



—
Facultad de Ingeniería

Propuesta para el mejoramiento en el área de mantenimiento de la línea de embotellado PET de la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá.

Autores

Juan Sebastián Ochoa Ortiz

Sebastián Moncada Luna

Tutor

Ray Alfredo Bello Dávila

Universidad El Bosque

Programa de Ingeniería Industrial

Gestión e Ingeniería de Operaciones

Bogotá D.C., Colombia

Noviembre 2023

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado a todos aquellos que han sido pilares fundamentales en el camino académico, brindando su apoyo y aliento incondicional.

A mi familia, quienes han sido nuestra fuente de amor, comprensión y constante motivación. Gracias por creer en nosotros y por ser el apoyo inquebrantable en cada paso que dimos.

A los amigos, quienes han estado a nuestro lado durante este viaje universitario. Sus palabras de aliento, risas compartidas y momentos de distracción fueron imprescindibles para mantenernos enfocados y equilibrados.

Agradecimientos

Agradecimiento, a nuestro director de trabajo de grado Ray Alfredo Bello, por su guía, apoyo y sabios consejos a lo largo de este proyecto. Su compromiso y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de esta tesis.

Nos gustaría expresar nuestra gratitud a los profesores y profesoras, cuyas enseñanzas y conocimientos sentaron las bases para este trabajo de investigación en especial a las metodólogas Mariluz Osorio y Emilsy Medina. Su pasión por la materia y su constante apoyo fueron invaluableles.

Queremos agradecer a nuestra familia, amigos y compañeros por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Sus palabras de aliento, paciencia y comprensión me brindaron la motivación necesaria para superar los desafíos que se presentaron.

Nos sentimos profundamente agradecidos a todas las personas que participaron en este estudio, ya sea como entrevistados, colaboradores o voluntarios. Su participación fue esencial para obtener los datos y resultados necesarios.

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción	2
1. Formulación Del Proyecto	4
1.1 Problema De Investigación	4
1.1.1 Identificación	4
1.1.2 Descripción	5
1.1.3 Planteamiento	9
1.2 Justificación	9
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Marco Referencial	10
1.4.1 Antecedentes	10
1.4.2 Marco teórico	12
1.5 Metodología	17
1.6 Alcances y Resultados	20
2. Diagnóstico de la situación actual	20
2.1 Descripción del Sistema	20
2.1.1 Tipos de paro	22
2.1.2 Costos de mantenimiento	25
2.1.3 Arribo de piezas	27
2.2 Análisis de las causas de las paradas productivas	28
2.3 Conclusión del diagnóstico	29
3. Propuesta de mejoramiento del proceso en el área de mantenimiento	29
3.1 Metodología 5´s para paros por saneamiento	30
3.1.1 Seiri (Clasificación)	30

3.1.2	<i>Seiton</i> (Organización)	31
3.1.3	<i>Seiso</i> (Limpieza)	32
3.1.4	<i>Seiketsu</i> (Estandarización)	32
3.1.5	<i>Shitsuke</i> (Disciplina y Hábito)	32
3.2	Gestión eficiente de paros en equipos. (TPM mejoras enfocadas)	33
3.2.1	Fabricación por torneado y fresado mecánico	36
3.2.2	Fabricación por inyección	37
3.2.3	Fabricación por manufactura aditiva	38
3.3	Manejo del protocolo <i>software</i> en producción PET	46
3.4	Mejora del suministro hídrico en la línea de producción	47
3.5	Aplicación del sistema <i>Kanban</i>	49
3.6	Control y seguimiento de la verificación de equipos auxiliares	53
3.7	Conclusión de la propuesta de mejoramiento	56
4.	Plan de implementación de la propuesta de mejoramiento.	57
4.1	Beneficios de la propuesta de mejoramiento.	57
4.2	Cronograma	58
4.3	Recursos necesarios	59
4.3.1	Recursos humanos	59
4.3.2	Estrategia de protocolo <i>software</i>	60
4.3.3	Recursos materiales	60
4.4	Roles y Responsabilidades	61
4.5	Comunicaciones	61
4.5.1	Plan de comunicaciones	61
4.6	Gestión de riesgos	62
4.7	Evaluación y seguimiento	63
4.7.1	Evaluación y monitoreo de riesgos	63
4.7.2	Seguimiento de acciones de mitigación	64
4.7.3	Monitoreo de indicadores clave de rendimiento (KPI)	64
4.7.4	Auditorías y revisiones regulares	64

4.7.5	Actualización y mejora continua	64
4.8	Análisis integral de mejora (Costos - tiempo)	65
4.8.1	Paros por saneamiento	65
4.8.2	Paros por equipo	67
4.8.3	Paros ajenos	69
4.8.4	Paros operativos	70
4.8.5	Paros en equipos auxiliares	71
4.9	Conclusión en implementación de la propuesta	74
5.	Conclusiones y recomendaciones.	75
5.1	Conclusiones	75
5.2	Recomendaciones	75
	Referencias	77
	Anexos	80

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz metodológica.	19
Tabla 2. Mantenimiento industrial	25
Tabla 3. Listado de trabajadores.	26
Tabla 4. Lista de tareas.	31
Tabla 5. Listado de piezas.	34
Tabla 6. Costo por torneado y fresado.	36
Tabla 7. Tiempo por torneado y fresado.	36
Tabla 8. Operarios por torneado y fresado.	36
Tabla 9. Costo por inyección.	37
Tabla 10. Tiempo por inyección.	38
Tabla 11. Operarios por inyección.	38
Tabla 12. Costos por manufactura aditiva con base a Rhinoceros 3D.	38
Tabla 13. Tiempo por manufactura aditiva.	40
Tabla 14. Operarios por manufactura aditiva.	40
Tabla 15. Comparativo de métodos (Costo).	40
Tabla 16. Comparativo de tiempo.	42
Tabla 17. Comparativo de operarios.	44
Tabla 18. Totales métodos de fabricación.	45
Tabla 19. Valoración métodos de fabricación.	45
Tabla 20. Protocolo de software.	46
Tabla 21. Tiempo protocolo software.	47
Tabla 22. Operarios por manufactura aditiva.	47
Tabla 23. Costo sistema de almacenamiento de agua.	48
Tabla 24. Pasos de implantación <i>Kanban</i> .	49
Tabla 25. Estructura de tarjeta <i>Kanban</i>	52
Tabla 26. Tablero de control <i>Kanban</i> .	52
Tabla 27. Cronograma de mantenimiento de los equipos.	54
Tabla 28. Cronograma de actividades.	58
Tabla 29. Roles.	61
Tabla 30. Plan de comunicación.	62
Tabla 31. Tabla de riesgos.	63
Tabla 32. Propuesta paros saneamiento.	65
Tabla 33. Propuesta paros por equipo.	67
Tabla 34. Propuesta paros ajenos.	69
Tabla 35. Propuesta paros operativos.	70
Tabla 36. Propuesta paros en equipos auxiliares.	72

Lista de figuras

Figura 1. Producción de línea.	5
Figura 2. Pareto de producción por línea en el año 2021.	6
Figura 3. Tiempos improductivos en horas año 2021.	7
Figura 4. Tipos de mantenimiento industrial.	13
Figura 5. Curva de costos de mantenimiento con relación al tiempo.	14
Figura 6. Implementación del mantenimiento preventivo.	16
Figura 7. Gestión de activos.	21
Figura 8. Diagrama ciclo de mantenimiento.	22
Figura 9. Tiempos efectivos y pérdidas por paros – minuto.	23
Figura 10. Tiempos no programados para producción – minuto.	24
Figura 11. Comportamiento gasto de mantenimiento por caja unitaria producida 2022.	26
Figura 12. Tiempo de arribo de las piezas nacionales e importadas en días hábiles.	27
Figura 13. Esquema de organización de herramientas.	32
Figura 13. Modelo 3D pieza de banda transportadora.	35
Figura 14. Planos pieza de banda transportadora.	35
Figura 15. Simulación impresión 3D.	39
Figura 16. Comparativa de costos con base a métodos de fabricación.	41
Figura 17. Comparativa del tiempo con base a métodos de fabricación.	43
Figura 18. Comparativa del número de operarios por método de fabricación.	44
Figura 19. Tanque 40.000 litros.	48
Figura 20. Motobomba Dogo 4T 5,5 HP 600 L/min.	48
Figura 21. Comparativa de costos.	66
Figura 22. Comparativa de tiempos.	66
Figura 23. Comparativo de costos paros por equipo.	68
Figura 24. Comparativa de tiempo paros por equipo.	68
Figura 25. Comparativo de tiempo paros ajenos.	70
Figura 26. Comparativo de tiempo paros operativos.	71
Figura 27. Comparativo de tiempo paros en equipos auxiliares.	72

Tabla de anexos

Anexo A. Banda transportadora.	80
Anexo B. Empaques.	80
Anexo C. Bujes, conos y uñas.	81

Resumen

Este proyecto tiene como propósito plantear una propuesta de mejoramiento en los procesos del área de mantenimiento enfocados en piezas para maquinaria industrial, esto mediante conceptos de logística y *Total Productive Maintenance* -TPM-, así como conceptos financieros. Esta propuesta se contextualiza dentro de la embotelladora Coca Cola Femsa sede Tocancipá, donde se enfoca principalmente en los procesos de mantenimiento, el cual se basa en la problemática con respecto al costo y arribo de las piezas. Posteriormente, se realiza un diagnóstico general a las líneas de producción PET, donde se analizan los tiempos empleados durante el paro de las máquinas, en los mantenimientos programados por el área asociada, al igual que los paros no programados provocados por la carencia de piezas. Tras realizar el diagnóstico, se elabora la propuesta, la cual incorpora herramientas de ingeniería basadas en el análisis de los costos de las piezas a través de diversos medios y estrategias logísticas. El objetivo principal de estas propuestas es reducir los tiempos improductivos de las máquinas en la línea de producción.

Palabras clave

Logística, piezas industriales, *Total Productive Maintenance*

Introducción

El presente trabajo de grado se enfoca en la temática del mantenimiento industrial siendo esto una herramienta de vital importancia para el funcionamiento dentro de las empresas, dado que influye directamente en el correcto funcionamiento de los procesos productivos, llevados a cabo dentro de cada compañía.

Es por esto por lo que se ha seleccionado para el trabajo de grado, analizar la embotelladora Coca Cola Femsa sede Tocancipá; dentro de la empresa se analiza el proceso de mantenimiento en las líneas de producción, encontrando que las líneas de PET son las que abarcan más demanda de producción, por lo tanto, son las líneas de mayor uso, haciéndolas propensas a distintas afectaciones en las máquinas que componen cada serie productiva. Los fallos presentes en la maquinaria contribuyen a tiempos improductivos, provocando tanto pérdidas de *stocks*, como costos de materia prima. En este caso, realizando un análisis de los distintos factores de los fallos ocurridos, se encontró que las piezas son las partes vitales para el mantenimiento de las líneas de producción, que cuentan con las características de tener altos costos y extensos tiempos de arribo.

En el capítulo 1 se incluye la formulación del proyecto, en esta se encuentra, la definición que contextualiza al lector en el ámbito de bebidas carbonatadas en Colombia y cómo estas repercuten en la economía, luego la descripción que pone en contexto sobre la planta embotelladora, su composición y distribución, para dar un acercamiento al problema que se está presentando y como los tiempos de arribo afectan a la empresa, posteriormente se plantea el curso a seguir para resolver esta problemática, planteando objetivos y recopilando información que ayude a la realización de estos mismos, para finalizar el capítulo se define la metodología que se aplicará para resolver los objetivos, el presupuesto para estos y el tiempo que tomará resolver cada una de las actividades.

Posteriormente en el capítulo 2, se aborda el primer objetivo específico de la propuesta de mejora, que consiste en el diagnóstico de la situación actual de la empresa. En este proceso, se llevó a cabo una investigación interna exhaustiva de la organización, con el propósito de identificar puntos clave que sirvió como base para abordar los temas posteriores. Durante la evaluación de la compañía, se recopilaron múltiples datos, como información sobre tiempo y costos, para llevar a cabo un análisis sistemático de la producción que la empresa gestiona en la actualidad.

La propuesta de mejora en el área de mantenimiento se encuentra detallada en el capítulo 3 de este informe. En este capítulo, se exploran diversas herramientas de ingeniería, como *Kanban*, 5S, TPM, entre otras, que se utilizan para realizar un análisis exhaustivo de los desafíos que enfrenta el área de mantenimiento, especialmente en lo que respecta a los largos tiempos de adquisición de repuestos que se experimentan en la actualidad. En este contexto, el capítulo 3

también presenta una serie de propuestas diseñadas para abordar los distintos tipos de paros identificados durante los diagnósticos realizados en la empresa.

En el capítulo 4, se lleva a cabo un análisis detallado de los tipos de paros identificados. Este análisis considera múltiples factores y tiene como objetivo verificar y formalizar la efectividad de las herramientas empleadas, con el fin de integrar mejoras beneficiosas para la salud de la compañía. Al concluir este capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta propuesta.

1. Formulación Del Proyecto

En este capítulo se presenta la formulación de la propuesta de mejoramiento, problemática, objetivos y alcance del proyecto para mejorar los procesos de mantenimiento de la empresa.

1.1 Problema De Investigación

Para establecer el problema de investigación del proyecto, se presenta un análisis del sector de bebidas carbonatadas y posteriormente se realiza una breve descripción de la empresa, para contextualizar el área específica a trabajar y sus principales líneas de producción, así mismo se detalla la problemática en el área de mantenimiento.

1.1.1 Identificación

El mercado de las bebidas azucaradas en Colombia para el año 2021, Según el DANE (2022) es de alrededor de 6.879 miles de millones de pesos, el cual representa un 6,3% de toda la actividad manufacturera de Colombia y un 0,58% de todo el PIB de Colombia, esto indica que es un mercado bastante amplio, el cual es uno de los sectores más productivos del país, que sigue activo y en crecimiento constante cada año.

En Colombia, Coca Cola es una de las empresas principales que contribuyen al mercado de las bebidas azucaradas. En el año 2021, la embotelladora según López (2022), tuvo una participación del 28% sobre el mercado de las bebidas.

La empresa Coca Cola fue fundada el mayo 8 de 1886, cuando el doctor John Pemberton, presentó la primera Coca Cola a “*Jacob’s Pharmacy*” en Atlanta, Georgia, de esta primera bebida se genera el fenómeno, el icono, que evolucionó de una sola bebida a una compañía multinacional entera de brebajes de todo tipo e índole, nacional e internacionalmente -*The Coca Cola Company*, 2022-. La compañía ofreció a distintas embotelladoras alrededor del mundo sus concentrados de bebidas gaseosas y sus marcas registradas, para que éstas produjeran y vendieran sus bebidas en zonas específicas, Colombia fue incluida en esta iniciativa a partir de 1927 (Ciafone, 2017).

Actualmente, Coca-Cola FEMSA sede Tocancipá Colombia maneja dos -2- líneas de productos, las cuales son:

- Productos Carbonatados -Gaseosas PET-.
- Productos No Carbonatados -Jugos tetra Pak-.

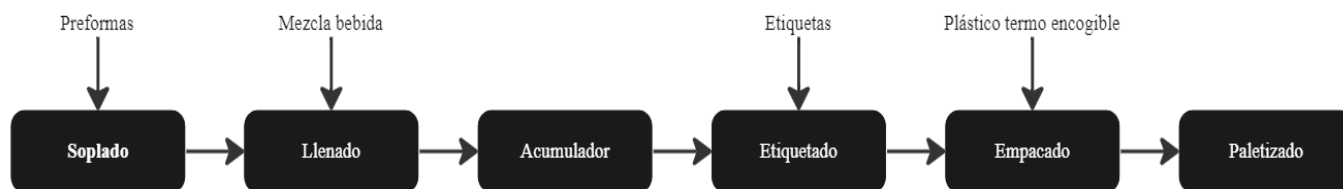
Coca-Cola Femsa es una empresa dedicada al embotellamiento y distribución de productos de Coca-Cola en la zona latinoamericana, en este caso se toma como referente para el desarrollo

de la propuesta la planta embotelladora, sede en Tocancipá, específicamente en el área de mantenimiento, que está compuesta por treinta y cinco -35- personas y se encargan de treinta -30- máquinas distribuidas en 5 líneas de producción; cuatro -4- líneas espejos de PET y una -1- de tetra Pak.

1.1.2 Descripción

Para realizar la descripción de la problemática se llevó a cabo una entrevista semiestructurada al jefe de mantenimiento de la planta Coca-Cola, sede Tocancipá, Andrés López, quien regula los procesos de producción, que consiste en 6 pasos: soplado de la preforma de botella, llenado de bebida, acumuladores, etiquetado, empackado y por último paletizado, cada uno de estos, se realizan con una máquina diferente, es decir que cada línea cuenta con 6 máquinas. En la figura 1, se presenta un diagrama de bloques, donde se ilustra el funcionamiento de las líneas espejo internas en el sistema.

Figura 1. Producción de línea.

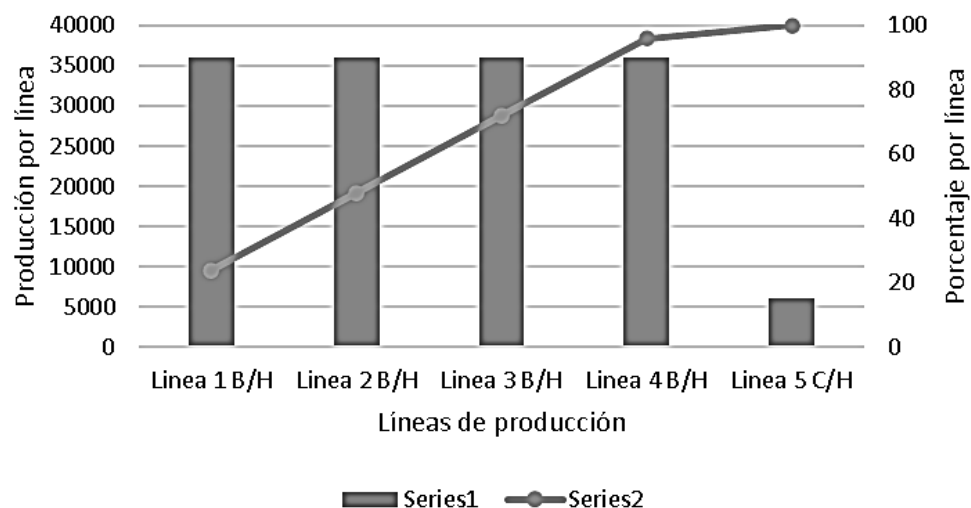


Fuente: Elaboración propia a partir de López (2022).

Se expone que existen cinco -5- líneas de producción, cuatro -4- de ellas destinadas al envasado de botellas PET y la otra, a empackado de jugos en tetra Pak.

La producción por hora está distribuida en cuatro -4- líneas de PET y una -1- de tetra Pak; la línea PET produce 36.000 botellas cada hora y la de tetra Pak produce alrededor de 6.000 cajas por hora, arrojando como resultado, que las líneas de embotellado más usadas son las de PET, que a comparación de la de tetra Pak produce un 600% más de diferencia. Por lo visto en planta, la línea PET trabaja al 100% de su capacidad las 24 horas del día, debido a que es la que tiene más demanda en el mercado en las diferentes épocas del año. En la figura 2, gráficamente se representa la producción de las líneas.

Figura 2. Pareto de producción por línea en el año 2021.

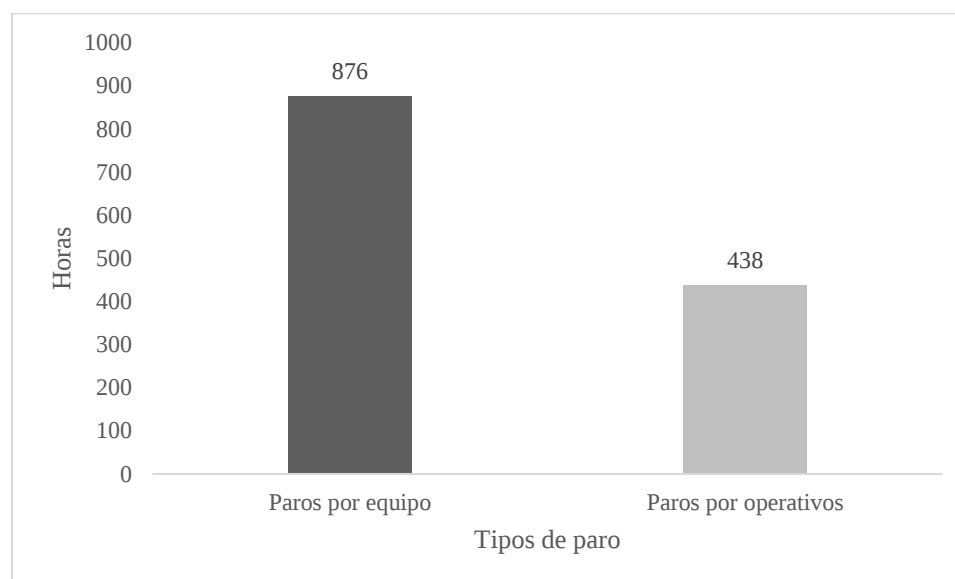


Fuente: Elaboración propia a partir de López (2022).

En la figura ilustrada anteriormente cabe aclarar que, no se incluye cuando se hace un cambio a otro tipo de producto -Sprite, Quatro-, o en el momento en que se realiza los mantenimientos programados que incluyen, cambios de piezas semestrales o anuales dependiendo las novedades que se presenten en cada máquina, al igual que los mantenimientos preventivos semanales de 12 horas que básicamente se basan en lubricación y limpieza de cada línea de producción. Este mantenimiento es completado por toda el área de mantenimiento que se compone por 35 personas, alrededor de 6 por línea y 5 personas del área de logística que ayudan a coordinar las actividades realizadas.

La problemática en la cual, se enfocará la propuesta, son los paros por equipos que están presentes en las líneas de producción PET. En las máquinas, cada vez que falla algún sistema interno y se tiene que detener la línea de producción, producen que los tiempos tiendan a ocasionar irregularidad en la producción de los productos. En la figura 3 se presentan los tiempos improductivos de embotellado en el periodo 2021, con relación a los paros por hora.

Figura 3. Tiempos improductivos en horas año 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de López (2022).

Como se observa en la figura, el mayor tiempo improductivo de la línea de embotellamiento, es debido a paros por el equipo, que incluyen tres -3- tipos de fallas técnicas, clasificados por:

- **Paros por fallas mecánicas:** Corresponden al 64,38%.
- **Paros por fallas eléctricas:** Corresponden al 3.66%.
- **Paros por fallas de ajuste:** Corresponden al 31.96%.

Con la anterior información, se evidencia un total de paros por equipo de la línea de producción de 876 horas que corresponde a 36,5 días improductivos en el año 2021 y junto al tiempo de mantenimiento semanal, representan un total de 624 horas que, al traducirlo en días, son 26 días de mantenimiento, con base a los días las horas dan un total de 252 horas de paros por equipos, el cual son causados por piezas defectuosas. En cifras de botellas son alrededor de 36'288 millones de botellas sin producir por año. En cuanto a costos, el precio en bodega por cada unidad, que está alrededor de los \$2.416 COP; entonces tomando el precio de bodega, las pérdidas por los distintos tipos de fallas anteriormente mencionadas están alrededor de los 87'696 millones COP.

Las piezas que tienden a dañarse con frecuencia dentro de las máquinas de la línea de producción son los bujes, conos, uñas, empaques y bandas transportadoras -**Ver anexos A, B y C-**

. Estas piezas están compuestas por plástico de ingeniería, el cual tiene poco ciclo de vida en el funcionamiento, dando como resultados las cifras dadas anteriormente en los paros por equipo.

Estas piezas deben ser cambiadas alrededor de cada 2 meses, sin embargo, estos pueden llegar a dañarse sin previo aviso haciendo que el *lead time* de 2 meses de las piezas de fábrica sea imposible de soportar, debido a las 36.000 botellas producidas por cada línea, optando en última instancia por proveedores locales o a realizarlas ellos mismos en casos de emergencia, como paros por fallas mecánicas y eléctricas.

Para la fabricación de las piezas a reemplazar por mantenimiento, anteriormente mencionadas se emplean distintos métodos que se mencionan a continuación:

— **Fabricación mediante torneado y fresado mecánico:** La fabricación por torno y fresa mecánico es un método de fabricación desarrollado a principios de la revolución industrial en el año 1911, este consiste en generar geometrías de revolución con el torno, partiendo de una materia prima en bloque, luego de esto se pasa a una extrusión mediante la fresa, para darle las características deseadas, este método es usado como último recurso cuando una de la piezas solicitadas no llegó, se realiza en el área mecánica de la empresa.

— **Fabricación por inyección:** La fabricación por inyección, es un proceso de fabricación semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, metal o cerámico en punto de fusión al interior de un molde cerrado a presión y en frío, al enfriarse el material, obtiene la forma y dimensiones deseadas, este es el método más convencional a la hora de realizar piezas, ya que permite una complejidad y detalle mayor sin embargo la problemática con este es que para realizarlo se requiere un lote grande, tiempo de producción y muchas veces para la producción necesaria es requerido un productor internacional en el caso de Colombia, que importe las piezas fabricadas, según el testimonio del jefe de mantenimiento una de las veces que las piezas no arribaron a tiempo decidieron contactar a una empresa local de fabricación por inyección sin embargo el molde de un solo empaque solicitado tenía un costo de 60 millones de pesos por lo que resultaba inviable.

— **Fabricación por Manufactura aditiva e Industria 4.0:** Dentro del ámbito de la industria en Colombia, se identifica que de 470.000 empresas (EInforma, 2021) solo 27.431 utilizan tecnología 4.0 según un estudio hecho por Bancolombia (2021) arrojando que solo un 5% de las empresas colombianas cuentan con este tipo de tecnología, según Minciencias (2020) el mercado que podría abarcar la industria 4.0 en el sector de manufactura es de alrededor de 13 billones de pesos anuales y estas cifras podrían aumentar con la implementación de estas tecnologías. La razón más notoria por la que no se ha implementado esta tecnología en

Colombia, no es el número de partes por producir, ni la calidad ni la velocidad de producción, es el costo de la inversión inicial del sistema de impresión (Cortázar, 2018).

Los métodos de fabricación mediante torneado y fresado mecánico, y fabricación por inyección explicados anteriormente, son las opciones que se usan con frecuencia dentro del mantenimiento de las máquinas en las líneas de producción para el reemplazo de los componentes defectuosos, Los cuales son materiales provisionales para cubrir los tiempos de arribo de las piezas originales de la maquinaria.

Tomando en cuenta en que los tiempos de entrega de las piezas son demasiado extensos según, el jefe de mantenimiento de la planta embotelladora, una alternativa explorada años atrás, fue la impresión 3D, sin embargo, al ser algo emergente en su momento y con muy poca experiencia la idea no se materializó (López, 2022).

1.1.3 Planteamiento

¿Qué propuesta de mejoramiento permite reducir los tiempos de parada de la maquinaria industrial en el área de mantenimiento de la embotelladora Coca-Cola Femsa en Tocancipá?

1.2 Justificación

Los tiempos improductivos dentro de Coca Cola Femsa sede Tocancipá, en este caso, son todos aquellos momentos en los que la máquina embotelladora se encuentra inoperable por las causas mencionadas anteriormente en el documento, deteniendo así la producción y generando pérdidas en producto no producido.

Es relevante tener un buen mantenimiento en las máquinas embotelladoras de Coca-Cola, debido a que permite que sus activos sigan en constante funcionamiento, esta es fundamental para la reducción de costos debido a que, si no se para la producción por fallas variables, se aprovechan los tiempos de mantenimientos en beneficio a la economía de la compañía.

Este problema es beneficioso para los investigadores en la medida en que inculca el interés sobre nuevas tecnologías y métodos de mejoramiento en la industria, de la misma manera para la universidad es de interés, ya que acreditará profesionales que den un buen renombre a la institución por sus aportes a sus áreas de trabajo.

En Colombia las nuevas industrias, es un asunto relevante, según la información presentada. La propuesta se basa en implementar las nuevas tecnologías existentes en los distintos mercados globales, que tienen un reconocimiento netamente valioso, para las grandes multinacionales, predominantes mundialmente. El tema se considera de interés debido al déficit

presente que se tienen en el país en esta industria, tomando en cuenta, que, con este proyecto, se llame la atención a los diferentes campos de estudios, el cual puedan implementarlo, para aumentar el desarrollo tecnológico en el ámbito empresarial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de mejoramiento para el área de mantenimiento en la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá, con el propósito de reducir los tiempos de parada de la maquinaria industrial de la línea de embotellado PET.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento enfocándose en los tiempos de parada que se presentan en la línea de embotellado PET.
- Establecer la propuesta que permita el mejoramiento del proceso del área de mantenimiento para la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá para mejorar las oportunidades evidenciadas en el diagnóstico.
- Elaborar un plan de implementación de la propuesta de mejoramiento de los procesos del área de mantenimiento en la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá, evaluando costos, tiempos y beneficios de implementación.

1.4 Marco Referencial

En este ítem se presentan antecedentes y marco teórico alrededor del tema de mantenimiento que se realiza en el área de producción de las industrias y que cumplan con programas de mejoramiento en el área de logística y producción. Los términos claves usados corresponden a: fresado, torneado, inyección, manufactura aditiva, logística interna, tiempos de mantenimiento, costos de mantenimiento, procesos logísticos, y estudio de tiempos improductivos. Los criterios tomados como referencia son: mantenimientos aplicados con la nueva industria, planes logísticos, construcción de piezas y herramientas de ingeniería para la implementación de sistemas de mejoramiento continuo.

1.4.1 Antecedentes

El diseño y desarrollo del plan de procesos de una pieza del sector metalmecánico presentado por Cedrés (2019), contiene un análisis de las actividades fundamentales que tienen las empresas en las industrias manufactureras, el cual consiste en la producción de distintos productos y bienes de equipos a partir de materiales brutos. Para los procesos llevados a cabo por medio de

la fabricación de torneado y fresado mecánico, se aplica una serie de operaciones y procesos de fabricación donde se incluyen operaciones, procedimientos de conformado, montaje, transporte e inspección; todas ellas requieren tanto la asistencia de una máquina, como el manejo de un operario, dando así la combinación para el funcionamiento íntegro del proceso a realizar. Es así como aparece el sistema de fabricación que se conoce como, el ciclo productivo del proceso a la creación de las partes industriales incluidas como repuesto a piezas defectuosas dentro de máquinas industriales.

En el artículo “Reducción de defectos en el proceso de inyección en una empresa de plásticos” se muestra una opción que permite gestionar de una forma mejorada, el reemplazo de piezas defectuosas por medio de la inyección; con la reducción de los defectos se beneficiará a la empresa reduciendo el desperdicio de material, así como mejorar el proceso en términos de cantidad de productos con calidad. Según el procedimiento establecido, la creación de piezas por medio de la inyección tiene una serie de procesos los cuales describen cómo implementar de la mejor manera esta herramienta para poder cumplir los estándares de calidad adecuados para su uso en particular. Dentro del procedimiento se encuentran varias fases, tales como: definición, medición y controles estadísticos; estos procedimientos lo que buscan es, fabricar la cantidad precisa de piezas requeridas, para darle seguimiento a la construcción y definición de materiales convenientes a utilizar, clasificándolas en secuencia de duración de fabricación, para así obtener un resultado eficiente en la construcción de las partes fabricadas (Martínez, 2020).

Según Caicedo (2020), las nuevas tecnologías o más precisamente la revolución de la industria 4.0, está fomentando cambios exponenciales en cuanto tecnologías o métodos anteriores, los cuales tenían características de tener mayor duración y ser relativamente menos eficientes en la que las industrias del país estaban basadas para realizar la producción, el mantenimiento y los ciclos logísticos dentro de su modelo de producción. Dicha tecnología ayudan a resolver los problemas de tiempos improductivos, construcción de piezas industriales, fabricación de máquinas y retardos en planes logísticos; con nuevos semblantes como la automatización de roles o funciones los cuales ayudarán a crear modelos de producción mejorados, aportando a la reducción de paros por equipo que se producen cada vez que alguna pieza falla o crear tareas que abarquen varias áreas reduciendo los costos de implementación, esta nueva industria según el autor, pondrá a Colombia en un desarrollo continuo con respecto a procesos en todas la empresas que lo implementen de forma adecuada.

Por otra parte, la impresión 3D tiene múltiples ventajas en cuestión de costos, ya que minimiza el tiempo de ejecución de los procesos, mano de obra y desperdicios de materiales a comparación de la construcción tradicionales, sin embargo, se debe resaltar que las máquinas de impresión 3D tiene un alto costo que está alrededor de los 600' 000.000 COP, según Mahecha

(2021), a pesar de su alto costo, los métodos de construcción 3D brinda un mayor grado de seguridad por medio de la manufactura aditiva, inyección u otras herramientas, ya que su procedimiento, produce la flexibilidad de realizar mediciones altamente complejas al momento de realizar fabricaciones de piezas industriales, los cuales tienen como aspecto fundamental, encajar y engranar de manera óptima la máquina, para su mayor funcionamiento. Los materiales en el que se realizan estas piezas son supremamente resistentes a comparación de partes que se realizan con plástico de ingeniería; según el autor estos insumos suelen ser de mayor duración e igual calidad a las piezas originales de la maquinaria industrial.

La investigación de Cortázar incluye una comparación de métodos de fabricación como inyección, torneado y fresado, que aunque tienen aspectos de buena calidad, son procesos pocos precisos y muy duraderos a comparación de la manufactura aditiva; esta nueva tecnología se encuentra dentro de los novedosos surgimientos que tiene la industria actualmente; según el autor se reducen los tiempos de *lead time* de importación de la materia prima o el producto final hasta en un 93%, además de eliminar costos relacionados con el transporte de las autopartes. También cuenta con una peculiar característica que todas las empresas requieren al momento de sustituir las piezas defectuosas, la creación de manufactura geométrica compleja, el cual se basa en crear la posibilidad de crear estructuras geométricamente imposibles de realizar con métodos convencionales como extracción de material o inyección en molde. Otra característica, que tiene la manufactura aditiva es la producción multimaterial, la cual consiste en que en, dada la precisión milimétrica del proceso, es posible crear un objeto a partir de diferentes materiales (Cortázar, 2018).

Para finalizar se tomó como base el estudio de viabilidad sobre la implementación de manufactura aditiva de metal a nivel académico en Colombia; la investigación con relación a la manufactura aditiva -MA- se centró en el manejo de control absoluto que tiene esta nueva tecnología, dado que no solo representa una oportunidad competitiva frente a las máquinas tradicionales; sino, además, por su importancia para la correcta sincronización de operaciones. La manufactura aditiva hoy en día según Muñoz (2022), dejó de ser algo futuro el cual se pueda implementar, ya que existen una gama más amplia para la aplicación de MA en metal, para la duración y resistencia adecuada con base a la fabricación de piezas industriales.

1.4.2 Marco teórico

Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial se ha utilizado en todos los sectores académicos e industriales dentro de un plan de mantenimiento, lo que permitió fortalecer el entorno de trabajo para obtener resultados en la aplicación de este mismo, por ello es por lo que constantemente, se buscan

alternativas para la evaluación de éste como parte del desarrollo y éxito en los departamentos correspondientes (González, 2019).

Dentro del mantenimiento existen distintos tipos de variables, según la máquina lo requiera. En la figura 4, se ilustran los tipos de mantenimiento industrial.

Figura 4. Tipos de mantenimiento industrial.



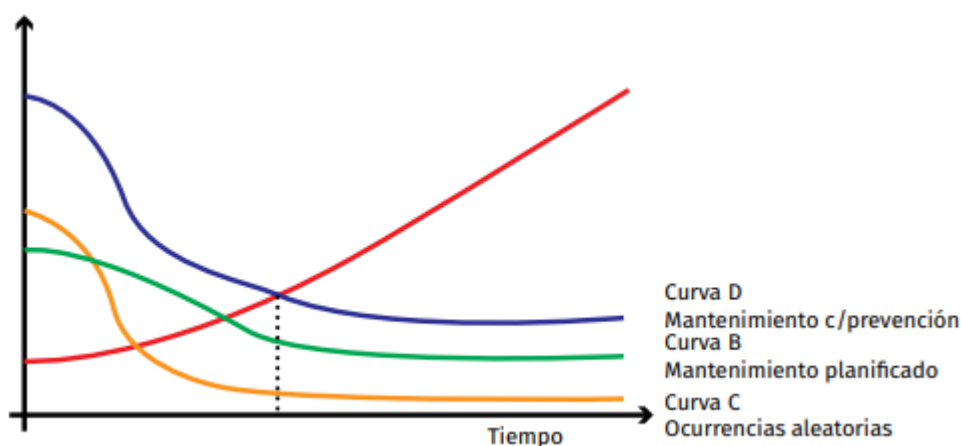
Fuente: López (2022).

Costos de mantenimientos

Según Guaitarilla (2019), con el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo, se buscará brindarle a la empresa la minimización de paros imprevistos en la línea productiva, lo que conlleva a su vez a que no haya sobrecostos no contemplados previamente para la compra de repuestos de las piezas dañadas y, además, a que se pueda cumplir a cabalidad los tiempos estimados de producción para entregar el producto oportunamente.

En la figura 5, se puede visualizar el comportamiento de los costos de mantenimiento con relación al tiempo.

Figura 5. Curva de costos de mantenimiento con relación al tiempo.



Fuente: Pérez (2021).

Logística de mantenimiento

Por su parte la logística de mantenimiento en un taller es todo aquello que involucra la logística de almacenes, gestión de *stock* y la gestión del mantenimiento; desde que el equipo ingrese a reparación es inspeccionado y mediante órdenes de trabajos se registra todas las reparaciones necesarias que se debe de realizar, donde se le requiere al almacén los repuestos, suministros o insumos para realizar el mantenimiento según lo expuesto por Llerena (2019).

Metodología 5'S

El propósito de las 5S es crear un entorno laboral que sea cómodo, efectivo, seguro y organizado, lo cual facilita la ejecución eficiente de las tareas diarias. Esto, a su vez, permite alcanzar altos estándares de calidad en los servicios que se ofrecen, mediante la aplicación de la metodología de las 5S.

Para aplicar la metodología de las 5S, es esencial dedicar tiempo a comprender la filosofía subyacente de las 5S y sus ventajas. Esto incluye la creación de entornos de trabajo que sean limpios, higiénicos, agradables y seguros. También implica revitalizar el concepto de '*gemba*', que se refiere al lugar donde el cliente utiliza el producto o servicio, mejorando significativamente el estado de ánimo, la moral y la motivación de los empleados. Además, las 5S ayudan a eliminar desperdicios, reduciendo la necesidad de buscar herramientas y haciendo que el trabajo de los operadores sea más sencillo y menos físicamente agotador, al mismo tiempo que libera espacio (Imai, 1998).

El programa de las 5S se compone de las siguientes etapas, según Socconini (2008):

SEIRI (Seleccionar): Implica retirar los elementos innecesarios del área de trabajo y deshacerse de ellos.

SEITON (Organizar): Consiste en ordenar los elementos necesarios de manera que tengan lugares específicos, facilitando su ubicación y uso.

SEISO (Limpiar): Comprende la eliminación de la suciedad y el mantenimiento de un área de trabajo limpio, sin polvo en pisos, máquinas y equipos.

SEIKEITSU (Estandarizar): Requiere que los procedimientos, prácticas y actividades de las tres etapas anteriores se lleven a cabo de manera consciente y regular para mantener un alto nivel de limpieza y organización en el área de trabajo.

SHITSUKE (Disciplina y Hábito): Implica entrenar al personal para que las actividades de las 5S se conviertan en hábitos, asegurando la correcta ejecución de los procesos mediante el compromiso de todos los empleados

Total Productive Maintenance

El TPM es el mantenimiento elaborado por los trabajadores de la empresa mediante actividades que implican una colaboración homogénea de las partes involucradas, también se le conoce como TQM -*Total Quality Maintenance*-, según Condezo (2019) Nakajima fue el pionero fundador del TPM, decía que este implicaba la intervención de todos y cada uno de los actores radicados en la empresa, también reconocía el total con 3 definiciones distintas, total rentabilidad, eficiencia y economía, total mantenimiento y total seguimiento y cumplimiento de los operarios con respecto a los mantenimientos y órdenes planteados por los especialistas. La gestión del mantenimiento incluye varios tipos de mantenimiento que se explican a continuación.

Mantenimiento predictivo

Según Luna (2021), se conoce como mantenimiento predictivo al conjunto de acciones y técnicas aplicadas para detectar los posibles fallos y/o defectos que se puedan generar en las máquinas en las etapas incipientes de su proceso.

Estas acciones se basan en la inspección y recolección de datos en tiempo real, permitiendo a empresas desarrollar planes de mantenimiento complementarios, generando beneficios en cuestión de costos y tiempos, al igual que permite alargar la vida útil de la maquinaria en cuestión, también se incluye el beneficio de tener procesos más eficientes dando valor agregado al producto final (Dueñas, 2020).

Mantenimiento preventivo

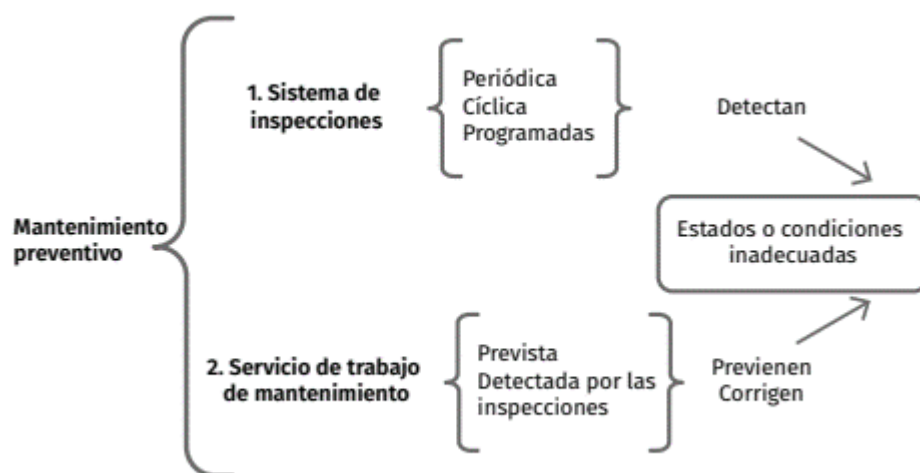
Según Pérez (2021), el mantenimiento preventivo se fundamenta en una serie de labores o actividades planificadas que se llevan a cabo dentro de periodos definidos, se diseña con el objetivo de garantizar que los activos de las compañías cumplan con las funciones requeridas dentro del entorno de operaciones para mejorar la eficiencia de los procesos; para prevenir y adelantarse a las fallas de los elementos, componentes, máquinas o equipos; como también hace referencia a diferentes acciones, como cambios o reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc., realizadas en períodos de tiempos por calendario o uso de estos (tiempos dirigidos).

Los objetivos más relevantes del mantenimiento preventivo según lo escrito por Pérez (2021), pueden ser:

- 1. Disponibilidad:** Puede definirse como la probabilidad de que una máquina sea capaz de trabajar cada vez que se le requiera.
- 2. Confiabilidad:** Es la probabilidad de que la máquina esté operando en todo el momento que necesite el usuario.
- 3. Incrementar:** Al máximo la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas o equipos llevando a cabo un mantenimiento planeado.

En la figura 6, se puede apreciar lo que se debe tener en cuenta para implementar un buen mantenimiento preventivo.

Figura 6. Implementación del mantenimiento preventivo.



Fuente: Pérez (2021).

Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se enfoca en corregir defectos ocurridos durante el transcurso de la operación en los equipos o instalaciones, encontrando averías y arreglándolas. Este mantenimiento no se planifica, solo se realiza a partir de observaciones y registros que hagan los operarios del equipo o el área de mantenimiento.

El mantenimiento correctivo es significativamente más costoso que cualquiera de los otros dos, debido a que para la producción totalmente en el tiempo en el que se corrige la falla, pero un factor determinante es que por mucha planeación una falla aleatoria puede ocurrir, esto obliga a tener directrices y planes bien definidos cuando esto ocurra (Guaitarilla, 2019).

La unión de las etapas que tiene un mantenimiento es la clave para que los centros de producción obtengan el equilibrio esperado dentro de los resultados ideales, dependiendo del sector industrial. Cada parte, tienen características específicas, que optan por la regularidad productiva, que contribuye al desarrollo de la industria, para una estabilidad efectiva.

1.5 Metodología

El método empleado en la investigación según Kerlinger y Lee (2002) para el desarrollo de la metodología, con base a los objetivos planteados en el proyecto de investigación, consta de varios criterios que se delimitan a continuación:

—**Métodos empíricos:** Se trata de revisar física y presencialmente la variable a analizar, así que al realizar el diagnóstico de la empresa y de los procesos de mantenimiento de cada línea de producción, se obtendrán datos de observación de manera directa y presencial para cada paso que permita completar la línea productiva.

—**Métodos estadísticos:** Consiste en analizar estadísticamente los resultados obtenidos con el método empírico de recolección de información, con los datos recolectados y recopilados con base de datos se dará análisis e interpretación, para de esta manera calcular las pérdidas económicas más significativas con base a ecuaciones de costos y apuntar a la más importante de ellas, para poder plantear la estrategia que permita mejorar el mantenimiento con respecto a las piezas de maquinaria industrial.

En este contexto, la ecuación 1 desempeña un papel fundamental al describir los días improductivos al año, lo que permite una evaluación cuantitativa de la magnitud de dichas pérdidas y facilita la formulación de estrategias efectivas de mejora en la gestión de mantenimiento.

$$P_I = \frac{P_H}{H_A} \text{ (Ecuación 1. Porcentaje del año improductivo.)}$$

P_I = *porcentaje de improductividad*

P_H = *Paros en horas*

H_A = *Horas año*

La ecuación 1, destacada su importancia al medir las pérdidas ocasionadas por días improductivos en la gestión de mantenimiento de maquinaria industrial. Además, resalta la fuente propia de la ecuación, lo que agrega credibilidad y transparencia a la metodología utilizada.

En cuanto a la producción, en la ecuación 2 se calcula el número de productos que se pierden en los paros por cada hora de mantenimiento.

$$P_P = P_H * U_H \text{ (Ecuación 2. Número de productos perdidos.)}$$

P_P = *productos perdidos*

U_H = *unidades por hora*

La ecuación 2 proporciona una valiosa métrica al cuantificar el número de productos perdidos durante los paros de mantenimiento por hora.

Por la parte de los costos de los tiempos improductivos, en la ecuación 3 se refleja las pérdidas que se generan.

$$P_M = \$_p * P_P \text{ (Ecuación 3. Pérdidas monetarias.)}$$

P_M = *perdidas monetarias*

$\$_p$ = *Precio del producto*

La ecuación 3, que calcula las pérdidas monetarias, desempeña un papel esencial al cuantificar los costos asociados a los tiempos improductivos. Esta información resulta vital para evaluar el impacto económico de los paros de mantenimiento y, en última instancia, orientar la toma de decisiones que apunten a mejorar la gestión de activos industriales

—**Métodos teóricos:** para aplicar los métodos teóricos es necesario tomar una metodología de mantenimiento y aplicarla por lo que, por último, con el plan de

mantenimiento planteado, aplicar la metodología TPM de las 5S's para el desarrollo de esta misma.

En la tabla 1, se describen las actividades y herramientas con base a los objetivos planteados para propuesta de mejoramiento.

Tabla 1. Matriz metodológica.

Objetivo general	Objetivo específico	Actividad	Herramientas
Elaborar una propuesta de mejoramiento para el área de mantenimiento en la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá, con el propósito de reducir costos y tiempos de arribo de las piezas para maquinaria industrial de la línea de embotellado PET.	Diagnosticar la situación actual del área de mantenimiento enfocándose en los tiempos de fabricación, arribo y costos de las partes de la maquinaria industrial.	Describir el estado actual del área de mantenimiento, con base a los costos, fabricación y arribo de herramientas de ingeniería para la maquinaria en planta.	- Observaciones para el diagnóstico de procesos de mantenimiento. - Lista de chequeos realizados por el área de mantenimiento. - Estudio de costos de implementación. - Diagrama de flujo del funcionamiento de las líneas de producción.
	Establecer la propuesta que permita el mejoramiento del proceso del área de mantenimiento para la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá para mejorar las oportunidades evidenciadas en el diagnóstico.	Implementar la metodología descrita para generar una propuesta de mejoramiento viable, con base al diagnóstico realizado.	- Aplicación de la metodología 5's. - Modelos de ingeniería que calculen el nivel de pérdida en costos. - Aplicación del modelo <i>Kanban</i>.
	Elaborar un plan de implementación de la propuesta de mejoramiento de los procesos del área de mantenimiento en la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá, evaluando costos, tiempos y beneficios de implementación.	Identificar y analizar los métodos adecuados para el mejoramiento de los mantenimientos practicados en el área de reparación de Coca-Cola Femsa sede Tocancipá.	- Tácticas empresariales que permitan que el área trabaje en conjunto para la maximización productiva. - Determinación del método efectivo para el planteamiento de la solución.

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Alcances y Resultados

Esta propuesta se enmarca en la empresa Coca-Cola Femsa sede Tocancipá, con la entrega de un planteamiento para la evaluación de diferentes herramientas tecnológicas, las cuales permitirán realizar distintas clases de herramientas de ingeniería, que tienen la duración y resistencia requeridas, que se encuentran dentro de la descripción de la problemática. Con la implementación de la herramienta predilecta, se reducirán de manera significativa los tiempos de arribo de las piezas ya que, por medio de distintas opciones, usadas para la fabricación de piezas utilizadas en el mantenimiento, incluyendo, torneado y fresado, inyección y manufactura aditiva, son factores los cuales llegan a una reducción de costos significativa para la empresa. Con respecto a los tiempos improductivos e implementación de nuevas tecnologías, estos datos serán proveídos por Coca-Cola Femsa sede Tocancipá y aquellos que no puedan ser proveídos por la planta, serán medidos personalmente con métodos de recolección de datos estándar, tales como, análisis de series cronológicas o técnicas de suavizado, para poder gestionar la mejor propuesta de mejoramiento para esta problemática, teniendo en cuenta la entrega del planteamiento, quedará en disposición de la planta embotelladora Coca-Cola Femsa sede Tocancipá su implementación.

2. Diagnóstico de la situación actual

En este capítulo se presenta el diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento de la empresa Coca Cola sede Tocancipá con el fin de analizar los procesos de una forma cuantitativa, enfocado en los tiempos de parada de los equipos e identificar las causas de estos, al igual que observar los factores que influyen en los procesos del área anteriormente mencionada, con el fin de plantear una propuesta de mejoramiento que permita reducir los tiempos que los equipos están sin funcionamiento.

Se presentará una descripción del sistema de mantenimiento actual de la empresa y su funcionamiento, al igual que una breve descripción del sistema de producción general. Se presentará la cuantificación de los tiempos perdidos y en qué área se están presentando, se realizó, mediante consulta de información a la empresa y realización de gráficos para su interpretación.

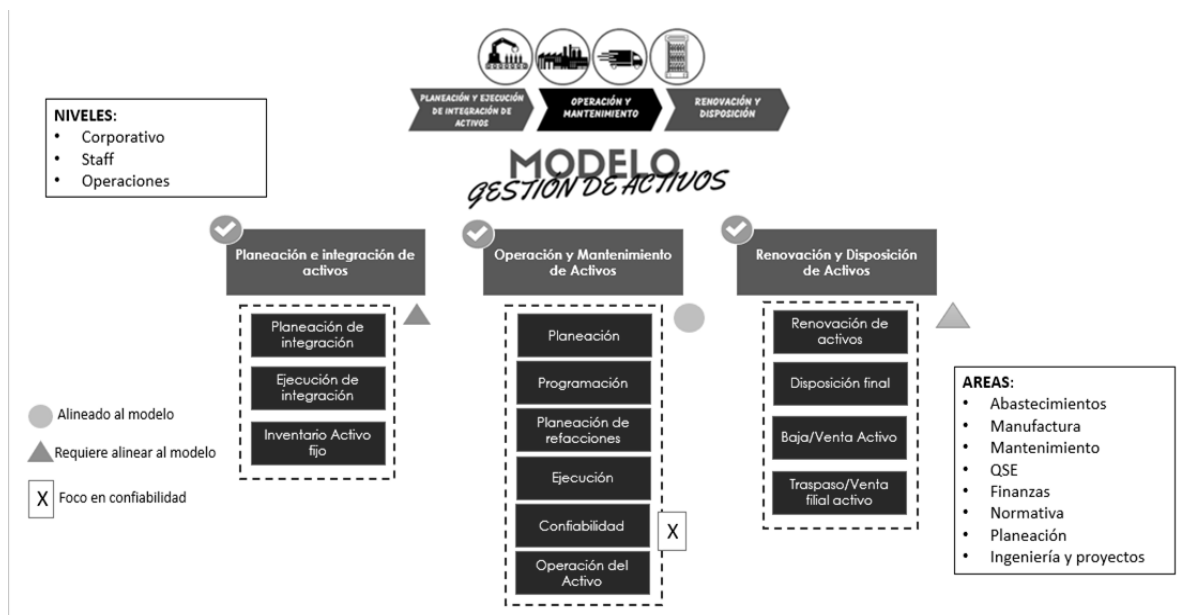
Para finalizar se presentarán las causas junto a un análisis, que permitirá entender cuáles son los puntos críticos por mejorar en el proceso de mantenimiento, para plantear una propuesta de mejora para ella.

2.1 Descripción del Sistema

Los ciclos de mantenimientos realizados por parte del área constan de una serie de etapas que comienzan con la planeación y ejecución de integrados de activos, luego con la operación y

mantenimientos de activos y por último finaliza con la renovación y disposición de estos. En el siguiente diagrama se ilustra los subprocesos que contienen cada una de estas etapas.

Figura 7. Gestión de activos.

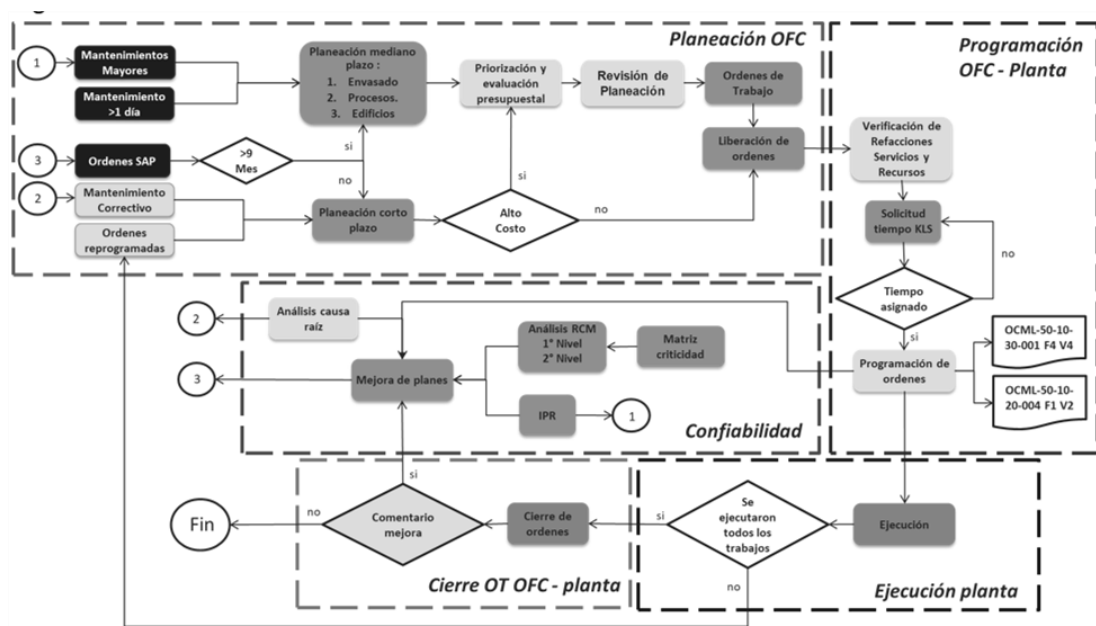


Fuente: Coca Cola (2023)

Según la figura 7, la planeación e integración de activos es donde se realiza la planificación y organización de los recursos necesarios para llevar a cabo la operación, luego de llevarlos a ejecución, se realiza un inventario de activo fijo, para así alinear el modelo por el cual se va a operar. En la operación y mantenimiento de activos, como primer lugar se hace la planeación de las operaciones que se van a realizar según el proceso estipulado, luego se define la programación del modelo a ejecutar con base en las refacciones escogidas, para hacer un análisis de confiabilidad del proceso, para así llevarlo a cabo. Por último, se realiza la renovación y disposición de activos, que es donde se realiza la valoración de los componentes el cual se le aplicará el mantenimiento, donde se evalúa la seguridad y la fiabilidad para seguir operando, dando como resultado el reemplazo o el respectivo engranaje de la pieza.

Para llevar a cabo el modelo de mantenimiento actual, se presenta en la figura 8, el diagrama del ciclo de mantenimiento presente usado por el área, con el cual operan los diferentes procedimientos que se realizan dentro de la zona.

Figura 8. Diagrama ciclo de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia con base en Coca Cola (2023).

Con base en la figura 8, como primer paso, se estipula el tiempo de mantenimiento que se va a ejecutar dentro de las botellas procesos internos o edificación, para evaluar el presupuesto que el procedimiento conlleva, dando así paso a la planeación de actividades, que se basa en dar órdenes a los operarios que van a realizar dicho proceso, luego se hace un análisis de las refacciones, servicios disponibles dentro del área de mantenimiento que constan de una base de códigos manejados por el sector internamente, que es donde se programa las órdenes, dependiendo del nivel de la operación. Al realizar el diagnóstico del proceso, se realiza un análisis detallado de la operación para hacer el índice de prioridad de riesgos (IPR) para determinar el nivel crítico del proceso a llevar a cabo. Por último, se entrega al coordinador general de la oficina de administración, el procedimiento realizado, para así dar cierre a la operación, evaluando si se ejecutaron las actividades de manera correcta para su respectivo funcionamiento.

Para realizar el ciclo de mantenimiento es importante la evaluación de la confiabilidad ya que, si se realiza un mal procedimiento, el costo de las operaciones va a ser mayor, lo cual traduce que afecta la productividad significativamente y se pierde tiempo en la reestructuración del proceso que se presentó.

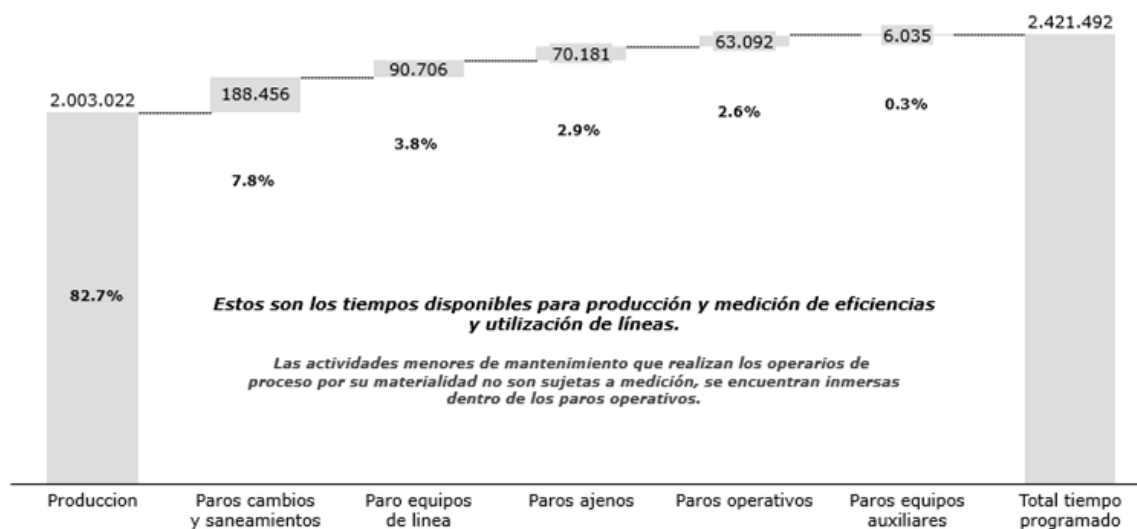
2.1.1 Tipos de paro

Con respecto a lo mencionado anteriormente, los aspectos tenidos en cuenta para lograr un alto índice de confiabilidad de los procesos realizados; como primer aspecto, la confiabilidad tiene

como objetivo definir cuál es la mejor estrategia de mantenimiento, donde se evalúan los desempeños de los activos, para así desplegar las metodologías de mejora, donde se encuentra la estandarización de los planes y la gestión temprana de los activos.

Dentro del análisis descrito en la figura 9 se evidencian los factores por los cuales hay paros de maquinaria en los distintos procesos que se mencionan a continuación.

Figura 9. Tiempos efectivos y pérdidas por paros – minuto.

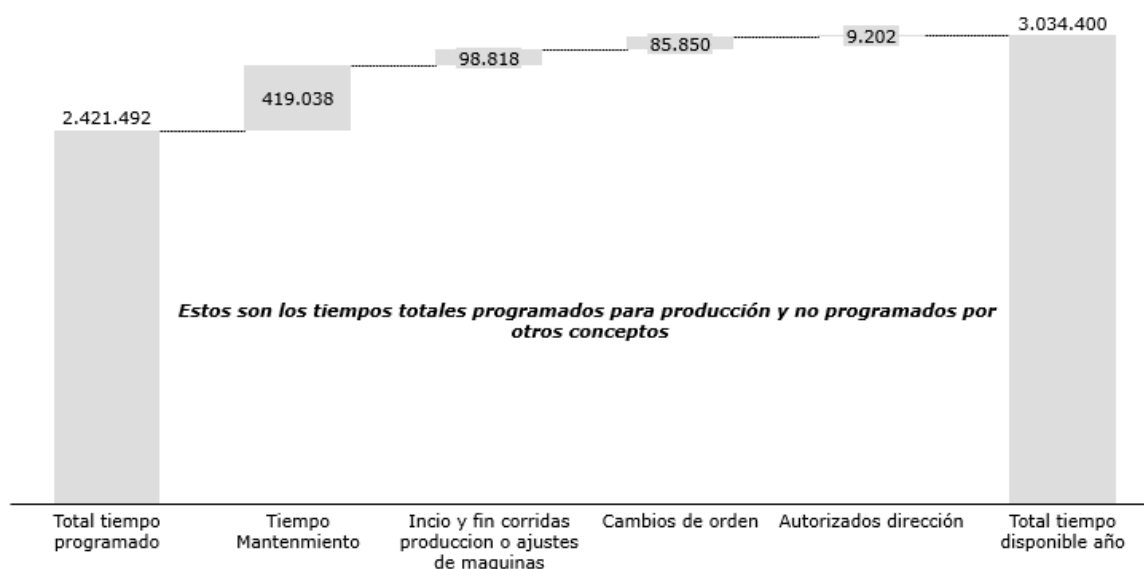


Fuente: Coca Cola (2023).

Basado en la figura 9, se ilustra la cantidad de paros por minuto del año 2022, donde se toman factores como paros de cambio y saneamiento, paros de equipos de línea, paros ajenos, paros de producción, paros de equipos auxiliares y paros operativos, la suma de todos es de un total de 2'421.492 minutos, donde el enfoque que se enmarcará esta propuesta es en la producción de la línea PET, que consta de un total de 2'003.022 minutos que representa un 82,7% del total de paros presentes dentro del proceso productivo.

Cabe resaltar que según la figura 10, también incluyen los tiempos que no están programados en la producción, dados en paros minuto.

Figura 10. Tiempos no programados para producción – minuto.



Fuente: Coca Cola (2023).

Se ilustra en la figura 10, tiempos anexos que no se programan dentro de la coordinación del área de mantenimiento, que suma un total de 3'034.400 minutos en el año 2022, donde se suman factores como cambios de orden y autorizaciones de la dirección. Teniendo en cuenta el total de los tiempos de mantenimiento y de producción, establece un total de 2'422.060 paros por minuto, el cual es un déficit en cuanto tiempo perdido en la producción diaria de la empresa.

El tiempo de producción consta del tiempo utilizado para producir las unidades a realizar, que, a parte de los paros fundamentales mencionados anteriormente, también se cuentan variables como:

— **Paros cambios y saneamientos:** Este tipo de tiempo de inactividad se debe a la necesidad de realizar cambios en las líneas de producción para cambiar el tamaño de los envases o el sabor de los productos. Algunas posibles razones podrían ser la necesidad de limpiar y desinfectar máquinas entre diferentes productos para evitar la contaminación cruzada, ajustar la configuración de la máquina con los cambios necesarios o esperar a que finalicen o prueben los procesos de re envasado.

— **Paros equipos de línea:** Estos paros ocurren debido a fallos en los equipos que forman parte de la línea de producción, como las máquinas de llenado, lavado, etiquetado y cerrado. Las causas que se presentan en la línea de producción son, averías mecánicas, problemas eléctricos, necesidad de mantenimiento preventivo o correctivo, falta de suministros necesarios para el funcionamiento de los equipos, o errores en la configuración de las máquinas.

— **Paros ajenos:** Estos paros están relacionados con factores externos a la empresa que afectan el proceso de producción. En el caso de Coca-Cola, se incluyen paros debido a problemas en el suministro de botellas sopladas, interrupciones en los servicios públicos como el suministro de energía o agua, o retrasos en la entrega de materias primas necesarias para la producción.

— **Paros operativos:** Estos tiempos de inactividad son causados por factores internos como la falta de materias primas necesarias para la producción, errores cometidos por los operadores en el proceso de fabricación, falta de contenedores disponibles para embotellar productos o fallas en el control de calidad que requieren detener la producción, para resolver problemas o evitar que se comercialicen productos no conformes.

— **Paros en equipos auxiliares:** Estos paros se refieren a las interrupciones en el funcionamiento de los equipos auxiliares utilizados en la planta, como plantas eléctricas, equipos de aire acondicionado o calderas. Las causas incluyen fallos técnicos en los equipos, necesidad de mantenimiento o reparación, o interrupciones en el suministro de energía o combustible.

2.1.2 Costos de mantenimiento

Basado en la información presentada anteriormente, relacionado con los paros dentro de la producción, se cuantifica en la tabla 2 dada en COP, que según López (2022) jefe de mantenimiento, es el gasto total del mantenimiento dividido en los 12 meses del año 2022.

Tabla 2. Mantenimiento industrial

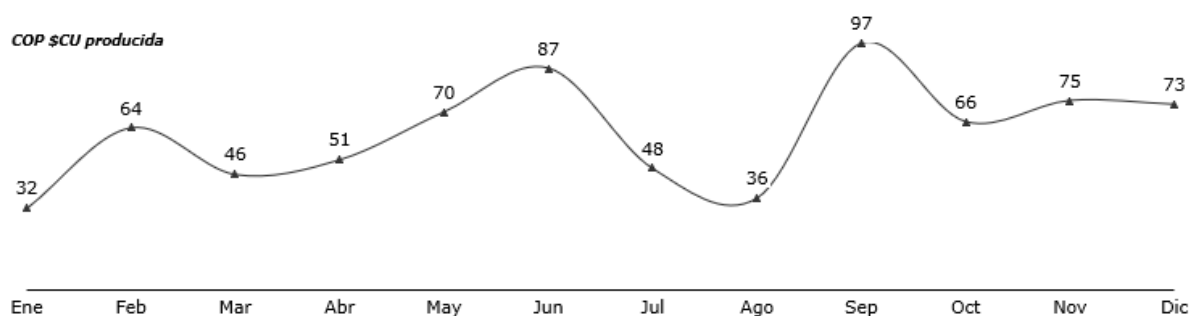
2022	COP	CUP	\$COP/CU
Enero	388.568.428	12.090.759	32,1
Febrero	666.960.724	10.431.051	63,9
Marzo	524.213.389	11.503.785	45,6
Abril	571.160.533	11.123.425	51,3
Mayo	831.272.583	11.843.980	70,2
Junio	1.035.916.008	11.841.076	87,5
Julio	561.786.219	11.706.321	48
Agosto	407.663.218	11.242.305	36,3
Septiembre	1.002.936.581	10.314.317	97,2
Octubre	768.531.367	11.570.191	66,4
Noviembre	871.308.020	11.659.324	74,7
Diciembre	909.541.330	12.418.522	73,2

Total	8.539.858.400	137.745.056	62
--------------	----------------------	--------------------	-----------

Fuente: Elaboración propia con base a la información de Coca Cola (2023).

Según la tabla 4, el costo de mantenimiento total en el año 2022 es de \$8'539'858,400 COP, el cual abarca todos los procedimientos que se llevan a cabo en el área, tales como repuestos, engranaje y procedimiento de cambios generales. Con base en la tabla expuesta anteriormente se evidencia en qué meses del año, muestra un alto índice en cuanto a mantenimiento, con respecto a la capacidad producción dispuesta en la figura 11.

Figura 11. Comportamiento gasto de mantenimiento por caja unitaria producida 2022.



Fuente: Coca Cola (2023).

Con base en la figura 11, los picos más altos están en el periodo de febrero, junio y septiembre, donde influyen las distintas épocas del año como festividades, verano y fiestas patronales distribuidas por todo el país. La figura está dada en pesos colombianos por caja unitaria producida; la caja unitaria consta de 24 botellas distribuidas en un *pallet*, que van directamente a la estantería. Bajo las condiciones de producción, en cuanto a que las máquinas operan a un ritmo mayor para cumplir la demanda, se genera un alza en el costo de mantenimiento.

En la siguiente tabla se presenta cómo está conformado el área de mantenimiento y cuántos trabajadores por cargo se encuentran en la actualidad.

Tabla 3. Listado de trabajadores.

Cargo	Cantidad de trabajadores
Jefes de mantenimiento	3
Analista de mantenimiento para planeación	3
Aprendiz SENA	2

Auxiliar administrativo	2
Especialista mantenimiento	10
Tecnólogo mantenimiento	46
Operario de procesos	1
Total	67

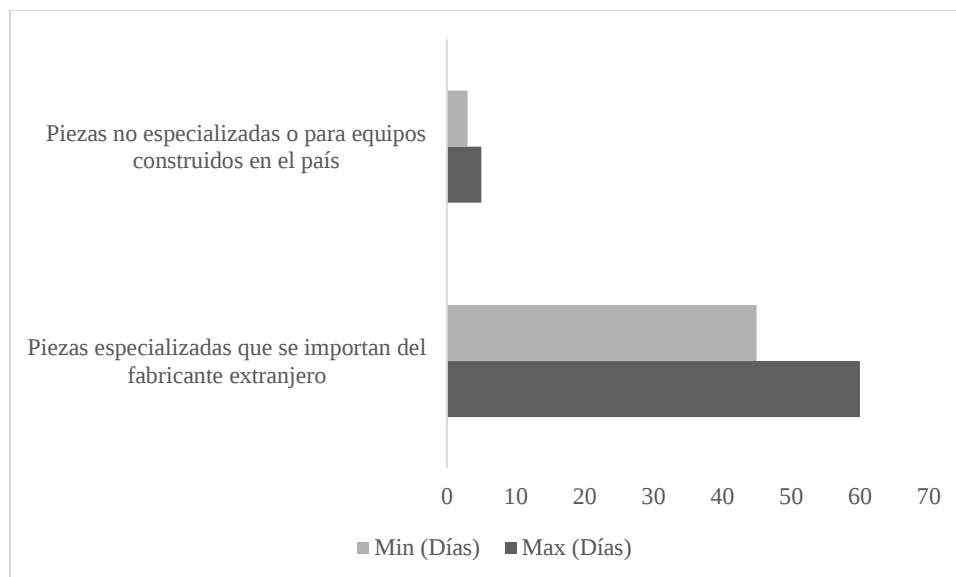
Fuente: Elaboración propia con base en la información de Coca Cola (2023).

Según la tabla 5, se puede establecer que 10 trabajadores se encargan de la planeación y ejecución del plan de mantenimiento, mientras que los que ejecutan estos planes, son 56 operarios, es decir que hay alrededor de 11 trabajadores por la línea de embotellado, 2 especialistas y 9 tecnólogos, tomando en cuenta que hay 9 máquinas por la línea de producción se encarga 1 tecnólogo por máquina y los 2 especialistas rotando entre las nueve máquinas para dar indicaciones.

2.1.3 Arribo de piezas

En la siguiente figura, se evalúan los tiempos de arribo de las piezas, ya sean piezas no especializadas y para equipo construido en el país o piezas especializadas que únicamente tiene el fabricante extranjero del equipo.

Figura 12. Tiempo de arribo de las piezas nacionales e importadas en días hábiles.



Fuente: Elaboración propia con base en la información de Coca Cola (2023).

Dentro de los paros por equipo y producción, está un factor clave que es el arribo de las piezas, el cual se divide en refacciones locales e importadas. Las refacciones locales son piezas no especializadas o para equipos construidos dentro de Colombia, que son de fácil consecución o fabricación, el cual se obtienen con proveedores locales y llegan en un rango de 3 a 5 días hábiles. Las que son importadas son refacciones especializadas y que únicamente tiene el creador del equipo tales como piezas para llenadoras, mezcladores, equipos de soplado de línea, equipo de preparación de jarabe, equipo de refrigeración de bebidas, equipos de generación eléctrica, equipos de generación de calor, transportadora de botellas, llenadora de envases, equipo de etiquetado y equipos de empaquetado, que consta de la mayoría de los equipos que se utilizan en la línea de producción donde se genera un lime time de importación de alrededor de 45 y 60 días hábiles, el cual se especifica una cantidad considerable de tiempo para realizar el ajuste de los mantenimientos programados dentro del área.

En la anterior figura 12 se puede evidenciar en los resultados, que las piezas extranjeras en comparación a las de fabricación local tardan un 1200% más, haciendo que las piezas puedan causar problemas en la línea de producción debido a retrasos para los mantenimientos.

2.2 Análisis de las causas de las paradas productivas

En primer lugar, se puede calcular la tasa de improductividad total de la línea de producción dividiendo el tiempo total de producción (2'421.429 minutos) por el tiempo total perdido debido a los diferentes tipos de paros:

$$\text{Tasa de improductividad total} = \frac{\text{Tiempo total perdidos por paros}}{\text{Tiempo total de producción}}$$

$$\text{Tasa de improductividad total} = \frac{90706+188456+6035+70181+63092}{2421429}$$

$$\text{Tasa de improductividad total} = \frac{418470}{2421429}$$

$$\text{Tasa de improductividad total} = 17\%.$$

Esto significa que, en promedio, la línea de producción estuvo sin operar alrededor del 17% del tiempo total. Esto sugiere que hay un amplio margen de mejora en términos de eficiencia.

Se evidencia que los paros por cambios y saneamiento de equipos son la principal causa de tiempo perdido, seguidos por los paros por equipos.

De esto se determina que para mejorar la eficiencia y reducir el tiempo perdido, se deben implementar medidas específicas de mejora en cada tipo de paro a excepción de los paros ajenos

y paros por equipos auxiliares, los primeros porque se ven atados a personas ajenas a la organización y los segundos porque representan una proporción baja de los paros. Algunas soluciones incluyen la revisión y optimización del proceso de cambios y saneamiento de equipos, la identificación y solución de los problemas con proveedores de piezas y de botellas, la mejora de la gestión del inventario de materiales y la implementación de un mantenimiento preventivo efectivo para los equipos.

A la par con lo anterior se puede inferir que los 60 días hábiles que tardan las piezas importadas en llegar a la empresa los planes de mantenimiento pueden llegar a verse afectados, por lo que también se indagará una solución para mejorar este apartado con el fin de mejorar los esquemas de mantenimiento.

2.3 Conclusión del diagnóstico

En resumen, a partir de un análisis detallado de los datos proporcionados, se identificaron una serie de desafíos clave en el área de mantenimiento de Coca-Cola Femsa sede Tocancipá. Los datos muestran que, en 2022, el tiempo perdido por diversos tipos de suspensiones de producción ascendió a 2'421.492 minutos. Entre ellos, las paradas debidas a cambios de equipos y motivos de higiene son las principales razones, seguidas de las paradas relacionadas con los equipos de la línea de producción. Este tiempo de inactividad representa el 17% del tiempo total de producción y tiene un impacto significativo en la eficiencia de la compañía.

Además, los retrasos en la llegada de piezas importadas pueden llegar a ser de 60 días hábiles, lo que genera desafíos adicionales para la planificación del mantenimiento. Esto afecta directamente la continuidad de las operaciones y aumenta los costos relacionados con el mantenimiento.

3. Propuesta de mejoramiento del proceso en el área de mantenimiento

En la evaluación realizada del proceso actual de mantenimiento en la sede Tocancipá de Coca-Cola Femsa, se han identificado diversas áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia y eficacia del proceso, para esto se ha elaborado la siguiente propuesta para mejorar los tiempos y por consiguiente los costos de cada una de las áreas involucradas.

Cada propuesta que va a ser expuesta tiene como objetivo cubrir los vacíos que actualmente se están presentando dentro de la compañía. Toda idea va con base en los aspectos fundamentales que existen en el mantenimiento que son los tipos de paros expuestos en el capítulo anterior, que, al tomar todos sus datos, permite realizar un análisis multivariado, para escoger una idea viable que permite reducir los tiempos de parada de la maquinaria industrial.

3.1 Metodología 5's para paros por saneamiento

Para abordar los paros por saneamiento, se realiza el siguiente listado de tareas basado en las 5's para la sección de llenado, la cual es la única que necesita este procedimiento intensivo semanalmente.

—**Enjuague previo:** Enjuagar la maquinaria con agua a alta presión para eliminar los residuos más grandes y las partículas de suciedad. Se debe asegurar de que el agua alcance todas las partes de la maquinaria y que los orificios y las aberturas se enjuaguen adecuadamente.

—**Aplicación de detergente:** Aplicar un detergente específico para la limpieza de maquinaria embotelladora, utilizando una solución diluida según las instrucciones del fabricante.

—**Cepillado:** Utilizar cepillos de cerdas suaves para frotar las partes de la maquinaria y eliminar la suciedad y los residuos. Asegurar de utilizar los cepillos adecuados para cada pieza de la maquinaria y no usar cepillos abrasivos que puedan rayar o dañar las superficies.

—**Enjuague final:** Enjuagar toda la maquinaria a fondo con agua a alta presión para eliminar todo el detergente y los residuos. Contar con que, el agua alcance todas las partes de la maquinaria y que los orificios y las aberturas se enjuaguen adecuadamente.

—**Sanitización:** Aplicar un desinfectante industrial para la limpieza de maquinaria embotelladora, utilizando una solución diluida según las instrucciones del fabricante. Colocar el desinfectante sobre todas las partes de la maquinaria y asegurar de que cubra todas las superficies.

—**Enjuague final:** Enjuagar toda la maquinaria a fondo con agua a alta presión para eliminar todo el desinfectante y los residuos. Tener en cuenta de que el agua alcance todas las partes de la maquinaria y que los orificios y las aberturas se enjuaguen adecuadamente.

—**Secado:** Dejar que la maquinaria se seque al aire libre o utilice un secador de aire comprimido. Previsualizar de que todas las piezas estén secas antes de volver a montar la maquinaria.

—**Montaje:** Retornar el montaje de todas las piezas de la maquinaria que se desmontaron previamente. Asegurarse de que las piezas estén en su posición correcta y que estén bien sujetas.

—**Verificación:** Antes de volver a utilizar la maquinaria, verificar que todas las partes estén correctamente ensambladas y que la maquinaria esté libre de residuos y suciedad. También tener presente de que el desinfectante haya sido eliminado por completo.

3.1.1 Seiri (Clasificación)

En esta etapa, se prioriza la eficiencia y se busca eliminar elementos innecesarios como objetivo principal. Será el supervisor quien, se encargue de evaluar, decidir y evaluar al personal. Esta tarea determina qué herramientas y equipos son esenciales para el proceso de limpieza. No es necesario adicionar ningún tipo de equipo en esta fase.

Con base a la lista de tareas expuestas anteriormente, se procede a realizar la clasificación de saneamiento descrito en la tabla 4.

Tabla 4. Lista de tareas.

Actividad	Tiempo (minutos)	Asignación de empleados	Equipos adicionales
Preparación de la maquinaria	5	1 supervisor	N/A.
Enjuague previo	10	2 operadores	Hidrolavadora a alta presión.
Aplicación del detergente	15	2 operadores	Aditamento de aplicación de detergente para la hidrolavadora.
Cepillado	30	3 operadores	Cepillos industriales.
Enjuague final	15	2 operadores	Hidrolavadora a alta presión.
Desinfección	20	2 operadores	Aditamento de aplicación de detergente para la hidrolavadora.
Tiempo de exposición	10	2 operadores	N/A.
Enjuague final	15	2 operadores	Hidrolavadora a alta presión.
Secado	30	2 operadores	Pistola de calor.
Verificación	10	1 supervisor	N/A.

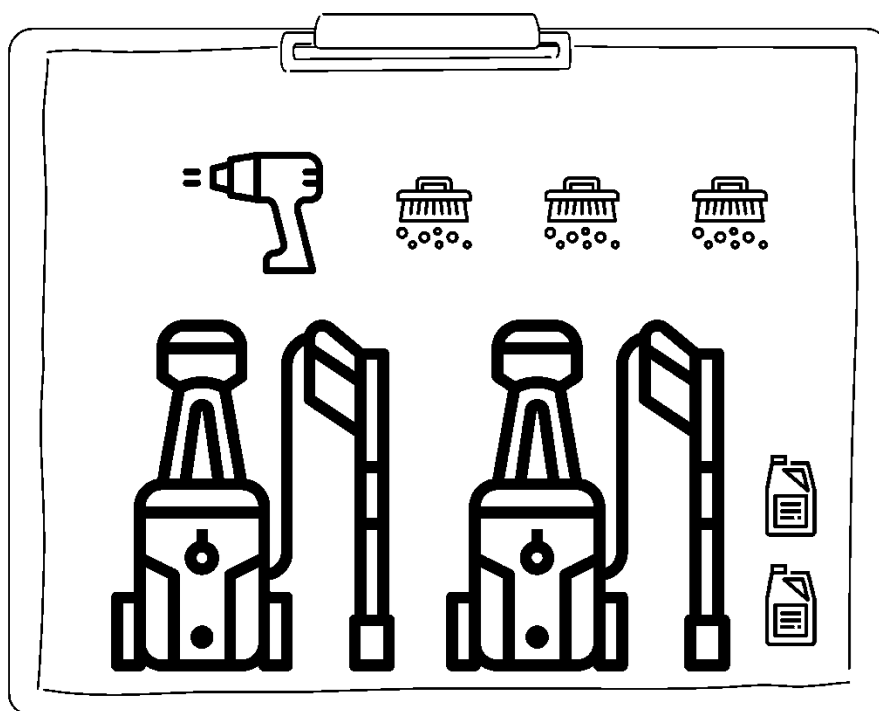
Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 4 se plantea asignar un empleado de logística que coordine al resto de personal expuesto anteriormente. Tomando un análisis sistémico, el total de empleados por la línea de trabajo, constaría de 4 empleados, dando una totalidad de 5 supervisores y 15 operarios a cargo que, en cuanto a minutos de trabajo, por semana serían 160 minutos el tiempo de paros de saneamiento que, si se convierten anual, darían 8.320 minutos y multiplicándolo por el número de líneas, sería un total de 41.600 minutos anuales.

3.1.2 Seiton (Organización)

De manera eficiente se organizarán los elementos esenciales identificados en la etapa anterior en esta fase. De esta tarea serán responsables dos operadores. De manera práctica estarán organizados los equipos al utilizar, 2 hidro lavadora de alta presión, 2 aditamentos para aplicar detergente.

Figura 13. Esquema de organización de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Seiso (Limpieza)

Es importante mantener un ambiente higiénico y seguro, lo que implica la limpieza. Esta tarea será llevada a cabo mediante el uso de cepillos industriales por parte de tres operadores. Se utilizará, además, una hidro lavadora a alta presión para la eliminación de suciedad en pisos, máquinas y equipos.

3.1.4 Seiketsu (Estandarización)

Lo que implica la estandarización es el mantener de manera constante los procedimientos y estándares establecidos en las etapas anteriores. Dos operadores mantendrán el alto estándar de limpieza y organización utilizando la hidro lavadora junto con el aditamento de detergente.

3.1.5 Shitsuke (Disciplina y Hábito)

Mantener la eficiencia y la limpieza a largo plazo depende de la disciplina y el hábito. Dos operadores asumirán la tarea final de enjuagar y secar las áreas limpiadas utilizando una hidro lavadora de alta presión para el primero y una pistola de calor para el segundo paso. De que se hayan cumplido los estándares establecidos, un supervisor realizará una verificación final.

Manteniendo un ambiente de trabajo limpio, seguro y organizado, se asegura con este modelo 5's un proceso de limpieza efectivo y eficiente.

3.2 Gestión eficiente de paros en equipos. (TPM mejoras enfocadas)

Los paros por equipo son interrupciones no programadas en el funcionamiento de la maquinaria industrial debido a fallas o averías técnicas. A continuación, se presenta una lista de estándares que se proponen para salvaguardar esta clase paro.

- **Establecer una lista de piezas críticas:** Identificar las piezas críticas que deben ser revisadas y mantenidas en buen estado para asegurar el correcto funcionamiento de la línea embotelladora.

- **Establecer una frecuencia de revisión:** Determinar la frecuencia con la que se deben revisar las piezas críticas para evitar fallos en el proceso de embotellado y maximizar la eficiencia de la línea.

- **Programar revisiones regulares:** Programar las revisiones de las piezas críticas en el calendario de mantenimiento preventivo de la línea embotelladora. Las revisiones pueden realizarse durante el tiempo de inactividad de la línea para minimizar el impacto en la producción.

- **Inspección visual:** Realizar una inspección visual de las piezas críticas, buscando signos de desgaste, corrosión, rotura, deformación o cualquier otro defecto que pueda afectar su rendimiento.

- **Verificación de la funcionalidad del software:** Realizar pruebas de funcionalidad del software utilizado en la línea embotelladora. Asegurar de que las actualizaciones del software se realicen de manera regular para evitar problemas de compatibilidad y seguridad.

- **Reemplazar o reparar piezas defectuosas:** Si se encuentra alguna pieza crítica con defectos, reemplazarla o repararla de inmediato. Es importante utilizar piezas de repuesto originales o de alta calidad para garantizar el correcto funcionamiento de la línea embotelladora.

- **Actualizar el software:** Si se encuentra algún problema de funcionalidad en el software, actualizarlo o contactar al proveedor del software para recibir soporte técnico.

- **Realizar pruebas de rendimiento:** Realizar pruebas de rendimiento de la línea embotelladora después de realizar las revisiones de las piezas críticas y el software. Asegurar de que la línea esté funcionando correctamente y verificar que se haya logrado una mejora en la eficiencia.

- **Documentar los resultados:** Documentar los resultados de las revisiones y pruebas realizadas. Registrar cualquier problema detectado y las medidas tomadas para solucionarlo.

Según los pasos expuesto anteriormente, se forma un protocolo para fundamentar el paso a paso a seguir, para poder mejorar el rendimiento de la productividad, teniendo en cuenta que la

importación de las piezas tiene duración aproximada de 45 días hábiles. En la tabla 5 se expone los tiempos, tipos de revisión y evaluación del rendimiento que se plantea a seguir.

Tabla 5. Listado de piezas.

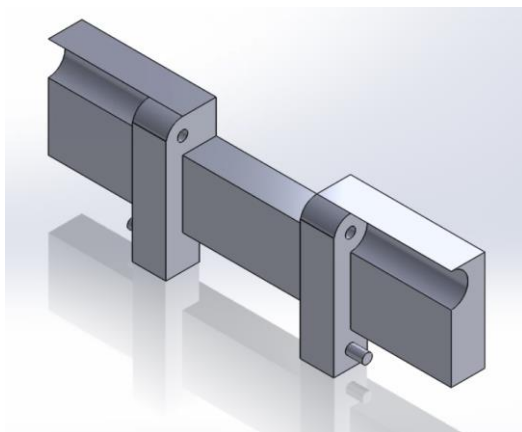
Pieza critica	Frecuencia de revisión	Tipo de revisión	Reemplazo de la pieza	Prueba de rendimiento
Banda transportadora	Bimestral	Visual, búsqueda de grietas	Semestral o cuando la revisión evidencia daño.	Puesta en marcha de la línea por un ciclo.
Empaques	Mensual	Visual, búsqueda de fugas	Trimestral o cuando la revisión evidencia daño.	Flujo de líquido.
Conos	Trimestral	Visual, búsqueda de grietas y fugas	Anual o cuando la revisión evidencia daño.	Flujo de líquido.
Uñas	Trimestral	Visual y mecánica, búsqueda de grietas y prueba de estrés al material	Anual o cuando la revisión evidencia daño.	Prueba de estrés con flujo de botellas máximo.

Fuente: Autoría propia.

En la tabla anteriormente presentada, se plantea un plan de tiempos de importación, identificando la pieza critica en el diagnóstico realizado, definiendo la frecuencia de revisión, los diferentes tipos según el componente y por último efectuar el reemplazo con su debido procedimiento. A continuación, se plantean estrategias que aportaran a la reducción de los tiempos de entrega.

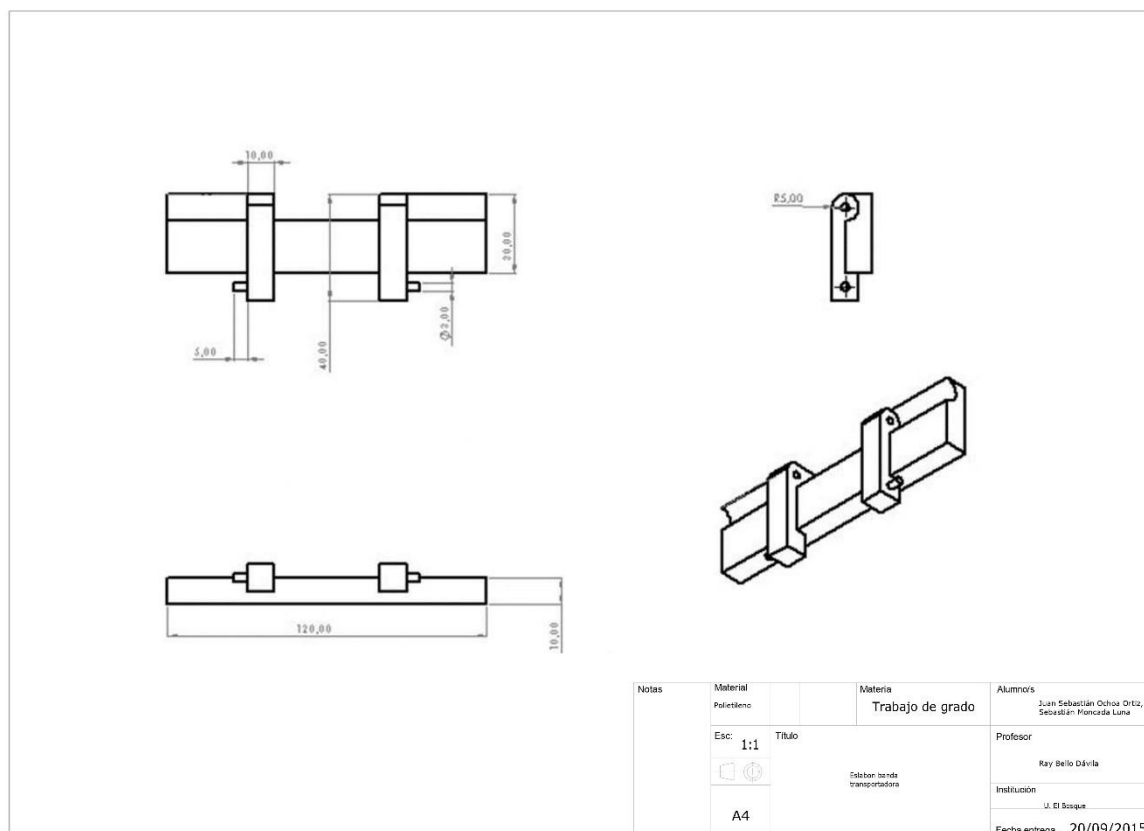
Inicialmente se hace un esquema de un modelo 3D de cada una de las piezas, para así definir el modelo más eficiente, teniendo en cuenta los asuntos legales y las reglas de la compañía. En las figuras 13 y 14, se presenta una pieza de la banda transportadora que según López (2022), es el artefacto que más afectó en los paros de la producción.

Figura 14. Modelo 3D pieza de banda transportadora.



Fuente: Autoría propia.

Figura 15. Planos pieza de banda transportadora.



Fuente: Autoría propia.

En las figuras anteriores, esta pieza puede tener distinto tiempo de fabricación, según que método se emplea, teniendo en cuenta los costos, máquinas y operarios requeridos para la creación del elemento. A continuación, se presenta los modelos por los cuales se pueden fabricar teniendo en cuenta las características anteriormente mencionadas.

3.2.1 Fabricación por torneado y fresado mecánico

Para realizar esta pieza por fresado y torneado mecánico se necesita una pieza de por lo menos 12x3x1,5 cm de *empack* (polímero) para realizar todo el proceso. En las siguientes tablas se expresan diferentes factores que están asociados al fresado y torneado, donde se describen específicamente cada insumo para que se pueda llevar a cabo la operación.

Tabla 6. Costo por torneado y fresado.

Artículo	Precio
Tabla <i>empack</i> 60x60x2 (35 eslabones).	60.000/35=1.715
Torno industrial.	\$35'000.000 COP
Fresa industrial.	\$9'000.000 COP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Tiempo por torneado y fresado.

Proceso	Tiempo (minutos)
Torneado.	10
Fresado.	25
Cortado.	5

Fuente: Elaboración propia con base a simulador.

Tabla 8. Operarios por torneado y fresado.

Proceso	Operarios requeridos
Torneado.	1 operario.
Fresado.	1 operario.
Cortado.	1 operario.

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos presentados en las tablas 6, 7 y 8, este método de producción significa un costo total de la máquina de COP 44'000.000, considerando la compra de un torno y una fresadora industrial. Además, todo el proceso de fabricación de la pieza, que incluye torneado, fresado y

corte, dura un total de 40 minutos por unidad fabricada. Estas actividades requieren la participación de 3 participantes, uno por cada proceso. Esta información proporciona una imagen completa de los recursos y el tiempo necesarios para implementar este método de producción.

3.2.2 Fabricación por inyección

Para producir esta pieza por inyección se necesita un molde de acero P20 (templado) Y una máquina inyectora automatizada y *pellets* de plástico, teniendo en cuenta una densidad de 1,42 g/cm³ y las dimensiones tendrán un peso de 77 g por eslabón. A continuación, en la tabla 9 se expresan los costos que tiene este método de fabricación, acompañado de cada detalle para su plena ejecución.

Tabla 9. Costo por inyección.

Artículo	Precio (COP)
Máquina de inyección.	75'000.000
Molde de inyección.	30'000.000-50'000.000
<i>Pallets</i> de polietileno de alta densidad 1kg (12 eslabones).	4500/12=375

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla proporciona un desglose de precios relacionados con el proceso de inyección. La máquina de inyección, que cuesta 75'000.000 COP, es una inversión importante en la producción de piezas y es fundamental para el proceso de fundición y moldeo. Los precios de los moldes de inyección oscilan entre 30'000.000 COP y 50'000.000 COP, lo que refleja la variación en los costos asociados con la creación de un molde específico para dar forma al plástico fundido. Finalmente, el costo de los *pallets* de HDPE (polietileno de alta densidad) se calcula en 375 COP por 1 kg (12 eslabones), considerando el gasto en materia prima para producir piezas plásticas.

El tiempo de ciclo en el proceso de inyección se refiere al tiempo que tarda una máquina de inyección en completar un ciclo de producción completo. Este ciclo de producción se refiere a todo el proceso que se lleva a cabo desde la carga de material en la máquina de inyección hasta la producción de la pieza de plástico y su posterior expulsión de la máquina, esto incluye todos los procesos incluidos en las siguientes tablas, para una máquina de inyección estándar de 300 toneladas propuesta en la tabla de artículos.

Tabla 10. Tiempo por inyección.

Proceso	Tiempo (segundos)
Cerrado de molde.	2
Inyección.	3
Enfriamiento.	12
Apertura de molde.	2
Expulsión de pieza.	2
Tiempo de enfriamiento de la máquina.	12

Fuente: Elaboración propia con base a simulación.

Tabla 11. Operarios por inyección.

Proceso	Operarios requeridos
Encendido y puesta en marcha de la máquina.	1 operario.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los datos presentados en las tablas 10 y 11 anteriormente mencionadas, el costo total del proceso de producción está entre 105.000.000 y 125.000.000 COP, teniendo en cuenta la inversión requerida para la obtención del molde. Además, todo el proceso de producción de una pieza mediante tecnología de moldeo por inyección dura un total de 33 segundos por unidad producida.

3.2.3 Fabricación por manufactura aditiva

Para realizar esta pieza por manufactura aditiva se necesita una máquina para impresión 3D, el modelo computarizado y filamento o resina que al igual que en método de inyección tendrá una densidad igual dando un peso de 53 g por eslabón. En la tabla 12, se visualizan los artículos necesarios para llevar a cabo la ejecución de este proceso.

Tabla 12. Costos por manufactura aditiva con base a Rhinoceros 3D.

Artículo	Precio (COP)
Máquina de impresión 3D.	4'000.000
Licencia <i>Rhino 7</i> CAD perpetua.	4'400.000
Rollo de filamento de polietileno de alta densidad 1kg (20 eslabones).	$23.000/20=1.150$

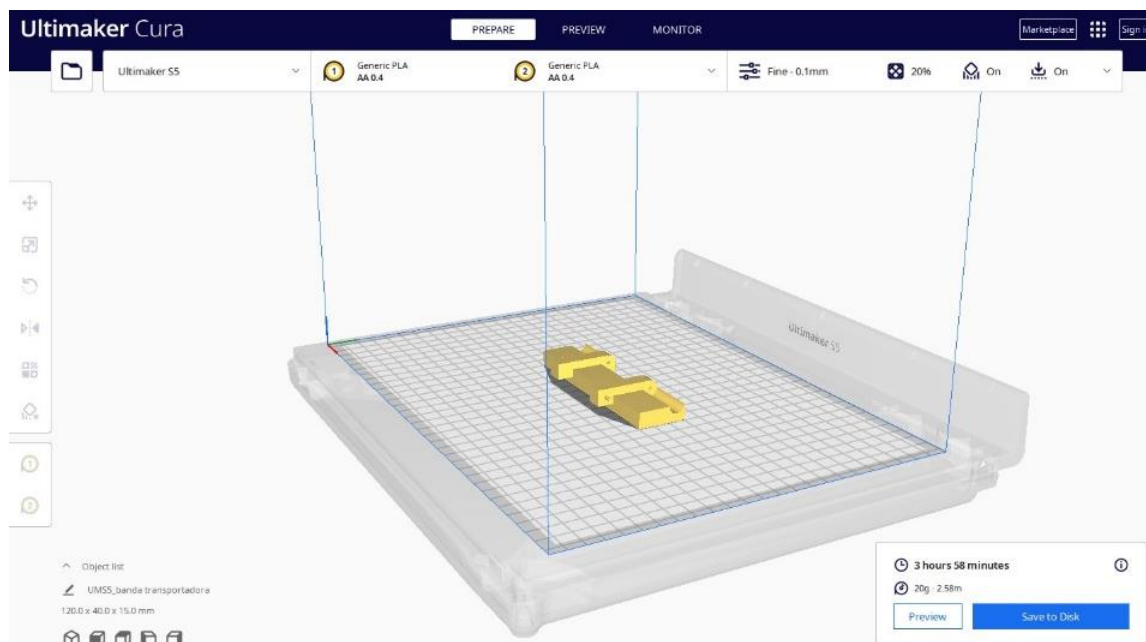
Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla detalla los costos asociados con el proceso de impresión 3D. La impresora 3D de 4 millones de COP es un componente central y fundamental en el proceso de fabricación aditiva. Además, la licencia perpetua de \$4.400.000 para Rhino 7 CAD refleja la necesidad de software especializado para diseño y modelado 3D, lo que demuestra la importancia del sistema en el funcionamiento eficaz de las máquinas. Finalmente, el coste de un rollo de filamento de HDPE se calcula en 1.150 COP por 1 kg (20 eslabones) y representa la materia prima utilizada en el proceso de impresión 3D. Estos datos ponen de relieve la inversión en hardware y software, así como en los materiales necesarios para imprimir en 3D de forma eficiente, subrayando la relevancia de estos elementos en la fabricación aditiva.

Para analizar el tiempo de ejecución de cada pieza se emplea un ejemplo donde se hace uso de una impresora 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*) y suponer que la velocidad de impresión es de 60 mm/s y que se utiliza filamento de HDPL. La pieza se imprimiría en capas de 0,2 mm de espesor y con un relleno del 70%.

Mediante el *software* de simulación *Ultimaker Cura* contratado por la universidad se realiza una prueba piloto de la impresión en 3D de la pieza en cuestión, en la figura 15 se puede evidenciar los resultados obtenidos.

Figura 16. Simulación impresión 3D.



Fuente: Elaboración propia con base en la simulación.

Según la simulación presentada en la figura anterior se puede evidenciar que, para la impresión de la pieza, se necesitan alrededor de 3 horas con 58 minutos, para una impresión con

relleno del 70% y capas de 0,02mm, la simulación arroja que el material requerido para la impresión de la pieza es de 20 g. de filamento PLA. La característica principal de este modelo es la independencia del trabajo y el nulo desperdicio que hay por cada pieza.

Tabla 13. Tiempo por manufactura aditiva.

Proceso	Tiempo
Diseño de la pieza.	20 minutos.
Impresión.	3 horas 58 minutos.

Fuente: Elaboración propia con base en simulación.

Esta tabla proporciona información importante sobre el tiempo que lleva el proceso de fabricación de la impresión 3D. La pieza tarda 20 minutos en diseñarse y representa la etapa inicial del proceso, donde se crea un modelo digital tridimensional que servirá como base para la impresión. Luego, la etapa de impresión se toma aproximadamente 3 horas y 58 minutos, destacando el considerable tiempo requerido para crear físicamente la pieza. El análisis destaca la eficiencia de la impresión 3D en la fabricación de prototipos y piezas personalizadas, ya que permite una iteración y producción rápidas.

En la tabla 14 se especifica el personal necesario para poder ejecutar la operación correspondiente para emplear este modelo de manufactura aditiva.

Tabla 14. Operarios por manufactura aditiva.

Proceso	Operarios requeridos
Diseño, encendido y puesta en marcha de la máquina.	1 operario.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la tabla expuesta, este método tiene un costo total en cuanto a maquinaria de \$8'000.000 COP, donde tiene una duración total de 4 horas con 18 minutos por pieza diseñada e impresa y requiere de 1 operario para todo el proceso.

A continuación, en la tabla 15, se ilustra un cuadro comparativo que hace referencia a la evaluación de los 3 métodos expuestos anteriormente con base a los costos que conlleva su realización.

Tabla 15. Comparativo de métodos (Costo).

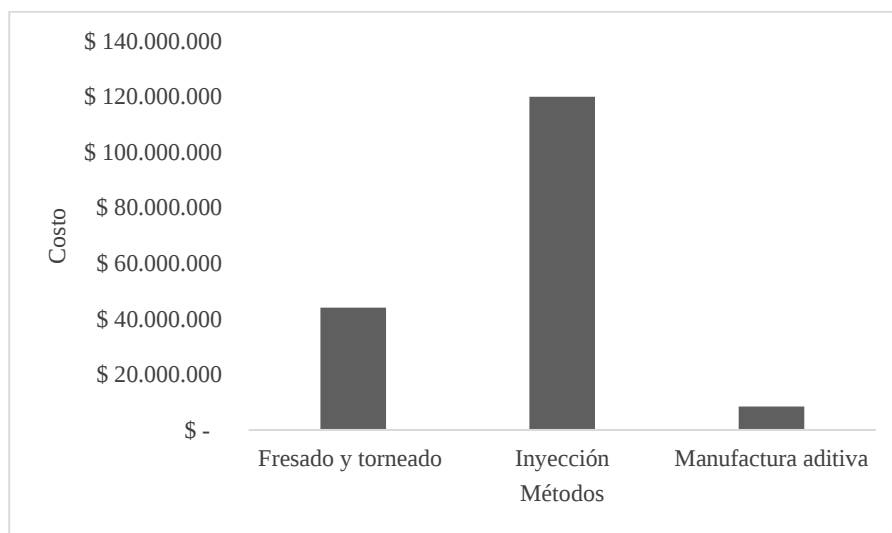
Fresado y torneado	Inyección	Manufactura aditiva
Costo (COP)		

Ítems	Precio (COP)	Ítems	Precio (COP)	Ítems	Precio (COP)
Tabla <i>empack</i> 60x60x2 (35 eslabones).	\$ 1.715	Máquina de inyección.	\$ 75.000.000	Máquina de impresión 3D.	\$ 4.000.000
Torno industrial.	\$ 35.000.000	Molde de inyección.	\$ 45.000.000	Licencia <i>Rhino 7</i> CAD perpetua.	\$ 4.400.000
Fresa industrial.	\$ 9.000.000	<i>Pellets</i> de polietileno de alta densidad 1kg (12 eslabones).	\$ 375	Rollo de filamento de polietileno de alta densidad 1kg (18 eslabones).	\$ 1.150
Total	\$ 44.001.715		\$ 120.000.375		\$ 8.401.150

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la tabla anterior, se detallan los elementos asociados a cada uno de los métodos utilizados, incluyendo la maquinaria necesaria para la implementación de piezas industriales en los procesos de mantenimiento dentro de la planta. De acuerdo con la información presentada en la tabla, se proporciona en la figura 16 un análisis comparativo para evaluar los diferentes métodos en términos de costos de fabricación.

Figura 17. Comparativa de costos con base a métodos de fabricación.



Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la figura previamente presentada, se detallan los costos asociados a los métodos de fresado y torneado, inyección y manufactura aditiva, incluyendo la suma de todos los

complementos requeridos para cada operación. En el método de fresado y torneado, se observa un costo tradicional de máquinas que genera residuos durante la operación, resultando poco eficaz en la etapa de fabricación. De manera similar, en el método de inyección, ambos procesos operan mediante moldes, los cuales tienden a ser imprecisos al replicar las medidas esenciales para la fabricación de piezas industriales necesarias en cada operación dentro de la maquinaria de la línea de producción. En cuanto a la manufactura aditiva, tiene beneficios a la hora de poder implementarla, ya que, tiene un costo bajo a comparación de los otros métodos evaluados, al igual que, tiene una característica esencial que son la medición exacta, a la hora de fabricar cada pieza; también es fundamental mencionar que no genera residuos gracias a la precisión del software para replicar cada elemento puntualmente.

En la tabla 16, se presenta el tiempo necesario para cada operación, según el método a emplear.

Tabla 16. Comparativo de tiempo.

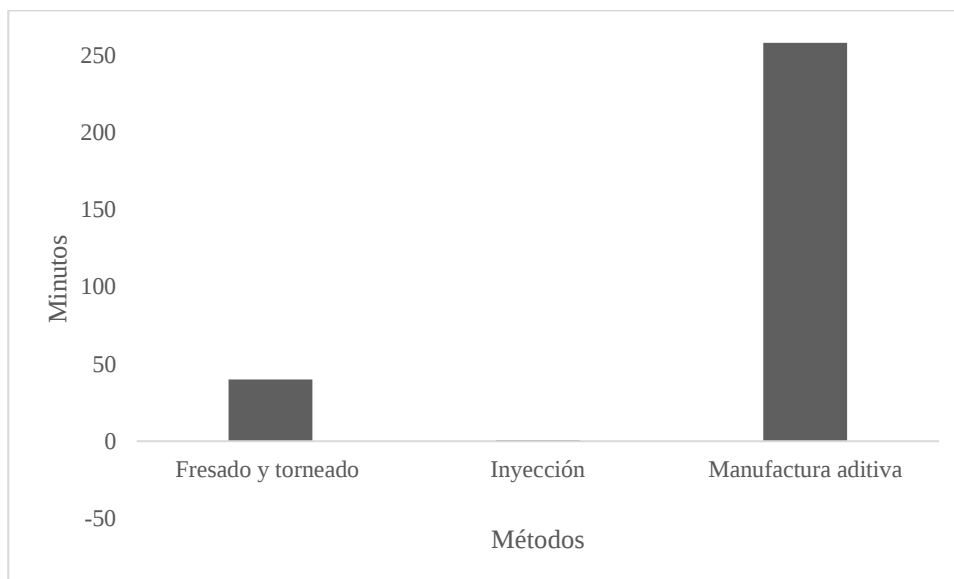
Fresado y torneado		Inyección		Manufactura aditiva	
Tiempo (minutos)					
Proceso	Tiempo	Proceso	Tiempo	Proceso	Tiempo
Torneado	10	Cerrado de molde	0,033	Diseño de la pieza	20
Fresado	25	Inyección	0,05	Impresión	238
Cortado	5	Enfriamiento.	0,2		
		Apertura de molde.	0,033		
		Expulsión de pieza.	0,033		
		Tiempo de enfriamiento de la máquina.	0,2		
Total	40		0,549		258

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla expuesta; en el método de fresado y torneado se tiene en cuenta los procesos que conlleva la operación para dar como resultado la totalidad de la pieza, esto sin tener en cuenta los procesos de calidad aplicados para la verificación final; en cuanto al proceso de inyección, al igual que el método anterior, se incluyen todos los procesos necesarios para la realización del elemento, que suele ser más extenso por la manera de fabricación que este tiene; por último se presenta los procesos necesarios para la ejecución por el método de manufactura aditiva, que suelen ser de pocos pasos, pero eficiente a la hora de entregar el resultado final. Según los procesos

expuestos en la tabla anterior, se presenta en la figura 17, una comparación en cuanto al tiempo según cada método de fabricación.

Figura 18. Comparativa del tiempo con base a métodos de fabricación.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17 se ilustra el tiempo necesario para la realización de una pieza industrial, según cada método. En el método de fresado y torneado tiene un tiempo de 40 minutos, esto sin contar el proceso de control de calidad para la implementación hacia la maquinaria, donde en dado caso no cumpla, esta entra en un reproceso, lo cual aumentaría este tiempo de fabricación. En el caso de la inyección, ocurre algo similar con el método anterior; a pesar de ser el más corto de los 3 métodos, este procedimiento tiene varias falencias, en cuanto a los moldes que contienen, al igual que el fresado y torneado, las piezas fabricadas por inyección también pasan por un mecanismos de control para la implementación dentro del proceso de mantenimiento, entonces debido a la incertidumbre en la medición de cada pieza, por lo general tiene un reproceso hasta de 5 veces, lo cual aumento los costos y el tiempo empleado. Por último en el tiempo requerido de fabricación en la manufactura aditiva, es el más alto, debido a la precisión que este método tiene para obtener la exactitud requerida para la adquisición dentro de los procesos; teniendo en cuenta las características del proceso, este se maneja bajo un software, donde se puede simular como será la pieza impresa, abarcando importantes precauciones como lo son las imprecisiones en las medidas, el sobregasto de materiales y los estándares de calidad que son un ahorro en varios aspecto para el área de mantenimiento.

Posteriormente en la tabla 17, se presenta la cantidad de operario necesarios para emplear cada de método de fabricación.

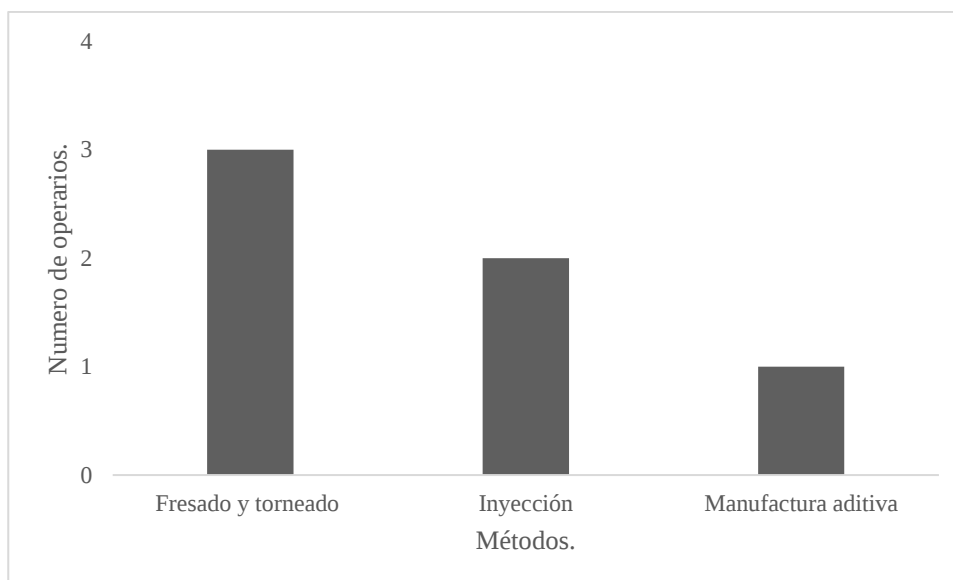
Tabla 17. Comparativo de operarios.

Fresado y torneado		Inyección		Manufactura aditiva	
Operarios					
Proceso	Operarios	Proceso	Operarios	Proceso	Operarios
Torneado.	1	Encendido y puesta en marcha de la máquina.	2	Encendido y puesta en marcha de la máquina.	1
Fresado.	1				
Cortado.	1				
Total	3		2		1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17, se expresa la cantidad de operarios según el proceso que cada método conlleva, en el fresado y torneado se especifica los procesos que se llevan a cabo para completar la operación, que, a comparación de los otros dos métodos, se subdividen las tareas para su total realización. En la figura 18, se presenta una comparativa en cuanto al número de operarios en cada operación.

Figura 19. Comparativa del número de operarios por método de fabricación.



Fuente: Elaboración propia.

Se ilustra en la figura anterior, la cantidad de operarios necesarios para cada método, donde en los métodos, fresado-torneado e inyección, se necesita una cantidad mayor de personal en cuanto a la manufactura aditiva, debido a que son procesos manuales y semiautomatizados que interviene el operario de forma permanente, además de eso, hay que tener en cuenta los factores de salario y capacitación que suma de una u otra forma en los costos de mantenimiento para la compañía. La manufactura aditiva lleva ventaja, ya que solo se necesita una sola persona, el cual maneja un proceso totalmente automático, lo que le permite realizar otras tareas, que desenvuelvan el apoyo al soporte en el área para el mejoramiento de los procesos de mantenimiento. En la siguiente tabla, está reflejado un resumen de totales de los métodos, evaluando los factores anteriormente desarrollados.

Tabla 18. Totales métodos de fabricación.

Métodos	Total		
	Costo (COP)	Tiempo (minutos)	Operarios
Fresado y torneado.	\$ 44.001.715	40	3
Inyección.	\$ 120.000.375	0,549	2
Manufactura aditiva.	\$ 8.401.150	258	1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 presentada anteriormente se expresan los totales de las variables a evaluar, donde se encuentran los resultados analizados con anterioridad. A continuación, se presenta una escala de evaluación a criterio propio teniendo en cuenta la investigación detalla de cada método de fabricación, con el objetivo de evaluar el mejor método a desarrollar.

Tabla 19. Valoración métodos de fabricación.

Método	Costo (COP)	Tiempo (minutos)	Operarios	Total
Fresado y torneado.	2	3	2	7
Inyección.	1	5	3	9
Manufactura aditiva.	5	1	5	11

Fuente: Elaboración propia.

Anteriormente en la tabla de valoración, se asignan los puntajes correspondientes de cada uno de los tres métodos de fabricación, el cual se categorizan en categorías.

— **Costo (COP):** Esta categoría evalúa el costo asociado con cada método. Se asignó un puntaje más alto (5) a la opción más económica y un puntaje más bajo (1) a la opción más costosa.

— **Tiempo (minutos):** Este factor mide el tiempo requerido para llevar a cabo cada método de fabricación. Se otorgó un puntaje más alto (5) al método que es más rápido en términos de tiempo y un puntaje más bajo (1) al método que consume más tiempo.

— **Operarios:** Esta categoría evalúa la cantidad de operarios necesarios para llevar a cabo cada método. Se asignó un puntaje más alto (5) al método que requiere menos operarios y un puntaje más bajo (1) al método que necesita más operarios.

Evaluando la información anterior relacionado con el volumen de producción de piezas, la opción más rentable es la manufactura aditiva, debido a que no es un volumen masivo para hacer una inversión tan grande como para bajar los costos por pieza y tampoco se quiere de varios operarios como en el caso de los métodos mecánicos. Además, este método permite una mayor libertad de diseño, lo que significa que se pueden crear piezas personalizadas y optimizadas, según se requiera para cumplir con requisitos específicos establecidos anteriormente. Esto puede ser especialmente beneficioso en la fabricación de piezas de maquinaria industrial que requieren características únicas y complejas. En la fabricación tradicional, los métodos de inyección y fresado generan una cantidad significativa de desperdicio de material, ya que se corta o moldea el exceso. En cambio, las impresoras 3D pueden utilizar solo la cantidad necesaria de material, lo que cambia significativamente los costos y el desperdicio.

3.3 Manejo del protocolo *software* en producción PET

La estación de la línea, la frecuencia de verificación de *software*, actualización de *software* o *drivers* y prueba de rendimiento; son los distintos estándares expuestos en la tabla 20.

Tabla 20. Protocolo de software.

Estación de la línea	Verificación de software	Actualización de software o drivers	Prueba de rendimiento
Soplado	✓	Cuando el fabricante lance actualizaciones o la verificación presente problemas.	Botellas salen correctamente sopladas.
Llenado	✓	Cuando el fabricante lance actualizaciones o la verificación presente problemas.	Botellas se llenan con el contenido adecuado.

Acumulador	✗	N/A.	N/A.
Etiquetado	✓ _F	Cuando el fabricante lance actualizaciones o la verificación presente problemas.	Botellas salen etiquetadas correctamente y con la etiqueta adecuada.
Empacado	✓ _F	Cuando el fabricante lance actualizaciones o la verificación presente problemas.	Los empaques <i>six</i> y <i>twelve</i> pack se realizan correctamente y en el tiempo determinado.
Paletizado	✗	N/A.	N/A.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla presentada anteriormente, se puede evidenciar los diferentes procesos que tiene cada línea de producción PET, donde la mayoría de los procesos tienen una constante verificación de *software* para la supervisión del buen funcionamiento de la serie. En la tabla 21 y 22 se ve reflejado el tiempo y la cantidad de operarios necesarios para llevar a cabo la operación.

Tabla 21. Tiempo protocolo software.

Proceso	Tiempo
Tiempo de actualización por máquina.	10 minutos x 4 máquinas = 40 minutos.
Puesta en marcha de prueba.	10 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Operarios por manufactura aditiva.

Proceso	Operarios requeridos
Actualización y verificación de software.	1 ingeniero en software.

Fuente: Elaboración propia.

Se establece en las tablas anteriores, que el tiempo total de la verificación de software es de 50 minutos semanales, dado que también se propone realizarse mientras se hace el mantenimiento de saneamiento y requiere a un ingeniero en software para revisar cada una de las máquinas.

3.4 Mejora del suministro hídrico en la línea de producción

Para mantener el sistema en caso de un corte de agua se decide tomar como referencia una hora de funcionamiento normal de la línea embotelladora, lo que quiere decir que se debería tener una reserva de agua por lo menos 36000 litros para que esta tenga la autonomía propia. Este tanque será llenado constantemente por el sistema de tratamiento de agua para asegurar la menor

posibilidad de proliferación de bacterias, el agua saldrá al mismo tiempo de este para que todo el tiempo tenga agua corriente disminuyendo aún más la probabilidad de contaminación de agua.

Figura 20. Tanque 40.000 litros.



Fuente: Tecnotanques MX

Se opta por un tanque que cumpla con las especificaciones de almacenamiento y se instalará un equipo de bombeo que permita sacar 600 litros por minuto, este entrará en acción cuando el agua provisionada se vea afectada por un corte.

Figura 21. Motobomba Dogo 4T 5,5 HP 600 L/min.



Fuente: Espacio-industria.

Costos: En estos costos no se tiene en cuenta la tubería.

Tabla 23. Costo sistema de almacenamiento de agua.

Artículo	Precio
Tanque 40.000 litros	52'000.000
Motobomba Dogo	17'000.000

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de almacenamiento de agua a implementar en la planta de producción en Tocancipá demuestra un enfoque proactivo para asegurar la continuidad de la línea productiva en caso de cortes de suministro de agua. La reserva de agua de al menos 36,000 litros, el constante llenado del tanque a través del sistema de tratamiento de agua y el equipo de bombeo permiten mantener un suministro de agua corriente durante un tiempo significativo, reduciendo la probabilidad de interrupciones en la producción. Esta medida se demostraría con la ayuda de la eficiencia operativa y la satisfacción de sus clientes al garantizar un suministro confiable de agua para la línea embotelladora. Si se tiene en cuenta los 70.181 minutos que existen, debido a este tipo de paros se puede también determinar que este sistema podría ahorrarle 60 minutos al día en cuanto a tiempo de paros ajenos es decir 21.900 minutos menos lo que, da un total previsto de 48.281 minutos.

3.5 Aplicación del sistema *Kanban*

La metodología *Kanban* se puede aplicar en la sede de Coca-Cola FEMSA en Tocancipá para tener un control efectivo de la materia prima disponible. A continuación, en la tabla 24, se describen los pasos para implementar el sistema *Kanban* en esta empresa:

Tabla 24. Pasos de implantación *Kanban*.

Pasos	Descripción	Color	Materia prima	Tiempo (minutos)	Empleados	N° de repeticiones mensuales	Nivel de importancia
Identificar los materiales claves	Realizar un análisis de materiales a usar en la línea de producción.	Rojo	Jarabe	120	1 supervisor.	15	El color rojo resalta la importancia de identificar las materias primas críticas; esas que afectan significativamente la operación.
	Fijar un listado de materiales primordiales	Amarillo	Etiquetas, tapas, botellas y concentrados	120	1 supervisor.	15	El color amarillo, indica que estas materias primas son importantes, pero llegan al punto de

							no ser tan críticas.
Establecer los materiales de reorden	Establecer los niveles mínimos de inventario según cada material clave.	Rojo	Jarabe	180	1 supervisor.	10	El rojo prevalece aquí para destacar la crítica importancia de los niveles de jarabe, ya que cualquier escasez podría detener la producción completamente.
	Establecer un punto de reorden para cada material, teniendo en cuenta el reabastecimiento para tener el control moderado.	Amarillo	Etiquetas, tapas, botellas y concentrados	180	1 supervisor.	10	El amarillo indica que estos materiales son relevantes para el complemento de la operación.
Diseñar tarjetas <i>Kanban</i>	Crear tarjetas <i>Kanban</i> físicas para representar cada material, con las especificaciones necesarias.	Verde	Tarjetas <i>Kanban</i> para Jarabe, Etiquetas, Tapas, Botellas, Concentrados	120	1 supervisor.	15	El verde se utiliza para indicar que la creación de tarjetas <i>Kanban</i> es una parte fundamental del proceso.

Implementar el sistema de tarjetas <i>Kanban</i>	Ubicar las tarjetas <i>Kanban</i> en los contenedores de almacenamiento de cada material y asegurarse de que se devuelvan cuando se retire material según la necesidad estipulada.	Verde	Tarjetas <i>Kanban</i> para Jarabe, Etiquetas, Tapas, Botellas, Concentrados.	60	1 supervisor.	30	El verde se mantiene para resaltar la importancia de implementar correctamente el sistema de tarjetas <i>Kanban</i> , basado en el control del proceso.
Establecer procesos de reposición	Cuando se reciba una tarjeta <i>Kanban</i> , iniciar el proceso de reposición de materia prima.	Amarillo	Etiquetas, Tapas, Botellas, Concentrados.	120	1 supervisor.	120	El amarillo indica que estos procesos de reposición son importantes para el reabastecimiento de las materias primas.
Monitorear y ajustar el sistema	Realizar un seguimiento constante del flujo de materiales y desempeño del sistema, identificando problemas generales.	Verde	Tarjetas <i>Kanban</i> para Jarabe, Etiquetas, Tapas, Botellas, Concentrados.	Ongoing	1 supervisor.	30	El verde se usa para destacar la importancia de monitorear y ajustar constantemente el sistema <i>Kanban</i> para mejorar la producción.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se presentan los pasos a seguir para el seguimiento de un nuevo modelo que permite tener un control en el *stock* de materia prima para el área, donde se permite realizar filtros personalizados según la necesidad de cada operación que se lleve a cabo. El sistema *Kanban* utiliza tarjetas físicas para representar el flujo de trabajo en un tablero *Kanban*, que suele ser un tablero visual dividido en columnas que representan diferentes etapas del proceso. A medida que el trabajo progresa de una etapa a otra, las tarjetas se mueven a través del tablero, lo que permite a los equipos visualizar y controlar fácilmente

el estado y el progreso de las tareas. A continuación, se presenta la ilustración de las tarjetas *Kanban* con base a las materias primas presentes.

Tabla 25. Estructura de tarjeta *Kanban*

Materia prima			
Cantidad:	XXXX l	Cod. Ref.:	XX000
Ubicación:	Estante X, Nivel X	Fecha de última reposición:	dd/mm/aaa
Punto de reorden:	X litros	Responsable:	XXXXXXXX

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla presentada anteriormente se establece una estructura para cada una de las materias primas, el cual especifica aspectos claves que permiten identificar lo planteado en la tabla 24. Uno de los aspectos clave de la tarjeta *Kanban*, es el punto de reorden que se refiere al límite que está permitido llegar el producto en cuanto a cantidades, para poder reabastecer esa materia prima. En la siguiente se presenta un tablero base para la clasificación, según cada color correspondiente.

Tabla 26. Tablero de control *Kanban*.

Niveles	Actividades	Pendientes	En curso	Finalizado
Rojo	Identificar materiales claves.			x
	Establecer puntos de reorden.		x	
Amarillo	Establecer procesos de reposición.		x	
Verde	Diseñar tarjetas <i>Kanban</i> .	x		
	Implementarla el sistema de <i>Kanban</i> .	x		
	Monitorear el sistema.	x		

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la tabla anterior, se presenta un modelo de tablero que identifica el nivel de impacto que tiene cada actividad dentro de la herramienta *Kanban*. El color rojo son actividades críticas que son parte fundamental para el funcionamiento de la operación dentro de la línea de producción, el color amarillo resalta los insumos complementarios que hacen parte dentro del proceso de la línea y por último el color verde se identifica la añadidura del nuevo sistema, junto a su respectivo monitoreo y control. En cuanto a los lineamientos de las actividades se clasifican por medio de pendientes, en curso y finalizadas; el cual se seccionaron cada una de las actividades teniendo en cuenta la tabla 24, donde se especifica la cantidad de veces que se realizarían cada tarea correspondientemente.

Un ejemplo de este modelo se enfoca en tomar la tarjeta roja de identificar materiales clave, que indica que es una actividad crítica, se ubica la tarjeta en pendientes el día anterior, al día siguiente se pone la tarjeta en curso y al final del día cuando la tarea esté terminada se pone en finalizado, hasta el final del día siguiente cuando se vuelva a poner en pendientes.

El modelo de tablero *Kanban* se destaca por su enfoque en la gestión de materias primas críticas, insumos complementarios y la implementación de un nuevo sistema, utilizando una clasificación de colores para resaltar la importancia de cada actividad. La organización en las columnas pendientes, en curso y finalizado, facilita la visualización y seguimiento del flujo de trabajo, al igual que la planificación mensual refleja un enfoque práctico. Además, la inclusión de actividades de monitoreo y ajuste del sistema representa una mejora continua, lo que es fundamental dentro del entorno de las líneas de producción para mantener la eficiencia y la disponibilidad de materiales clave.

3.6 Control y seguimiento de la verificación de equipos auxiliares

La planta de energía de Coca-Cola FEMSA en Tocancipá desempeña un papel fundamental en el suministro de energía confiable y eficiente para las operaciones de la empresa. Estas listas de verificación son de vital importancia por las razones a mencionar.

—**Seguridad:** Las listas de verificación permiten identificar posibles riesgos, fallas en equipos de seguridad, condiciones inseguras o incumplimientos de normas y protocolos. Al realizar estas verificaciones, se pueden detectar y corregir problemas antes de que se conviertan en riesgos graves para la producción.

—**Cumplimiento normativo:** La planta de energía debe cumplir con las regulaciones y normativas establecidas por las autoridades competentes. Las listas de verificación ayudan a asegurar que todos los aspectos necesarios para el cumplimiento normativo estén en orden y se cumplan los requisitos legales.

—**Mantenimiento preventivo:** Realizar verificaciones regulares permite identificar posibles problemas o desgaste en los equipos antes de que se conviertan en fallas o averías graves. Al detectar y abordar los problemas en etapas tempranas, se pueden realizar las acciones correctivas necesarias y programar el mantenimiento preventivo para evitar interrupciones en la producción.

—**Eficiencia operativa:** Las listas de verificación también ayudan a evaluar y mejorar la eficiencia operativa de la producción. Al identificar posibles mejoras en los procesos, sistemas o equipos, se pueden implementar cambios que optimicen el rendimiento y reduzcan los costos operativos.

—**Control de calidad:** Las verificaciones en la planta de energía garantizan el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la empresa. Al asegurar que los equipos estén funcionando correctamente, se evitan problemas de calidad en la producción y se garantiza la entrega de energía confiable y de alta calidad.

Como parte de su compromiso con la seguridad, el cumplimiento normativo y la eficiencia operativa, se realizan verificaciones periódicas a través de listas de verificación. A continuación, se presenta en la tabla 27 un cronograma que permite evaluar y asegurar que la planta cumpla con los estándares de calidad, seguridad y medioambientales establecidos.

Tabla 27. Cronograma de mantenimiento de los equipos.

Equipo	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Tiempo de verificación (minutos)	Procedimiento del Proceso	Especificación del Mantenimiento
Línea de Envasado	Preventivo	Mensual	30	Realizar inspección visual de la línea de envasado, verificar estado de las correas, ajustar tensores y lubricar los componentes clave.	Mantenimiento general de la línea de envasado para prevenir fallas inesperadas.
Tanque de Almacenamiento	Correctivo	Semestral	120	Vaciar el tanque, limpiar el interior a fondo, inspeccionar y reparar posibles fugas o corrosión, y volver a llenar el tanque.	Mantenimiento correctivo para solucionar problemas identificados durante la inspección.
Compresor	Preventivo	Trimestral	60	Verificar y limpiar los filtros de aire, drenar el agua acumulada en el sistema, lubricar los componentes móviles y medir la presión del aire comprimido.	Mantenimiento regular para mantener el rendimiento óptimo y evitar fallos del compresor.
Etiquetadora	Preventivo	Mensual	30	Inspeccionar y limpiar los cabezales de impresión, verificar el funcionamiento de los sensores y calibrar la precisión de la etiquetadora.	Mantenimiento preventivo para garantizar una correcta aplicación de etiquetas.

Sistema de Enfriamiento	Preventivo	Anual	120	Limpia y descalcificar los intercambiadores de calor, verificar el funcionamiento de las bombas y controlar la presión y temperatura del agua refrigerante.	Mantenimiento anual para garantizar una eficiente refrigeración del sistema.
Máquina Empacadora	Correctivo/Preventivo	Semanal	10	Realizar un control de calidad de los productos empacados, verificar y ajustar las configuraciones de la máquina según las necesidades de embalaje.	Mantenimiento correctivo o preventivo dependiendo de los problemas identificados durante el control de calidad.

Fuente: Elaboración propia.

En tabla anteriormente expuesta, se estable cuáles son los parámetros que seguir para obtener un buen funcionamiento de los equipos. Si durante el proceso de verificación se identifica una falla del 30% según Sánchez (2017), es importante tomar medidas correctivas para solucionar la situación. A continuación, se presenta recomendaciones a seguir según un protocolo alineado a la necesidad.

—**Documentar y reportar:** Registrar detalladamente la discrepancia o el incumplimiento identificado en el cronograma de mantenimiento y documenta cualquier información relevante, como la naturaleza del problema, su ubicación y cualquier observación adicional.

—**Evaluar el impacto:** Determinar el impacto del incumplimiento en la operación, la seguridad o el rendimiento de las maquinas. Evaluar los posibles riesgos asociados y toma las medidas necesarias para minimizarlos o mitigarlos.

—**Priorizar y programar las acciones correctivas:** Establecer la prioridad de las acciones correctivas necesarias según la gravedad del incumplimiento y su impacto en la seguridad y la operación. Programar las actividades de corrección de acuerdo con la urgencia y la disponibilidad de recursos.

—**Asignar responsabilidades:** Identificar a los responsables de llevar a cabo las acciones correctivas y asigna claramente las tareas a los equipos o individuos pertinentes. Se definen plazos realistas para completar las acciones y asegurarse de que se cumplan.

—**Realizar seguimiento y verificación:** Supervisar y realizar un seguimiento de la implementación de las acciones correctivas. Verificar que se hayan abordado

adecuadamente los problemas identificados y que se hayan solucionado de manera satisfactoria. Realizar las pruebas necesarias para confirmar que los sistemas, equipos o procesos están funcionando correctamente.

—**Documentar las mejoras y lecciones aprendidas:** Una vez que se hayan implementado las acciones correctivas, se debe documentar los cambios realizados y las mejoras logradas. Registrar las lecciones aprendidas durante este proceso y utilizar esa información para mejorar los procedimientos y evitar futuros incumplimientos.

En resumen, los cronogramas de mantenimiento desempeñan un papel fundamental en el aseguramiento de la seguridad, el cumplimiento normativo, el mantenimiento preventivo, la eficiencia operativa y el control de calidad en la planta de Coca-Cola FEMSA en Tocancipá. Estos programas refuerzan el compromiso de la empresa con la excelencia en la operación de sus instalaciones y el suministro confiable de energía para sus operaciones.

3.7 Conclusión de la propuesta de mejoramiento

En definitiva, se puede afirmar que la propuesta para mejorar el proceso de mantenimiento de la planta de Coca-Cola Femsa Tocancipá tiene como objetivo cubrir las deficiencias que actualmente existen dentro de la empresa y hacer más eficiente el mantenimiento. El plan propuesto incluye un protocolo para cada paso a seguir, una lista de piezas críticas y un plan de tiempos de importación. El plan propone utilizar la metodología 5S para las paradas sanitarias, que incluye una lista de tareas y horarios para cada empleado involucrado. El tiempo total de paradas sanitarias por semana es de 160 minutos, lo que supone 8.320 minutos por año, y multiplicando por el número de líneas se obtiene un total de 41.600 minutos por año. Además, el plan propuesto incluye una lista de estándares para proteger contra fallas inesperadas del equipo, incluido el inventario de piezas críticas, la determinación del mantenimiento, la programación del mantenimiento periódico, la inspección visual, la verificación de la funcionalidad del software, el reemplazo de piezas defectuosas, la actualización del software y el rendimiento.

Además, la propuesta incluye una comparación del tiempo y el costo de cada método de fabricación de piezas críticas, incluido el fresado y torneado, el moldeo por inyección y la fabricación aditiva. El plan propuesto tiene como objetivo mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de mantenimiento, reducir los plazos de entrega y minimizar el tiempo de inactividad inesperado del equipo mediante la implementación de estos estándares y el uso de producción incremental de piezas críticas.

4. Plan de implementación de la propuesta de mejoramiento.

La propuesta de mejoramiento, que se plantea a continuación, se basa en el área de mantenimiento, en los diferentes procesos donde anteriormente se identificó, cual es el medio adecuado para lograr los objetivos planteados. Por consiguiente, según el análisis realizado, en cuanto a costos y tiempos, se desarrolla un plan de implantación, para su adecuado funcionamiento para procesos de mejora.

4.1 Beneficios de la propuesta de mejoramiento.

El propósito fundamental de este plan de implementación es alinear los marcos temporales, de conocimiento y presupuesto con la propuesta de mejora presentada en el capítulo anterior. Para lograr esto, se establece una meta SMART específica, mensurable, alcanzable, relevante y basada en el tiempo: reducir los tiempos de paros en un 20% para el año 2025. Esta meta se ha fijado como un indicador claro y cuantificable del éxito del plan de implementación.

Es importante destacar que el 20% de reducción de tiempos de paros no solo es una aspiración, sino también una meta realista y alcanzable. Se considera la posibilidad de enfrentar fallas inesperadas o eventos imprevistos durante la implementación. Este porcentaje no solo representa una mejora significativa en la eficiencia operativa, sino que también tiene en cuenta la naturaleza dinámica del entorno industrial, donde ciertos imprevistos pueden ocurrir. Así, este objetivo se presenta como un escenario realista y coherente, considerando la flexibilidad necesaria para adaptarse a situaciones cambiantes y garantizar la efectividad a lo largo del período de implementación.

En este contexto, la reducción del 20% en los tiempos de paros no solo se traduce en una mejora operativa tangible, sino que también refleja un compromiso con la adaptabilidad y la resiliencia ante posibles desafíos. Este enfoque proactivo hacia la eficiencia no solo tiene como objetivo mejorar los procesos actuales, sino también anticipar y responder de manera efectiva a los cambios y eventos inesperados que puedan surgir durante la implementación. Al establecer esta meta SMART, se proporciona un marco claro y medible para evaluar el éxito del plan a lo largo del tiempo, brindando a los responsables de la implementación un indicador claro de su progreso hacia la mejora continua. En última instancia, este plan de implementación se presenta como un instrumento estratégico que no solo busca mejorar los tiempos de paros, sino también fortalecer la capacidad de la organización para enfrentar y superar los desafíos dinámicos del entorno industrial.

4.2 Cronograma

Este plan tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la planta y reducir los tiempos muertos. Comienza con la presentación de objetivos, luego se evalúan los activos y equipos, se adaptan estrategias, se planifican recursos y presupuesto, se realiza una prueba piloto, y finalmente se implementan las estrategias en toda la empresa. Se establece un sistema de monitoreo y control para garantizar el cumplimiento de metas SMART. En la tabla 28 se expone el cronograma de las actividades requeridas dentro de la propuesta de mejoramiento.

Tabla 28. Cronograma de actividades.

Actividad/Fecha	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Introducción al plan: Presentación del proyecto y objetivo de las estrategias para reducir los tiempos muertos.						
Evaluación inicial: Evaluar exhaustivamente los activos y equipos actuales de la planta para identificar cambios, mejoras y adiciones.						
Adaptación de la estrategia: Con los hallazgos en la evaluación realizar las adaptaciones a la estrategia sobre que cambiar y comprar.						
Planificación de recursos y presupuesto: identificar los recursos humanos, maquinaria y presupuesto para la puesta en marcha de la propuesta.						
Prueba piloto: realizar una prueba piloto en una sola de las líneas,						

para tomar una muestra representativa del cambio en los tiempos e identificar otras áreas de mejora.						
Implementación total: con lo identificado en la prueba piloto y pasos anteriores terminar de implementar las estrategias en toda la empresa.						
Monitoreo y control: revisar los resultados periódicamente para verificar que se cumpla el objetivo con la meta Smart.						

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, se plantea un diagrama de Gantt, para llevar un control de las actividades a presentar dentro del desarrollo de la propuesta, para la futura implementación dentro del área de mantenimiento de la empresa.

4.3 Recursos necesarios

En este apartado se definen todos los recursos necesarios para la propuesta, divididos en los apartados de recursos humanos y materiales, para esto se definirá con las estrategias planteadas en el capítulo anterior.

4.3.1 Recursos humanos

Paros saneamiento

Supervisor de mantenimiento: 5 recursos.

Operarios de mantenimiento: 15 recursos.

Paros por equipo

Estrategia de verificación de piezas reemplazables:

Supervisor de mantenimiento: 4 recursos.

Estrategia de impresión 3D:

Diseñador e impresor de piezas: 1 recurso.

4.3.2 Estrategia de protocolo software

Ingeniero en *software* especializado en los programas de la línea de producción: 1 recurso.

Paros ajenos:

Estrategia de sistema de almacenamiento de agua:

Operario de mantenimiento: 1 recurso.

Paros operativos:

Aplicación del sistema *Kanban*:

Supervisor de mantenimiento: 1 recurso.

Operarios de mantenimiento: 1 recurso.

Paros en equipos auxiliares:

Check list de verificación de los equipos:

Supervisor de mantenimiento: 1 recurso.

4.3.3 Recursos materiales

Paros saneamiento:

Hidrolavadora a alta presión: 10 unidades.

Aditamento de aplicación de detergente para la hidrolavadora: 10 unidades.

Cepillos industriales: 15 unidades.

Pistola de calor: 10 unidades.

Paros por equipo:

Máquina de impresión 3D: 1 unidad.

Licencia *Rhino 7* CAD perpetua: 1 unidad.

Rollo de filamento de polietileno de alta densidad 1kg: 1 unidad.

Paros ajenos:

Tanque 40.000 litros: 1 unidad.

Motobomba Dogo: 1 unidad.

Paros operativos:

Aplicación del sistema *Kanban*:

Tarjeta *Kanban*: 1 unidad.

Tablero *Kanban*: 1 unidad.

Paros en equipos auxiliares:

Check list de verificación de los equipos: 1 unidad.

4.4 Roles y Responsabilidades

En este apartado se describen los roles y responsabilidades de cada uno de los implicados en las estrategias planteadas, esto con el fin de que tengan claro y presente cual debe ser su impacto en el presente proyecto.

Tabla 29. Roles.

Rol	Responsabilidad
Gerente de mantenimiento	Responsable de implementar las nuevas estrategias planteadas para el área, también se encarga de las compras y adquisiciones del área.
Supervisor de mantenimiento	Coordina y verifica las actividades planteadas por el gerente de mantenimiento.
Operarios de mantenimiento	Ejecuta las actividades que el supervisor coordina.
Ingeniero en software	Gestiona, coordina y ejecuta las actividades de actualización y reparación del software de los equipos de la línea de producción.
Diseñador e impresor de piezas 3D	Realiza el diseño y planea la ejecución de impresiones conforme al plan propuesto por el gerente de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Como se evidencia en la anterior tabla cada implicado en el proceso de implementación del proyecto tiene sus tareas, es decir no tendrán que cumplir con la tarea de otro implicado para que no haya conflictos en la realización de sus responsabilidades.

4.5 Comunicaciones

4.5.1 Plan de comunicaciones

El plan de comunicaciones se hará para identificar necesidades alineadas con los objetivos y que determine las comunicaciones más efectivas y mensajes claves a comunicar. Incluirá las comunicaciones internas sobre progresos, dificultades, tareas y actualizaciones de software.

Tabla 30. Plan de comunicación.

Comunicador	Comunicaciones	Canales	Audiencia
Gerente de mantenimiento	Actualizaciones el progreso de las actividades, prioridades y renovaciones de objetivos.	Reuniones periódicas, informes, correos, presentaciones.	Ejecutivos de la empresa.
Supervisores de mantenimiento	Tareas y actividades asignadas, instrucciones ajenas, evaluación de desempeño.	Reuniones regulares, comunicación en persona, correos, textos o llamadas.	Gerente de mantenimiento, operarios, ingeniero de software.
Ingeniero de software	Actualizaciones sobre los equipos, mejoras en el software de equipos, realimentación sobre problemas o necesidades.	Correos electrónicos, comunicaciones personales o comunicaciones por plataforma institucional.	Supervisor de mantenimiento.
Operarios de mantenimiento	Finalización de tareas, comunicación de problemas o incidentes, reporte de fallas o mejoras sugeridas.	Reuniones semanales, comunicación personal, correos electrónicos.	Supervisor de mantenimiento.
Diseñador e impresor de piezas 3D	Solicitudes de impresión, finalización de impresiones, inventario actual de piezas de repuesto.	Correos electrónicos, reuniones personales, comunicaciones personales.	Gerente de mantenimiento, supervisor de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla podemos verificar el esquema de comunicaciones, esto quiere decir las comunicaciones claves, los emisores, la audiencia que recibe el mensaje y el canal por el que se debe enviar el mensaje, para mantener una jerarquía y método de comunicación efectiva.

4.6 Gestión de riesgos

En este apartado se analizan los riesgos que se pueden ver implicados en la implementación de este proyecto, evaluando el riesgo como tal, su descripción, su probabilidad de ocurrencia y su impacto, al igual se darán medidas de mitigación para reducir las causalidades al igual que sus impactos.

Tabla 31. Tabla de riesgos.

Riesgo	Descripción	Probabilidad de ocurrencia	Impacto	Medida de mitigación
Falla inesperada de equipos	Posibilidad de que equipos indispensables tengan una ocurrencia de fallo de manera imprevista que interrumpa la producción.	Media	Alto	Aplicar las estrategias planteadas a lo largo del plan para este tipo de ocurrencias.
Problemas en el inventario de repuestos impresos	Posibilidad de que no quede inventario de piezas de repuesto impresas.	Baja	Medio	Gestionar un plan de monitoreo y control para la impresión de piezas para que siempre haya inventario.
Demoras o fallos en impresión	Problemas con la impresora o los filamentos usados para la impresión.	Baja	Bajo	Actualizaciones constantes a la impresora y monitoreo y control sobre la obsolescencia de los filamentos.
Falta de insumos para impresión	Probabilidad de que los filamentos se agoten llevando a la interrupción de la impresión de inventario de piezas.	Baja	Bajo	Uso de la herramienta <i>Kanban</i> para gestión de inventario.
Incumplimiento de las normas de seguridad	No cumplir con los lineamientos establecidos por la empresa, omitiendo estándares aumentando el riesgo de ocurrencias de accidentes.	Media	Alto	Programas de capacitación en seguridad y salud en el trabajo, auditorías periódicas sobre seguridad, fomentar la cultura de seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la tabla de gestión de riesgos se puede identificar los distintos factores que pueden generar riesgos y a lo que estos mismos conllevan, con esta tabla también se podrá mitigar los impactos de estas ocurrencias.

4.7 Evaluación y seguimiento

En evaluación y seguimiento se implementará una metodología que evalúe progreso, riesgos, mitigaciones, KPI's, con el fin de monitorear el avance de la implementación y éxito del proyecto con base en el objetivo planteado al inicio de este capítulo.

4.7.1 Evaluación y monitoreo de riesgos

—Realizar revisiones periódicas de los riesgos identificados en la estrategia de mantenimiento.

- Evaluar la probabilidad de ocurrencia y el impacto de cada riesgo.
- Utilizar una escala o matriz de evaluación de riesgos para asignar niveles de gravedad.
- Priorizar los riesgos en función de su nivel de riesgo y enfoque en los más críticos.

4.7.2 Seguimiento de acciones de mitigación

- Verificar la implementación de las medidas de mitigación planificadas.
- Evaluar la efectividad de las acciones tomadas para reducir los riesgos.
- Realizar un seguimiento de las acciones y su cumplimiento según lo programado.
- Identificar posibles brechas o áreas de mejora en la implementación de las medidas.

4.7.3 Monitoreo de indicadores clave de rendimiento (KPI)

- Establecer KPI relacionados con el mantenimiento y la gestión de riesgos.
- Definir métricas específicas para medir el desempeño en la mitigación de riesgos.
- Recolectar y analizar datos relevantes para evaluar el cumplimiento de los KPI.
- Utilizar los resultados de los indicadores para tomar decisiones y realizar mejoras.

4.7.4 Auditorías y revisiones regulares

- Realizar auditorías periódicas de seguridad, cumplimiento y gestión de riesgos.
- Revisar los registros de mantenimiento, informes de incidentes y otros documentos relacionados.
- Evaluar el nivel de cumplimiento de las políticas y medidas de mitigación establecidas.
- Identificar áreas de mejora y establecer acciones correctivas cuando sea necesario.

4.7.5 Actualización y mejora continua

- Mantener una actitud proactiva hacia la gestión de riesgos y la mejora continua.
- Revisar y actualizar regularmente la evaluación de riesgos y las medidas de mitigación.
- Mantener al tanto de las nuevas tecnologías, regulaciones y mejores prácticas relacionadas con el mantenimiento y la gestión de riesgos.
- Fomentar un entorno de aprendizaje y retroalimentación, donde se promueva la identificación temprana de riesgos y se compartan lecciones aprendidas.

Con el seguimiento y el control de las especificaciones anteriores, se mantiene un balance total de las actividades a realizar sobre las diversas medidas tomadas para la mejora continua de la operación. Se debe tener en cuenta los factores no ocasionales que, con el plan estratégico planteado, se pueda adaptar de una manera eficaz, para el mejoramiento del funcionamiento en el mantenimiento de la línea PET.

4.8 Análisis integral de mejora (Costos - tiempo)

La propuesta de mejoramiento final se centra en abordar de manera integral los desafíos identificados, con el objetivo de lograr una notable transformación y mejoramiento en diversos aspectos. Mediante un enfoque estratégico y la implementación de soluciones innovadoras, se espera alcanzar resultados significativos y duraderos.

4.8.1 Paros por saneamiento

Los paros por saneamiento se refieren a las interrupciones en las operaciones de los equipos llevados en la compañía. A continuación, en la tabla 32 se expresan diferentes variables a analizar, según la propuesta planteada a lo largo del documento.

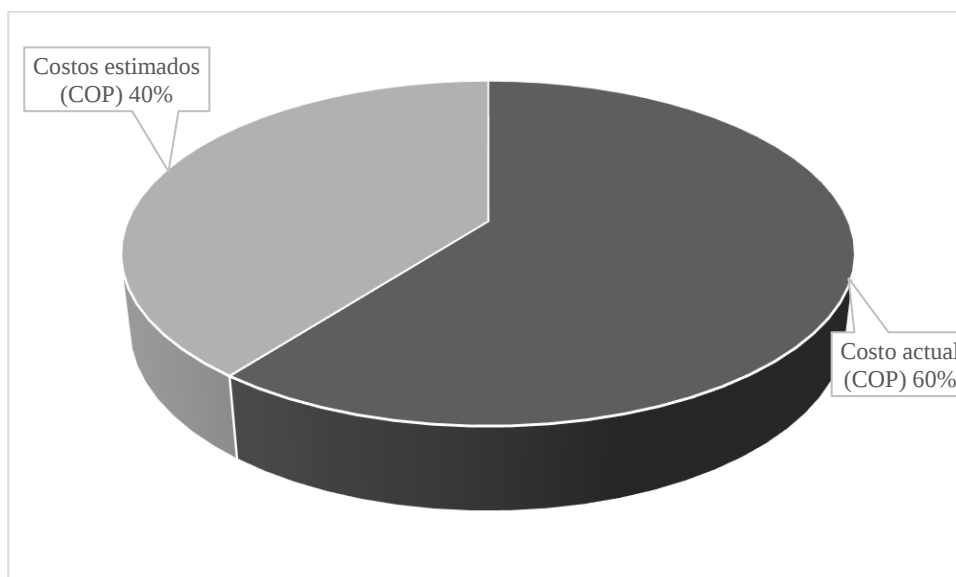
Tabla 32. Propuesta paros saneamiento.

	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Diferencia	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros saneamiento	\$ 41.136.000	\$ 26.904.000	\$ 14.232.000	188.456	41.600	146.856	Se reduce el costo actual en un 20,92% y los tiempos en un 63,83%

Fuente: Elaboración propia

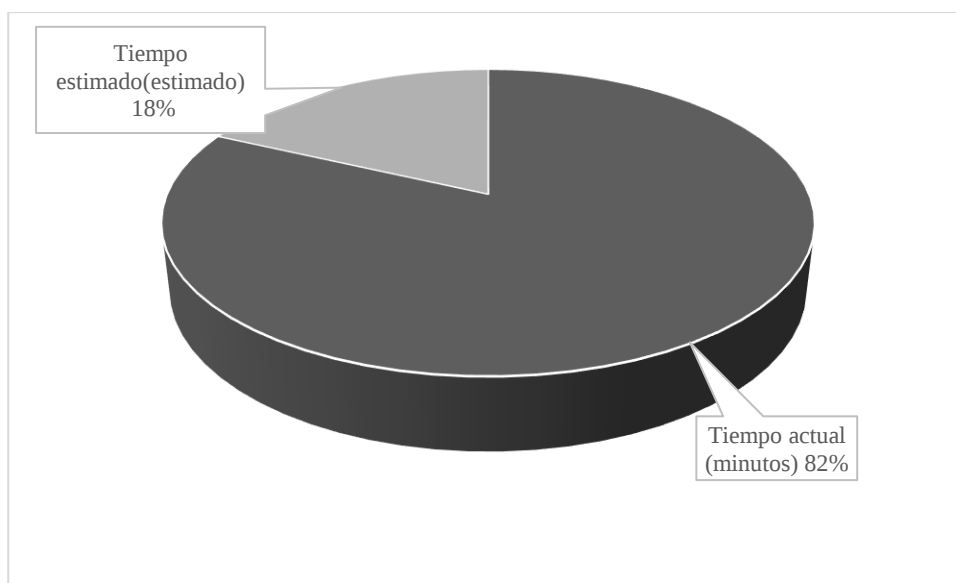
En la tabla anterior está expuesto los costos, tiempos y beneficios que tienen los paros por saneamiento, donde se realiza una diferencia entre el estado actual con el estimado en cada caso. A continuación, en la figura 21 y 22, se presenta el porcentaje que conlleva cada aspecto.

Figura 22. Comparativa de costos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Comparativa de tiempos.



Fuente: Elaboración propia

Según las figuras expuestas anteriormente, se evidencia el porcentaje que tiene cada valor, dependiendo de cada variable presente. En el comparativo de costo, se presentan el costo actual que tiene la planta en los paros por saneamiento, con los que se prevén implementando la propuesta planteada; al realizar un análisis de los valores arrojados, se obtiene una diferencia del 20,92%

aproximadamente, lo que representa una reducción de \$14'232.000 COP, lo cual es sumamente significativo gracias al planteamiento de la alternativa. En cuanto al análisis del tiempo, es donde más impacto tiene, teniendo como diferencia 146.856 minutos, que representa una reducción del 63,83%, donde gracias a las metodologías planteadas, se puede interferir de manera exhaustiva esta variable.

4.8.2 Paros por equipo

En el contexto de la gestión de paros por equipo, es esencial realizar un análisis exhaustivo de los aspectos involucrados. En la tabla 33 se presentan los aspectos evaluados en los paros por equipo, teniendo en cuenta el estudio integral de lo anteriormente planteado.

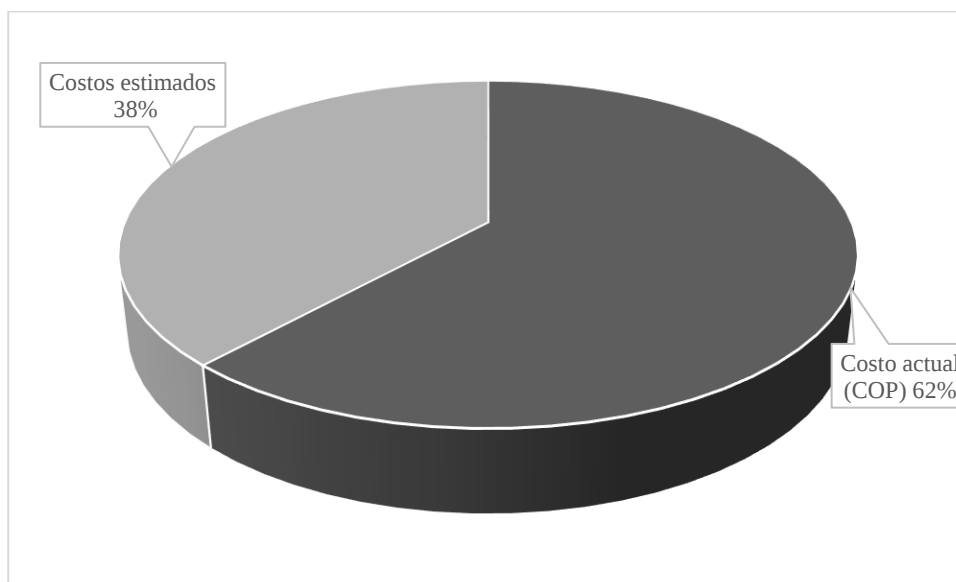
Tabla 33. Propuesta paros por equipo.

	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Diferencia	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros por equipo	\$ 29.000.000	\$ 17.905.150	\$ 11.094.850	90.705	30.560	60.145	Se reduce el costo actual en un 23,65% y los tiempos en un 49,60%.

Fuente: Elaboración propia.

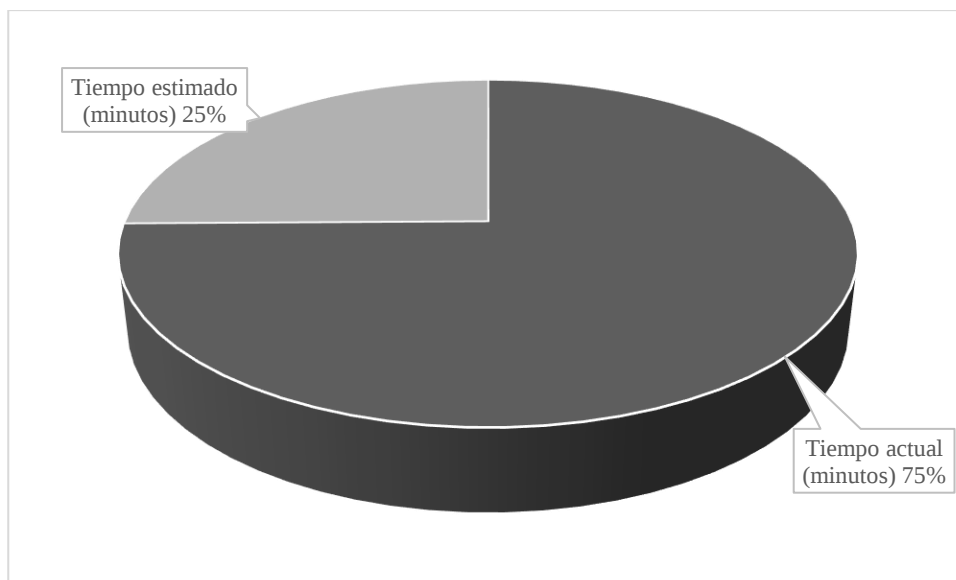
En la tabla anterior se presentan los costos, tiempos y beneficios asociados a los paros por equipo. Esta tabla muestra una comparación entre el estado actual y el estado estimado en cada caso. En las figuras 23 y 24 se realiza una comparación de cada una de las variables.

Figura 24. Comparativo de costos paros por equipo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Comparativa de tiempo paros por equipo.



Fuente: Elaboración propia.

Las figuras anteriores proporcionan información detallada sobre el porcentaje asociado a cada valor, en función de las variables presentes. Con relación al análisis comparativo de costos, se observa el costo actual de la planta durante los paros por equipo, en comparación con los costos estimados mediante la implementación de la propuesta planteada. Tras examinar los valores

obtenidos, se identifica una diferencia aproximada del 23,65%, lo que se traduce en una reducción de \$11'094.850 COP. En cuanto al análisis del tiempo, se registra una diferencia de 60.145 minutos, lo cual representa una reducción del 49,60%.

4.8.3 Paros ajenos

Cuando se abordan los paros ajenos, es fundamental disponer de una visión clara de su estado actual y de las proyecciones que se esperan al aplicar la metodología correspondiente. En la tabla 36 se presenta el estado actual y el aproximado que se prevén aplicando la metodología.

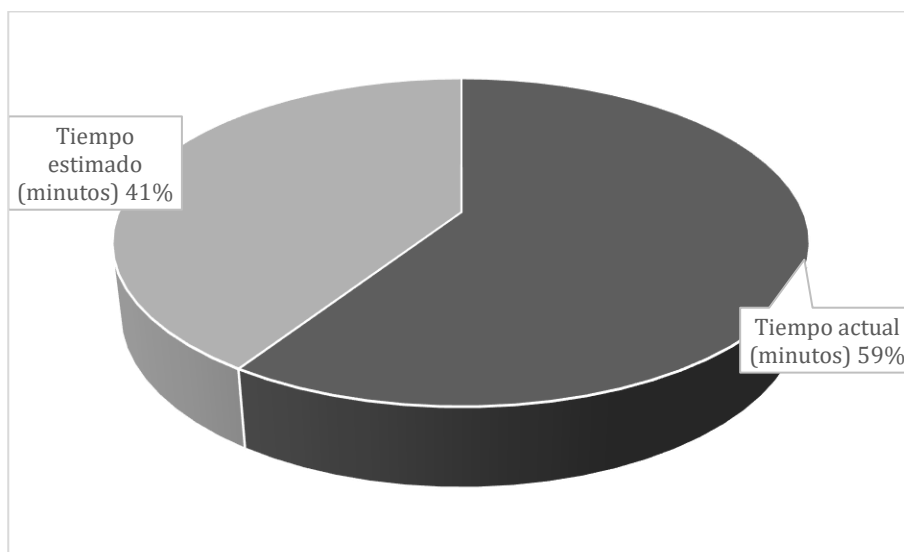
Tabla 34. Propuesta paros ajenos.

	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros ajenos	N/A	\$ 70.160.000	70.181	48.281	21.900	Se reducen los tiempos en un 18,49%

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla anterior, se considera que los costos actuales para paros ajenos no aplican debido a la ausencia actual de responsables, así como la falta de estrategias para reducir estos tiempos. En este momento, la empresa no realiza ninguna inversión para mitigar el impacto de estos tiempos muertos, lo que resulta en un costo de \$70'160.000 para la implementación de esta estrategia. Esto lleva a una reducción del tiempo de 21.900 minutos, representando una diferencia porcentual del 18,49%. La figura 25 presenta un análisis en cuanto al tiempo necesario para implementar la propuesta de mejoramiento.

Figura 26. Comparativo de tiempo paros ajenos.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior, se realiza un análisis del tiempo que esta tiene actualmente contra el estimado. La diferencia que este tiene es de 21.900 minutos, lo que representa una reducción del 18,49%, que traduce una baja significativa para el mantenimiento de los equipos, teniendo en cuenta la buena calidad del proceso.

4.8.4 Paros operativos

Otro tipo de paro son los que hacen referencia a los paros operativos, que son interrupciones planificadas y controladas en la operación normal de un sistema, proceso o actividad. En la tabla 35, se expone diferentes aspectos que ayudaran a evaluar la propuesta.

Tabla 35. Propuesta paros operativos.

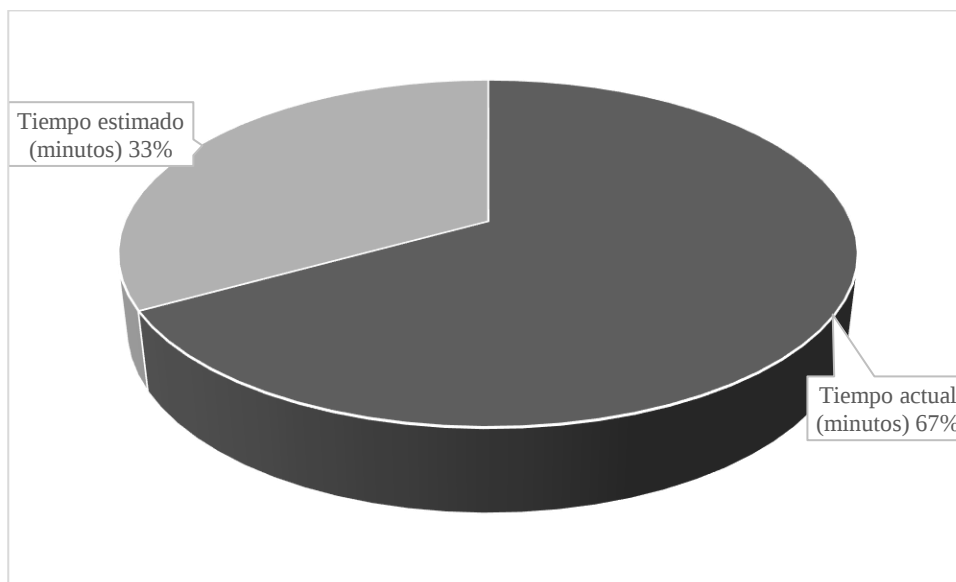
	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Diferencia	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros operativos	\$ 3.168.000	\$ 3.168.000	\$ -	63.092	31.200	31.892	Se reduce el tiempo en un 33,83%.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se presenta un análisis exclusivamente en el tiempo actual, con el estimado ya que, en cuanto a costos, tiene igual valor, debido a que son equivalentes con respecto

a los operarios disponibles en el área de mantenimiento. Para visualizar de una mejor manera el análisis de tiempo, en la siguiente figura se ilustra una gráfica comparativa, que ayuda a comprender de forma clara esta variable.

Figura 27. Comparativo de tiempo paros operativos.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26, se expresa los porcentajes equivalentes a cada uno de los tiempos establecidos en la tabla anterior, donde al realizar la diferencia entre el tiempo actual versus el tiempo estimado, da como resultado una diferencia de 31.892 minutos, lo que representa un mejoramiento total de 33,82 % que traduce una disminución significativa en la duración de las interrupciones planificadas. Esta reducción implica que se logra realizar las tareas de mantenimiento, reparación u otras actividades necesarias en un período de tiempo más corto en comparación con la situación anterior.

4.8.5 Paros en equipos auxiliares

Los paros en equipos auxiliares se refieren a las interrupciones o detenciones en el funcionamiento normal de los equipos complementarios o secundarios que están vinculados a un proceso o sistema principal. En la siguiente tabla se presenta los datos arrojados según el tiempo y el costo de esta operación.

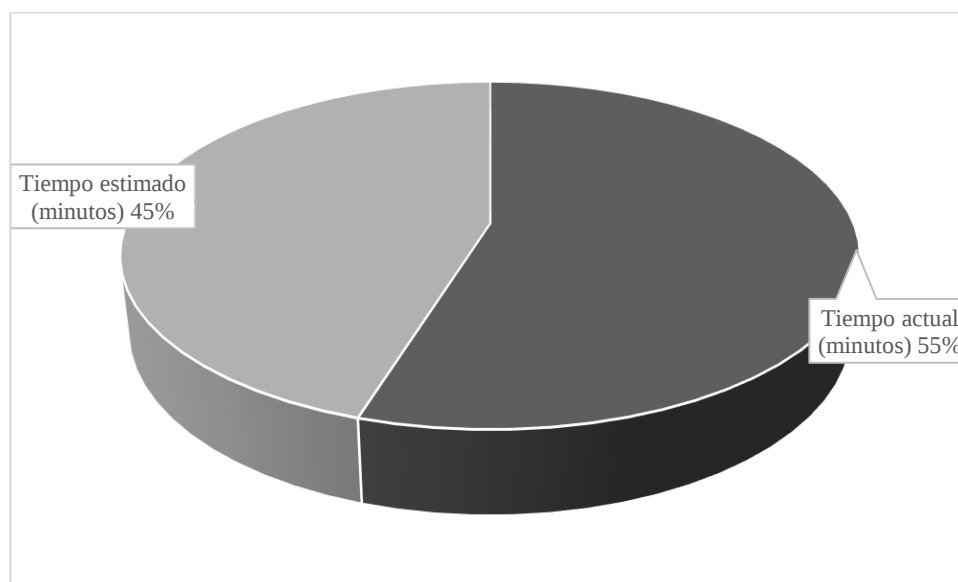
Tabla 36. Propuesta paros en equipos auxiliares.

	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Diferencia	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros en equipos auxiliares	\$ 3.168.000	\$ 3.168.000	\$ -	6.035	4.970	1.065	Se reduce el tiempo en 9,68%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 36 se presentan las variables presentes y predecibles que se plasman en los paros en equipos auxiliares en el área de mantenimiento que, con respecto a los costos, al igual que los paros operativos, tiene los mismos operarios dentro del departamento de correctivos, lo que no genera costos adicionales o menores, sino iguales. En la figura 27 se presenta, el análisis del tiempo actual contra el estimado.

Figura 28. Comparativo de tiempo paros en equipos auxiliares.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura expresada anteriormente se puede ver reflejado el porcentaje equivalente a cada tiempo; la diferencia entre el tiempo actual y estimado es de 1.065 minutos, que representan una reducción total de 9,68%, que a pesar de ser bajo a comparación de los otros tipos de paros, una reducción por más pequeña que sea, siempre es significativa debido a que influye en mejorar la confiabilidad del sistema y la satisfacción del cliente al minimizar las interrupciones no planificadas y garantizar una operación más fluida y continua.

Tabla 37. Comparativa final.

	Costo actual (COP)	Costos estimados (COP)	Diferencia	Tiempo actual (minutos)	Tiempo estimado (minutos)	Diferencia	Beneficio
Paros saneamiento	\$ 41.136.000	\$ 26.904.000	\$ 14.232.000	188.456	41.600	146.856	Se reduce el costo actual en un 20,92% y los tiempos en un 77,92%
Paros por equipo	\$ 29.000.000	\$ 17.905.150	\$ 11.094.850	90.705	30.560	60.145	Se reduce el costo actual en un 23,65% y los tiempos en un 66,30%.
Paros ajenos	N/A	\$ 70.160.000	\$ -	70.181	48.281	21.900	Se reducen los tiempos en un 31,20%
Paros operativos	\$ 3.168.000	\$ 3.168.000	\$ -	63.092	31.200	31.892	Se reduce el tiempo en un 50,54%.
Paros en equipos auxiliares	\$ 3.168.000	\$ 3.168.000	\$ -	6.035	4.970	1.065	Se reduce el tiempo en 17,64%
Total	\$ 76.472.000	\$ 51.145.150	\$ 25.326.850	418.469	156.611	261.858	Se reduce el costo actual en un 33,11% y los tiempos un 62,57%

Fuente: Elaboración propia.

Para resumir, se ha demostrado que incorporar mejoras tiene un gran impacto positivo en la eficiencia operativa al reducir sustancialmente tanto los costes como las pausas en cada área analizada. Destacando importantes resultados, estos datos muestran cómo mejorar tanto la eficiencia operativa como la rentabilidad. Esto subraya aún más el valor de gestionar adecuadamente los paros e invertir en mejoras como parte fundamental de una estrategia orientada a maximizar recursos y obtener un rendimiento mejorado.

4.9 Conclusión en implementación de la propuesta

En conclusión, la implementación exitosa de la propuesta de mejoramiento tendrá un impacto significativo en la mejora de los procesos de mantenimiento y en la operación general de los equipos. Los resultados obtenidos refuerzan la eficacia de las estrategias y acciones implementadas, lo que se traduce en beneficios tangibles y medibles.

La reducción de costos en los diferentes tipos de paros demuestra que las medidas que se tomarán serán efectivas en la gestión financiera de las actividades de mantenimiento, se reducirán los costos en las áreas que tienen una estrategia de reducción de costos en un total de 25'326.850\$ esto representa una reducción del 33,11% y el costo de la implementación de la estrategia de paros ajenos que no tiene ningún tipo de mitigación será de 70'160.000\$. Esta reducción de costos tiene un impacto directo en la rentabilidad de la organización, liberando recursos que pueden ser destinados a otras áreas o inversiones estratégicas.

La disminución en los tiempos de parada es un indicador clave de una operación más eficiente. Al reducir los tiempos de inactividad, se logra maximizar la disponibilidad de los equipos y aumentar la productividad, teniendo en cuenta los tiempos muertos eliminados que son alrededor de 261.858 minutos que rondan las 4.364 horas.

Esto resulta en beneficios significativos. Los tiempos muertos eliminados, equivalentes a 4.364 horas, junto con la producción adicional del 13% (36.000 botellas por hora, totalizando 157'114.800 botellas), generan un beneficio económico de 379.589'356.800\$. Este beneficio se deriva de un precio de distribuidor de alrededor de 2416\$ por botella. Además, la reducción de los tiempos de parada permite minimizar interrupciones en la producción, lo que se traduce en una mayor satisfacción del cliente y en una reputación positiva de la organización.

5. Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones

Después de realizar un exhaustivo diagnóstico de la empresa, se identificaron problemas significativos relacionados con los tiempos muertos y su impacto en la eficiencia del proceso productivo de la planta. Para abordar estas dificultades, se diseñaron estrategias específicas para cada tipo de paro, incluyendo saneamiento, mantenimiento de equipos, eventos externos, operativos y equipos auxiliares. Estas estrategias, en conjunto, buscan mitigar los tiempos muertos y reducir los costos de mantenimiento en todas las líneas de producción PET.

Las estrategias propuestas incluyen un plan de saneamiento eficaz, un cronograma de revisión de piezas afectadas, la implementación de impresión 3D para la fabricación de piezas de maquinaria industrial, revisiones y actualizaciones periódicas de software, la introducción de un sistema de almacenamiento de agua eficiente, la aplicación de un protocolo *Kanban* para la gestión del inventario, y la implementación de un checklist para la revisión de equipos auxiliares.

La planificación estratégica tiene como objetivo principal lograr una reducción de costos del 33.11%. Esto significa que los costos actuales, evaluados en \$76,472,000, se reducirán a \$51,145,150 después de la implementación completa de las estrategias propuestas.

Cabe destacar que, si bien los paros ajenos no están actualmente bajo control directo de la empresa y, por ende, no generan costos, la implementación de estrategias específicas para abordar estos paros reducirá los tiempos muertos asociados en un 18.49%.

En términos de eficiencia, las estrategias propuestas eliminarán 261,858 minutos de tiempos muertos, representando una impresionante reducción del 62.57% en comparación con los 418,470 minutos de tiempos muertos actuales.

Además de los beneficios tangibles en términos de reducción de costos y tiempos muertos, la implementación exitosa de estas estrategias generará impactos positivos en la producción, permitiendo la fabricación de 157,114,800 botellas adicionales al año. Esto se traduce en beneficios financieros sustanciales, con un aumento proyectado en las ventas del 13%, alcanzando la cifra de \$379.589'356.800 anuales. En consecuencia, se espera una mejora significativa en la rentabilidad y competitividad de la empresa en el mercado.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere destacar la importancia de fomentar una cultura de mejora continua en la organización. Esto implica promover la participación de los empleados en el proceso de

identificación de oportunidades de mejora, proporcionar capacitación y desarrollo en temas relacionados con el mantenimiento y la operación de equipos, y establecer canales de comunicación efectivos para compartir conocimientos y experiencias.

Se recomienda enfocarse en la implementación efectiva de las estrategias propuestas, realizar un seguimiento y evaluación constante de los resultados obtenidos. Estas recomendaciones ayudarán a generar un impacto significativo y sostenible en la eficiencia y rentabilidad de la empresa, y proporcionarán una base sólida para futuras investigaciones en el campo del mantenimiento industrial.

Referencias

- Adolfo, G. Giraldo, Z., Grajales, G. (2015). Propuesta de mejoramiento para el proceso de producción aplicando teoría de restricciones y metodología *smed* en Coca-Cola Femsa Medellín línea 4.
- Aros, M. (2017). Propuesta de mantenimiento a equipo crítico de la línea de producción n°2 de Coca-Cola Embonor S.A, Viña del mar.
- Bermúdez Bahamon, m, & Riqueme Guevara, a. (2020). Reducción de costos en una mezcla de mortero para la impresión 3d, mediante la inclusión de cenizas volantes.
- Caicedo Alarcón, Ó. (2020a). Colombia y la nueva revolución industrial. In *Colombia y la nueva revolución industrial*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://doi.org/10.17230/9789585135116vdyc>
- Caicedo Alarcón, Ó. (2020b). COLOMBIA Y LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Propuestas del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0. In *Colombia y la nueva revolución industrial* (Vol. 9). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://doi.org/10.17230/9789585135116vdyc>
- Castiblanco, P., & Umbarila, J. (2016). Aplicación de la estrategia RCM2 al programa de mantenimiento de equipos de una línea de producción en la industria nacional de gaseosas s.a.
- Cedrés Álvarez, E. (2019). Diseño y desarrollo del plan de procesos de una pieza del sector metalmecánico.
- Ciafone, A. (2018). Selling Local Modernization through the Global Corporation: Coca-Cola Bottling in Colombia, 1927-1944. *Historia y Sociedad*, 34, 41–75. <https://doi.org/10.15446/hys.n34.65507>
- Condezo, G. (2019). Implementación de la metodología TPM para mejorar la productividad del proceso de mantenimiento correctivo de los equipos de maquinaria pesada de construcción con la empresa Cosapi S. A., Lima 2019.
- Cortázar, j. (2018). Manufactura aditiva aplicada a la industria de autopartes.
- Cortés, T., & Tovar, A. (2020). Comparación entre los procesos industriales para el conformado de piezas con materiales compuestos. <https://www.imrtest.com/tests/>

- Cortéz, W. (2021). Evaluación de capacidades de innovación para la implementación de la Manufactura Aditiva con Metales -AMM en un Centro de Productividad. Un Estudio de Caso. www.udea.edu.co
- DANE. (2022). Boletín Técnico Importaciones (IMPO).
- Delgadillo, H., González, F., & Núñez, D. (2018). Análisis de la mejora en los procesos de mantenimiento de la empresa Coca-Cola Femsa.
- Dueñas-Ramírez, L. M., Villegas-López, G. A., Castiblanco-Tique, S., & Castaño-Restrepo, C. A. (2021). Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas. *Actas Del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas 2020: Construyendo Un Mundo Inteligente Para La Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.26439/ciis2020.5508>
- González Sosa, J. V., Loyo Quijada, J., López Ontiveros, M. Á., Pérez Montoya, P., & Cruz Hernández, A. (2019). MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS POR MEDIO DE AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 209–225. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.12>
- Guaitarilla, J. (2019). Plan de mantenimiento preventivo para la maquina industrial de la empresa fluoro plásticos.
- Hernández, Fernández, & Baptista . (2014). Metodología de la investigación.
- Jara, M. (2017). El método de las 5s: su aplicación *artículo de reflexión universidad tecnológica ECOTEC*. <https://biblat.unam.mx/hevila/ResnonverbaGuayaquil/2017/vol7/no1/10.pdf>
- Ladino Fernández, J. M., Briceño Barrero, D. L., & Rodríguez Rojas, L. A. (2022). Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá, Colombia. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1784>
- Ladino, J., Briceño, D., & Rodríguez, L. (2022). Vista de Industria 4.0_ el reto para las pymes manufactureras de Bogotá, Colombia. *Mutis*, 12.
- Llerena, C. (2019). Análisis de gestión logística de mantenimiento en empresas de maquinaria pesada que realizan movimiento de tierras, para el desarrollo de una política de mantenimiento basada en la confiabilidad.
- Mahecha Vargas, J. (2021). Análisis de la implementación de la impresión3d en el sector de la construcción en Colombia aplicando la metodología “*DESIGN THINKING*.”

- Martínez Lara, L., Jiménez Gómez, G., & Muñoz Delgado, J. (2020). Reducción de defectos en el proceso de inyección en una empresa de plásticos para el hogar.
- Montoya, S. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa estructuras del KAFEE.
- Muñoz Rodríguez, P. (2022). Estudio de viabilidad sobre la implementación de manufactura aditiva de metal a nivel académico en Colombia.
- Ochoa, A., & Garavito, J. (2016). Propuesta de aplicación de consultoría para la medición de la gestión de mantenimiento caso: empresa Coca-Cola Femsa.
- Pérez, F. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. 105–107.
- Pérez, M. Á. L., Piña, I. B., & Álvarez, G. V. (2021). Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0. *South Florida Journal of Development*, 2(1). <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-074>
- Sánchez, A. (2017). Técnicas de mantenimiento predictivo metodología de aplicación en las organizaciones.
- Vicente González Sosa, J., Loyo Quijada, J., Ángel, M., Ontiveros, L., Montoya, P. P., & Hernández, A. C. (2018). Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 17, 209–225. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.12>

Anexos

Anexo A. Banda transportadora.



Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Empaques.



Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Bujes, conos y uñas.



Fuente: Elaboración propia