



**Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas  
trefiladoras**

Juan Pablo Ramírez Rincón

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Industrial

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Asesor:

Luz Marcela Restrepo Tamayo, Magíster (MSc) en Ciencias – Estadística

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

---

<b>Cita</b>	(Ramírez Rincón, 2025)
<b>Referencia</b>	Ramírez Rincón, J. (2025). <i>Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras. Semestre de industria</i> . Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

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

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.

## Tabla de contenido

Resumen .....	6
Abstract .....	7
1. Introducción .....	8
2. Objetivos .....	10
2.1 Objetivo general .....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3. Marco teórico .....	11
4. Metodología .....	14
5. Análisis de resultados.....	16
6. Conclusiones y recomendaciones.....	23
Referencias .....	25

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Descripción del modelo actual de trefilado.....	18
<b>Tabla 2</b> Descripción del modelo propuesto.....	20
<b>Tabla 3</b> Calculo estándar con modelo trefilado propuesto.....	21
<b>Tabla 4</b> Comparación de estándares.....	22

## Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> Diagrama conceptual del modelo de trefilado .....	17
--	----

## **Resumen**

Este proyecto busca mejorar el modelo de cálculo del estándar de producción de los procesos de trefilado en la planta de Wire Mesh Corporation (WMC), ubicada en Jacksonville, Florida, analizando las variables que impactan directamente en el cálculo de este. Entre los indicadores evaluados se encuentran el Tiempo Operativo Ajustado (TOA), la Producción Teórica por Calibre (PT), el Factor de Ajuste por Tamaño de Carrete (FTS) y la Producción en Toneladas por Hora (TPH). Estas métricas se calculan a partir de parámetros como el tiempo operativo disponible, la velocidad nominal de las máquinas y las propiedades del material procesado. Durante el análisis, se identificaron factores que generan desviaciones en los resultados esperados, como los tiempos de soldadura y las diferencias en las dimensiones de los carretes utilizados. Con base en estos hallazgos, se propone una metodología que permite ajustar los cálculos de manera más precisa, mejorando así la planificación y los análisis posteriores. Por último, el estudio resalta la relevancia de implementar sistemas de medición constante y precisa de las variables operativas, asegurando así un control adecuado del proceso y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo. Este enfoque proporciona una base sólida para seguir innovando y mejorando los procesos productivos en el futuro.

*Palabras clave:* Modelo, estándar, trefilado, tiempo, producción, parámetros.

### **Abstract**

This project aims to improve the calculation model for production standards in the wire drawing processes at the Wire Mesh Corporation (WMC) plant, located in Jacksonville, Florida, by analyzing the variables that directly impact its calculation. Among the evaluated indicators are Adjusted Operating Time (TOA), Theoretical Production by Gauge (PT), Spool Size Adjustment Factor (FTS), and Production in Tons per Hour (TPH). These metrics are calculated based on parameters such as available operating time, the nominal speed of the machines, and the properties of the processed material. During the analysis, factors causing deviations from the expected results were identified, such as welding times and differences in the dimensions of the spools used. Based on these findings, a methodology is proposed to allow for more accurate calculations, thereby improving planning and subsequent analyses. Finally, the study highlights the importance of implementing constant and precise measurement systems for operational variables, ensuring proper process control and promoting long-term sustainability. This approach provides a solid foundation for continued innovation and improvement in production processes in the future.

*Keywords:* Model, standards, wire drawing, time, production, indicators.

## 1. Introducción

Esta investigación se enfoca en mejorar los procesos industriales, específicamente en la producción de mallas de acero. El objetivo es modernizar el modelo de cálculo de los estándares de producción en el proceso de trefilado en la planta de WMC, ubicada en Jacksonville, Florida. Esta actualización es una oportunidad para mejorar la eficiencia, la precisión y, en última instancia, la competitividad de la planta.

Desde el inicio de la experiencia en la empresa, se evidenció la importancia de optimizar los procesos productivos para mejorar la competitividad. Dado que la eficiencia y la calidad son esenciales, se propuso investigar cómo modernizar los métodos de control de eficiencias en el proceso de trefilado. A través de un análisis detallado, se buscó identificar oportunidades de mejora que no solo beneficiaran a la empresa, sino que también contribuyeran a un uso más sostenible de los recursos.

La motivación detrás de este proyecto surge de la necesidad de abordar los retos que presenta actualmente la industria manufacturera, relacionados con recursos escasos y altos niveles de demanda. A partir de la observación crítica al proceso, se evidenciaron oportunidades de mejora al modelo actual de control de eficiencias, de tal forma que, si fueran abordadas, podría evitarse análisis incorrectos por parte de los analistas.

Además, se logró observar que uno de los procesos primordiales de la empresa consiste en el trefilado del alambón, que luego se utiliza como materia prima para la elaboración de las mallas de construcción y que son el producto principal que se comercializa en la empresa. Lo anterior condujo a plantear la siguiente pregunta: ¿Cómo se pueden modernizar estos métodos para mejorar el análisis de eficiencias de las máquinas trefiladoras?

Para abordar esta cuestión, se utilizaron diversas herramientas de recolección de datos, como entrevistas con el jefe del área, analistas, gerentes de plantas y análisis de registros de producción. Estas herramientas permitieron obtener una visión clara de los procesos y las

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

dificultades que enfrentan los analistas en su día a día. A través de este enfoque, se pudo identificar las oportunidades para implementar mejoras significativas.

En el marco teórico, se exploraron conceptos fundamentales que sustentan esta investigación, como la gestión de la producción, que abarca todas las actividades destinadas a transformar insumos en productos terminados. Se hizo referencia a la Teoría de las Restricciones de Goldratt (1990), que resalta la importancia de identificar y eliminar los cuellos de botella dentro de los sistemas productivos. También se discutió la necesidad de actualizar los modelos de cálculo de estándares de producción para reflejar las condiciones operativas actuales, ya que la falta de actualización puede llevar a errores en la estimación de los tiempos productivos y en la evaluación del desempeño.

A lo largo de este informe, se compartirán los hallazgos del análisis realizado, así como las propuestas de mejora que pueden ser implementadas en el corto y mediano plazo. Si bien la empresa está ubicada en Estados Unidos, el análisis del modelo propuesto se hizo desde Colombia, lo que puede suponer un reto mayor. A pesar de ello, se espera que este trabajo no solo sirva como un aporte a la empresa, sino que también pueda ser útil para otros estudiantes y profesionales interesados en la mejora de procesos industriales.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Modernizar el modelo de cálculo de estándares de producción en el proceso de trefilado de la planta de WMC en Jacksonville, para mejorar la precisión en la evaluación de la eficiencia de las máquinas mediante la actualización de datos y el desarrollo de un sistema adecuado a las necesidades actuales.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analizar el modelo actual de estándares de producción del proceso de trefilado, identificando las limitaciones y oportunidades de mejora en la recolección y procesamiento de datos de entrada.
- Actualizar la base de datos y las variables clave del proceso de trefilado, incorporando información más precisa sobre las condiciones de operación, tiempos de producción y paradas no programadas.
- Diseñar un nuevo modelo de cálculo de estándares de producción, ajustado a las características actuales de las máquinas y el proceso productivo, para mejorar la precisión en la medición de la eficiencia.

### 3. Marco teórico

El presente proyecto se fundamenta en conceptos clave de la ingeniería industrial, esenciales para alcanzar los objetivos planteados en el contexto de la planta de trefilado. Entre estos conceptos destacan los estudios de métodos y tiempos, la eficiencia general de los equipos (OEE, por sus siglas en inglés) y la clasificación de los paros en programados y no programados.

El análisis de métodos y tiempos constituye una herramienta fundamental en la ingeniería industrial para mejorar los procesos productivos. Según Niebel y Freivalds (2009), este análisis implica el estudio detallado de las operaciones con el objetivo de identificar las actividades que generan valor, eliminar ineficiencias y establecer estándares de producción realistas y medibles. En este proyecto, la modernización del modelo de cálculo de estándares de producción está estrechamente relacionada con la aplicación de estas herramientas, ya que permite determinar tiempos óptimos y asegurar la eficiencia en las operaciones de trefilado. Además, el uso de métodos como el cronometraje y el muestreo de trabajo facilita la identificación de cuellos de botella y la mejora continua de los procesos, lo cual es esencial para cumplir con los objetivos de maximizar la eficiencia y productividad.

Por otro lado, el OEE, definido por Nakajima (1988) como un indicador clave para medir la productividad de los equipos industriales, se compone de tres factores principales que se multiplican: disponibilidad, desempeño y calidad. La disponibilidad mide el porcentaje de tiempo que el equipo está operativo en comparación con el tiempo total disponible, considerando paros programados y no programados. El desempeño evalúa si el equipo opera a su capacidad máxima o si existen desviaciones en la velocidad de producción, mientras que la calidad refleja el porcentaje de productos que cumplen con los estándares con relación al total producido. En el marco del proyecto, el cálculo del OEE proporciona información valiosa sobre las áreas que requieren mejora, permitiendo priorizar esfuerzos y enfocar recursos hacia el incremento de la productividad. Adicionalmente, la implementación de técnicas de análisis de datos para evaluar el OEE permite obtener una visión más detallada y proactiva del rendimiento de las máquinas, facilitando decisiones basadas en datos.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

La clasificación de los paros en programados y no programados es crucial para comprender y gestionar el tiempo de inactividad de los equipos. Según Maynard (2001), los paros programados corresponden a interrupciones planificadas, como mantenimiento preventivo, calibración de máquinas o cambios de configuración, los cuales son esenciales para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y minimizar fallas inesperadas. En contraste, los paros no programados son interrupciones imprevistas debido a fallas mecánicas, desabastecimiento de materiales o errores operativos, afectando directamente la disponibilidad de los equipos y, por ende, la eficiencia general de la planta. Este proyecto también considera la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real para identificar y clasificar paros con mayor precisión, permitiendo una gestión más efectiva del tiempo productivo.

Otro punto clave es el análisis de capacidad, que evalúa si las máquinas están operando a su máximo potencial o si existen cuellos de botella que limitan la producción. Aquí, la Teoría de las Restricciones de Goldratt (1990) es muy útil, ya que sugiere que, al identificar y optimizar los recursos limitantes, se puede mejorar significativamente el rendimiento global del sistema.

Finalmente, la simulación se convierte en una herramienta poderosa para probar nuevas configuraciones sin interrumpir el proceso real. A través de simulaciones basadas en eventos discretos (Banks et al., 2004), es posible anticipar cómo se comportarán las máquinas bajo diferentes escenarios. Esto permite validar el nuevo modelo de estándares antes de implementarlo, garantizando que sea flexible y se adapte a diversas condiciones operativas.

La aplicación de estos conceptos permite abordar de manera integral los desafíos relacionados con la medición de la eficiencia de las máquinas de trefilado. La modernización del modelo de cálculo de estándares de producción, basada en el análisis de métodos y tiempos, facilita la identificación de oportunidades de mejora. Además, el uso del OEE como indicador clave y la clasificación adecuada de los paros aseguran una gestión eficiente de los recursos y contribuyen al cumplimiento de los objetivos planteados.

La modernización del modelo de cálculo de estándares de producción en el proceso de trefilado, además de alinear la planta con las tendencias actuales de la industria, permitirá optimizar

Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

los procesos productivos y reducir costos, proporcionando una base sólida para mantener la competitividad.

#### 4. Metodología

La metodología empleada en este proyecto se fundamenta en el ciclo PHVA, y consta de cuatro pasos que están orientados a modernizar el modelo de cálculo de los estándares de producción en el proceso de trefilado. Se llevará a cabo un análisis exhaustivo del sistema actual, seguido de la recolección y actualización de datos operativos clave. Con esta información, se diseñará un nuevo modelo de cálculo que será validado mediante pruebas piloto en la planta de WMC. Esta metodología busca mejorar la precisión en la evaluación de la eficiencia de las máquinas.

##### **Paso 1. Análisis preliminar**

Recopilación de datos: Se recopilarán datos históricos de producción, parámetros operativos y registros de calidad.

Identificar variables clave: Se identificarán las variables que tienen mayor impacto en el proceso (velocidad, diámetro, fuerza, etc.).

Se espera que al finalizar esta etapa se tenga total claridad del proceso actual, las variables críticas y las falencias de este.

##### **Paso 2. Diseño del modelo**

Desarrollo del modelo conceptual: Se presentarán las relaciones entre variables clave.

Desarrollar modelo matemático: Se creará un modelo para adaptarse a los estándares actuales.

Al finalizar esta etapa se obtendrá un modelo ajustado a las necesidades y los tiempos reportados actualmente en el proceso de trefilado.

##### **Paso 3. Validar y ejecutar**

Validación: El modelo se comparará con datos actuales e históricos del mundo real para verificar su precisión.

Evaluación y presentación: Dependiendo de la precisión demostrada por el modelo, habrá una presentación para que el liderazgo de campo decida si desplegar o no.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

### **Paso 4.** Documentación

Con el objetivo de conservar y difundir la información recolectada y de que este conocimiento se conserve con el tiempo, esta última actividad se basará en la documentación del proceso.

Por último, al finalizar los pasos anteriores se habrá cumplido con el objetivo general del proyecto, logrando así, la modernización del modelo de cálculo de estándares de producción en el proceso de trefilado.

## 5. Análisis de resultados

### 5.1 Análisis preliminar

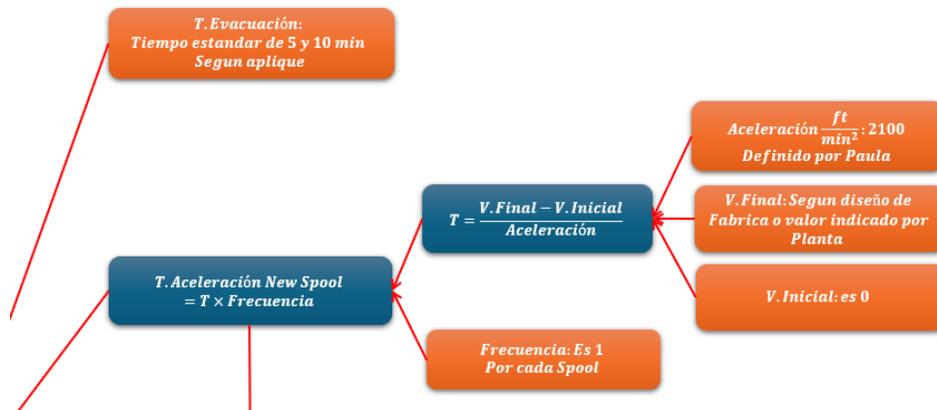
El presente trabajo tiene como finalidad analizar y proponer mejoras al modelo actual de cálculo de estándares de producción en máquinas de trefilado. Este modelo es una herramienta clave para evaluar el rendimiento operativo y establecer expectativas de producción en función de los recursos disponibles. Sin embargo, el modelo actual presenta limitaciones importantes debido a la falta de actualización en sus parámetros y la inclusión de factores que ya son reportados por los operarios como paros programados y no programados, lo que puede llevar a errores en la estimación de los tiempos productivos y en la evaluación del desempeño.

Por tanto, este análisis preliminar se enfocará en describir el modelo vigente, identificar sus componentes y debilidades, y sentar las bases para el desarrollo de un modelo mejorado que refleje de manera precisa las condiciones operativas actuales.

Para el análisis preliminar del modelo, es necesario disponer de la información suministrada por la compañía. La empresa dispone de un diagrama conceptual, donde se pueden identificar las variables clave o parámetros iniciales en naranja, y en azul están las variables o cálculos intermedios donde se enfocan en las fórmulas y procesos matemáticos necesarios para obtener resultados específicos o parámetros clave. A modo de ejemplo, un sector del modelo se presenta en la **Ilustración 1**.

### Ilustración 1

Diagrama conceptual del modelo de trefilado



Fuente. (Turia services, 2024).

El diagrama les da un barrido general a los componentes y fórmulas principales del modelo, dando una explicación breve pero consistente de todos los elementos que interactúan entre sí para el funcionamiento de este, dando como resultado una explicación muy ilustrativa. Según lo analizado en el diagrama, en la **Tabla 1** se presenta el desglose de los principales componentes del modelo.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

### **Tabla 1**

#### *Descripción del modelo actual de trefilado*

<b>Componentes del Modelo</b>	<b>Descripción</b>
Tamaño del carrete	Este define el peso total en kilogramos o libras del carrete que procesa la planta de Jacksonville (Florida).
Tiempo de evacuación	Es el tiempo estándar que demora el operario entre los cambios de carrete, estos varían entre 5 y 10 minutos según la máquina.
Aceleración	Tiempo que demora la máquina en alcanzar la velocidad real constante.
Velocidad final	Velocidad real objetivo que puede ser alcanzada por la máquina, ya sea según su diseño de fábrica o el valor indicado por la planta debido a diferentes limitaciones que puede presentar.
Velocidad inicial	Esta siempre será 0, ya que la máquina se prende y se apaga a principio y final de turno respectivamente, siempre.
Peso del producto terminado	Peso del carrete luego de ser trefilado.
Peso alambra	Tamaño del rollo según el proveedor.
Tiempo de soldadura	Este es un cálculo que viene de dividir la longitud de la soldadura a realizar y la velocidad estándar de la máquina multiplicado por un 25%, ya que la máquina baja su velocidad en un 75% para que el operario pueda realizar la operación.

*Fuente. Elaboración propia.*

Se debe tener en cuenta que, para calibres gruesos, como el 15 y aún más altos, la operación de soldadura se dificulta, por lo que la maquina debe parar completamente. Este modelo es el utilizado para calcular estándares de producción en máquinas trefiladoras. Aunque es funcional en términos básicos, su precisión depende de la calidad de los parámetros iniciales y su actualización constante.

Analizando los componentes del modelo, se encuentran variables redundantes como el tiempo de soldadura, toda vez que los operadores actualmente están reportando las paradas por soldadura, o soldado de punta y cola, por lo que conlleva a un error en el cálculo del estándar ya que al subsanar dos veces la misma parada el modelo advierte que hay menos tiempo productivo del real.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

Conociendo que hay estándares desactualizados desde 2020, donde datos como peso del carrete y velocidad de la máquina no se calculan e informan constantemente, se puede llegar a la conclusión que estos cálculos de estándares no son tan precisos y confiables como deberían serlo.

Por último, se puede notar que el modelo actual presenta muchas variables y cambios constantes, buscando que los ajustes puedan ayudar a hacerlo más preciso, esto genera confusión de los análisis y reprocesos que a su vez generar baja productividad en el tiempo de análisis de las plantas.

### **5.2 Diseño del modelo**

El modelo que se propone a continuación en la Tabla 2, tiene como objetivos proponer mejoras al modelo actual de cálculo de estándares de producción en las máquinas de trefilado. Este modelo es una herramienta clave para evaluar el rendimiento operativo y establecer metas de producción en función de los recursos disponibles.

Este modelo calcula la producción teórica de la maquina (meta o estándar), considerando la velocidad nominal, el tiempo operativo disponible, los cambios de carrete donde solo se consideran 5 minutos por cambio, y la variabilidad del tamaño del carrete según el calibre del alambre.

**Tabla 2**

*Descripción del modelo propuesto*

<b>Variable</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Detalle de la fórmula</b>
Tiempo operativo ajustado (TOA)	$TOA = TO - (5 * NCS)$	TO: Tiempo total disponible operativo del turno. NCS: Número de cambios de carrete realizados en el turno. El 5 es un valor de ajuste basado en los tiempos de cambio de carrete.
Producción teórica por calibre (PT)	$PT = VN * TOA * FTS$	VN: Velocidad nominal de la máquina. FTS: Factor de ajuste por tamaño de carrete (TSR / TSN).
Factor de ajuste por tamaño de carrete (FTS)	$FTS = TSR / TSN$	TSR: Tamaño real del carrete reportado por el operador. TSN: Tamaño nominal del carrete.
Producción en toneladas por hora (TPH)	$TPH = (PT * PM) / (60 * 1000)$	PT: Producción teórica en metros. PM: Peso promedio del alambre por metro (kg/metro). El número 60 convierte minutos en horas, y el 1000 convierte de gramos a kilogramos.

*Fuente. Elaboración propia.*

El modelo propuesto permite adaptar los cálculos a diferentes condiciones operativas y calibres sin necesidad de recalibrar las diferentes constantes, lo que ofrece un modelo más duradero en el tiempo y excluye la necesidad de retrabajos, mejorando así el tiempo a la hora de hacer los cálculos de estándares.

Solo se tiene en cuenta 5 minutos por cambio de *carrete*, ya que según las diferentes mediciones que se han hecho en las plantas de trefilado, este es el tiempo máximo que se deben demorar los operadores en esta operación, si los operadores se extienden, este tiempo será considerado como *performance*, lo que afectará la eficiencia de la máquina.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el tiempo calculado en el modelo no tiene ninguna otra consideración de paros por disponibilidad, ya que los *data entry*, que son las personas encargadas de documentar los paros, se aseguran de clasificar estos, por lo que al final el tiempo de paros disponibles no afectara en la eficiencia de las maquinas.

El modelo propuesto busca a través de su simplicidad una fácil aplicabilidad y entendimiento, lo que genera un balance entre precisión y practicidad.

### 5.3 Validación del modelo

Para la validación del modelo se tomaron en cuenta datos reales de las trefiladoras de la planta, donde el estándar según el modelo actual con una velocidad de 4000ftm es de 4.15 ton/h. A continuación, se presentan los cálculos el modelo propuesto según los datos suministrados, algunos de los más importantes para el modelo son:

**Velocidad nominal:** 4000ftm

**Peso promedio por metro (PM):** 20.36 g/ft  $\approx$  0.06681 kg/m

**Conversión de pies a metros:** 1ft = 0.3048m

**Conversión de kilogramos a toneladas:** 1ton = 1000kg

**Turno:** 12 horas

Para simplificar la validación se va a suponer que no hay cambios de carrete en el turno.

En la Tabla 3 se presenta el cálculo del estándar según el modelo propuesto, para la maquina KOCH de la planta de Jacksonville, tomando como base los datos reales para calibre 10 (C10).

**Tabla 3**

*Calculo estándar con modelo trefilado propuesto*

Datos iniciales	Velocidad nominal m/min	producción Kg/min	producción KG/h	producción Ton/h
Velocidad ftm	4000	1219	81.454752	4887.28512
Peso promedio por metro (PM)	0.06681			4.89

*Fuente. Elaboración propia*

Como se puede observar el estándar calculado con el modelo propuesto da como resultado 4.89 toneladas por hora, lo que significa que aumenta el peso total que puede sacar la maquina KOCH para calibre 10.

Este aumento era de esperarse, ya que se están dejando de subsanar paros como tiempo de soldadura, que deben ser reportados por el operador y posteriormente restados como tiempos disponibles a la máquina.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

Teniendo en cuenta este resultado y para evidenciarlo de una manera ilustrativa y fácil de entender, se elaboró la Tabla 4, la cual presenta los valores de los estándares cálculos por ambos modelos y su diferencia en porcentaje.

**Tabla 4**

*Comparación de estándares*

<b>Comparación</b>	<b>Producto</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Estándar</b>	<b>Diferencia</b>
Método Trefilado actual	C10	4000ftm = 1219.2 m/min	4.15	15.13%
Método trefilado propuesto	C10	4000ftm = 1219.2 m/min	4.89	

*Fuente. Elaboración propia*

Como se ilustra en la Tabla 4, la diferencia asciende a un 15.13%, con lo que se puede concluir que ésta corresponde a los paros subsanados en el modelo anterior y al tiempo de aceleración que esta tenía en cuenta, debido a la alta reportabilidad que presenta la planta en el último año. Estos paros deben estar plasmados en el reporte diario que entrega el operador.

Es importante tener en cuenta que este cálculo se hizo partiendo del supuesto de que la maquina no tuvo ningún tipo de parada en el turno, ya que si, por ejemplo, la maquina tuvo 3 horas de paradas por disponibilidad, esto se le restará al tiempo total disponible, debido a que la eficiencia de la maquina no debe verse afectada por paros como alimentación, limpieza, mantenimiento programado, reuniones y demás agentes externos que no dependen exclusivamente de ella.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

Este proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados y marcar una diferencia significativa en el proceso de cálculos de estándares de trefilado. Desde el principio del proyecto, la atención estuvo centrada en modernizar el modelo de cálculo de estándares de producción, y los resultados hablan por sí mismos.

Primero, se analizó a fondo el modelo actual y se descubrieron problemas clave, como datos redundantes y variables desactualizadas. Este análisis fue fundamental para construir una base sólida sobre la cual desarrollar un modelo más preciso y adaptado a las necesidades reales de la planta. Este paso no solo ayudó a identificar los problemas, sino también a entender mejor cómo optimizar el sistema.

Luego, se actualizó la base de datos con información precisa y relevante, lo que permitió eliminar errores y mejorar la calidad de los análisis. Con estos datos, se diseñó un nuevo modelo que se alinea con las características actuales de las máquinas y el proceso productivo. Este modelo, más eficiente y enfocado en los tiempos críticos, aumentó los estándares de producción en aproximadamente un 15.13%. La validación con datos reales sugiere que este modelo es fiable y adaptable a distintos escenarios.

En resumen, con este proyecto no solo se cumplieron los objetivos, sino que también se generó un impacto positivo en la eficiencia del proceso, estableciendo un camino claro hacia la mejora continua. Es vital seguir alimentando la base de datos con información reciente para garantizar que el modelo continúe siendo preciso y útil. Además, es fundamental que los operadores y analistas reciban formación constante sobre el uso y la actualización del modelo, así como en técnicas de análisis de datos.

Por otro lado, se recomienda invertir en sistemas de monitoreo en tiempo real y herramientas de mantenimiento predictivo, porque esto podría ayudar a anticipar problemas y mejorar la disponibilidad de las máquinas, ya que, en otras plantas como la de Pensilvania, cuentan con sistemas como Pulsar, que ayudan a tener datos más precisos y confiables.

## Modernización de métodos para el control de eficiencias en máquinas trefiladoras

Con estas recomendaciones, se espera que los avances logrados no solo se mantengan, sino que sigan evolucionando, permitiendo que la planta continúe mejorando y adaptándose a las demandas de un entorno industrial en constante cambio.

## Referencias

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2004). *Discrete-Event System Simulation* (4th ed.). Prentice Hall.

Goldratt, E. M. (1990). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.

Maynard, H. B. (2001). *Ingeniería de métodos y tiempos estándar*. McGraw-Hill.

Nakajima, O. (1988). *Introducción al mantenimiento productivo total (TPM)*. Productivity Press.

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill.

Quinchia, R. (2023, 27 de diciembre). *Modelo de trefilado: Diagrama estándares [Hoja de cálculo de Excel]*. Turia Services. Comunicación personal.