



**Mejoramiento de la eficiencia del proceso de trefilado de alambón de acero en las máquinas KOCH y WD01 en la planta de Pensilvania de la empresa WMC**

Donald Castañeda Arrieta

Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero de materiales

Asesor

Juan Marcelo Rojas Arango, Doctor (PhD) en Ciencias, ingeniería metalúrgica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de materiales

Medellín

2023

---

Cita

(Castañeda Arrieta, 2023)

---

**Referencia**

**Estilo APA 7 (2020)**

Castañeda Arrieta, D. (2023). *Mejoramiento de la eficiencia del proceso de trefilado de alambón de acero en las máquinas KOCH y WD01 en la planta de Pensilvania de la empresa WMC, 2023* [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Francisco Javier Herrera Builes.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado a Dios, fuente de sabiduría y guía hacia el conocimiento, por haberme fortalecido en medio de las dificultades y por poner a las personas correctas que me acompañaron en este proceso. Quiero dedicar este triunfo a mi madre, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de mi trayecto académico, gracias a su constante aliento y sacrificio, he logrado superar cada obstáculo y alcanzar este importante logro.

Dedico también este trabajo a mi amada esposa, quien ha puesto todo de sí para que logre alcanzar mis metas y realizarme como profesional y persona; a mis hijos que son mi motor para seguirme esforzando y quienes son mi motivación para no desistir en el camino.

## **Agradecimientos**

Agradezco a toda mi familia, quienes me apoyaron con sus consejos, sus oraciones y mucho más; a mis profesores por haber enriquecido mis conocimientos con su sabiduría y su experiencia; a mis compañeros por su generosidad y apoyo a lo largo de este camino; y, por último, a doña Gloria, quien me acogió como un hijo y se convirtió en un ángel que me brindó su cariño y su apoyo durante gran parte de este proceso.

## Tabla de contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
1. Planteamiento del problema.....	14
2. Objetivos .....	19
2.1 Objetivo general .....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. Marco teórico .....	20
3.1 El alambión .....	20
3.2 El decapado .....	21
3.3 El trefilado.....	22
3.3.1 Variables principales en el trefilado .....	23
4. Metodología.....	25
4.1 Fuentes de información .....	25
4.2 Fuentes de información .....	27
4.3 Identificación de causas y formulación de soluciones .....	28
4.4 Implementación y seguimiento de acciones de mejora.....	28
4.5 Evaluación de resultados .....	29
5. Cronograma de actividades.....	31
6. Resultados y discusión.....	32
6.1 Problemas identificados, causas asociadas y acciones propuestas.....	32
6.2 Ejecución del plan de mejoramiento .....	35
6.3 Eficiencias .....	38
7. Conclusiones .....	45

8. Presupuesto .....47

Referencias .....48

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de paros en trefilado dentro de WMC. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Cronograma de actividades del Plan de mejoramiento. ....	31
<b>Tabla 3.</b> Problemas encontrados en la trefiladora WD01 con sus respectivas causas y acciones de mejora. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Problemas encontrados en la trefiladora KOCH con sus respectivas causas y acciones de mejora. ....	34
<b>Tabla 5.</b> Estatus del plan de mejoramiento de trefiladora WD01 hasta la semana 22 del cronograma del proyecto. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Estatus del plan de mejoramiento de trefiladora KOCH hasta la semana 22 del cronograma del proyecto. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Clasificación y tiempo de paradas reportadas en WD01 durante el mes de agosto del 2023. ....	41
<b>Tabla 8.</b> Descripción de paradas por nudos, reventones de alambre, fallas y ajustes en WD01 durante el mes de agosto del 2023. ....	42
<b>Tabla 9.</b> Resumen de paradas por nudos, reventones de alambre, fallas y ajustes en KOCH desde abril hasta septiembre del 2023. ....	43
<b>Tabla 10.</b> Presupuesto del plan de mejoramiento trefiladoras WD01 y KOCH. ....	47

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Gráfico de producción real vs producción objetivo entre enero y abril de 2023, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC. .	14
<b>Figura 2.</b> Gráfico de producción real vs producción objetivo en el año 2022, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC. ....	14
<b>Figura 3.</b> Gráfico de producción real vs producción objetivo entre enero y abril de 2023, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC. .	15
<b>Figura 4.</b> Gráfico de producción real vs producción objetivo en el año 2022, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC. ....	15
<b>Figura 5.</b> Diagramas de pareto Paradas vs Horas durante los primeros 4 meses del año 2023, para las trefiladora KOCH y WD01 en la planta de Pensilvania de WMC. ....	17
<b>Figura 6.</b> Porcentajes de paradas entre enero y abril, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC. ....	18
<b>Figura 7.</b> Porcentajes de paradas entre enero y abril, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC. ....	18
<b>Figura 8.</b> Alambroón de acero al carbono, planta Amagá (Antioquia)de la empresa Aceros Turia. ....	20
<b>Figura 9.</b> Sistema de poleas de decapado mecánico de la trefiladora de la planta de Aceros Turia ubicada en Amagá (Antioquia). ....	21
<b>Figura 10.</b> Segmentos trefiladora KOCH de planta Pensilvania, empresa WMC. ....	22
<b>Figura 11.</b> Segmentos trefiladora WD01 de planta Pensilvania, empresa WMC. ....	23
<b>Figura 12.</b> Formato de producción y paradas de la trefiladora WD1, Planta Pensilvania (Empresa WMC). ....	25
<b>Figura 13.</b> Vista analítica de paradas mediante el aplicativo Pulsar para la máquina WD01. ....	26
<b>Figura 14.</b> Vista de eficiencias, producción y paros para la máquina KOCH, Planta Pensilvania (Empresa WMC). ....	27
<b>Figura 15.</b> Formato de matriz de seguimiento del plan de mejoramiento para trefiladoras WD01 Y KOCH. ....	29
<b>Figura 16.</b> Estatus y porcentajes de avance de las acciones del plan de mejoramiento. ....	37
<b>Figura 17.</b> Producción, metas de producción y eficiencias de la trefiladora WD01 desde abril hasta septiembre del 2023. ....	39

**Figura 18.** Vista de resumen de tiempos, estándares, producción y eficiencias de la trefiladora WD01 durante el mes de junio del 2023 (Power BI). .....39

**Figura 19.** Producción, metas de producción y eficiencias de la trefiladora KOCH desde abril hasta septiembre del 2023. ....42

**Figura 20.** Vista de resumen de tiempos, estándares, producción y eficiencias de la trefiladora KOCH durante el mes de mayo del 2023 (Power BI). ....44

## **Siglas, acrónimos, abreviaturas y glosario**

<b>WMC</b>	Wire Mesh Corp.
<b>KOCH</b>	Nombre interno dentro WMC para la trefiladora marca KOCH.
<b>WD01</b>	Nombre interno dentro WMC para la trefiladora marca EVG.
<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor.
<b>PM</b>	Mantenimiento planeado.
<b>CMMS</b>	Plataforma de gestión de mantenimiento computarizado.
<b>FIXX</b>	CMMS usada por la empresa.
<b>RO</b>	Rodillo oval.
<b>RT0</b>	Rodillo redondo calibre 0.
<b>FO0</b>	Rodillo formador calibre 0.
<b>PR</b>	Rodillo perfilador o grafilador.
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia.
<b>Casetera</b>	Dispositivo con sistema de rodillos dispuestos entre sí para reducir el calibre del alambre, darle la sección transversal deseada.
<b>Tambor</b>	Elemento de la trefiladora que enrolla el alambre después de cada reducción para halar el alambre y obligarlo a seguir pasando por la casetera de reducción.
<b>Paso</b>	Sistema de reducción de paso, compuesto por una casetera y un tambor.
<b>Dancer</b>	Dispositivo que mantiene la tensión adecuada del alambre para compensar las variaciones de velocidad entre los distintos pasos de reducción del calibre del alambre.
<b>Payoff</b>	Dispositivo utilizado para suministrar el alambre desde el carrete o bobina hacia la máquina de trefilado.
<b>Caliper</b>	Dispositivo medidor del calibre del alambre.

## **Resumen**

El siguiente proyecto se llevó a cabo en una de las nueve plantas de la empresa WMC (Wire Mesh Corp.), la cual está ubicada en Pensilvania (Estados Unidos). Consiste en la planeación y ejecución de un plan de mejoramiento para una trefiladora marca EVG (WD01) y una marca KOCH, para disminuir paradas por rendimiento, especialmente las paradas relacionadas a revientes y nudos o atascos de alambre, mediante reparaciones, equipamiento e implementación de estrategias para aumentar la eficiencia de ambas trefiladoras, las cuales presentaban una eficiencia promedio de 41% y 53% respectivamente durante los primeros 4 meses del año 2023. Para el caso de la primera máquina se logró ejecutar el plan en 81%, y en 67% para la segunda. Con la implementación del plan de mejoramiento se logró mejorar la eficiencia hasta de un 17% respecto al anterior mes de inicio de ejecución del proyecto para la EVG, y hasta un 5% para el caso de la KOCH.

*Palabras clave:* Trefilado, paradas por rendimiento, eficiencia.

### **Abstract**

The following project was carried out in one of the nine plants of the company WMC (Wire Mesh Corp.), which is located in Pennsylvania (United States). It consists of the planning and execution of an improvement plan for an EVG brand (WD01) wire drawing machine and a KOCH brand, to reduce stops due to performance, especially stops related to bursts and knots or wire jams, through repairs, equipment and implementation of strategies to increase the efficiency of both drawing machines, which had an average efficiency of 41% and 53% respectively during the first 4 months of 2023. In the case of the first machine, the plan was executed at 81%, and at 67% for the second. With the implementation of the improvement plan, efficiency was improved by up to 17% compared to the previous month of the start of project execution for the WD01, and up to 5% in the case of the KOCH.

*Keywords:* Wire drawing, performance stops, efficiency.

## **Introducción**

Turia Group es un grupo empresarial mexicano, líder en la industria del acero y se encuentra presente en México, Estados Unidos y Colombia. Este grupo se conforma principalmente por las empresas Optimus Steel, WMC (Wire Mesh Corp.) y Aceros Turia de Colombia. La empresa Optimus Steel se especializa en la producción de una amplia gama de alambros, barras de refuerzo y palanquillas de alta calidad; mientras que WMC y Aceros Turia de Colombia, se especializan en la fabricación de productos como alambres, guayas, varillas y diferentes tipos de mallas electrosoldadas, a partir del trefilado de alambros de acero al carbono, siendo las mallas electrosoldadas sus principales productos y los más comercializados (Aceros Turia, s.f.). La empresa WMC tiene sus plantas industriales en 8 ciudades de Estados Unidos y sus oficinas administrativas en Colombia, mientras que Aceros Turia de Colombia tiene sus dos plantas e instalaciones administrativas en Colombia.

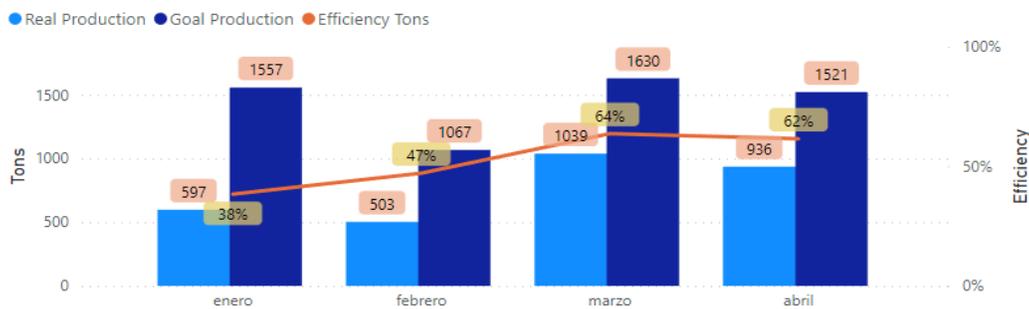
El presente trabajo se centrará en el proceso de trefilado de la planta de WMC ubicada en el estado de Pensilvania (Estados Unidos), específicamente en dos de las siete máquinas trefiladoras para la producción de alambres de aceros al carbono como material de insumo en la fabricación de mallas tipo “Building Mesh”.

La eficiencia en el proceso de trefilado de las máquinas de interés depende de algunos factores como velocidad de trabajo de la máquina y el tiempo de trabajo de esta, donde estos a su vez dependen de otros factores. Para el establecimiento de metas de producción y eficiencia se tienen en cuenta el histórico de eficiencias en los tres meses inmediatamente anteriores y algunos estándares que sirven como indicadores de dichas metas. Para realizar el cálculo de los estándares en trefilado se tienen en cuenta parámetros como velocidad de la máquina, calibre y peso del producto, peso del carrete, tiempo de evacuación del carrete, tiempo de soldadura de las puntas de los alambres, tiempo y longitud de aceleración, y el porcentaje de microdemoras. Estos parámetros dependen de la máquina, el producto, el carrete, y el proceso. Dicho esto se debe mencionar que previamente a este trabajo se han invertido esfuerzos en la mejora de la eficiencia, analizando y cambiando las velocidades de trabajo y los estándares de acuerdo a cada proceso, máquina y producto, buscando frecuentemente la optimización del proceso, por lo que el proyecto descrito en el presente informe se centró en aumentar el tiempo neto de trabajo de las dos trefiladoras,

analizando los principales motivos de paradas en las dos máquinas de trefilado, y posteriormente realizando e implementado un plan de acción según los diagnósticos encontrados en este, para disminuir el tiempo de paradas por causas ajenas al proceso y así aumentar el tiempo neto de producción en el proceso de trefilado de estas, y como consecuencia el aumento de la producción y desde luego la eficiencia.

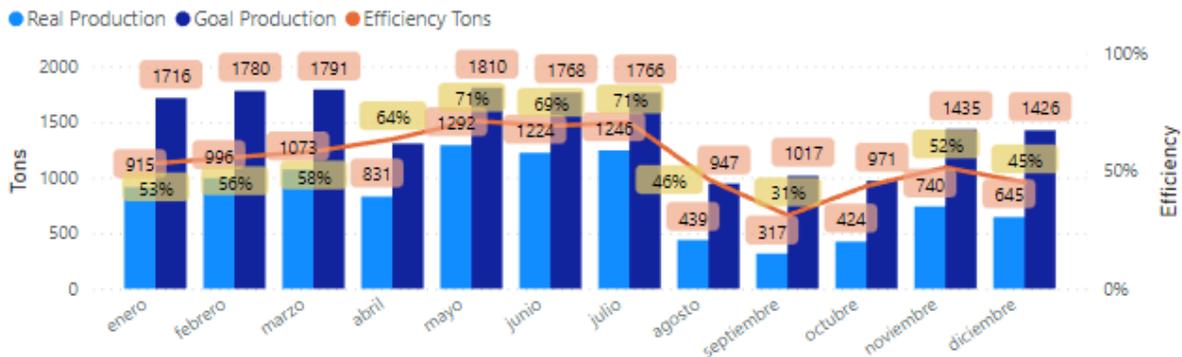
## 1. Planteamiento del problema

En la planta industrial ubicada en Pensilvania de la empresa WMC, se cuentan con siete trefiladoras industriales, entre las cuales está la trefiladora KOCH y la trefiladora WD01. La figura 1, muestra un comportamiento ascendente en la eficiencia de la máquina KOCH entre enero y marzo del presente año, pasando de tener una eficiencia del 38% al 64% para luego mantenerse en 62% en el siguiente mes.



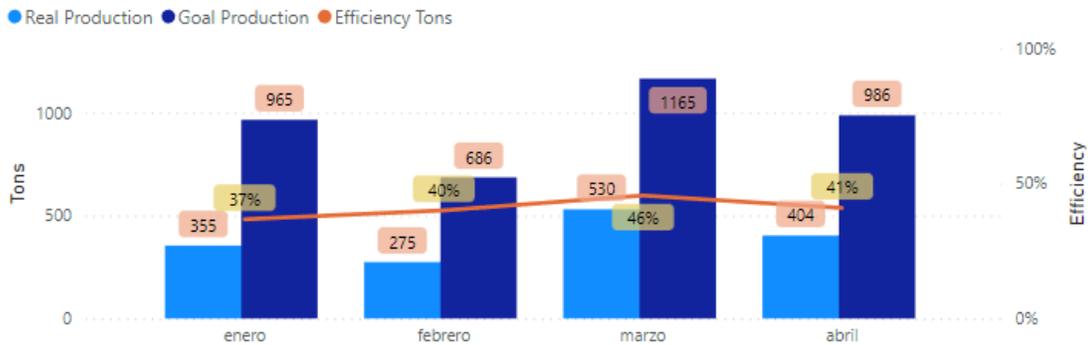
**Figura 1.** Gráfico de producción real vs producción objetivo entre enero y abril de 2023, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC.

En el histórico de esta máquina se ha tenido eficiencias de hasta un 71% como lo muestra la figura 2, por lo que se pretende alcanzar valores similares en los próximos meses, con la implementación de acciones en las oportunidades de mejora presentes en el proceso de trefilado o en la máquina en sí, logrando un mejor funcionamiento de esta.



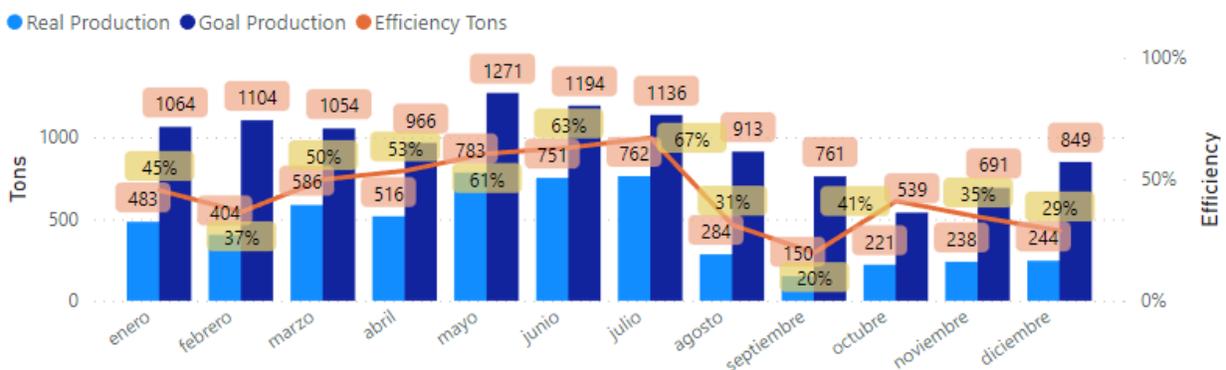
**Figura 2.** Gráfico de producción real vs producción objetivo en el año 2022, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC.

Por otra parte, la eficiencia de la trefiladora WD01 no ha sido mejor que la eficiencia en la KOCH en los primeros 4 meses del presente año, tal como se evidencia en la figura 3, donde se puede notar una eficiencia entre un 37% y un 46%, para un promedio de 41%, lo cual indica que no ha presentado una mejora significativa en el transcurso de dichos meses.



**Figura 3.** Gráfico de producción real vs producción objetivo entre enero y abril de 2023, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC.

En el 2022 la trefiladora WD01, inició el año con una eficiencia del 45% y lo cerró con una eficiencia del 29% en el mes de diciembre (Figura 4.). Sin embargo, su comportamiento a lo largo del año fue de altibajos, donde al menos 5 meses alcanzaron una eficiencia entre 50% y 67%, siendo el mes de julio el mes con la eficiencia más alta del año y al mismo tiempo el último mes con eficiencia alta, seguido por eficiencias entre 20% y 41%.



**Figura 4.** Gráfico de producción real vs producción objetivo en el año 2022, y las respectivas eficiencias por mes, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC.

La eficiencia es un indicador de qué tanto se acercan o se alejan las toneladas producidas por proceso, producto y máquina, a las toneladas que se esperan que se produzcan de acuerdo con la capacidad de la máquina en cada proceso para cada material y producto.

Algunas de las variables que afectan la producción y como consecuencia la eficiencia en el proceso de trefilado son la velocidad de funcionamiento de las máquinas en cuestión y las paradas de estas, durante su tiempo de turno. Las paradas pueden clasificarse como paradas programadas o por disponibilidad y paradas por rendimiento. Las paradas por disponibilidad se refieren a las paradas que son presupuestadas dentro del tiempo de turno programado como lo son las paradas para hacer cambios de carrete, mantenimientos preventivos, tiempos de receso para comida o descanso de los operarios, entre otros, o a motivos ajenos al rendimiento de la máquina que no dependen de ella como lo son la falta de material, la falta de equipo auxiliar, la falta de operador, la falta de orden. Mientras que las paradas por rendimiento son las paradas que interrumpen el proceso, debido a hechos fortuitos como fallas mecánicas de la máquina, mantenimientos correctivos, ajustes, nudos o roturas del hilo de alambre, solo por mencionar algunos, que sí dependen del rendimiento de la máquina, tal como se describen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación de paros en trefilado dentro de WMC.

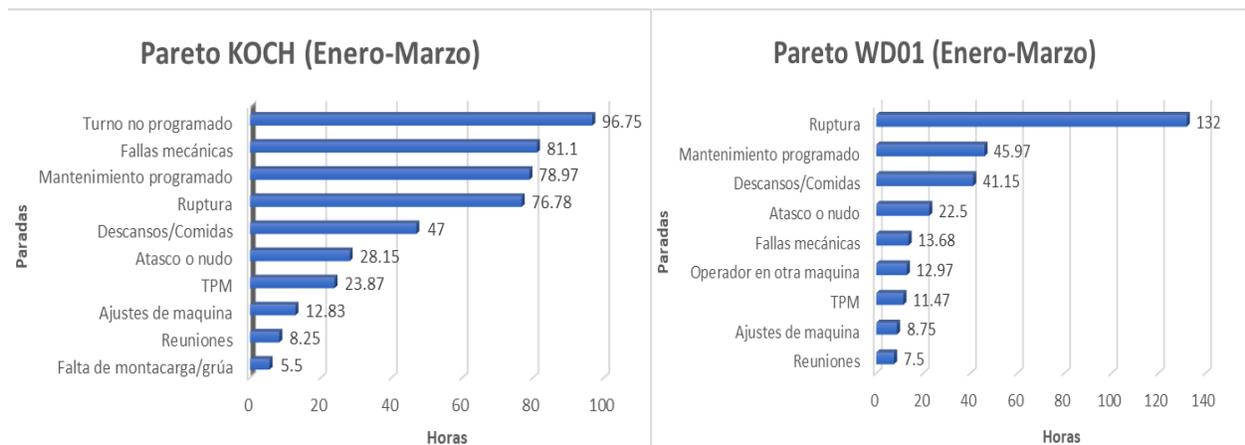
COD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE AFECTACIÓN
1	RUPTURA (Torre, soldadura, casetera)	Rendimiento
2	ENREDO (Torre, casetera)	Rendimiento
3	OPERACIÓN (Montaje de rollo, soldado puntas)	Disponibilidad
4	EVACUACIÓN DE CARRETE LLENO Y MONTAJE NUEVO CARRETE	Disponibilidad
5	FALTA DE MATERIAL	Disponibilidad
6	BREAK	Disponibilidad
7	MANTENIMIENTO CORRECTIVO (Paros no planeados)	Rendimiento
8	CAMBIO DE REFERENCIA (Calibre)	Disponibilidad
9	MANTENIMIENTO PLANEADO, LIMPIEZAS, ENGRASADO, INSPECCIONES, LUBRICACIÓN	Disponibilidad
10	AJUSTE DE MÁQUINA (Rodillos, caseteras, otros)	Rendimiento
11	OTROS	Rendimiento
12	FALTA DE MONTACARGA/GRÚA	Disponibilidad

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

13	TPM	Disponibilidad
14	REUNIÓN	Disponibilidad
15	TURNO NO PROGRAMADO	Disponibilidad
16	FALTA DE OPERADOR	Disponibilidad

Dicho esto, se debe resaltar que solo las paradas por disponibilidad se tienen en cuenta para establecer metas de producción, ya que solo estas están presupuestadas dentro del proceso en los tiempos de turno programado. De este modo se entiende la necesidad de reducir al máximo las paradas por rendimiento y aprovechar al máximo el tiempo disponible en cada turno, y así aumentar la eficiencia en el proceso como resultado de una producción mayor.

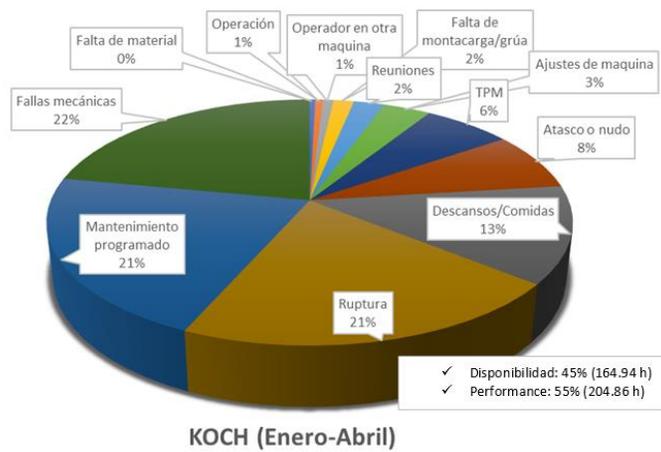
La figura 5, muestra un diagrama de Pareto con el total en horas entre los meses enero, febrero, marzo y abril del 2023, para las paradas de mayor afectación en el proceso de trefilado de ambas trefiladoras.



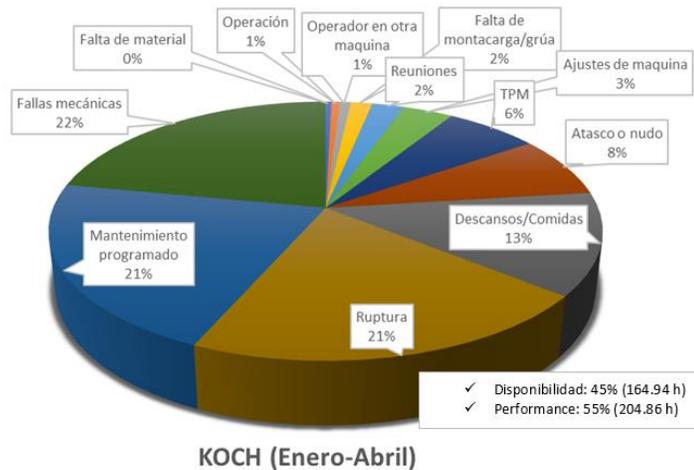
**Figura 5.** Diagramas de Pareto Paradas vs Horas durante los primeros 4 meses del año 2023, para las trefiladora KOCH y WD01 en la planta de Pensilvania de WMC.

Las paradas clasificadas bajo el código de “Turno no programado” describen las ocasiones en donde el proceso se detiene no por causa de paradas programadas o por casos fortuitos que impliquen la interrupción del proceso, sino más bien a ocasiones en donde las máquinas dejan de producir por falta de operador o por falta de orden. Las figuras 6 y 7 muestran los porcentajes de paradas según su tipo para las máquinas KOCH y WD01 respectivamente, sin tener en cuenta las paradas por “Turno no programado” debido a la naturaleza de este tipo de paradas. En estos

diagramas se puede observar que las paradas por ruptura, fallas mecánicas, y atascos o nudos, representan una cantidad significativa de horas que no se tendrán en cuenta para fijar un objetivo de producción y que implicarán una brecha enorme entre la producción obtenida y la producción esperada. Es por este motivo, que de entre todas las oportunidades de mejora que se pudieron atender para mejorar la eficiencia en el proceso de trefilado en estas máquinas, la reducción en la perdida de horas en paradas por rendimiento tomó prioridad y se le invirtieron esfuerzos en este proyecto para su rápida solución.



**Figura 6.** Porcentajes de paradas entre enero y abril, para la trefiladora KOCH en la planta de Pensilvania de WMC.



**Figura 7.** Porcentajes de paradas entre enero y abril, para la trefiladora WD01 en la planta de Pensilvania de WMC.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Mejorar la eficiencia en el proceso de trefilado en las máquinas industriales KOCH y WD01 de la planta Pensilvania de la compañía WMC (Wire Mesh Corp.) del grupo empresarial Turia Group, mediante la elaboración y ejecución de un plan de mejoramiento.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de problemas y causas de los principales motivos de paradas por rendimiento en las trefiladoras KOCH y WD01.
- Diseñar un plan de mejoramiento, enfocado en reducir el tiempo de paradas por ruptura, atascos y fallas mecánicas en las trefiladoras industriales KOCH y WD01.
- Analizar la viabilidad de implementación del plan de mejoramiento en el resto de trefiladoras de la planta ubicada en Pensilvania de la compañía WMC, de forma parcial o completa de acuerdo con las necesidades del resto de trefiladoras.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 El alambón

El alambón es un material que se emplea en una amplia variedad de aplicaciones en la industria de la construcción y de la electrónica. Las trefiladoras KOCH y WD01 de la planta Pensilvania de WMC, usan como materia prima alambones de aceros bajo y alto carbono, producido por Optimus, empresa asociada al mismo grupo empresarial Turia Group (Optimus steel, s.f.). El alambón se produce a través de un proceso de tren de laminación en caliente, con el objetivo de obtener un producto de acero en forma de barras de sección ovalada o cilíndrica con espesores entre 5 y 30 milímetros de diámetro. Este se enrolla en bobinas, se etiqueta con la información de norma de fabricación, número de colada, grado, diámetro y peso, para su posterior almacenamiento y transporte (MAX acero Monterrey, 2022.). La figura 8, ilustra una bobina de alambón de acero al carbono flejada y etiquetada, lista para ser dispuesta en el alimentador de una trefiladora.



*Figura 8. Alambón de acero al carbono, planta Amagá (Antioquia) de la empresa Aceros Turia.*

### 3.2 El decapado

El decapado es un paso previo a la trefilación. Antes de que el material pase por la trefiladora, debe pasar por este proceso para preparar la superficie del alambón, permitiendo al lubricante su adhesión a lo largo de todo el material. Este proceso consiste en la eliminación de la cascarilla o capa de delaminación y generalmente existen dos tipos de decapado: el decapado químico con ácidos y el decapado mecánico. Para el decapado químico con ácidos se suspende el rollo de alambón y se sumerge dentro de un baño de agua con ácido clorhídrico o sulfúrico, donde se deja el tiempo suficiente para la eliminación de la cascarilla, luego pasa por una ducha de agua para eliminar los residuos de ácido y por último se introduce el rollo en un baño neutralizante de cal. El método de decapado mecánico más común consiste en pasar el alambón a través de una serie de poleas que ocasiona la deformación del material, haciendo que se rompa y se desprenda la cascarilla de la superficie del material, formada gracias a las altas temperaturas a las que se somete el material en su fabricación por laminado en caliente (Lindao, 1981). La figura 9, muestra el sistema de poleas de decapado en la máquina trefiladora de la planta ubicada en Amagá (Antioquia) de la empresa Aceros Turia, donde se puede apreciar el polvo de calamina desprendido a causa de la deformación del alambón en el decapado mecánico.



**Figura 9.** Sistema de poleas de decapado mecánico de la trefiladora de la planta de Aceros Turia ubicada en Amagá (Antioquia).

### 3.3 El trefilado

El proceso de trefilado es una técnica de procesamiento de materiales metálicos para la obtención de alambres, aprovechando la ductilidad del acero. Esta técnica consiste en el estirado de alambres en frío, a través de pasos consecutivos, los cuales cuentan con una hilera para reducir el calibre del material y una bobina de arrastre que lo obliga a pasar a través de la hilera (Design, s.f.). Las hileras pueden ser de tipo dado o casetera, donde las primeras se refieren a una matriz de carburo de tungsteno con entrada cónica, para someter al alambre a esfuerzos de compresión y tensión, gracias a su ángulo de entrada. Las caseteras son un conjunto de rodajas dispuestas de tal forma que cuando el alambre pase a través del conjunto, sea deformado y alcance dicha forma circular en su sección transversal. Con el trefilado no solo se logra la reducción del calibre del alambre, sino que también se aumentan algunas características como su resistencia y su acabado superficial.

La trefiladora KOCH, como su nombre lo indica es una máquina marca Koch modelo KGT 27/5-L (ver figura 10), con capacidad de velocidad máxima de 4330.7 fpm, mientras que la WD01, es una trefiladora marca EVG modelo RMV06-4S (ver figura 11), con velocidad máxima de 3149.61 fpm. Ambas máquinas utilizan el sistema de trefilado en seco con caseteras, empleando un lubricante de la marca Condat, referencia Steelskin 575.



*Figura 10. Segmentos trefiladora KOCH de planta Pensilvania, empresa WMC.*



*Figura 11. Segmentos trefiladora WD01 de planta Pensilvania, empresa WMC.*

### **3.3.1 Variables principales en el trefilado**

El proceso de trefilado está influenciado por diversas variables que impactan en el resultado final del producto. Estas variables son críticas para asegurar la calidad y la eficiencia en el proceso.

Una variable significativa en el proceso de trefilado es el diámetro inicial del material, el cual afecta directamente la cantidad de reducción requerida y, por ende, la fuerza necesaria para llevar a cabo el proceso mismo. El calibre inicial del alambre se debe escoger teniendo en cuenta el costo, la dureza y la composición química del alambre, la complejidad del sistema a implementar para su reducción y el costo energético para su reducción a través de las distintas configuraciones de pasos en la trefiladora.

Otra variable importante es la velocidad de trefilado, la cual también juega un papel crucial tanto en la calidad del producto final como en la eficiencia del proceso. Para lograr una mayor productividad se debe realizar el estirado del alambre a la máxima velocidad posible. Sin embargo, esta se verá limitada a otros factores como lo son las características técnicas de la máquina y el sistema de trabajo, calidad, composición y propiedades del alambre, capacidad de evacuación de calor de calor por parte de la máquina, etc (Lindao, 1981).

La lubricación es otra variable importante que afecta el proceso de trefilado. Una lubricación adecuada reduce la fricción entre el material y la matriz, facilitando el proceso de deformación y mejorando la calidad superficial del producto final, permite alcanzar mayores velocidades, y también evita contratiempos por ruptura del material y gastos en cambios o mantenimiento de herramientas.

Dependiendo de la máquina, el proceso puede estar influenciado por otros factores como lo es el ángulo de entrada al dado, en el caso de trefiladoras con sistema de hileras, entre otros (Quevedo, 2020).

## 4. Metodología

### 4.1 Fuentes de información

El proyecto descrito en el presente trabajo se desarrolló bajo la metodología de investigación mixta, es decir investigación cualitativa e investigación cuantitativa.

- Investigación Cualitativa:** se empleó el uso de distintas consultas bibliográficas, tales como artículos, textos, trabajos de grado, manuales técnicos de las máquinas, registros, páginas comerciales y encuestas realizadas a técnicos y demás personas involucradas en equipos de mantenimiento. Adicionalmente, fue necesario visitar la planta ubicada en el municipio de Amagá (Antioquia) para el reconocimiento de la trefiladora con la que cuenta dicha planta, afianzamiento y aterrizaje de conceptos, y para conseguir una mayor familiarización con el proceso de trefilado.
- Investigación cuantitativa:** para la medición de horas de paradas y la identificación de problemas en las máquinas en cuestión se hizo uso de los registros de paradas de las trefiladoras reportados de forma manual hasta el mes de mayo del 2023, en formatos internos de la compañía, tal como se muestra en la figura 12.

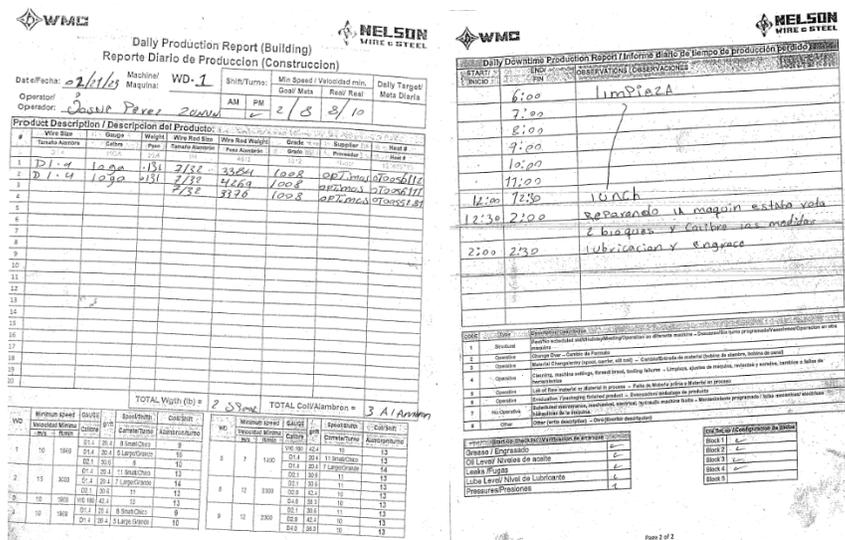
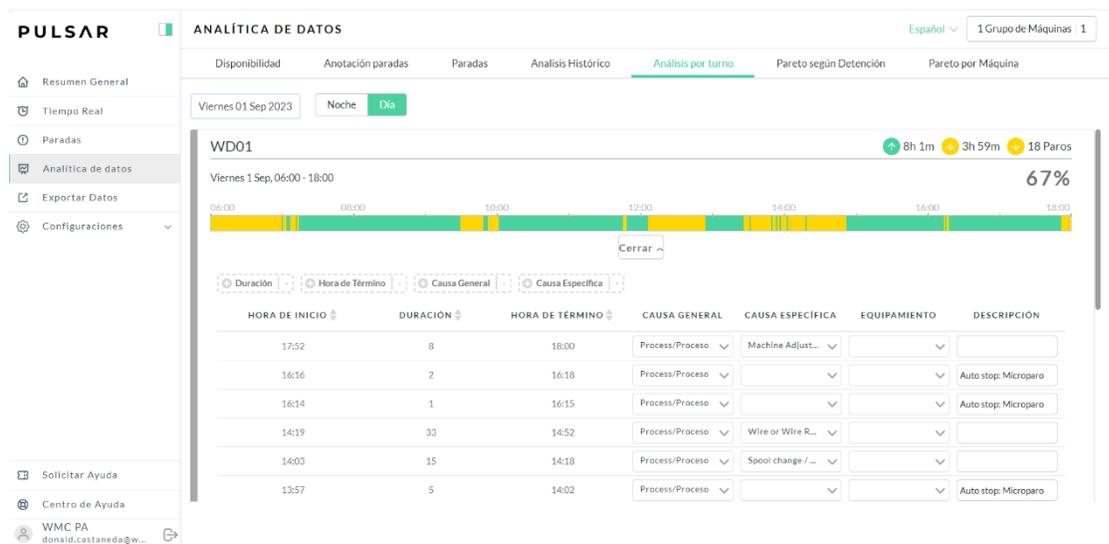


Figura 12. Formato de producción y paradas de la trefiladora WD1, Planta Pensilvania (Empresa WMC).

A partir del mes de junio los reportes se generaron de forma digital con la ayuda del aplicativo Pulsar (Luminix, 2022), el cual funciona midiendo el amperaje de la energía eléctrica de la máquina, mediante distintos sensores para cuantificar el tiempo de funcionamiento y tiempo de paradas de la máquina. Adicionalmente, permite al operador registrar el motivo de la parada y seleccionar la clasificación de esta para la creación de objetivos de producción como referencia para el cálculo de eficiencias, o para identificación de problemas y la formulación de acciones, apuntando a la mejora y cumplimiento de objetivos de producción y eficiencias.



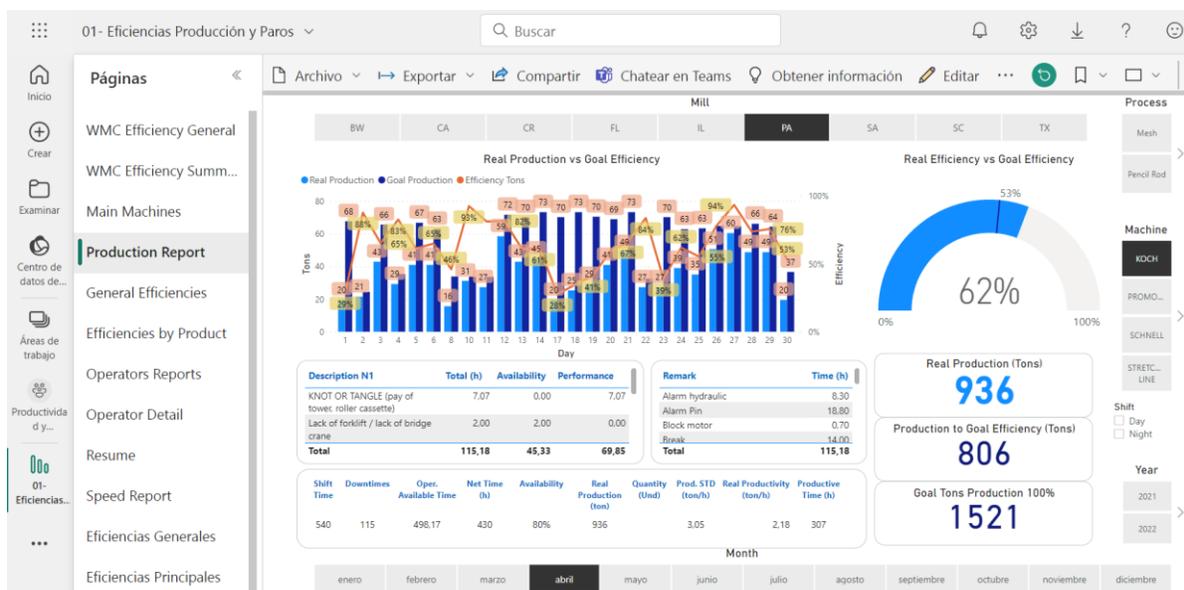
**Figura 13.** Vista analítica de paradas mediante el aplicativo Pulsar para la máquina WD01.

Los reportes manuales de paradas registradas por los operadores de las máquinas fueron escaneados cada día y enviados al área de productividad, donde estos registros fueron revisados y digitados en el archivo de paradas de la planta. Por otra parte, en cuanto el aplicativo Pulsar fue instalado en las máquinas, los operadores fueron capacitados en esta nueva modalidad de reportes, y la interfaz en línea fue habilitada para monitorear el estado de actividad de las máquinas incluso en tiempo real, se empezaron a exportar los datos de las paradas por máquina con fecha, hora de inicio, hora de fin, clasificación de la parada, y una breve descripción que ayude a entender o especificar el motivo de la parada (Ver figura 13). Una vez exportados los datos de

paradas, la información fue depurada y organizada para luego ser anexada al archivo de paradas de la planta. Adicional, tanto la información de paradas obtenidas en los formatos manuales como en el aplicativo Pulsar fueron analizadas en compañía del analista de productividad a cargo de la planta, para asegurar la buena clasificación de las paradas, unificación de paros de naturaleza similar, la coherencia en el reporte de los mismos y verificación de mantenimientos con las órdenes de mantenimientos reportadas por los técnicos en FIXX (Rockwell Automation Inc., 2023), la cual es la plataforma de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) usada por la empresa, para luego incluirlas en las bases de datos que alimentan los reportes automatizados de paradas, producción y eficiencias de toda la empresa, a través de la herramienta de Microsoft office “Power BI” (Microsoft, 2022).

#### 4.2 Fuentes de información

Con la ayuda de la plataforma de análisis y visualización de datos “Power BI” se observaron las paradas presentes en cada máquina con su respectivo tiempo en horas por turno, días, meses, y/o años para identificar las paradas que requirieron especial atención.



**Figura 14.** Vista de eficiencias, producción y paros para la máquina KOCH, Planta Pensilvania (Empresa WMC).

La figura 14, muestra la vista correspondiente a la máquina KOCH de la planta de Pensilvania, durante el mes de abril del 2023. En esta interfaz, se visualizó el comportamiento de la eficiencia en cada trefiladora a lo largo de cada mes en el diagrama de barras, y del mismo modo se analizaron de forma dinámica las paradas presentes en la máquina con su respectivo tiempo de paradas en horas en el cuadro inferior al diagrama, con sus respectivas descripciones y tipos de afectaciones para identificar los motivos que repercutieron en la caída de la eficiencia durante algunos días en cada mes, e implementar medidas preventivas y/o correctivas a dichos problemas. La figura 5, resume de forma general las horas pérdidas entre los primeros 4 meses del año 2023 con sus causas generales. Sin embargo, con la ayuda de la interfaz que se muestra en la figura 14, se pudo visualizar las paradas con mayor detalle, y por ende abordar los principales problemas en las dos trefiladoras. Adicional, se realizaron reuniones con el líder de equipo a cargo de las trefiladoras y el líder de mantenimiento de la planta para indagar más acerca de los problemas presentes se venían evidenciando en los reportes de paradas.

### **4.3 Identificación de causas y formulación de soluciones**

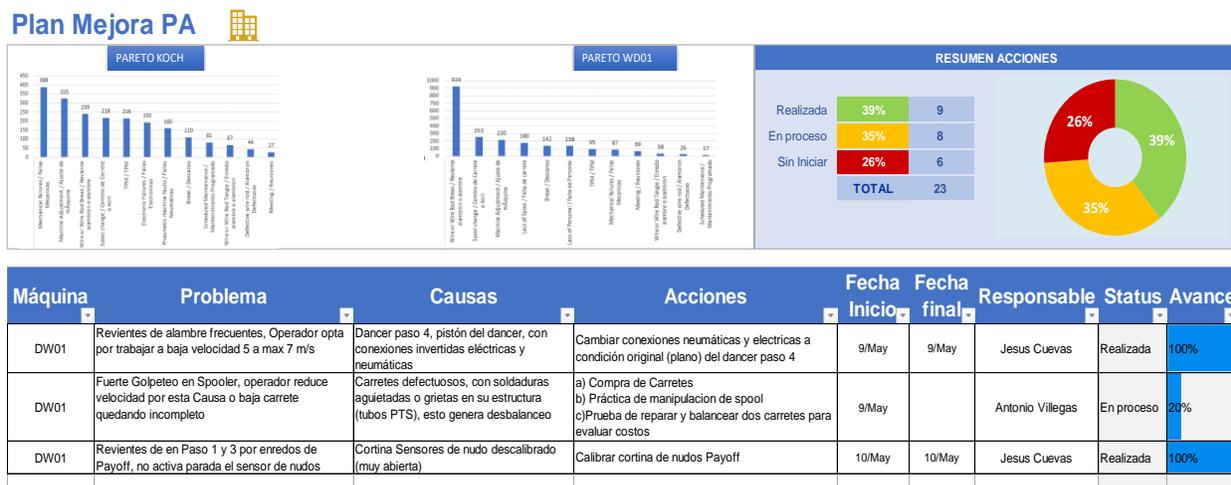
Para la identificación de las causas de las paradas por rendimiento que se debían atender (ver figuras 5, 6 y 7), se hizo necesario la intervención del líder de productividad, trasladándose desde la ciudad de Medellín en donde se encuentran las oficinas administrativas de la empresa hasta la planta en Pensilvania, durante tres semanas para realizar un seguimiento continuo al proceso de trefilado en ambas máquinas, y de esta forma identificar las causas a los diferentes problemas. Posteriormente, en forma conjunta con el jefe de mantenimiento, fueron planteadas acciones como soluciones de mejora a cada uno de los problemas presentados, y se le asignó un responsable a cargo de la implementación de estas.

### **4.4 Implementación y seguimiento de acciones de mejora**

Una vez se identificaron las causas a cada uno de los problemas y fueron planteadas las respectivas acciones como medida de solución, se elaboró una matriz donde se recopiló la

## MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSYLVANIA DE LA EMPRESA WMC

información de máquina, problema, causa, solución, encargado, fecha de inicio, fecha de finalización, estatus de cada acción y porcentaje de avance de esta, como se muestra en la figura 15. Para el seguimiento del plan de mejoramiento, se realizaron reuniones periódicas cada dos semanas, donde se actualizó en cada una de ellas el estatus de las acciones y se discutió la necesidad de implementación de nuevas acciones que también necesitarán ser agregadas al plan de mejoramiento debido a la aparición de nuevas causas de paradas por rendimiento que representan pérdidas significativas en la producción.



**Figura 15.** Formato de matriz de seguimiento del plan de mejoramiento para trefiladoras WD01 Y KOCH.

### 4.5 Evaluación de resultados

A lo largo de toda la ejecución del plan de mejoramiento se continuaron realizando las actividades descritas anteriormente, de modo que diariamente se actualizaron los datos de paradas y producción de ambas trefiladoras, a excepción de fines de semana donde se esperó hasta el primer día operativo de la siguiente semana. En la medida en que se actualizaron los reportes de paradas y producción, se tuvieron disponibles los reportes de eficiencias y cumplimientos de cada máquina hasta la fecha en la vista “Eficiencias Producción y Paros” en la plataforma compartida de Power BI, tal como se mostró en la figura 14. Al inicio de cada mes, se revisaron dichos resultados en una reunión de seguimiento, conformada por el gerente de la planta, ingeniero de mejora y analista de

productividad, donde se evidenció el efecto en la eficiencia de la planta de acuerdo con el nivel de avance del proyecto.

## 5. Cronograma de actividades

La tabla 2, esquematiza las 24 semanas correspondientes a los 6 meses de práctica, con las respectivas actividades semana a semana, hasta la finalización del proyecto y terminación del semestre de industria. Las primeras tres semanas fueron de reconocimiento y/o contextualización del cargo dentro de la empresa y del equipo de trabajo. En estas tres primeras semanas se hizo una capacitación en lo concerniente al proceso de trefilado, maquinaria en cuestión, clasificación de las paradas y cálculo de eficiencias y metas de producción.

La recopilación y reporte de paradas se realizó desde la semana 3 hasta la semana 22, para poder identificar problemas, analizar oportunidades de mejora y para cálculo de la eficiencia de las trefiladoras. Paralelamente, se invirtieron tres semanas para la identificación de problemas a resolver con sus respectivas causas, y otras tres semanas en la elaboración del plan de mejoramiento. El seguimiento del plan se realizó una vez cada dos semanas, hasta la semana 14 desde su inicio de ejecución, es decir, hasta la semana 22 del semestre de prácticas, y posteriormente la presentación de resultados dos semanas después.

**Tabla 2.** Cronograma de actividades del Plan de mejoramiento.

Actividades	Semana																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Contextualización del proceso	1	1	1																					
Recopilación de información de paradas			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Identificación de problemas y causas				1, 2	1, 2	1, 2																		
Elaboración de plan de acción						1, 2, 5	1, 2, 5	1, 2, 5																
Presentación de plan de acción y seguimiento								1, 3		1, 3		1, 3		1, 3		1, 3		1, 3		1, 3		1, 3		1, 3
Ejecución de acciones de mejora								4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	4, 5	
Presentación de resultados a directivos																								1

1: Practicante; 2: Lider de Productividad; 3: Ingeniero de mejora; 4: Gerente de planta; 5: Jefe de mantenimiento de planta.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Problemas identificados, causas asociadas y acciones propuestas

Con la intervención del líder de mantenimiento y el equipo técnico de la planta, se lograron identificar 12 problemas en la trefiladora WD01 y 12 en la KOCH, para un total de 24 que debían ser atendidos para garantizar el buen funcionamiento de estas. En las tablas 3 y 4, se resumen los problemas presentados en ambas trefiladoras, con las causas identificadas y las acciones de mejora planteadas para solucionar cada uno de estos. Cabe mencionar que los problemas en cuestión se refieren a aquellos que disminuyen rendimiento de las máquinas, ocasionando nudos, rupturas o atorones en el alambre durante su proceso. Además, se tuvieron en cuenta los problemas que interrumpen el funcionamiento de las trefiladoras por eventos fortuitos como fallas mecánicas, eléctricas o electrónicas que ocasionan largas pérdidas de tiempo de producción durante los turnos programados o que generan la constante intervención en reparaciones o ajustes, y que a su vez implican gastos recurrentes en personal especializado y compra de elementos, o simplemente tiempo programado sin producción en el que pierde dinero la empresa.

**Tabla 3.** Problemas encontrados en la trefiladora WD01 con sus respectivas causas y acciones de mejora.

Trefiladora WD01		
Problema	Causas	Acciones
Revientes de alambre frecuentes. Operador opta por trabajar a baja velocidad (5 a 7 m/s).	Dancer paso 4, pistón del dancer con conexiones eléctricas y neumáticas invertidas.	a) Cambiar conexiones neumáticas y eléctricas a condición original (plano) del dancer paso 4.
Fuerte golpeteo en spooler. Operador reduce velocidad por esta causa o baja carrete quedando incompleto.	Carretes defectuosos, con soldaduras agrietadas o grietas en su estructura (tubos PTS), esto genera desbalanceo.	a) Compra de carretes. b) Práctica de manipulación de spool. c) Prueba de reparar y balancear dos carretes para evaluar costos.
Revientes de en pasos 1 y 3 por enredos de payoff, no activa parada el sensor de nudos.	Cortina sensores de nudo descalibrado (muy abierta).	a) Calibrar cortina de nudos payoff.
Tiene desactivado el cuentametros.	Encoder dañado.	a) Reemplazar encoder de cuentametros.

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

Alta temperatura en tambor en paso 3.	Sin identificar, posible obstrucción en ducto de retorno, se abre llave y agua se fuga por el tambor.	Revisar ducto de salida de agua de refrigeración en paso 4.
Operador al abrir las puertas paso 2, 3 y 4, debe poner un palo para que no se vengán abajo, especialmente en los pasos 3 y 4.	Contrapesos ubicados en la parte de atrás no están en posición de balanceo.	Ajustar contrapesos puertas paso 2, 3 y 4.
Paso 4 no frena.	La balata superior está en el suelo.	Fijar la balata en el caliper freno paso 4.
Revientes de alambre en paso 4.	Pierde posición la leva del dancer, su tornillo de fijación central no mantiene apretado por mucho tiempo.	Fijar tornillo central del dancer paso 4.
Reducciones calibre 10 desbalanceadas.	Operadores tienen diámetros incorrectos para su referencia de ajuste.	Actualizar tabla de diámetros correctos para calibre 10.
Falta un rodillo en plano horizontal y desgaste de varios rodillos en el árbol de ajuste de cast y hélice.	No hay criterio para definir la vida útil de los rodillos, para que el operador sepa cuando reemplazar antes de que falle.	a) Reemplazar rodillos de árbol de cast y hélice. b) Incluir en FIIX PM.
Revientes en paso 3 cada vez que se activa parada por sensor de nudos payoff (vel 9 m/s).	Pendiente por validar, revisar subsistemas que intervienen en el paso, como calibración de dancer y configuraciones de drive.	Realizar diagnósticos en paso 4, calibración dancer y parametrización de drive.
Se identifica montaje incorrecto de rodillos en paso 1 y 3 (tiene montado rodillos RO en la salida) y se presenta un acabado triangular en el alambre.	a) No se tiene algunos tipos de rodillos disponibles en planta (FO0). b) Responsable de montajes tiene incorrecta su tabla de rodillos.	a) Compra de rodillos agotados. b) Actualizar tabla de montajes para uso del responsable de este proceso.

**Tabla 4.** Problemas encontrados en la trefiladora KOCH con sus respectivas causas y acciones de mejora.

Trefiladora KOCH		
Problema	Causas	Acciones
a) No usan decalaminador, entonces el alambón pasa derecho. El operador manifiesta tener alto ruido cuando lo enhebra. b) Le falta un rodillo en árbol de rodillos del decalaminador.	a) Rodillo inferior, con posible daño en rodamiento (validar). b) Falta de rodillo decalaminador.	a) Revisar rodillo inferior de decalaminador. b) Compra de rodillo.
Dos poleas del payoff con ranura profunda.	Desgaste por uso.	a) Rellenar poleas con soldadura.
Sinfín horizontal no está fijado en el lado opuesto al motor.	Lubricante compactado (por procesar alambres húmedos). Operadores llenan depósito horizontal con lubricante.	a) Reparar sinfín horizontal. b) Instrucción y pegar aviso "No cargar lubricante" en compuerta de sinfín horizontal. c) Almacenar bajo techo los alambres para su secado.
Reducciones calibre 10 desbalanceadas, alambre irregular.	Operadores tienen diámetros incorrectos para su referencia de ajuste.	a) Actualizar tabla de diámetros correctos para calibre 10.
Ganchos que retienen el carro de la campana se quedan arriba y no retornan a su posición.	Los ejes que permiten la basculación de ganchos están sucios y no permiten el libre movimiento de los ganchos.	a) Limpieza y lubricación de ejes de ganchos que retienen carro de la campana del payoff.
Alarma "Spooler 20: Hydraulic PINTLE Pressure swich not responding properly +20-PRS85" al momento de evacuar spool.	Posible falla en módulo electrónico.	a) Compra de módulo electrónico.
Balatas de freno paso 4 con desgaste irregular.	Balatas desgastadas en paso 4.	a) Realizar diagnóstico en frenos paso 4.
Revientes de alambre en paso 1 por enredos en el payoff. El sensor de nudos no activa parada de la máquina.	Cortina sensores de nudo con resortes muy rígidos no abren la cortina.	a) Cambio de resortes con mejor elasticidad (menos rígidos).

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSYLVANIA DE LA EMPRESA WMC

Alambre con protuberancia intermitente.	Rodillo RT0 despostillado.	a) Cambiar casetera paso 3 con rodillos RT0 en buen estado.
Montaje incorrecto de rodillos en paso 4 (FR a la salida) y presenta acabado triangular en el alambre. Alambre con acabado rugoso (áspero).	a) No se tiene algunos tipos de Rodillos disponibles en planta. b) Responsable de montajes tiene incorrecta su tabla de rodillos.	a) Compra de Rodillos agotados. b) Actualizar tabla de montajes para uso del responsable de este proceso.
Al habilitar sinfín horizontal, el lubricante no pasa al compartimiento del sinfín vertical.	El sinfín vertical no tiene en la base una propela para remover lubricante del ducto de paso de lubricante del horizontal.	a) Reemplazar propela del sinfín vertical.
Falta de rodillos o rodillos desgastados en módulo de cast y hélice spooler.	No hay criterio para definir la vida útil de los rodillos, para que el operador sepa cuando reemplazar antes de que falle.	a) Reemplazar rodillos de árbol de cast y hélice. b) Incluir en FIIX PM.

## 6.2 Ejecución del plan de mejoramiento

La tabla 5, muestra el resultado final del seguimiento de las acciones de mejora formuladas para la trefiladora WD01. La última actualización del seguimiento de este plan se hizo la cuarta semana de octubre del 2023 y se logró realizar completamente un 67% de las acciones y un 33% quedaron en proceso, para un avance general de 81% en la implementación del plan de mejoramiento en dicha trefiladora, como se muestra en la figura 16.

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

**Tabla 5. Estatus del plan de mejoramiento de trefiladora WD01 hasta la semana 22 del cronograma del proyecto.**

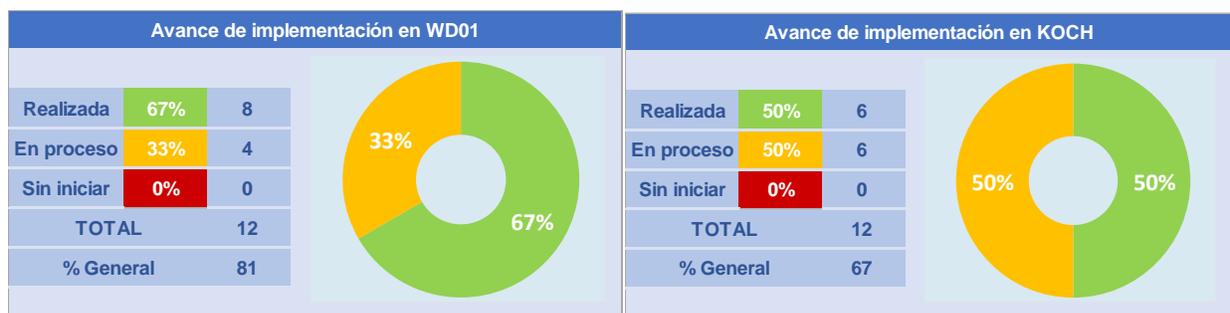
Plan Mejora WD01								
Problema	Causas	Acciones	Fecha Inicio	Fecha final	Responsable	Estatus	Avance	
Revientes de alambre frecuentes. Operador opta por trabajar a baja velocidad (5 a 7 m/s).	Dancer paso 4, pistón del dancer con conexiones invertidas eléctricas y neumáticas.	a) Cambiar conexiones neumáticas y eléctricas a condición original (plano) del dancer paso 4 - Realizada.	9/May	9/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Fuerte golpeo en spooler. Operador reduce velocidad por esta causa o baja carrete quedando incompleto.	Carretes defectuosos, con soldaduras agrietadas o grietas en su estructura (tubos PTS), esto genera desbalanceo.	a) Compra de Carretes - Autorizada. b) Práctica de manipulación de spool - Tapetes compados, en espera de instalación. c) Prueba de reparar y balancear dos carretes para evaluar costos - Se mandaron a reparar aproximadamente 50, en espera de entrega.	9/May		Gerente de planta	En proceso	90%	
Revientes de en pasos 1 y 3 por enredos de payoff, no activa parada el sensor de nudos.	Cortina sensores de nudo descalibrada (muy abierta).	a) Calibrar cortina de nudos payoff - Realizada.	10/May	10/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Tiene desactivado el cuentametros.	Encoder dañado.	a) Reemplazar encoder de cuentametros - Realizada.	10/May	1/Ago	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Alta temperatura en tambor en paso 3.	Desague tapado en el tambor.	a) Destapar desague - Realizada.	20/Ago	20/Ago	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Operador al abrir las puertas paso 2, 3 y 4, debe poner un palo para que no se vengán abajo sobre todo en 3 y 4	Contrapesos ubicados en parte de atrás no están en posición de balanceo.	a) Ajustar contrapesos puertas paso 2, 3 y 4 - Realizada.	10/May	20/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Paso 4 no frena.	No tiene la balata superior, está en el suelo.	a) Fijar la balata en el caliper freno paso 4 - Realizada.	11/May	11/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Revientes de alambre en paso 4.	Pierde posición la leva del dancer, su tornillo de fijación central no mantiene su apriete por mucho tiempo.	a) Fijar tornillo central del dancer paso 4 - En reparación.	30/Ago		Líder de mantenimiento	En proceso	50%	
Reducciones calibre 10 desbalanceadas.	Operadores tienen diámetros incorrectos para su referencia de ajuste.	a) Actualizar tabla de diámetros correctos para calibre 10 - Realizada.	15/May	18/May	Líder de productividad	Realizada	100%	
Falta un rodillo en plano horizontal y desgaste de varios rodillos en el árbol de ajuste de cast y hélice.	Para la vida útil de los rodillos no hay criterio definido y que sea de conocimiento del operador, para definir cuando reemplazar.	a) Reemplazar rodillos de árbol de cast y hélice - Cotización a espera de aprobación. b) Incluir en FIIX PM.	15/Sep		Líder de mantenimiento	En proceso	20%	
Revientes en paso 3 cada vez que se activa parada por sensor de nudos en payoff (vel 9 m/s).	Calibración de dancer y mala lubricación.	a) Realizar diagnósticos en Paso 3, Calibración dancer - Dancer calibrado, compra de gusanos y motor, pendiente de aprobación.	16/May		Líder de mantenimiento	En proceso	15%	
Se identifica montaje incorrecto de rodillos en paso 1 y 3 (tiene montado rodillos RO en la salida) y se presenta un acabado triangular en el alambre.	a) No se tiene algunos tipos de Rodillos disponibles en planta (FO0). b) Responsable de montajes tiene incorrecta su tabla de rodillos.	a) Compra de rodillos agotados - Realizada. b) Actualizar tabla de montajes para uso del responsable de este proceso - Realizada.	16/May	30/May	Gerente de planta	Realizada	100%	

El avance de implementación del plan de mejoramiento de la KOCH hasta el mes de octubre del 2023 se presenta en la tabla 6. Se puede observar que durante el primer mes se ejecutaron en su totalidad 6 de las 12 acciones de mejora planteadas a esta trefiladora. Adicional, se logró iniciar cada una de las otras 6 acciones que no se cerraron y se consiguió un avance general del 67% (ver figura 16).

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

**Tabla 6. Estatus del plan de mejoramiento de trefiladora KOCH hasta la semana 22 del cronograma del proyecto.**

Plan Mejora WD01								
Problema	Causas	Acciones	Fecha Inicio	Fecha final	Responsable	Estatus	Avance	
a) No usan decalaminador, alambren pasa derecho, manifiesta operador tener alto ruido cuando lo enhebra. b) Le falta un rodillo en arbol de rodillos del decalaminador.	a) Rodillo inferior, con posible daño en rodamiento. b) Falta de rodillo decalaminador.	a) Revisar rodillo inferior de decalaminador - A espera de cotización. b) Compra de rodillo - A espera de cotización.	8/May		Líder de mantenimiento	En proceso	10%	
Dos poleas de payoff con ranura profunda.	Desgaste por uso.	a) Rellenar poleas con soldadura - Realizada.	8/May	12/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Sinfin horizontal no está fijado en el lado opuesto al motor.	Lubricante compactado (por procesar alambres húmedos). Operadores llenan depósito horizontal con lubricante.	a) Reparar sinfin horizontal - Se mandó a fabricar. b) Instrucción y pegar aviso "No Cargar Lubricante" en compuerta de sinfin horizontal - Realizada. c) Almacenar bajo techo los alambres para su secado - Realizada.	9/May		Líder de mantenimiento	En proceso	70%	
Reducciones calibre 10 desbalanceadas, alambre irregular.	Operadores tienen diámetros incorrectos para su referencia de ajuste.	a) Actualizar tabla de diámetros correctos para calibre 10.	9/May	18/May	Líder de productividad	Realizada	100%	
Ganchos que retiene el carro de la campana, se quedan arriba y no retorna a su posición.	Ejes que permite basculación de ganchos están sucios, lo que no permite el libre movimiento de los ganchos.	a) Limpieza y lubricación de ejes de ganchos que retienen carro de la campana payoff - Realizada.	9/May	10/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Alarma "Spooler 20: Hydraulic PINTLE Pressure switch not responding properly +20-PRS85" al momento de evacuar spool.	Posible falla en modulo electrónico.	a) Compra de módulo electrónico - Se cambiaron sensores y modulo y sigue falla, a espera de cambio de valvula hidraulica.	9/May		Líder de manter	En proceso	50%	
Balatas de freno paso 4 con desgaste irregular.	Balatas desgastadas en paso 4.	a) Cambio de balatas - Pendiente de cotización.	10/May		Líder de mantenimiento	En proceso	10%	
Reventes de en paso 1 por enredos de payoff, no activa parada el sensor de nudos.	Cortina sensores de nudo con resortes muy rígidos no abren la cortina.	a) Cambio de resortes con mejor elasticidad (menos rígidos) - Realizada.	10/May	11/May	Líder de mantenimiento	Realizada	100%	
Alambre con protuberancia intermitente.	Rodillo RT0 despostillado.	a) Cambiar Casetera Paso 3 con rodillos RT0 en buen estado - Realizada.	15/May	15/May	Operador	Realizada	100%	
Montaje incorrecto de rodillos en paso 4 (FR a la salida) y presenta acabado triangular en el alambre. Alambre con acabado rugoso (áspero).	a) No se tiene algunos tipos de rodillos disponibles en planta. b) Responsable de montajes tiene incorrecta su tabla de rodillos.	a) Compra de Rodillos agotados - Realizada. b) Actualizar tabla de montajes para uso del responsable de este proceso - Realizada.	16/May	30/May	Gerente de planta	Realizada	100%	
Al habilitar sinfin horizontal, el lubricante no pasa al compartimiento del sinfin vertical.	Sinfin vertical no tiene un propela en la base para remover lubricante del ducto de paso de lubricante del horizontal.	a) Reemplazar propela del sinfin vertical - Se habilitó, pero volvió a fallar, se mandó a fabricar.	16/May		Líder de mantenimiento	En proceso	50%	
Falta de rodillos o rodillos desgastados en módulo de cast y helice spooler.	No hay criterio para definir la vida útil de los rodillos, para que el operador sepa cuando reemplazar antes de que falle.	a) Reemplazar rodillos de árbol de cast y hélice - Pendiente de cotización. b) Incluir en FIIX PM.	16/May		Líder de mantenimiento	En proceso	10%	



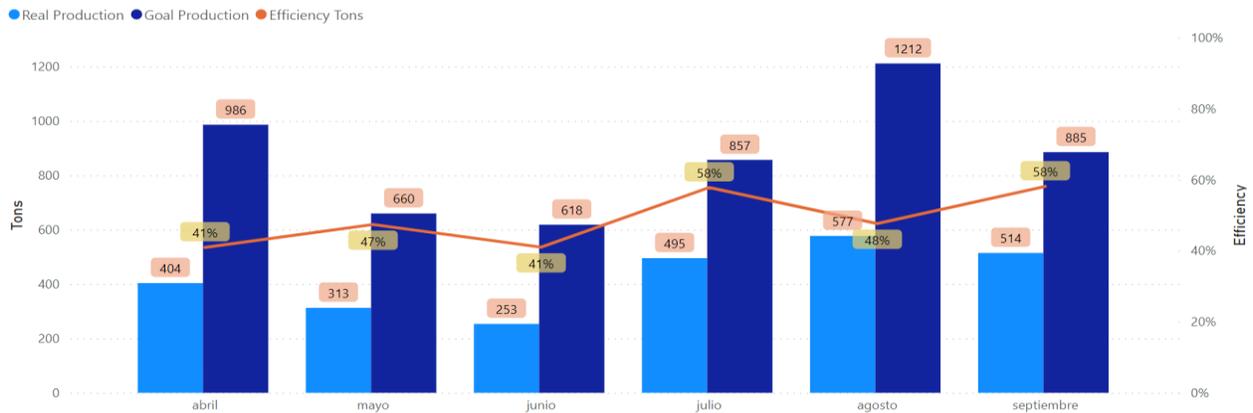
**Figura 16. Estatus y porcentajes de avance de las acciones del plan de mejoramiento.**

Algunas de las acciones planteadas para ambas trefiladoras consistían en ajustes técnicos de las máquinas e implementaciones metodológicas de rápida respuesta, otras requerían equipamiento y cambios de piezas o herramientas de repuestos disponibles para mantenimiento, por lo que dichas acciones se iniciaron y se cerraron completamente durante el primer mes. No obstante, se puede notar que otras de las acciones a realizar quedaron en proceso, debido a que algunas de estas estaban sujetas reparaciones y a procesos de compras que requieren de varios meses, debido a que se tratan de compras que implican costos de miles de dólares, los cuales deben ser cotizados con diferentes proveedores, analizados y aprobados por el gerente de la planta, el director de operaciones, y el gerente de productividad y mantenimiento de WMC. Adicionalmente, las entregas de dichas compras se pueden tardar meses debido a que se fabrican bajo pedido, y algunos de los proveedores se encuentran en países europeos como Alemania y Francia, implicando que el tiempo de transporte también tarde algunos meses.

### **6.3 Eficiencias**

La figura 17, muestra las eficiencias de la trefiladora WD01, correspondientes a los meses donde se estuvo ejecutando el plan de mejoramiento y el mes inmediatamente anterior al inicio del plan para analizar el comportamiento de eficiencias con la ejecución de las acciones de mejora. Vemos que en el mes de abril se presentó una eficiencia del 41% y que aumentó en un 6% para llegar a un 47% de eficiencia, como era de esperarse con la implementación de 6 de las 12 acciones planteadas para esta máquina. Aunque se ejecutó el 50% de las acciones durante de este mes, el incremento en la eficiencia como consecuencia de los problemas solucionados solo se hará notar semanas después de presentar un 100% de avance en la ejecución de las mismas, y como se muestra en la tabla 5, algunas de estas se finalizaron los días 9, 10 y 11 del mes, otra el día 18, e incluso una el día 30 del mes, por lo que no se debería ver un aumento en la eficiencia posiblemente hasta el mes siguiente, por lo que un aumento en un 6% en el primer mes fue un buen resultado.

## MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC



**Figura 17.** Producción, metas de producción y eficiencias de la trefiladora WD01 desde abril hasta septiembre del 2023.

Para el mes de junio, como se mencionó anteriormente, se esperaba un aumento en la eficiencia a comparación del mes de mayo. Sin embargo, la eficiencia medida por el área de productividad de WMC fue de un 41%, bajando un 6% nuevamente. La razón principal para que se mostrara esta disminución en la eficiencia es porque durante el mes de junio no se presentaron reportes de paros en esta máquina, gracias a que los dispositivos instalados a la máquina para medir sus paradas estaban presentando fallas y no censaron el tiempo operativo y el tiempo de paradas de la máquina, tal como se muestra en la figura 18.

enero												febrero												marzo												abril												mayo												junio												julio												agosto												septiembre												octubre												noviembre											
Día	Shift Time (h)	Downtime (h)	Operative Available Time (h)	Net Time	Productive Time (h)	STD Productivity (t/h)	Real Productivity	Real Production (pieces)	Real Production (tons)	Goal (tons)	Efficienc (%)																																																																																																																								
2	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
3	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
Night	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
4	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
5	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	3,88	2,01	0,65	7,80	24,1	32%																																																																																																																									
6	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
7	12,00		12,00	12,00	5,83	2,01	0,98	11,70	24,1	49%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	5,83	2,01	0,98	11,70	24,1	49%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	5,83	2,01	0,98	11,70	24,1	49%																																																																																																																									
9	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
Day	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
C10	12,00		12,00	12,00	4,86	2,01	0,81	9,75	24,1	40%																																																																																																																									
<b>Total</b>	<b>308,00</b>		<b>308,00</b>	<b>308,00</b>	<b>126,26</b>	<b>2,01</b>	<b>0,82</b>	<b>253,50</b>	<b>618,4</b>	<b>41%</b>																																																																																																																									

**Figura 18.** Vista de resumen de tiempos, estándares, producción y eficiencias de la trefiladora WD01 durante el mes de junio del 2023 (Power BI).

Al no tener reporte de tiempos de paradas (downtime), el tiempo operativo disponible (operative available time) calculado será igual al tiempo de turno programado (shift time), por lo que la meta de producción (Goal) calculada será la más alta posible, como si la máquina estuviera produciendo durante todo el turno programado, alejando la producción real de la meta de producción, mostrando como resultado una eficiencia irreal. Desafortunadamente, el proceso estandarizado en esta máquina requiere paradas para evacuación de carrete lleno y montaje de uno vacío cada que el material trefilado llene uno, además puesto que el operador asignado a la trefiladora por turno es uno solo también es necesario parar la máquina durante 30 minutos en cada turno para que el operador tome sus alimentos y otros 30 minutos al final del turno para que realice la limpieza de la máquina.

Teniendo en cuenta esto, es posible calcular una meta de producción estimada y del mismo modo una eficiencia más cercana a la real. Durante el mes de junio la máquina WD01 corrió durante 25 turnos de 12 horas y uno de 8 horas para un total de 308 horas. Si a cada turno descontamos 30 minutos de comida, 30 minutos de limpieza, 30 minutos de cambios de aceite, agua y lubricante, 40 minutos de cambios de carretes, ya que por turno se cambian en promedio 4 carretes con un tiempo estandarizado de 10 minutos cada uno, al final del mes tendríamos un estimado de 252 horas de tiempo disponible, que al multiplicar por 2.01 ton/h que es el estándar determinado para el producto que realizó la máquina durante todo el mes, se tendría una meta de 506 toneladas para el mes de junio. De acuerdo con esto la eficiencia de la máquina debió ser de al menos un 50%, debido a que la producción real fue de 253 toneladas. No obstante, la eficiencia real pudo ser incluso mayor al 50%, ya que en este cálculo no se tuvieron en cuenta otras paradas por disponibilidad que se presentan esporádicamente como lo son las paradas para juntas de seguridad o de calidad, paradas por operador en otra máquina, falta de equipo auxiliar, falta de alambón, y mantenimientos planeados, entre otros.

Para el mes de julio la eficiencia subió nuevamente hasta llegar a un 58%, lo que nos indica que el plan de mejoramiento ha tenido un impacto positivo en la eficiencia de la máquina, posicionando dicho mes como el mes con la eficiencia más alta hasta la fecha. Desafortunadamente, la eficiencia presentó una caída nuevamente en el mes de agosto. La tabla 7, resume las paradas y tiempos de afectación presentados en WD01 durante este mes, donde se pueden distinguir 17.15 horas de paradas por revientes de alambre y otras 4.5 horas por nudos, como consecuencia de la

falta de ejecución de algunas de las acciones dirigidas a problemas concernientes a dancer, payoff, rodillos y otros más, los cuales son indispensables garantizar un proceso sin interrupciones de este tipo. Además, se perdieron 6.63 horas en ajustes y otras 8.62 horas en fallas de la máquina, las cuales se logran ver en mayor detalle en la tabla 8, donde se muestran las descripciones o especificaciones de este tipo de paradas de interés. Aquí se observa que algunas de estas fallas, son casos esporádicos que no estaban presentes cuando se formuló el plan de mejoramiento, sino que más bien se presentaron durante el mes, pero que gracias al equipo técnico se les pudo dar solución, sin embargo, su presencia significó una disminución en la eficiencia de la máquina durante este mes.

**Tabla 7. Clasificación y tiempo de paradas reportadas en WD01 durante el mes de agosto del 2023.**

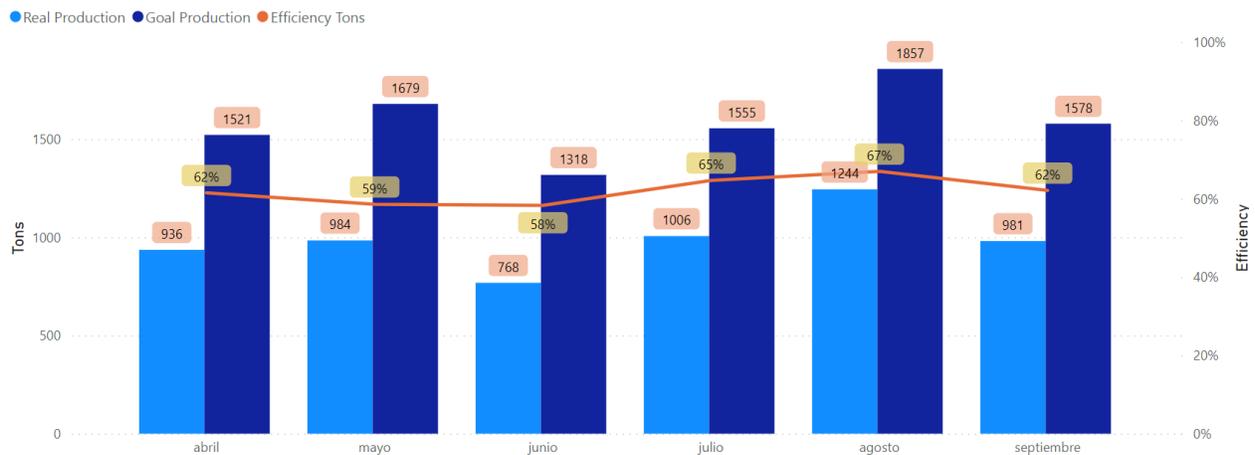
Description N1	Total (h)	Availability	Performance
Full spool evacuation and reload spool	12,02	7,48	4,53
KNOT OR TANGLE (pay of tower, roller cassette)	4,05	0,00	4,05
Lack of forklift / lack of bridge crane	0,07	0,07	0,00
Lack of raw material	5,02	5,02	0,00
Machine adjusment (Roller, roller cassette, others)	6,73	0,00	6,73
Machine faults	8,62	0,00	8,62
OPERATION (load coil, weld wire)	0,03	0,03	0,00
Operation on another machine	12,13	12,13	0,00
Other (write description)	13,48	0,00	13,48
Rest / Break	1,07	1,07	0,00
Scheduled maintenance	0,37	0,37	0,00
THREAD BREAK (pay of tower, welding, roller cassette)	17,15	0,00	17,15
<b>Total</b>	<b>92,75</b>	<b>38,18</b>	<b>54,57</b>

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

**Tabla 8.** Descripción de paradas por nudos, reventones de alambre, fallas y ajustes en WD01 durante el mes de agosto del 2023.

Remark	Time (h)	Remark	Time (h)
air regulator	0,90	Wire break	17,15
Alarm Pin	0,08	<b>Total</b>	<b>17,15</b>
Chiller	0,18	<b>Remark</b>	<b>Time (h)</b>
Electric failures	3,05	Wire knot	1,55
Jabonera without lubricant	0,02	Wire stuck in payoff	2,50
Machine Faults	0,57	<b>Total</b>	<b>4,05</b>
No power due to storm	3,38	<b>Remark</b>	<b>Time (h)</b>
Spool table sensor	0,43	Machine adjustment	6,73
<b>Total</b>	<b>8,62</b>	<b>Total</b>	<b>6,73</b>

Finalmente, para el mes de septiembre, la trefiladora vuelve a su máximo de eficiencia a un 58%, a la espera de finalización de nuevas acciones de mejora que se encuentran en proceso y que no reflejarán un aumento en la eficiencia de la máquina hasta que no sean llevadas a cabo en su totalidad.



**Figura 19.** Producción, metas de producción y eficiencias de la trefiladora KOCH desde abril hasta septiembre del 2023.

Las eficiencias de la trefiladora KOCH desde el mes de abril hasta el mes de septiembre del 2023 se muestran en la figura 19. Se puede apreciar un rango de variación entre el 58 y el 67

por ciento en eficiencia. Analizando desde el mes de abril, siendo este el mes anterior al inicio de implementación del plan de mejoramiento, se observa que cerró con una eficiencia de 62% para luego disminuir en un 3% para llegar a un 59% de eficiencia. Con la ejecución del 6 de las 12 acciones planteadas para la KOCH en el plan de mejoramiento se espera que la eficiencia empiece a aumentar. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de que se presenten nuevos problemas que no están contemplados en el plan de mejoramiento inicial. Las trefiladoras industriales son máquinas complejas con una gran cantidad de piezas o elementos claves que se desgastan, se desajustan o fallan con el uso y en muchas ocasiones las soluciones de dichos problemas requieren de horas de intervención técnica y hasta de días de espera para la recepción de piezas de cambio o reparación especializada. Dicho lo anterior, es pertinente aclarar que este no fue el caso. En la tabla 9, se observan las horas de paradas mes a mes por rotura del alambre, nudos o atascos, ajustes y fallas en la máquina, evidenciando así un impacto positivo para el mes de mayo en las paradas por rotura de alambre, en los ajustes y en las fallas de la máquina, mientras que en los nudos o atascos de la máquina la cantidad de horas de parada se mantuvo muy similar a comparación del mes de abril, por lo que lo más lógico sería un aumento en la eficiencia, la razón por la que dicho aumento no se dio fue porque durante dicho mes se estuvo presentando problemas de registro de paradas con el aplicativo Pulsar y no se reportaron los paros de algunos días en el mes de mayo como se muestra en la figura 20, haciendo que las metas de producción sean más altas de lo que deberían ser de acuerdo al rendimiento de la máquina y por lo tanto la eficiencia calculada sea menor a la real.

**Tabla 9.** Resumen de paradas por nudos, reventones de alambre, fallas y ajustes en KOCH desde abril hasta septiembre del 2023.

Paros (h)	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Rotura	17.97	14.42	26.37	10.13	9.6	23.1
Nudos o atascos	7.07	7.37	5.3	3.17	4.2	8.32
Ajustes de máquina	1.33	0.9	0.87	16.82	11.67	9.08
Fallas de máquina	43.48	16.68	80.4	29.33	33.2	41.08

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE TREFILADO DE ALAMBRÓN DE ACERO EN LAS MÁQUINAS KOCH Y WD01 EN LA PLANTA DE PENNSILVANIA DE LA EMPRESA WMC

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Dia	Shift Time (h)	Downtime (h)	Operative Available Time (h)	Net Time	Productive Time (h)	STD Productivity (t/h)	Real Productivity	Real Production (pieces)	Real Production (tons)	Goal (tons)	Efficienc (%)	DRE
Day	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%	G8	
C10	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%		
Night	12,00	0,42	11,58	11,58	7,02	3,05	1,85	21,45	35,4	61%	GD6 ROLLS	
22	24,00	4,17	21,98	19,83	13,41	3,05	2,06	40,95	67,1	61%		
Day	12,00		12,00	12,00	7,02	3,05	1,79	21,45	36,6	59%	GD61	
C10	12,00		12,00	12,00	7,02	3,05	1,79	21,45	36,6	59%		
Night	12,00	4,17	9,98	7,83	6,39	3,05	2,49	19,50	30,5	64%	GD62	
23	24,00		24,00	24,00	12,13	3,05	1,54	37,05	73,3	51%		
Day	12,00		12,00	12,00	7,02	3,05	1,79	21,45	36,6	59%	GRS 2	
C10	12,00		12,00	12,00	7,02	3,05	1,79	21,45	36,6	59%		
Night	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%	KOCH	
C10	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%		
24	24,00		24,00	24,00	7,02	3,05	0,89	21,45	73,3	29%	LGR52	
Day	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%		
C10	12,00		12,00	12,00	5,11	3,05	1,30	15,60	36,6	43%		
Night	12,00		12,00	12,00	1,92	3,05	0,49	5,85	36,6	16%	2021	
C10	12,00		12,00	12,00	1,92	3,05	0,49	5,85	36,6	16%		
25	12,00	0,50	11,50	11,50	4,47	3,05	1,19	13,65	35,1	39%	2022	
26	12,00	1,37	11,08	10,63	6,39	3,05	1,83	19,50	33,8	58%		
28	12,00	0,92	11,08	11,08	6,39	3,05	1,76	19,50	33,8	58%		
29	24,00		24,00	24,00	9,58	3,05	1,22	29,25	73,3	40%		
Total	584,00	75,75	549,83	508,25	322,19	3,05	1,94	983,90	1679,1	59%		

Figura 20. Vista de resumen de tiempos, estándares, producción y eficiencias de la trefiladora KOCH durante el mes de mayo del 2023 (Power BI).

Se esperaba que el impacto de las acciones realizadas en el mes de mayo se hiciera notar positivamente en la eficiencia de la máquina en el mes de junio (ver figura 19). Sin embargo, se presentó una leve disminución que terminó en un 58%, debido a la presencia de nuevas fallas que desencadenaron el aumento de paros por reviente del alambre como se muestra en la tabla 9, siendo este el mes con mayor número de horas perdidas en paradas por revientes de hilo y fallas de la máquina. Los meses julio y agosto presentaron mayor número de horas por ajustes de máquina, pero se presentaron menos horas de paradas por fallas en la máquina, roturas y nudos o atascos de alambre, permitiéndoles subir a 65% y 67% respectivamente, donde se presentaron los picos más altos en la eficiencia de estos 6 meses. Finalmente se encontró que en el mes de septiembre se presentaron nuevamente fallas mecánicas que implicaron el paro de la máquina por reventones de alambre en 32.10 horas, y 8.32 horas de nudos o atascos, cerrando el mes con un 62% de eficiencia nuevamente.

## 7. Conclusiones

En el presente trabajo se logró identificar los problemas que se presentaban tanto en la trefiladora WD01 como en la KOCH, de la misma forma las causas que las precedían y se plantearon las pertinentes acciones de mejora para solucionar dichos problemas.

Las acciones formuladas en plan de mejoramiento lograron ejecutarse completamente en un 67% para la WD01 y un 50% en la KOCH. Adicional, el avance general de la implementación fue de un 81% para la primera trefiladora y un 67% para la segunda. De modo que todas las acciones se encuentran finalizadas o en proceso a espera de autorizaciones de compra, entregas o instalación.

Con la implementación del plan de acción, se lograron aumentos de hasta un 17% en su punto más alto a comparación del mes anterior al mes de inicio de ejecución de las acciones de mejora en la trefiladora WD01, y aumento de hasta 5% en el caso de la trefiladora KOCH. Así mismo, se espera que con la finalización de las acciones que están pendientes de completarse, el impacto siga haciéndose notorio en la disminución de paradas que fueron abordadas debido a las causas identificadas y que sirvan como prevención de la aparición de nuevos problemas causados a raíz de la presencia de los ya mencionados.

En este trabajo se hizo evidente la necesidad de reportar correctamente los paros ocurridos en las máquinas durante su uso, ya que un mal reportaje de estos no permitirá la identificación de problemas en la máquina, y evidenciará eficiencias que no representan la eficiencia real de la máquina, afectando no solo el rendimiento de la máquina, sino también el de los operadores que la manejan y la gestión del mánager de la planta.

Gracias a los problemas identificados en las dos trefiladoras, se tomaron medidas preventivas para el resto de trefiladoras de la planta, por lo que el área de mantenimiento se encargará de programar los pertinentes mantenimientos correctivos y preventivos en las otras trefiladoras para corregir y evitar problemas similares.

Finalmente, se puede concluir que con la implementación de acciones de mejora no se puede garantizar el incremento de la eficiencia de la máquina, puesto que siempre estará presente la posibilidad de que se presenten nuevas fallas o nuevas intervenciones que requieran la detención

de la máquina por causas diferentes a las abordadas en el plan de mejoramiento, pero se debe destacar que de no realizarse dichas acciones de mejora, el rendimiento de la máquina será mucho menor, ya que la no solución de problemas desencadena en la acumulación y multiplicación de estos.

## 8. Presupuesto

Algunos de los recursos que se necesitaron dentro de este proyecto de plan de mejoramiento, tales como gastos en personal, equipos, y materiales o insumos, están cubiertos en su totalidad dentro los recursos propios de la planta y del presupuesto dispuesto por la empresa para el mantenimiento correctivo de la planta. Adicional, en el transcurso del desarrollo de implementación del plan se determinaron acciones correctivas que requirieron gastos que no podían ser cubiertos por los anteriores, y por lo tanto fueron analizados por el gerente de la planta, el director de operaciones, y el gerente de productividad y mantenimiento de la empresa para contar con su aprobación. Por otra parte, se requirió el aporte de recursos humano de la Universidad de Antioquia, quien brindó al practicante a cargo de este proyecto un asesor interno, quien dedicó un estimado de 24 horas en el acompañamiento y asesoramiento del estudiante durante los 6 meses de práctica donde se llevó a cabo el presente plan de mejoramiento.

A continuación, se presenta el presupuesto detallado de costos requeridos en este proyecto:

**Tabla 10.** Presupuesto del plan de mejoramiento trefiladoras WD01 y KOCH.

Descripción	Cant.	Val. Unit	Moneda	Valor en COP	Valor total en COP
Salario mensual del est. en práct.	6	\$1,160,000.00	COP	\$1,160,000.00	\$6,960,000.00
Sub. mensual de transporte del est. en práct.	6	\$140,000.00	COP	\$140,000.00	\$840,000.00
Salud, pensión y ARL del est. en práct.	6	\$283,855.00	COP	\$283,855.00	\$1,703,130.00
Encoder Roll it.306 dwg PS014625-C Promo	1	\$420.00	EUR	1,913,343.60	\$1,913,343.60
TUNGSTEN CARBIDE RINGS - RO2	1	\$650.00	USD	2,804,100.00	\$2,804,100.00
TUNGSTEN CARBIDE RINGS - RO1	4	\$1,300.00	USD	5,608,200.00	\$22,432,800.00
TUNGSTEN CARBIDE RINGS - RT1	4	\$1,300.00	USD	5,608,200.00	\$22,432,800.00
TUNGSTEN CARBIDE RINGS - RT0	4	\$1,300.00	USD	5,608,200.00	\$22,432,800.00
CPL ROLLER 24C4420100	1	\$1,329.60	USD	5,735,894.40	\$5,735,894.40
TUNGSTEN CARBIDE RINGS - RO0	4	\$1,950.00	USD	8,412,300.00	\$33,649,200.00
CPL ROLLER 24C2035080	1	\$2,164.80	USD	9,338,947.20	\$9,338,947.20
Wireguide roller dwg PS014548-C Promostr	1	\$6,258.00	EUR	\$28,508,819.64	\$28,508,819.64
PN1250 SPOOL	2	\$28,448.00	USD	\$122,724,672.00	\$245,449,344.00
<b>Total</b>				<b>\$404,201,178.84</b>	

## Referencias

*Máquinas de estirado y trefilado. | TFM08.- Procesos de fabricación por corte y conformado.*

(n.d.-b).

[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/TFM/TFM08/es\\_DFM\\_TFM08\\_Contenidos/webseite\\_145\\_mquinas\\_de\\_estirado\\_y\\_trefilado.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/TFM/TFM08/es_DFM_TFM08_Contenidos/webseite_145_mquinas_de_estirado_y_trefilado.html)

*Grupo Empresarial - Aceros Turia.* (2020, June 8). Aceros Turia.

<https://www.acerosturia.com.co/grupo-empresarial/>

*Home - Optimus.* (2023, June 14). Optimus. <https://optimus-steelusa.com/>

Luminix. (2022). App pulsar [Software]. En *Salesforce, Inc* (11.0.7). <https://apps.apple.com/es/app/pulsar-for-salesforce/id530744301>

Microsoft. (2022). *Power BI* (Versión 12) [Software]. <https://powerbi.microsoft.com/es-es/power-bi-pro/>

Monterrey, M. A. (2023). Alambión ficha técnica y precio | Max Acero Monterrey. *Venta De*

*Aceros Monterrey Y Todo Mexico.* [https://maxacero.com/acero-](https://maxacero.com/acero-corrugado/alambion/#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20se%20hace%20el%20alambion%C3%B3n%3F%20Para%20la%20fabricaci%C3%B3n,es%20un%20material%20que%20se%20trefila%20en%20fr%C3%ADo.)

[corrugado/alambion/#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20se%20hace%20el%20alambion%C3%B3n%3F%20Para%20la%20fabricaci%C3%B3n,es%20un%20material%20que%20se%20trefila%20en%20fr%C3%ADo.](https://maxacero.com/acero-corrugado/alambion/#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20se%20hace%20el%20alambion%C3%B3n%3F%20Para%20la%20fabricaci%C3%B3n,es%20un%20material%20que%20se%20trefila%20en%20fr%C3%ADo.)

Oleas Lindao, C. (1981). *Estudio de un sistema de trefilación de alambión para soldadura* [Tesis de grado]. Escuela superior politecnica del litoral.

Rockwell Automation Inc. (2023). *FIIX CMMS (1.38.0)* [Software]. <https://play.google.com/store/apps/details?id=fiix.cmms.mobile&pli=1>

*Trefilado.* (2015, April 1). *Materials & Design.* <https://materialsdesign.wordpress.com/trefilado/>

*RODILLOS PARA LAMINACIÓN - Promills.* (s/f). *Promills.eu.* Recuperado el 9 de octubre de 2023, de <https://www.promills.eu/es-es/RODILLOS>

Quevedo Belmonte, P. (2020). *Estudio de las posibles variables a modificar para reducir las tensiones residuales durante la operación de trefilado y adopción de un sistema de medida para medir las mismas* [Tesis de grado]. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Escuela Politécnica de Minas y Energías.