	7	1	1	1
Número de Kanban en el sistema	tarjetas	22			

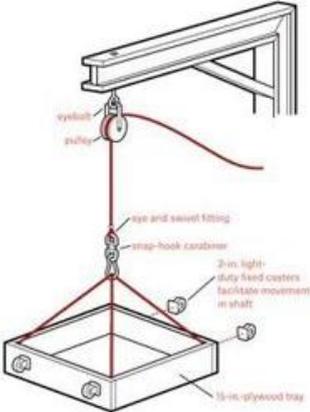
Por otra parte, a fin de adoptar el concepto de “Célula de manufactura” se conectaron los procesos de soplado y flameado. Se optó por implementar un ascensor de carga entre estos,

puesto que estos se encuentran en diferentes niveles de la planta, lo que generaba demoras por interrupción en el flujo del material.

Figura 22

Diseño del ascensor de carga a implementar

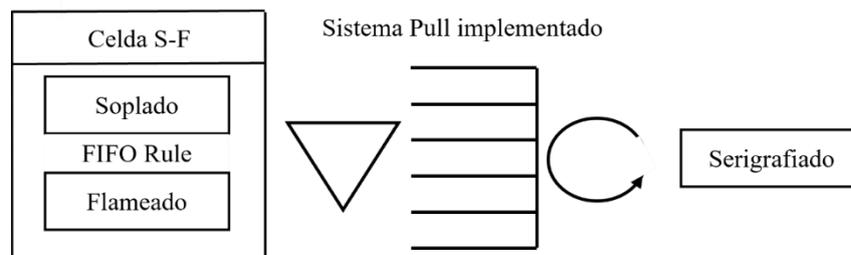
FICHA TÉCNICA		
Especificación	Unidad de medida	Valor
Capacidad de carga		
Máximo	kg	28
	lote	6.0
Dimensiones de caja		
Ancho	m	1.5
Largo	m	2.0
Profundidad	m	1.5
Velocidad	m/s	1.0
Alimentación eléctrica	V	220
Potencia de motor	W	800
Tipo de anclaje	Apoyo vertical	



Finalmente, se presenta el esquema operativo tras la implementación de ambos componentes permitiendo agilizar la manufactura con un mínimo de Work-In-Process (WIP).

Figura 23

Esquema Pull implementado en la línea de HDPE



3.3. Diseño de indicadores

Después de haber seleccionado las herramientas y como estas proveen una solución a la problemática existente, se determinaron los valores actuales (As Is) y valores esperados (To Be) para los indicadores definidos anteriormente, a partir de los casos de estudio revisados:

Tabla 11

Resultados As Is y To Be proyectado

Estación	Métrica	UM	As is	To be	Mejora	Referencias
Soplado	Breakdown	min/mes	2322	2072	10.79%	Ahmad et al. (2022)
Soplado	Defectos	lote/mes	32	28	13.40%	Yu et al. (2019), Almansoori et al (2021)
Soplado	Overall Equipment Effectiveness	%	68.62%	77.22%	12.53%	Calculado, en base al proyectado
Flameado	Work in process	lote	15	10	32.61%	Martins et al. (2021), Kabadurmus & Durmusoglu (2020)
Flameado	Tiempo de espera	min/mes	2505	1881	24.90%	Martins et al. (2021), Kabadurmus & Durmusoglu (2020)
Flameado	Overall Equipment Effectiveness	%	75.92%	80.55%	6.10%	Calculado, en base al proyectado
Sistema	Process Cycle Efficiency	%	5.62%	7.58%	34.80%	Calculado, en base al proyectado
Sistema	Throughput	lote/mes	214	250	16.85%	Calculado, en base al proyectado

3.4. Consideraciones para la implementación

3.4.1. Propuesta de la solución: Gestión de recursos

Para garantizar la continuidad del proyecto, se estimó el costo asociado a su desarrollo, el cual consiste en costos de la implementación del proyecto y costos administrativos.

Tabla 12

Costos operativos para la implementación del proyecto

Descripción	Costo Unitario (PEN)	Cantidad	Monto total (PEN)
Tablero Kanban	500	2	1000
Anaqueles	200	2	400
Estantes	280	7	1960
Especialista en Lean Manufacturing	2550	3	7650
Calibración de sopladora	1250	1	1250
Herramientas varias (véase Anexo 17)	7500	1	7500
Útiles de escritorio	180	1	180
Ascensor de carga	5200	1	5200
Total General	-	-	25140

Tabla 13

Costos administrativos para la implementación del proyecto

Descripción	Costo Unitario (PEN)	Cantidad	Monto total (PEN)
Movilidad y alimentación	25	90	2250
Curso de especialización en Lean	1200	2	2400
Kit de útiles de escritorio	20	8	160
Total General	-	-	4810

Con base en ello, se determina que el costo total para la implementación del proyecto asciende a un total de 29,950 PEN.

3.4.2. Cronograma de desarrollo: Gestión del tiempo

En la presente sección, se expone el cronograma de trabajo ejecutado:

Figura 24

Cronograma de planificación e implementación del proyecto de mejora

N	Descripción	Set-21 a Nov- 22	Dic-22		Ene-23		Feb-23		Mar-23		Abr-23		May-23	
			Quincena 1	Quincena 2										
1	Planificación del proyecto													
1.1	Recolección de datos													
1.2	Identificación de problemas													
1.3	Diseño de la propuesta de solución													
2	Implementación de la propuesta de solución													
2.1	Fase 1.1: Implementación de las 5S													
2.1.1	Fase 1.1.1: Planificación													
2.1.2	Fase 1.1.2: Seiri													
2.1.3	Fase 1.1.3: Seiton													
2.1.4	Fase 1.1.4: Seiso													
2.1.5	Fase 1.1.5: Seiketsu													
2.1.6	Fase 1.1.6: Shitsuke													
2.2	Fase 1: Implementación de TPM													
2.2.1	Fase 1.2: Implementación de Mantenimiento autónomo													
2.2.2	Fase 2.1.1: Aumento de conocimiento de personal													

2.2.3	Fase 2.1.2: Limpieza e inspección inicial													
2.2.4	Fase 2.1.3: Eliminación de fuentes de contaminación													
2.2.5	Fase 2.1.4: Estandarización													
2.2.6	Fase 2.1.5: Control y monitoreo													
2.3	Fase 1.3: Implementación de Mantenimiento Planificado													
2.3.1	Fase 3.1.1: Creación de orden de trabajo													
2.3.2	Fase 3.1.2: Inspeccionar activos e instalaciones													
2.3.3	Fase 3.1.3: Asegurar estado de recursos actuales													
2.3.4	Fase 3.1.4: Agregar nivel de prioridad													
2.3.5	Fase 3.1.5: Determinar indicadores de monitoreo													
2.4	Fase 2: Implementación de método de Taguchi													
2.4.1	Fase 2.1: Definición de objetivo													
2.4.2	Fase 2.2: Definición y evaluación de problema													
2.4.3	Fase 2.3: Validación de sistema de medida													
2.4.4	Fase 2.4: Ejecución de ensayos													
2.4.5	Fase 2.5: Determinación del modelado													
2.4.6	Fase 2.6: Establecimiento y estandarización de parámetros													

2.5	Fase 3: Implementación de Sistema Pull													
2.5.1	Fase 3.1: Visualización del proceso actual													
2.5.2	Fase 3.2: Diseño del modelo lógico del sistema													
2.5.3	Fase 3.2: Implementación de tablero Kanban													
2.5.4	Fase 3.3: Gestión del trabajo en curso													
2.5.5	Fase 3.4: Estandarización del proceso													
2.6	Validación de resultados													
2.6.1	Ejecución de ensayos de muestreo													
2.6.2	Análisis de resultados													
2.6.3	Comunicación de resultados													

4. Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO

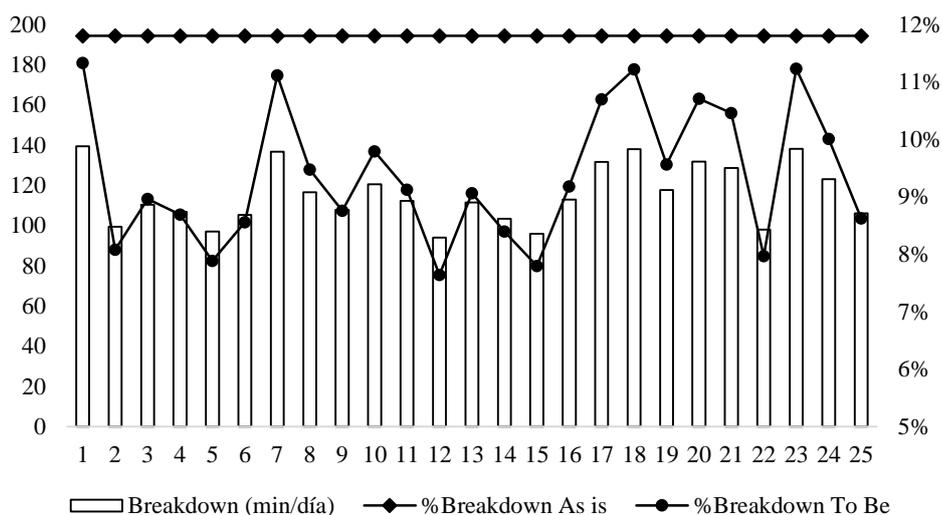
4.1. Validación Funcional

A fin de garantizar la validez y confiabilidad de los resultados se consideró el método de validación por prueba piloto, dado que este consta de un ensayo experimental orientado a comprobar el desempeño final del sistema de producción, en materia de fortalezas y debilidades; es decir, permite realizar aproximaciones reales. En este sentido, se determinó distribuir dicho muestreo en 25 subgrupos (días) según lo recomendado por Gutierrez y De la Vara (2004).

Con respecto a la implementación de los pilares de Mantenimiento Autónomo y Planificado de la metodología TPM, se esperó que la disponibilidad de la máquina de la sopladora experimentara un incremento, tal como se aprecia en la Figura 25.

Figura 25

Comparativo As is vs To Be - Tiempo de breakdown en la estación de soplado

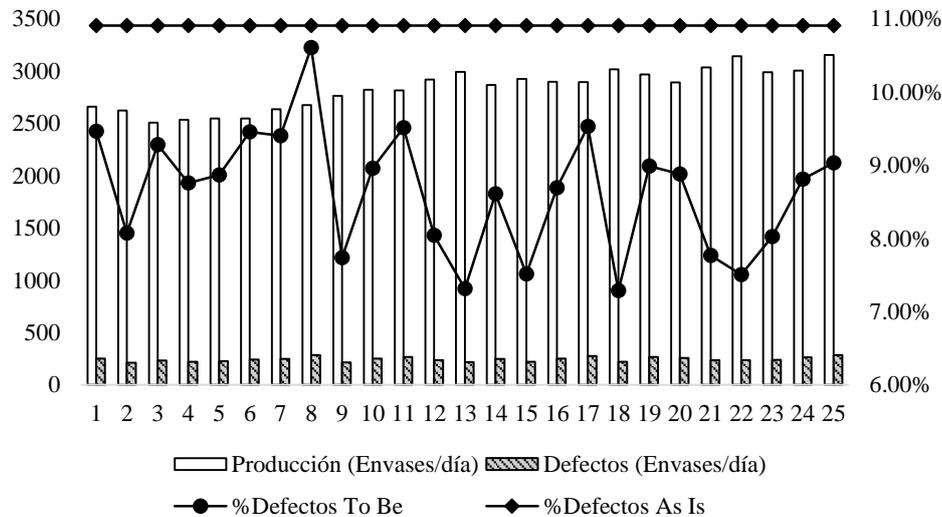


Se puede evidenciar que los tiempos de paro, en la estación de soplado, oscilan entre 90 a 120 minutos, cuyo promedio ronda alrededor de los 115 minutos por día. Ello constituye una mejora de 30 minutos y 20.60 % en términos nominales y porcentuales respectivamente.

Por otra parte, con relación a la determinación del arreglo de parámetros óptimos para la operación de la máquina sopladora, resulta notoria la reducción de no conformidades en dicha estación de trabajo. Acorde con el muestreo realizado, el promedio de rechazos es de 245 envases por día representando una mejora del 20.74 % respecto a la situación inicial.

Figura 26

Comparativo As is vs To Be - Envases defectuosos en la estación de soplado



Con relación al flujo del material, mediante la implementación de la configuración Pull entre las estaciones de Flameado y Serigrafiado, se logró una reducción sustancial respecto a la cantidad de WIP que circulaba en el sistema; como consecuencia, se redujo también la merma de este debido a la exposición al calor derivando en una mejora del 28.86% y 20.37% en las métricas de calidad y performance para las estaciones de flameado y serigrafiado respectivamente. Finalmente, la confluencia de las mejoras enfocadas en los distintos subprocesos deriva en una mejora sobre los indicadores del sistema. Tras la prueba piloto, se evidenció un incremento en el OEE para la totalidad de estaciones de trabajo. Por otra parte, el PCE y Troughput experimentaron un crecimiento del 18.39% y 15.14% respectivamente.

Tabla 14

Resultados As Is y To Be tras la implementación de la prueba piloto

Estación	Métrica	UM	As is	To be	Mejora
Soplado	Breakdown	min/día	145	115	20.60%
Soplado	Defectos	envases/día	308	244	20.78%
Soplado	Overall Equipment Effectiveness	%	68.62%	73.31%	6.84%
Flameado	Work in process	lote	14	10	28.86%
Flameado	Overall Equipment Effectiveness	%	75.92%	82.16%	6.83%
Serigrafiado	Tiempo de espera	min/día	105.16	83.74	20.37%

Estación	Métrica	UM	As is	To be	Mejora
Serigrafiado	Overall Equipment Effectiveness	%	75.77%	78.30%	3.34%
Sistema	Process Cycle Efficiency	%	5.62%	6.62%	17.75%
Sistema	Throughput	lote/mes	214	250	16.65%

4.2. Evaluación del impacto económico

Se han considerado las siguientes precisiones para la evaluación del impacto económico asociado con la implementación del proyecto:

- El flujo de caja financiero considera un periodo de 3 años, debido a que Plásticos XYZ constituye una empresa consolidada en el mercado.
- El financiamiento será otorgando por el mecanismo de factoring a través de la entidad Prestatype, en virtud de que esta representa la mejor tasa de interés en el mercado (21.3%).

Por un lado, los beneficios derivados de la implementación del modelo son los siguientes:

- Cantidades adicionales vendidas debido a que el incremento en la capacidad de producción del sistema permite cubrir la demanda insatisfecha de la situación inicial.
- El ahorro en costos de mantenimiento como efecto de la reducción en la tasa de ocurrencia de fallas técnicas en la sopladora.

Por otro lado, los costos derivados de la implementación del modelo son los siguientes:

- Costos variables: Contempla la materia prima, mano de obra, costos de embalaje y empaquetado por la manufactura de lotes adicionales, así como la energía eléctrica requerida para su producción.
- Costos de capacitación periódica: Representan el compromiso de la alta gerencia con el involucramiento y entrenamiento del personal, forman parte de la filosofía de mejora continua.
- Costos de mantenimiento: Compuesto por la previsión para la ejecución del programa de mantenimiento planificado, donde se consideran repuestos y la adquisición de nuevas herramientas según corresponda.

Figura 27

Flujo de caja para la evaluación financiera del proyecto

Año	UM	Costo unitario	0	1	2	3
Demanda adicional cubierta	Lote/mes	36		432	432	432
Beneficio por atender demanda adicional	PEN/lote	S/ 114.00		S/ 49,248.00	S/ 49,248.00	S/ 49,248.00
Reducción en las horas de mantenimiento	hora/mes	7.97		95.67	95.67	95.67
Ahorro en el costo de mantenimiento	PEN/hora	S/ 60.00		S/ 5,739.93	S/ 5,739.93	S/ 5,739.93
Beneficio total				S/ 54,987.93	S/ 54,987.93	S/ 54,987.93
Costos variables	PEN/lote	S/ 67.20		-S/ 29,030.40	-S/ 29,030.40	-S/ 29,030.40
Costos de capacitación periódica	PEN/sesión	S/ 220.00		-S/ 880.00	-S/ 880.00	-S/ 880.00
Costo por mantenimiento planificado	PEN/hora	S/ 210.00		-S/ 840.00	-S/ 840.00	-S/ 840.00
(-) Depreciación del ascensor de carga	PEN/año	S/ 1,733.33		-S/ 1,733.33	-S/ 1,733.33	-S/ 1,733.33
Utilidad antes de impuestos				S/ 22,504.20	S/ 22,504.20	S/ 22,504.20
Impuesto a la renta		29.50%		-S/ 6,638.74	-S/ 6,638.74	-S/ 6,638.74
(+) Depreciación del ascensor de carga				S/ 1,733.33	S/ 1,733.33	S/ 1,733.33
Inversión Inicial			-S/ 17,143.99			
F.C.E.			-S/ 17,143.99	S/ 17,598.79	S/ 17,598.79	S/ 17,598.79
Préstamo						
Amortización				-S/ 5,714.66	-S/ 5,714.66	-S/ 5,714.66
Interés				-S/ 3,651.67	-S/ 2,434.45	-S/ 1,217.22
(+) Beneficio tributario				S/ 1,077.24	S/ 718.16	S/ 359.08
F.C.F			-S/ 17,143.99	S/ 9,309.70	S/ 10,167.85	S/ 11,025.99
F.C.F. en T=0			-S/ 17,143.99	S/ 7,674.94	S/ 6,910.47	S/ 6,177.82
F.C.F acumulado			-S/ 17,143.99	-S/ 9,469.05	-S/ 2,558.58	S/ 3,619.24

Con el fin de evaluar financieramente los resultados del proyecto, se consideraron tres indicadores financieros, los cuales son el Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Retorno beneficio-costos (RBC).

Tabla 15

Indicadores financieros de evaluación del proyecto

Indicador	Valor
Valor Presente Neto (VAN)	S/ 3,619.24
Tasa Interna de Retorno (TIR)	34%
Retorno Beneficio/Costo (RBC)	1.21

Dado que se cuenta con un VAN positivo (S/. 3,619.24), un TIR superior a la Tasa de descuento (34.20% > 21.3%) y un RBC mayor a 1 (1.21), se evidencia que, el proyecto es financieramente viable.

4.3. Evaluación de impactos no económicos

Resulta conveniente evaluar aspectos adicionales al económico, puesto que en el enfoque moderno son consideradas también las dimensiones ambiental y social, como complemento, en el marco de una metodología de desarrollo sostenible, tal como se aprecia en la Tabla 16.

Tabla 16

Indicadores de mejora respecto a las dimensiones social y ambiental

Dimensión	Indicador	Unidad	Antes	Actual	Mejora
Social	Rotación de Personal	%	13.33%	7.14%	46.44%
	Cantidad de accidentes	semestral	5	2	60.00%
	Consumo de energía	kW/mes	738	688	6.78%
Ambiental	Consumo de agua	m3/mes	147	129	12.25%
	Generación de desperdicio plástico	kg/mes	68	62	8.82%

CONCLUSIONES

El modelo de mejora expuesto, conformado por los pilares de Mantenimiento Autónomo y Planificado de la metodología TPM, Método de Taguchi y Kanban, presenta efectividad con relación a la mejora del PCE y Capacidad del sistema de producción, dado que se incrementaron estos indicadores en un 17.75% y 16.65% respectivamente. Ello deriva de las mejoras enfocadas asociadas con la disponibilidad, calidad y flujo de material, en cada subproceso según el diagnóstico realizado. Se destaca que dichos resultados se encuentran alineados con los reportados en la literatura existente; si bien es cierto, estos se encuentran determinados, en su mayoría, en el contexto Europeo y Asiático, mediante el presente caso de estudio se respalda su aplicabilidad en el marco operativo de una MYPE en Latinoamericana. Por otra parte, se resalta que la aplicación del modelo propuesto guarda influencia sobre las tres dimensiones del enfoque sostenible. La mejora en el ámbito económico se sostiene en los indicadores financieros expuestos en la sección 4.2. Respecto al ámbito social, se evidencia la disminución en los accidentes de trabajo y rotación de personal. Finalmente, con relación al ámbito ambiental, se destaca la reducción en el consumo de energía, agua y desperdicio de materia prima, lo cual es coherente con una legislación medioambiental cada vez más exigente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el monitoreo de indicadores considerando un periodo de tiempo más prolongado; haciendo énfasis en aquellos afines a la implementación de los pilares del TPM, en virtud de que, según los expertos, la mejoría en los resultados se manifiesta en el mediano-largo plazo.
- Se recomienda mantener el programa de capacitaciones debido a que la sostenibilidad del modelo radica en la implantación de una cultura de mejora continua tanto a nivel directivo como operativo. En este sentido, ante posibles convocatorias de reclutamiento, se deben alinear los perfiles de trabajo con dicha filosofía de mejora.
- Se recomienda realizar una revisión periódica respecto a los parámetros que definen el modelo de mejora, puesto que eventos tales como una variación sostenida en la demanda o algún cambio sustancial en la cantidad de turnos de trabajo deben decantar en una validación de las herramientas definidas para cada subproceso.
- Se recomienda extender la metodología de análisis expuesta a las líneas de producción restantes, dado que el caso de estudio se ha limitado a abarcar la más representativa en términos de contribución de ingresos anuales para la organización.

Referencias

- Adeodu, A., Kanakana-Katumba, M., & Rendani, M. (2021). Implementation of lean six sigma for production process optimization in a paper production company. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(3), 661–680. <https://doi.org/10.3926/jiem.3479>
- Ahmad, R., Mohd, R., & Mustafa, S. (2022). Value stream mapping with lean thinking model for effective non-value added identification, evaluation and solution processes. *Operations Management Research*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00265-9>
- Almansoori, N., Aldulaijan, S., Althani, S., Hassan, N., Ndiaye, M., & Awad, M. (2021), Manual spray painting process optimization using Taguchi robust design, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(1), 46-67. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2019-0248>
- Arango, M., Campuzano, L., & Zapata, J. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 221–233. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5506343>
- Chaurey, S., Kalpande, S.D., Gupta, R.C., & Toke, L.K. (2021), A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(1), 114-135. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0118>
- Sociedad de Comercio Exterior del Perú. (2023). *Las micro y pequeñas empresas en el Perú - Resultados en 2022*. ComexPeru. <https://www.comexperu.org.pe/upload/articles/reportes/reportes-mypes-2022.pdf>
- Gutierrez, H., & De La Vara, R (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.
- Pinto, G., Silva, F., Baptista, A., Fernandes, N., Casais, R., & Carvalho, C. (2021). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 16(2), 319–325. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920320606>

- Instituto de Estudios Económicos y Sociales. (2021). *Situación Actual del Sector Plástico y Perspectivas de la Industria Plástica*. IEES. <https://sni.org.pe/wp-content/uploads/2022/01/45-Situacion-actual-del-sector-plastico.pdf>
- Kabadurmus, O., & Durmusoglu, M. B. (2020). Design of pull production control systems using axiomatic design principles. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(3), 620-647. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2019-0272>
- Kumar, S., Dhingra, A., & Singh, B. (2018). Lean-Kaizen implementation: A roadmap for identifying continuous improvement opportunities in Indian small and medium sized enterprise. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(1), 143-160. <http://dx.doi.org/10.1108/JEDT-08-2017-0083>
- Martins, B., Silva, C., Silva, D., MacHado, L., Brás, M., Oliveira, R., Carvalho, T., Silva, V., & Lima, R. M. (2021). Implementation of a Pull System-A Case Study of a Polymeric Production System for the Automotive Industry. *Management Systems in Production Engineering*, 29(4), 253–259. <https://doi.org/10.2478/mspe-2021-0031>
- Ministerio del Ambiente. (s.f.). *Cifras del mundo y el Perú*. Ministerio del Ambiente. Recuperado el 1 de noviembre de 2023, de <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Ministerio del ambiente. (2018). *Ley N 30884 de 2018. Por lo cual se expide Ley Regula el consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/354773/ds_006-2019-minam.pdf?v=1566571539
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Productivity Press.
- Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. (2023). *Boletín de Producción manufacturera. Reporte de producción manufacturera*. Ministerio de Producción. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/1133-2023-junio-report-de-produccion-manufacturera>

- Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. (2021). *Tejido empresarial en el Perú a nivel provincial*. Ministerio de Producción. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/k2/tablero-bi2>
- Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. (2020). *La productividad y el tejido empresarial peruano*. Ministerio de Producción. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/estadisticas/oei-documentos-publicaciones/documentos-de-trabajo-oei/publicaciones-especiales/item/923-la-productividad-y-el-tejido-empresarial-peruano>
- Plastics Europe. (2022). *Plásticos – Situación en 2022*. Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/plasticos-situacion-en-2022/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2018). *El estado de los plásticos - perspectiva del Día Mundial del Medio Ambiente*. ONU. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Sharma, R. (2019). Overall equipment effectiveness measurement of TPM manager model machines in flexible manufacturing environment: a case study of automobile sector. *International Journal of Productivity and Performance Management, Inderscience Enterprises Ltd*, 26(2), 206-222. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPQM.2019.097767?journalCode=ijpqm>
- Singh, R. K., & Gurtu, A. (2021). Prioritizing success factors for implementing total productive maintenance (TPM). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(4), 810-830. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2020-0098>
- Suthar, J., Persis, J., & Gupta, R. (2019). Critical parameters influencing the quality of metal castings: a systematic literature review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(1), 83-82. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2020-0368>
- Sutoni, A., Setyawan, W., & Munandar, T. (2019). Total Productive Maintenance (TPM) Analysis on Lathe Machines using the Overall Equipment Effectiveness Method and

Six Big Losses. *Journal of Physics: Conference Series*, 1179(1).
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1179/1/012089>

Tello, M. (2022). Índice de eficiencia técnica de las empresas de Perú. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 1(90), 111–151. <https://doi.org/10.13043/DYS.90.4>

Yu, J. C., Chen, X. X., Hung, T. R., & Thibault, F. (2019). Optimization of extrusion blow molding processes using soft computing and Taguchi's method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(5), 625–634.
<https://doi.org/10.1023/B:JIMS.0000037712.33636.41>

Anexos

Anexo 01

Criterio de evaluación para determinar el estado de la extrusora

Actividades para Mantenimiento		Plásticos M-P-1-SO																
Empresa:		Versión: 01																
Elaborado por:		Fecha:																
Sede: Callao		Parte: Extrusora																
Ítem	Actividades	Frecuencia	Feb-23				Mar-23				Abr-23				May-23			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Apretar los tornillos en la brida de sujeción	Semanal																
2	Comprobar la refrigeración de la zona de llenado	Semanal																
3	Limpiar la abertura de limpieza	Semanal																
4	Controlar el nivel de aceite en el cojinete axial y rellenar	Semanal																
5	Controlar el nivel de aceite en el engranaje	Semanal																
6	Controlar cintas de calefacción y sondas térmicas	Semanal																
7	Controlar la fijación y ajuste de extrusora	Semanal																
8	Controlar la tensión de la correa trapezoidal	Semanal																
9	Limpiar el tornillo sin fin y taladro de tubo cilíndrico	Semanal																
10	Cambiar el aceite del cojinete axial	Semanal																
11	Cambiar el aceite del engranaje	Semanal																
12	Cambiar el aceite del cojinete axial	Semanal																
13	Desencalar la tubería de la zona de llenado	Semanal																
14	Controlar el restado de correo trapezoidal	Semanal																
15	Controlar el ajuste del apoyo de extrusora	Semanal																
16	Controlar el motor de accionamiento	Semanal																
17	Controlar temperatura del aceite	Semanal																
18	Limpiar el tamiz	Semanal																

Anexo 02

Criterio de evaluación para determinar el estado de la inyectora

Ítem	Actividades	Frecuencia	Feb-23				Mar-23				Abr-23				May-23			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Comprobar el nivel del aceite en el atomizador	Semanal																
2	Comprobar el nivel de agua en el filtro de aire comprimido	Semanal																
3	Comprobar el casquillo de corte y mandril de calibración	Semanal																
4	Comprobar los cantos de corte del molde	Semanal																
5	Comprobar los platos de corte de calibración	Semanal																
6	Comprobar el ajuste del dispositivo de calibración	Semanal																
7	Comprobar el nivel de aceite hidráulico y rellenar aceite	Semanal																
8	Comprobar las tuberías de la hidráulica	Semanal																
9	Controlar la hermeticidad de los cilindros de hidráulicos	Semanal																
10	Comprobar la lubricación central y rellenar de grasa	Semanal																
11	Comprobar la lubricación centrar y rellenar de grasa	Semanal																
12	Limpiar la máquina de soplado	Semanal																
13	Comprobar el acumulador de nitrógeno y rellenarlo	Semanal																
14	Engrasar los largueros y las guías de sincronización	Semanal																
15	Engrasar las boquillas de engrase	Semanal																
16	Cambiar el filtro de aceite	Semanal																
17	Limpiar el cartucho del filtro de aire	Semanal																
18	Comprobar las tuberías del agua de refrigeración	Semanal																
19	Desmontar y limpiar el mandril de calibración y soplado	Semanal																
20	Comprobación de conexiones eléctricas	Semanal																
21	Limpiar el intercambiador de calor	Semanal																
22	Comprobar todas las uniones roscadas	Semanal																
23	Cambiar el aceite hidráulico y depósito	Semanal																
24	Comprobar el control de temperatura del aceite hidráulico	Semanal																
25	Descalcificar el circuito de agua de refrigeración	Semanal																

Anexo 03

Criterio de evaluación para determinar el estado del regulador de pared

Actividades para Mantenimiento		Plásticos M-P-1-SO																
Empresa:		Versión: 01																
Elaborado por:		Fecha:																
Sede: Callao		Parte: Regulador de pared																
Ítem	Actividades	Frecuencia	Feb-23				Mar-23				Abr-23				May-23			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Controlar el aceite hidráulico	Semanal																
2	Controlar las tuberías hidráulicas	Semanal																
3	Controlar las tuberías de agua de refrigeración	Semanal																
4	Controlar el acumulador de nitrógeno	Semanal																
5	Descalcificar el agua de refrigeración	Semanal																
6	Cambiar el aceite hidráulico	Semanal																
7	Cambiar el filtro de aceite	Semanal																

Anexo 04

Criterio de evaluación para determinar el estado del cabezal de extrusión

	Actividades para Mantenimiento	Plásticos M-P-1-SO																
	Empresa:	Versión: 01																
	Elaborado por:	Fecha:																
	Sede: Callao	Parte: Cabezal de Extrusión																
Ítem	Actividades	Frecuencia	Feb-23				Mar-23				Abr-23				May-23			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Desmontar y limpiar el casquillo de guía	Semanal																
2	Desmontar y limpiar la boquilla y el núcleo	Semanal																
3	Controlar la conexión del aire del puerto	Semanal																
4	Controlar condiciones térmicas	Semanal																
5	Desmontar y limpiar la placa del núcleo	Semanal																
6	Desmontar y limpiar el cabezal de extrusión	Semanal																

Anexo 05

Criterio para evaluación de sopladora

Máquina	Componentes	Criterio			
		Malo (0)	Regular (1)	Bueno (2)	Muy bueno (3)
Sopladora	Suciedad	Hay evidencia de suciedad, aceite, grasa, polvo, etc.	Hay evidencia de poca suciedad y poco polvo; sin embargo, tiene fuga de aceite y grasa.	Hay evidencia de poca suciedad y poco polvo. No tiene fuga de aceite y grasa.	Libre de suciedad. No tiene fuga de aceite o grasa.
	Daños	Existe evidencia de daños grave.	Existe evidencia de daños.	Existe daño mínimo.	No existe daño.
	Tuberías	Se encuentra en mal estado de conservación.	Se encuentra en buen estado; sin embargo, se encuentra inestable (no fijada correctamente).	Se encuentra en buen estado y fijada correctamente.	Se encuentra en buen estado y fijada correctamente.
	Pernos y Tuercas	No existe orden o estandarización (Tipo, tamaño, forma)	-	-	Existe orden o estandarización (Tipo, tamaño, forma)
	Óxido	Existe evidencia significativa de oxido.	Existe evidencia de oxido.	Existe evidencia de oxido leve.	No existe evidencia.
	Pintura	Pintura en mal estado, con salpicaduras.	Pintura en mal estado regular, sin salpicaduras.	Pintura en estado regular, con salpicaduras.	Pintura en buen estado
	Tablero Eléctrico	Mal estado de tablero y existe evidencia de cables sueltos y no existe indicación de botoneras.	Tablero eléctrico en condición regular; sin embargo, existe evidencia de cables sueltos y no existe indicación de botoneras.	Tablero en buena condición sin indicación de botoneras.	Tablero hermetizado y estandarizado.

Anexo 6

Dispositivo de validación de variables input



Anexo 07

Registro de capacitación

REGISTRO DE CAPACITACIÓN

DATOS DEL EMPLEADOR

RAZÓN SOCIAL:
ACTIVIDAD
ECONÓMICA:

DIRECCIÓN:
RUC:

DATOS DEL EXPOSITOR

EMPRESA:
EXPOSITOR:

DATOS DE CAPACITACION

FECHA:
HORA DE INICIO:
HORA DE TERMINO

EMPRESA CAPACITADA:
TIEMPO:

N°	TEMA DE CAPACITACIÓN
1	
2	
3	

RELACIÓN DEL PERSONAL CAPACITADO

N°	DNI	APELLIDOS	NOMBRES	CARGO	ÁREA	FIRMA
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

FIRMA DEL EXPOSITOR

Anexo 08

Formato para ejecución de auditoría 5S

Auditoría 5S	Área		Línea de envases de HDPE		Fecha				
	Puntuación actual		Puntuación anterior		24/06/2022				
	11%		-		Puntuación				
Punto de revisión			Criterio de evaluación		0	1	2	3	4
Clasificar	1	Materiales y/o piezas	No se encuentran materiales y/o piezas innecesarias en el área de trabajo		x				
	2	Máquinas y/o equipos	No existen máquinas y/o equipos de carácter inutilizable					x	
	3	Herramientas	La totalidad de herramientas son de uso frecuente				x		
	4	Criterios de clasificación	Se cuenta con criterios para diferenciar la situación estable de la anormal		x				
	5	Tratamiento de elementos	Existen criterios definidos para el tratamiento de los elementos innecesarios		x				
	Puntaje parcial					5			
Ordenar	6	Indicadores de localización	Las áreas se encuentran delimitadas por indicadores de lugar		x				
	7	Indicadores de componentes	Cada componente está debidamente rotulado			x			
	8	Indicadores de cantidad	Existen indicativos de stock mínimo y máximo		x				
	9	Líneas de división	Las áreas de paso, operación y trabajo en proceso se encuentran señalizadas		x				
	10	Herramientas	Las herramientas poseen un lugar definido		x				
	Puntaje parcial					1			
Limp iar	11	Pisos	Los pisos están libres de basura, agua, aceite, entre otras condiciones		x				

	12	Máquinas y/o equipos	La totalidad de maquinaria se encuentra libre de aceite	x					
	13	Limpieza con inspección	La limpieza e inspección son consideradas simultáneas	x					
	14	Responsabilidades de limpieza	Se emplea un esquema rotativo para la limpieza	x					
	15	Limpieza habitual	La limpieza es una actividad frecuente		x				
	Puntaje parcial			1					
Estandarizar	16	Asignación de las tareas 3S	Se realizan asignaciones de las tareas de clasificación, orden y limpieza	x					
	17	Procedimientos	Se cuenta con procedimientos de trabajo claros y actualizados			x			
	18	Control visual	Es fácil distinguir una estable de la atípica	x					
	19	Plan de mejoramiento	Se cuentan con planes de acción sobre las fuentes de suciedad	x					
	20	Mantenimiento de las 3S	Existe un sistema que garantice la clasificación, orden y limpieza	x					
	Puntaje parcial			2					
Mantener	21	Condiciones 5S	Las herramientas, equipos y/o materiales son devueltos siempre a su ubicación		x				
	22	Evaluaciones	Los ambientes son evaluados periódicamente	x					
	23	Corrección de anomalías	Se toman acciones inmediatas cuando se detectan anomalías	x					
	24	Procedimientos	Todos los procedimientos son de conocimiento del personal y se respetan		x				
	25	Reglas y reglamentos	Todos los reglamentos son de conocimiento del personal y se respetan	x					
	Puntaje parcial			2					
Puntaje total			11%						

Nota. Cuestionario adaptado de Siaudzionis et al. (2018)

Anexo 09

Situación inicial de orden de materiales



Anexo 10

Situación de mejora de orden de materiales



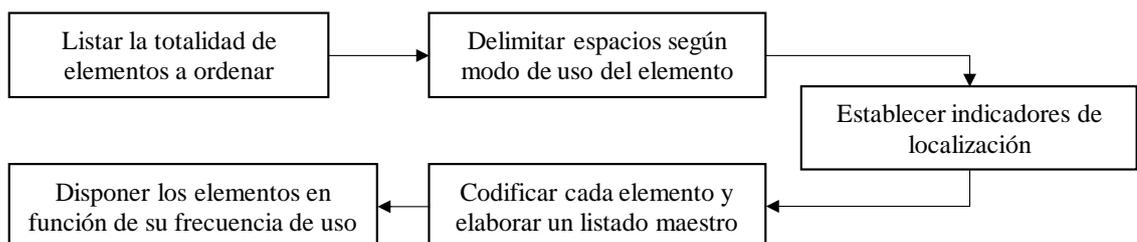
Anexo 11

Formato de tarjeta de clasificación utilizado en el proyecto 5S

Ficha de clasificación de materiales		
Fecha		Responsable
Área		Turno
Descripción del componente		Cantidad
Tipo de categoría	Maquina	
	Equipo	
	Insumo	
	Herramienta	
	Repuesto electrónico	
	Repuesto mecánico	
	Producto terminado	
	Otro	
Motivo de retiro	Repuesto deteriorado	
	Repuesto defectuoso	
	Producto terminado defectuoso	
	Material contaminado	
	Accesorio de molde defectuoso	
	Recurso obsoleto	
	Otro (Especificar)	
Acción requerida	Destinar zona de acopio	
	Eliminar	
	Reparar	

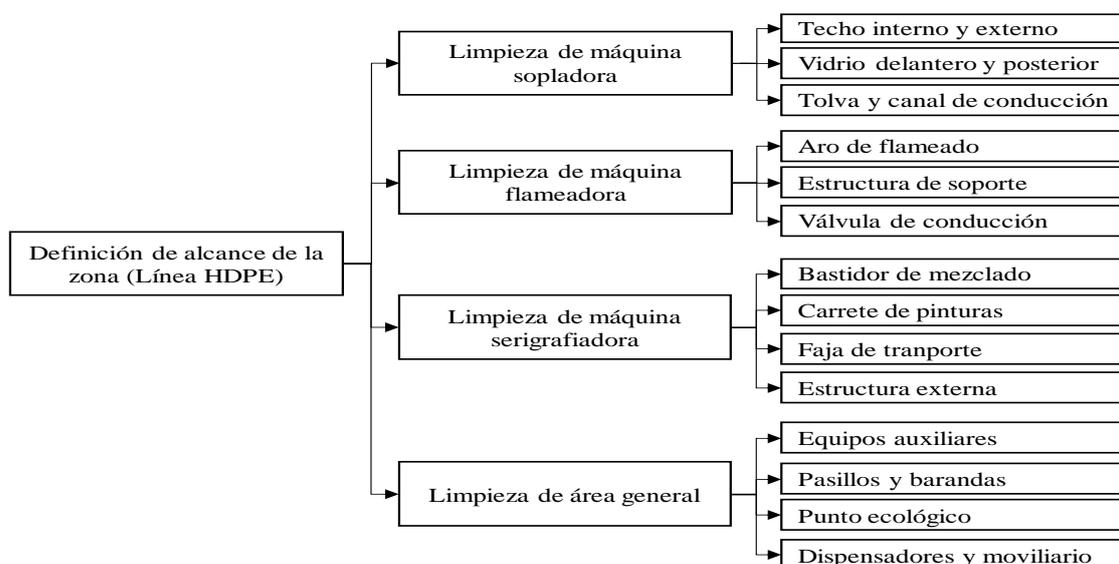
Anexo 12

Metodología para el ordenamiento de elementos



Anexo 13

Estructura de actividades de limpieza para la línea de HDPE



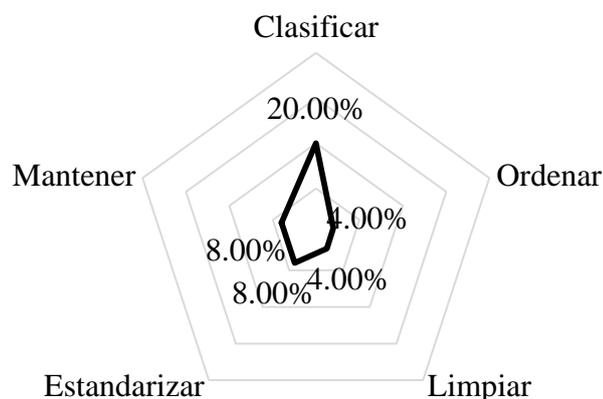
Anexo 14

Distribución de actividades 3S

Actividad	Frecuencia	Tiempo	Unidad	Responsable
Aplicación de estrategia de "Clasificación" (Tarjetas rojas)	Diario	8	minutos	Daniel Tinedo
Revisión de indicadores de localización	3 x semana	12	minutos	Andrés Ramos
Revisión de indicadores de elemento	3 x semana	12	minutos	Raúl Mendoza
Realizar limpieza de las áreas "S, F, SS y G"	Diario	20	minutos	Richard Arocutipa
Desengrase de maquinaria	1 x semana	1.5	horas	Andrés Ramos

Anexo 15

Evaluación preliminar de 5S



Anexo 16

Costos de herramientas para mantenimiento

Ítem	Descripción	Detalle	Cantidad	Costo unitario (PEN)	Costo total (PEN)
1	Focos ahorradores	60 W	06	10.50	63.00
2	Trapo industrial	5 kg	01	25.50	25.50
3	Lampara Tuvo	60 W – 40 cm	03	4.20	12.51
4	Escobas		06	9.00	54.00
5	Cinta Aislante	3 m	12	3.20	38.40
6	Candado para puerta		01	15.00	18.90
7	Gasolina		04	4.50	18.36
8	Banda	B64BL	05	16.00	105.30
9	Banda	B77	06	24.00	144.72
10	Fusibles	10:00 am	20	2.10	48.00
11	Contacto	220 V	12	72.00	975.60
12	Malla para filtro	80 m	01	7.20	7.20
13	Fusibles	25 A	20	2.96	59.20
14	Perno cabeza hexagonal	M17	20	4.60	92.00
15	Perno Allen CC/UNC	M16	15	3.70	55.50
16	Perno Allen CC/UNC	M14	10	3.70	37.00
17	Bandas	B83	04	23.00	124.00
18	Grasa		16	29.60	473.60
19	Aceite	SAE 90	01	246.00	246.00
20	Grasa Multipróposito		01	9.90	9.90
21	Conectores Eléctricos		50	0.37	18.50
22	Pintura Esmalte	1 gal	03	50.00	150.00
23	Tubo galvanizado	3/4"	01	39.60	39.60
24	Rodamiento	NU218	02	203.00	406.00
25	Electrodo	E 6013	02	5.60	11.20
Total general					3,233.99