



Estudio de la factibilidad de un sistema de monitoreo de temperatura y flujo de las caseteras de trefilado aplicable para la trefiladora WD01 en la planta de Beaumont.

Juliana Barrera Hincapie

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Asesor

Daniel Esteban Agudelo Delgado Magíster (MSc) en Automatización y control industrial.

Asesor

Ruben Darío Quinchia Aguirre Ing. Industrial, Líder de productividad

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Barrera Hincapie, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Barrera Hincapie J (2024). *Estudio de la factibilidad de un sistema de monitoreo de temperatura y flujo de las caseteras de trefilado aplicable a la trefiladora WD01 en la planta de Beaumont* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio Cesar Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

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, el camino y el esfuerzo de mi carrera a mis padres, mi hermano y mi pareja que estuvieron apoyándome durante este proceso y me dieron fuerzas y motivos para completar esta meta.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios que se encargó de que este camino fuera posible, a mis padres por su dedicación, acompañamiento y por haber formado a la mujer que soy ahora, a mi pareja quien estuvo presente brindándome apoyo, a los compañeros que se han convertido en amigos que impulsaron mi crecimiento académico y personal, también la universidad de Antioquia y sus docentes que me formaron como ingeniera y sembraron en mí las ganas de ser una excelente profesional.

Por ultimo y no menos importante le agradezco a la empresa TURIA-WMC por la oportunidad de realizar mis prácticas en sus instalaciones, por brindarme acompañamiento en el proceso y guiarme en el comienzo de mi camino profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Planteamiento del problema	13
Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos.....	16
Marco teórico	17
Trefilado	17
Elementos de trefilado.....	17
Sistema de refrigeración KOCH.....	18
Descripción de la maquina koch WD01	19
Sistema de monitoreo	21
Alcance.....	21
Metodología	22
Evaluación del estado actual	22
Desarrollo del plan de investigación	27
Adquisición de señales.	27
• Adquisición de señales de temperatura	27
• Adquisición de señales de flujo.....	29
Transmisión de datos.....	30
Plataforma de transmisión y visualización de datos	32
Costos.....	35

Resultados	38
Discusión.....	39
Conclusiones	40
Recomendaciones.....	40
Referencias	41

Lista de imágenes

Imagen 1. Participación de los tipos de mantenimiento.....	14
Imagen 2. Promedio de participación de los tipos de mantenimiento.....	15
Imagen 3.Sistema de refrigeración de casetera	18
Imagen 4. tiempo de paradas por casetera y su afectación.....	23
Imagen 5 Grafica de tiempos.	24
Imagen 6. Imágenes termográficas de las caseteras	26
Imagen 7. Sobrecalentamiento en las caseteras	27
Imagen 8. Transmisor de temperatura Rosemount 648.....	30
Imagen 9. Montaje del sensor 0085 y el transmisor 648.....	31
Imagen 10. Transmisor de caudal 3051SMV	31
Imagen 11. Generación de alarma.	32
Imagen 12. Montaje de la simulación	33
Imagen 13. Código de simulación.....	34
Imagen 14.Tiempos de paradas wd01 por caseteras.	36

Lista de Tablas

Tabla 1. Descripción técnica trefiladora Koch.....	19
Tabla 2.Especificaciones de motor del paso 1	20
Tabla 3. Especificaciones de motor del paso 2-5	20
Tabla 4. Ejemplos de paradas y su afectación.....	23
Tabla 5 . Sensores de temperatura.....	29
Tabla 6. Sensores de flujo	29
Tabla 7. Cotización de sensores y transmisores Emerson.....	35
Tabla 8.Productividad promedio	36

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA American Psychological Association

Mgtr Magister

Ing Ingeniero

WMC Wire Mesh Corporation

UdeA Universidad de Antioquia

BW Beaumont

CA California

PA Pennsylvania

ILL Illinois

FL Florida

SC Sur Carolina

TX Texas

Resumen

Actualmente en el proceso de trefilado de acero y realización de mallas electrosoldadas se tienen monitoreadas las máquinas de algunas de las plantas para reportar todo tiempo de inactividad y así poder tener en cuenta los tiempos netos operativos según lo producido diariamente y las metas diarias para poder determinar qué tan eficiente es el proceso y poder realizar planes de mejora los cuales permitan incrementar la productividad de cada proceso.

En el proceso anteriormente descrito se hace un reporte de paradas de máquina, en las que se encuentran fallas recurrentes en las caseteras de trefilado en general para todas las plantas por lo que se pierden tiempos significativos en ajustes, reemplazos de componentes averiados, sobrecalentamientos y demás fallas; por lo cual se requiere monitorear esta parte fundamental para el proceso para poder realizar planes de acción preventivos y predictivos para disminuir tiempos de paradas y lograr un mejor performance de las líneas de trefilado.

Este proyecto tiene un enfoque principal en lograr un sistema de recolección de datos de temperatura y flujo del refrigerante de las caseteras por lo que se basa inicialmente en la investigación para la factibilidad del proyecto y a futuro poder llegar a lograr la instalación del sistema de monitoreo y poder observar los resultados de este en generar alertas tempranas para un mantenimiento predictivo.

Palabras clave: Trefilado, casetera, temperatura, flujo, monitoreo.

Abstract

Currently, in the steel drawing and electro welded mesh production process, the machines of some of the plants are monitored to report the times when the machines are not working and thus be able to take into account the net operating times according to the daily production and daily goals in order to determine how efficient the process is and be able to make improvement plans to increase the productivity of each process.

In the process described above, a report of machine stoppages is made, in which recurring failures are found in the drawing cassettes in general for all the plants, so that significant time is lost in adjustments, overheating and other failures; therefore, it is required to monitor this fundamental part of the process in order to make preventive and predictive action plans to reduce downtime and achieve a better goal.

This project has a focus on the collection of temperature data and coolant flow of the cassettes, so it is based initially on research for the feasibility of the project and in the future to achieve the installation of the monitoring system and to observe the results of this to generate early warnings for predictive maintenance.

Keywords: drawing, cassette, temperature, flow, monitoring.

Introducción

Según los históricos entre los años 2020 al 2023 sólo en la trefiladora WD01 de la planta de Beaumont se han tenido más de 90 horas de paros por causa de las caseteras de los cuales 25 horas son de paradas por fallas inesperadas también llamadas paradas por performance dentro de la empresa, estos elementos pueden presentar desajustes por sobrecalentamientos por la fricción del proceso, atorones y demás fallas las cuales tienen repercusión en el tiempo operativo de la máquina reduciendo la producción diaria y evitando el logro de objetivos trazados por la empresa; actualmente no se tiene muy claro en qué casos se presentan frecuentemente este tipo de percances por lo que se requiere monitorear el comportamiento de estos elementos clave para realizar planes de mejora y planes de mantenimiento de estos.

El proyecto tiene como objetivo el estudio de la factibilidad de un sistema de monitoreo para poder observar las temperaturas del líquido refrigerante tanto a la entrada como a la salida de la casetera y así mismo el flujo de este con ayuda de sensores y dispositivos que permitan la visualización de dichas mediciones y la generación de alertas si estas mediciones se salen de un rango permisible.

Por lo anterior se comenzará con una etapa investigativa y de recolección de datos para luego plantearle una propuesta de sistema de monitoreo para comenzar a trabajar en este, teniendo en cuenta costos de instalación de la tecnología que se utilizará. Para esta etapa del proceso se harán cotizaciones de equipos y elección de estos dependiendo de las ventajas y beneficios que se puedan conseguir de estos. Cabe recalcar que el alcance del desarrollo físico de este proyecto es dependiente del costo de este y del tiempo que se dé para desarrollarlo por lo que se hará en una etapa posterior para implementación futura. Inicialmente se hará el desarrollo del estudio desde el punto teórico y se realizará en compañía del líder y del equipo de productividad, además del asesor de prácticas el cual estará disponible para el asesoramiento en este proyecto en caso de dudas o de necesitar información acerca de las máquinas o los procesos.

Planteamiento del problema

En el contexto del trefilado es fundamental el control de temperatura del proceso, ya que al ser un proceso de deformación en frío los materiales adquieren ciertas propiedades mecánicas las cuales son útiles para las aplicaciones deseadas y el aumento de temperaturas en el proceso genera cambios en sus propiedades y aún más importante detiene el proceso de producción, daña y desgasta las herramientas de trabajo.

Como se ha comentado anteriormente y se profundizará en el presente trabajo, se han medido los tiempos en los cuales la máquina trefiladora 1 marca Koch de la planta de Beaumont ha parado por causas de las caseteras las cuales son inesperadas, por lo cual se propone el monitoreo de una de las partes más importantes de esta máquina que son las caseteras, este proyecto se propone abordar las siguientes problemáticas identificadas:

1. Falta de monitoreo preciso de la temperatura del refrigerante:

Actualmente no se tiene un sistema predeterminado para saber si el refrigerante está a la temperatura indicada por el fabricante por lo cual sucede muchas veces ya que la fricción del proceso y algunos otros factores como el ambiente o la falta de mantenimiento no permiten que las caseteras se enfríen de la forma correcta, por lo cual se presentan sobrecalentamientos de caseteras que disminuyen el tiempo productivo de la máquina disminuyendo su producción.

2. Falta de monitoreo del flujo de refrigerante:

Al igual que con la temperatura del fluido refrigerante; no se tiene un monitoreo constante de si este fluye correctamente en un caudal adecuado (Entre 6 y 10 L/min), esto se debe monitorear y revisar frecuentemente ya que el desgaste de herramientas y las vibraciones del proceso pueden generar obstrucciones del refrigerante.

3. Falta de alarmas tempranas para evitar el paro:

Además de los monitoreos anteriores, se necesita la generación de alertas tempranas de que los indicadores están por fuera del rango permisible, definiendo este rango lo mejor posible según las condiciones del ambiente y del proceso.

Solucionando dichos problemas planteados, se tiene como motivación futura, mejorar los planes de mantenimiento y de producción.

Actualmente en lo que ha transcurrido del año 2023(Enero-Septiembre) se tienen en la planta de BW los siguientes tipos de mantenimiento por mes mostrados en la imagen 1, donde se puede ver que los más relevantes son el mantenimiento correctivo, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo planeado.

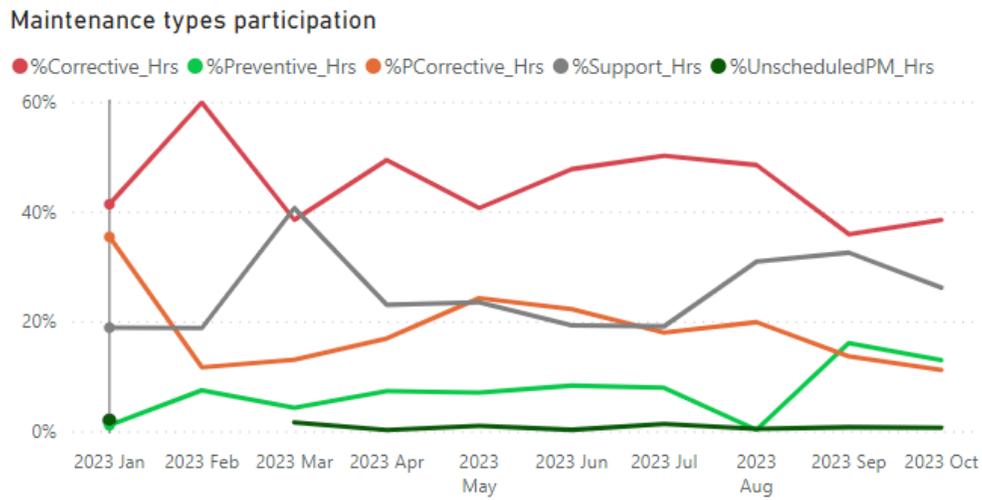


Imagen 1. Participación de los tipos de mantenimiento.

Teniendo como promedios de participación en el año un 45% de mantenimientos correctivos, 19% de correctivos planeados y 7% de mantenimientos preventivos como se ilustra en la imagen 2.

Promedio de participación de los tipos de mantenimiento (Ene-Nov 2023)

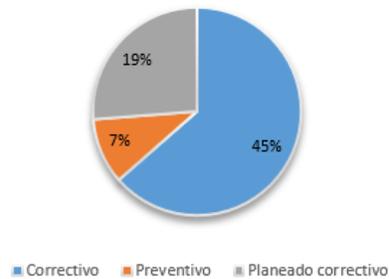


Imagen 2. Promedio de participación de los tipos de mantenimiento.

Según Alcántara (2019), en su informe sobre la conferencia TECMA 2019 indica que el uso de las tecnologías de monitoreo de la industria 4.0 han traído beneficios hasta del 60% de incremento del tiempo productivo y han reducido costos hasta en un 12% en cuanto al mantenimiento correctivo; por lo que podemos decir que utilizando un sistema de monitoreo y generación de alarmas en una maquina se puede reducir el costo de mantenimientos correctivos y correctivos planeados.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la investigación, formulación y propuesta de un sistema de monitoreo de temperatura y flujo en las caseteras de trefilado.

Objetivos específicos

- Identificar el mejor sistema de monitoreo que permita generar planes de mejoramiento y mejora para las caseteras de trefilado.
- Analizar la factibilidad de una plataforma de visualización de los datos anteriormente mencionados que cumpla con la comunicación mediante red para la visualización de los datos desde la planta de Beaumont en Estados Unidos hasta Medellín Colombia.
- Proponer una mejora en planta para reducir los tiempos de paros por performance que impiden cumplir las metas de producción.
- Socializar con la empresa sobre la implementación de sistemas tecnológicos útiles y de viabilidad económica para la planta que además se acoplen perfectamente a las necesidades del proyecto y a la máquina específica de trefilado para que sea un prototipo de sistema a seguir por las demás máquinas y plantas.

Marco teórico

Trefilado

El trefilado es un proceso de transformación en frío del acero en el cual se tiene como materia prima un alambón producto de un laminado en caliente y se hace pasar por una casetera o hilera reduciendo así su sección transversal progresivamente. Este proceso se realiza en 7 etapas los cuales son:

1. Patentado: que es el tratamiento térmico el cual se le realiza al alambón para que este tenga estructura dúctil, en este caso en la empresa no realiza este proceso y se trabaja con composiciones de acero que permitan satisfacer las necesidades del cliente.
2. Decapado: Proceso de preparación superficial que consiste en la eliminación de la capa de óxido de hierro conocido como calamina.
3. Devanado: se hace para eliminar la forma del alambre ya que al venir en forma de bobinas estos tienden a adaptarse a dicha forma por lo que se utiliza un sistema de poleas.
4. Lubricado: el alambre por medio de una jabonera se lubrica para comenzar a deslizar en las rodajas, caseteras o dados que se encargan de reducir el diámetro.
5. Trefilado: Es el proceso de reducción de la sección transversal por medio de dados o rodillos en diferentes pasos según la máquina y la necesidad.
6. Enrollado: Proceso de preparación superficial que consiste en la eliminación de la capa de óxido de hierro conocido como calamina.

Elementos de trefilado

Caseteras Las caseteras son elementos que comprenden juegos de rodillos que se pueden ajustar axial y radialmente formando una apertura la cual es responsable de conceder el nuevo diámetro al material después de cada paso de la máquina, actualmente una casetera o hilera de rodillos está compuesta de 6 rodillos en 2 juegos de 3; el primero juego de rodillos le da al alambre una forma ovalada o triangular inmediata y el segundo juego de rodillos le otorga su forma redonda final, estos rodillos están equipados con un sistema de engranajes que permite ajustar la apertura de estos y también el sistema de casetera tiene un circuito de agua de refrigeración y lubricación lo cual reduce el calor del proceso.

Dados Los dados o hileras de trefilado son herramientas que tienen una abertura en forma de cono por la cual pasa el material durante el proceso de trefilado, son mecanizados con materiales de alta dureza comúnmente utilizado el carburo de tungsteno estos dados son montados en una caja la cual se encarga del soporte y la refrigeración en el proceso.

Algunos autores como (Karim El Amine, 2018) aseguran según sus estudios que el uso de las hileras de rodillos se ve reflejado en una mejor superficie del alambre en cuanto a los alambres de bajo y medio carbono, también según las conclusiones de sus estudios se muestra una desventaja en cuanto a la temperatura del proceso independientemente del acero trefilado teniendo una temperatura mayor en las caseteras que en los dados tradicionales.

Sistema de refrigeración KOCH

Según el manual de la maquina trefilador Koch que se encuentra ubicada en la planta de Beaumont, el proceso tiene refrigeración fija al interior de la casetera y es refrigerado mediante agua en aproximadamente 10°C a un flujo de 75 Lt/h.

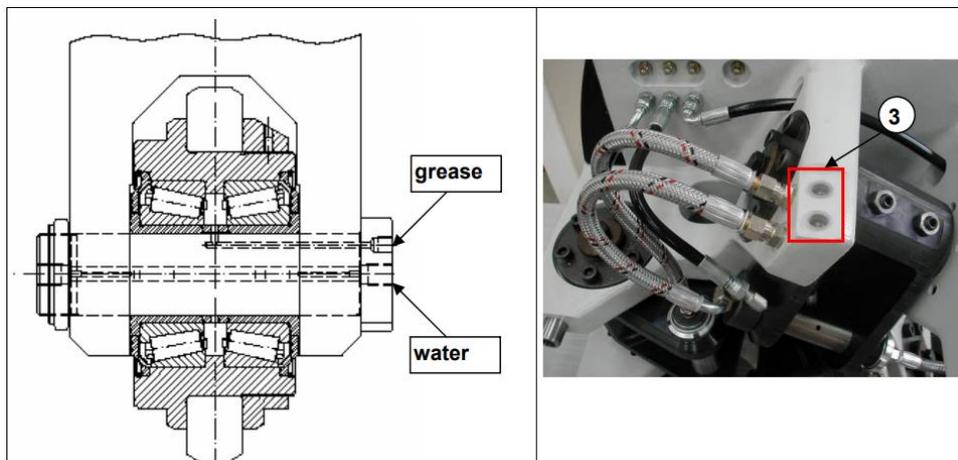


Imagen 3. Sistema de refrigeración de casetera

En la imagen 3 se muestran las tuberías de entrada y salida y cuando se realizan montajes y al ser mangueras fijas en la máquina, cuando se realizan montajes y desmontajes de caseteras estas solo son desconectadas de una casetera para ser conectadas en otra.

El sistema de enfriamiento general de agua en la planta funciona por medio de un chiller, el cual es encargado de eliminar calor del líquido refrigerante en este caso agua por medio de procesos de compresión y expansión, en este caso se debe asegurar que el chiller este en optimo funcionamiento y se le realicen procesos de mantenimiento.

Descripción de la maquina koch WD01

La trefiladora marca Koch que se encuentra identificada como WD01 en la planta de Beaumont es una trefiladora múltiple KGT 27/5 -L desde la fábrica esta trefiladora cuenta con 5 bloques y algunas de sus especificaciones se pueden encontrar en la tabla 1.

Parameter	Data	
Customer	Wire Mesh Corporation	
Commission no.	27.845	
Machine-Type	KGT 27/5-L	
Dimensions	See foundation plan	
Weight	15000 kg	
Noise level	max. 85 dB(A)	
Drawing range:	Inlet:	Ø 5,5 - 8,0 mm
	Finished	Ø 3,2 - 6,4 mm
	hardness inlet/ finished [N/mm ²]:	400 - 500 600 - 850
Size of drawing capstans	Ø 710 mm (all blocks)	
Max. drawing speed	22,0 m/sec.	
Drawing capstan cooling	Water	
Water requirement	75 liter/h per 1 KW effective drive rating, at t = 10 C	
Water pressure	min. 2-3 bar	
Skipping blocks	4+5	
Connection figures, pneumatic system		
Operating pressure:	min. 6 bar	
Drive performance block:	Block 1	90 kW
	Block 2-5	75 kW

Tabla 1. Descripción técnica trefiladora Koch

Se tiene de la tabla 1, que la trefiladora puede trabajar diámetros iniciales desde 5.5 a 8 mm y trefilar hasta diámetros de 3.2mm; todos sus bloques son de 710 mm de diámetro y su máxima velocidad de trefilado es de 22 m/seg, Esta máquina se refrigera con agua a 10 °C y 75 L/h por cada KW de potencia efectiva con una presión de 2-3 bar.

Por otro lado, la maquina cuenta con 5 motores uno por cada bloque y el primero siendo diferente los demás bloques ya que en el proceso de trefilado el primer paso es el que normalmente requiere más fuerza y tiene un mayor porcentaje de reducción de la sección transversal, entonces podemos ver el torque del primer motor de 573 Nm y su capacidad de 90kW a 104kW en comparación a los motores de los bloques 2-5 donde su torque es de 477 Nm y su capacidad de 75 kW a 86 kW estos datos y algunas especificaciones adicionales se pueden ver en las tablas 2 y 3.

Parameter	Data	
1 pcs.	SIEMENS	
Typ	1LE1592-2DB22-1AF6-Z D39+F70+G11+L22+M01+M11+R10+R62+Y82	
rating at	380 V	440 V
capacity	90 kW	104 kW
Number of revolutions	1500 Upm	1800 Upm
Torque	573 Nm	552 Nm
Voltage	220 V/380 V	440 V
Current	295 A / 170 A	170 A
Frequency	50,6 Hz	60,6 Hz
Lubrication		
Lubrication quantity:	30 g	
Lubrication period:	8000 h	
Lubricant:	Esso Unirex N3	

Tabla 2. Especificaciones de motor del paso 1

Parameter	Data	
4 pcs.	SIEMENS	
Typ	1LE1592-2DB02-1AF6-Z D39+F70+G11+L22+M01+M11+R10+R62+Y82	
rating at	380 V	440 V
capacity	75 kW	86 kW
Number of revolutions	1500 Upm	1800 Upm
Torque	477 Nm	456 Nm
Voltage	220 V / 380 V	440 V
Current	250 A / 146 A	142 A
Frequency	50,6 Hz	60,6 Hz
Lubrication		
Lubrication quantity:	30 g	
Lubrication period:	8000 h	
lubricant:	Esso Unirex N3	

Tabla 3. Especificaciones de motor del paso 2-5

Sistema de monitoreo

Los sistemas de monitoreo son instrumentos responsables de proveer información sobre el desempeño de un sistema para alimentar y fundamentar la toma de decisiones y generar intervenciones tempranas.

Un sistema de monitoreo o adquisición de datos según Di polo (2013), se basa en la toma de datos de interés de una maquina utilizando dispositivos que logren captar las señales que se necesitan y deben tener como elementos básicos los sensores, el acondicionamiento de las señales, el hardware del sistema de adquisición, el software en el que serán mostradas las señales.

Alcance

El presente proyecto se abarcará con el alcance que se describe en Hernández, Fernández, Baptista (2014) en donde será una investigación cuantitativa que se describe en un enfoque explicativo y otro enfoque descriptivo en el cual el primero se encarga de la parte investigativa del problema que trae consigo una serie de soluciones en este caso el sistema y dispositivos de medición y por otro lado está el enfoque descriptivo en donde se especifican los equipos que se utilizaran para medir y recolectar información.

Metodología

Evaluación del estado actual

La empresa WMC realiza dos procesos que son el trefilado del alambón y mallas electrosoldadas, cada proceso es de suma importancia ya que se comercializan ambos productos; pero el trefilado se convierte en parte primordial ya que para la formación de mallas se utiliza el alambre trefilado; por esta razón el proceso de trefilado requiere el monitoreo necesario para producir la cantidad de alambón para cumplir con las metas planteadas.

Down times actuales por causas asociadas a las caseteras

Con la finalidad de tener métricas e información confiable sobre los tiempos reales productivos en la empresa se miden los tiempos en los cuales la maquina se para y deja de producir, sea por motivos de fallas, mantenimientos, tiempos de comidas, juntas entre otros; esto es beneficioso ya que junto con el tiempo programado y la producción real se puede obtener las eficiencias del cada maquina y cada turno del día; esta información es recopilada en el aplicativo de Power BI empresarial el cual utilizan diferentes áreas de la empresa para tener mejor visualización del funcionamiento de las plantas las cuales son Beaumont, Illinois, Pensilvania, California, Sur Carolina, Carrolton, Florida y Texas.

Desde las bases de datos que se tienen de la planta de Beaumont específicamente de las trefiladoras las cuales son WD01, W02, WD03, WD05, WD06 se pueden filtrar las afectaciones asociadas a las caseteras, entre estas pueden estar ajustes, sobrecalentamientos, alineado de rodillos, engrasado de caseteras y muchos otros los cuales son divididos en afectaciones por performance y afectaciones por availability de las cuales las ultimas son aquellas que son previstas por la operación como los engrasados que se deben hacer periódicamente y las afectaciones por performance son las que son imprevistos de la operación como el sobrecalentamiento y fallas de las caseteras, en este caso se muestran las paradas de las 5 trefiladoras ya que este problema se presenta de forma general, más adelante se presentaran los paros asociados a las caseteras solo de la trefiladora WD01 para centralizar más sus costos y productividades.

Se puede observar en la imagen 4 según la base de datos los tiempos en minutos que ha parado las máquinas de la planta según su afectación donde se tiene una afectación por paradas de availability de 7200.5 min y 31293 min de paradas por performance que equivale a 521.55 horas de paradas indeseadas que afectan la productividad de la máquina.

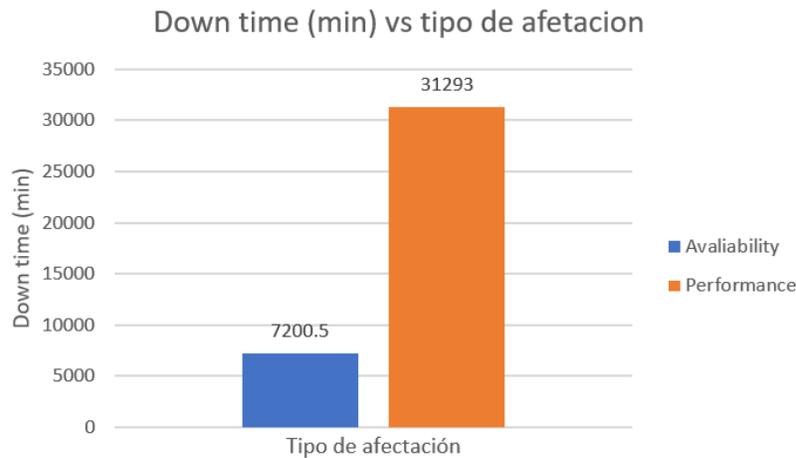


Imagen 4. tiempo de paradas por casetera y su afectación

Para tener más claro el tipo de paradas que se pueden presentar en las caseteras, a continuación, se presentan en la tabla 4 los paros más comunes que se dan por esta causa y su tipo de afectación.

Descripción	Tipo de afectación
Engrase de caseteras	Availability
Limpieza de caseteras	Availability
Ajuste de caseteras	Performance
Falla en casetera	Performance
Sobrecalentamiento en casetera	Performance
Alineación de caseteras	Performance
Lubricación casetera	Performance
Pruebas de casetera	Availability

Tabla 4. Ejemplos de paradas y su afectación

Para comprender mejor estas afectaciones en el tiempo neto y en la eficiencia, podemos observar en la imagen 5 la descripción de los tiempos que se manejan en la empresa.



Imagen 5 Grafica de tiempos.

En donde el tiempo calendario es el tiempo del turno programado, normalmente se trabajan en turnos de 12 horas a este tiempo se le debe restar el tiempo por paradas de disponibilidad y de esta resta resulta el tiempo operativo disponible, pero por algunas razones surgen paradas por performance las cuales deben restarse al tiempo operativo disponible obteniendo así el tiempo neto que se traduce al tiempo en el cual la maquina estuvo trabajando.

Sabiendo esto, se debe hallar la productividad real (ton/h) como se muestra en la ecuación 1 donde:

$$Productividad\ real\ \left(\frac{ton}{h}\right) = \frac{Produccion\ real\ (ton)}{Tiempo\ neto\ (h)} \quad (1)$$

Esta se calcula según la formula como la producción real en toneladas que es enviada desde planta y evidencia la cantidad de producido en un turno de un material específico dividido el tiempo neto que es el programado menos las paradas de disponibilidad y performance, al este tiempo neto ser mayor tenemos que la productividad real será menor y viceversa.

La productividad real es una medida de la eficiencia y más que esto una medida de la producción efectiva en el proceso de trefilado ya que es una relación entre los resultados que se obtuvieron en el turno y el recurso tiempo empleado es el logro de estos.

Por otra parte; el cálculo de la eficiencia se realiza de acuerdo con un estándar el cual en trefilado se tienen en cuenta parámetros como la velocidad de la máquina, el calibre de alambre que se está trabajando, el peso del carrete y los tiempos del proceso para luego ser utilizado en el cálculo del objetivo de toneladas o producción objetivo que se muestra en la ecuación 2 y luego la eficiencia que se puede calcular como muestra la ecuación 3.

$$\text{Produccion objetivo (ton)} = \text{Tiempo operativo disponible (h)} * \text{Estandar} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) \quad (2)$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\text{Produccion real (ton)}}{\text{Prduccion objetivo (ton)}} \times 100 \quad (3)$$

Imágenes ilustrativas de la temperatura de las caseteras

A continuación, se presentan imágenes proporcionadas desde las plantas de las caseteras de trefilado, estas imágenes son desde la cámara termográfica donde se pueden ver las temperaturas internas manejadas.

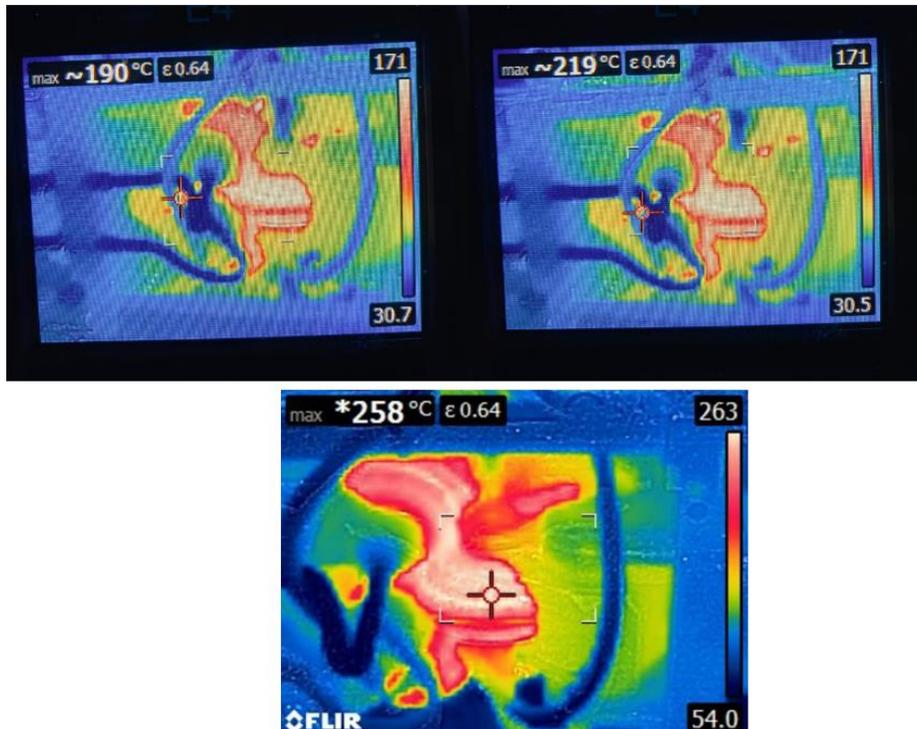


Imagen 6. Imágenes termográficas de las caseteras

En estas fotos mostradas en la imagen 6 podemos observar temperaturas máximas de 190 °C, 219°C, 258°C lo que implica temperaturas altas de trabajo, implicando sobre calentamientos y demás averías de las máquinas y el material de trefilado, ya que el material puede comenzar a generar cambios en sus propiedades.

Cuando se genera un sobrecalentamiento de casetera este puede ser por causas de la temperatura del agua refrigerante o por la falta de flujo adecuado de este; esto puede llegar hasta el encendido de las caseteras como se muestra en la imagen 7 y en muchas ocasiones los operarios no saben cómo solucionar este problema corriendo altos riesgos.



Imagen 7. Sobrecalentamiento en las caseteras

Desarrollo del plan de investigación

El plan de investigación a emplear tiene una metodología de algunas fases las cuales son, adquisición de señales, transmisión de datos y visualización de datos.

Adquisición de señales.

Inicialmente, se debe realizar la identificación de las variables a censar, dentro de esta fase podemos ver el análisis realizado para cada variable a monitorear permitiendo abarcar mucho mejor la selección de los implementos a utilizar.

- **Adquisición de señales de temperatura:**

La temperatura es una magnitud asociada a el calor y es una magnitud escalar que se relaciona con la energía interna de un sistema como el aire, el agua y los objetos.

Los sensores de temperatura tienen el objetivo de transformar valores de tensión y resistencia dependientes de la temperatura y luego convertirlos en una señal de salida de voltaje o amperaje que conjunto a otros dispositivos electrónicos se pueden simplificar en mediciones de unidades de temperatura.

Para la aplicación de las caseteras de trefilado, se hizo reuniones con empresas las cuales se dedican a los suministros de tecnologías aplicadas a los productos industriales, entre estas la empresa Emerson que es reconocida por la calidad de su sensórica y en dichas reuniones se seleccionaron varios tipos de sensores que pueden ser útiles para la aplicación los cuales se presentan en la tabla 5.

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
 <p>Sensor tipo abrazadera Rosemount 0085</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Reduce puntos de fuga por su fácil instalación. -Calcula una medición precisa mediante la conductividad térmica. -Mantenimiento del sensor sin paradas del proceso. -Evita tensiones causadas por presión, caudal y vibración. -Rango de medición de - 200°C a 300°C 	<ul style="list-style-type: none"> -Precisión ligeramente menor que los sensores de contacto directo. -Dependen del material del objeto a medir. -Puede verse afectado con las vibraciones altas produciendo desajustes.
 <p>Sensor de temperatura Rosemount 214C</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Rango de medición de - 196°C a 600°C -Al ser utilizado en un termo pozo se protege más el sensor de la corrosión y ambientes adversos. -compatibilidad con diferentes materiales 	<ul style="list-style-type: none"> -La instalación y mantenimiento pueden afectar la continuidad del proceso. -Retardo en la respuesta del sensor ante cambios rápidos. -costo adicional en la creación del termo pozo. -Mayor tamaño y peso. -Solo se puede instalar en diámetros de tubería mayores a ½”

 <p>Termoculpa 214 a</p>	<ul style="list-style-type: none"> -medición de temperaturas desde -200°C a 650°C -Fácil instalación -Es compatible con las vibraciones. -Puede ser soldado o acoplado dependiendo del material de la tubería. 	<ul style="list-style-type: none"> - solo mide la temperatura superficial del tubo. -Se ve afectado en poca medida por la temperatura ambiente.
---	--	---

Tabla 5 . Sensores de temperatura

Uno de los requerimientos en cuanto a los sensores de temperatura es que nos permita la medición de temperatura alrededor de los 10°C que es la recomendación de la temperatura del agua refrigerante y todos los sensores propuestos cumplen con esta condición fundamental.

- **Adquisición de señales de flujo**

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
 <p>Caudalímetro Rosemount 3051SFC</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Medición precisa y de múltiples variables. -Rango amplio hasta de 2000 Psi (137,89 bar). -Tasa de actualización de medidas desde 1 seg a 60 min. -Bajo costo de mantenimiento -Aplicable a una alta gama de calibres de tubería. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se debe contar con el tiempo de parada para su instalación. -No se puede utilizar con caudales de aguas turbias.

Tabla 6. Sensores de flujo

Transmisión de datos.

Los transmisores son dispositivos que se conectan a los sensores para difundir señales en otros lugares con el fin de monitorear y controlar, estos productos son aptos para casi todas las aplicaciones e industrias, su función es tomar la señal de temperatura y flujo aislándolas de las demás señales convirtiéndola y amplificándola en señales de 4-20 mA o de 0-10VCC para su uso posterior mediante un software para realizar la visibilización o control.

DISPOSITIVOS DE TRANSMISION

- **Transmisor de temperatura Rosemount 648**



Imagen 8. Transmisor de temperatura Rosemount 648

Referencia: 648DX1D1NAWA3WK1PTC1XA

Data sheet: [Data sheet transmisor temperatura 648](#)

Este transmisor tiene una gran ventaja y es que su tecnología es Wireless por lo que no requiere conexiones cableadas, además tiene entradas universales lo que quiere decir que es posible utilizarlo con una termorresistencia, termocupla etc; esto es una ventaja ya que el sistema puede variar o se puede querer a futuro añadir otro tipo de sensores para los cuales este transmisor funcionaria perfectamente.

En este caso, se opta por trabajar en conjunto con el sensor tipo abrazadera por sus grandes ventajas y algo importante a considerar es que este es adaptable a varios calibres de tubería por lo que tiene más adaptabilidad al proceso y a la máquina.

El montaje del sensor Rosemount 0085 y el transmisor Rosemount 648 sería el mostrado en la siguiente imagen.

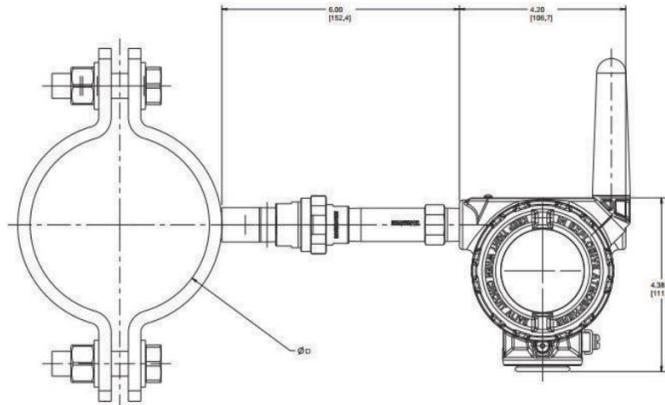


Imagen 9. Montaje del sensor 0085 y el transmisor 648

Donde sus especificaciones de medidas material y demás se deben hacer en conjunto con la empresa para mayor satisfacción de la necesidad y presupuesto.

- **Transmisión de caudal Rosemount 3051SMV**



Imagen 10. Transmisor de caudal 3051SMV

Referencia:3051SMV2M41NNN2A12A1AWR3

Data sheet: [Data sheet transmisor de caudal3051SMV](#)

En cuanto a este dispositivo es un transmisor multivariable lo que quiere decir que junto con el sensor adecuado este puede transmitir datos de presión, caudal, temperatura; además se tiene que este puede tener varias entradas por lo que su acondicionamiento es más fácil entre los 4 bloques. Este transmisor según la recomendación de los agentes de Emerson debe ser utilizado con un caudalímetro de la serie Rosemount 3051 SF, algunas de las ventajas de esta combinación es que

obtiene medidas con mejor rendimiento de medida en rangos más amplios y se permite compensar las variaciones de medida de una mejor forma cuando estos elementos están combinados.

Plataforma de transmisión y visualización de datos

Para la visualización de datos se tiene en cuenta que la empresa cuenta con Apache pulsar y se utiliza diariamente para transmisión de datos, estas plataformas funcionan con un sistema de ingestión y exportación de datos a través de conectores que en algunos casos tienen procesos ETL (Extracción, transformación, y carga) y otras veces procesos ELT (Extracción, carga y transformación).

Pulsar es una plataforma nativa de la nube perteneciente a java/C++/Python el cual presenta los datos de encendido y paradas de las maquinas, por lo que se puede implementar otro subtema en la plataforma para la demostración de datos del sistema de monitoreo, por lo que en este trabajo se limitara a la búsqueda de los sensores y transmisores ya que llegado este punto se tiene una reunión con pulsar para agregar la visualización de los datos en la plataforma de transmisión.

Una opción que se podría implementar en pulsar es una alarma la cual se pueda ver en la plataforma de la siguiente forma como en la imagen 11 de igual forma se definiría esto más adelante junto con los agentes de pulsar y el equipo de productividad, para definir los rangos permisibles de las variables.



Imagen 11. Generación de alarma.

Una opción mucho más acertada es utilizar una alarma en plata donde por medio de una luz o un sonido se alerte al operario cuando la variable a tratar esté llegando al límite para que el operario tome las decisiones de las acciones a seguir para evitar el paro, esto se verá evidenciado más fácilmente en la simulación mostrada a continuación.

Simulación

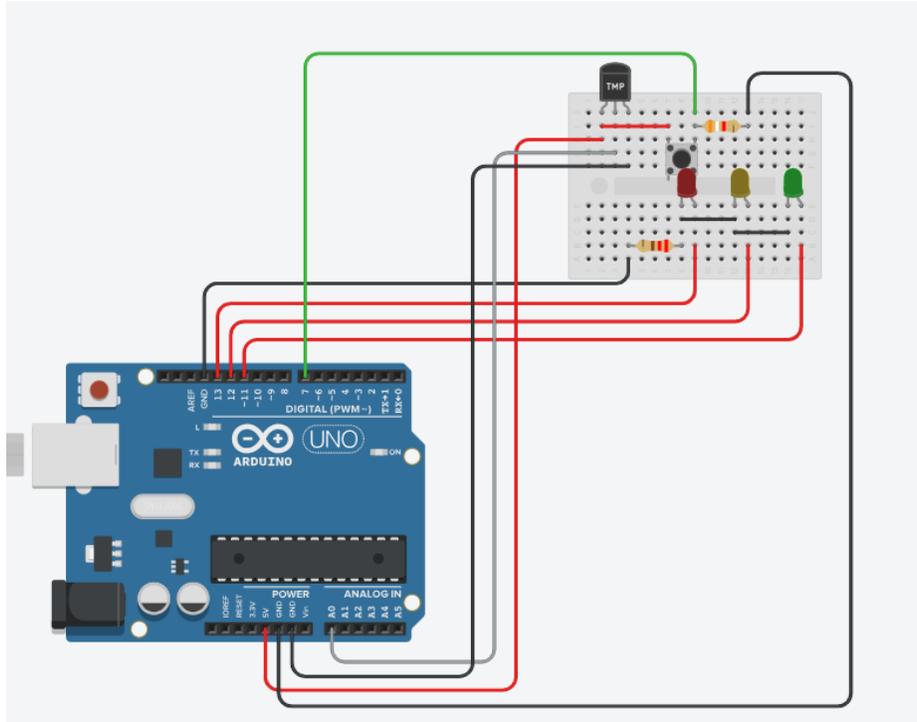


Imagen 12. Montaje de la simulación

En la simulación podemos ver un circuito básico con Arduino el cual se compone de un sensor de temperatura y tres leds con sus respectivos acoplamientos; en este caso solo se quiere demostrar el funcionamiento de un sistema de alerta y esto se es posible con un circuito básico como estos.

El código utilizado en esta simulación es el siguiente, este código como lo podemos ver es para la programación de Arduino en lenguaje C++

```
const int ROJ = 13;
const int AMA = 12;
const int VER = 11;
const int BOT = 7;

const int sensorPin = A0;

int val;

void setup()
{
  pinMode(BOT, INPUT);
  pinMode(ROJ, OUTPUT);
  pinMode(AMA, OUTPUT);
  pinMode(VER, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
}

if (val == HIGH)
{
  Serial.print("Temperatura= ");
  Serial.println(temp);
}

if (temp < 75)
{
  digitalWrite(VER, HIGH);
  delay(600);

  digitalWrite(VER, LOW);
  delay(600);
}

if (temp < 100 && temp > 75.1)
{
  digitalWrite(AMA, HIGH);
  delay(600);

  digitalWrite(AMA, LOW);
  delay(600);
}

void setup()
{
  pinMode(BOT, INPUT);
  pinMode(ROJ, OUTPUT);
  pinMode(AMA, OUTPUT);
  pinMode(VER, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int sensorVal = analogRead(sensorPin);
  float voltaje = (sensorVal * 5.0)/1024.0;
  //Serial.print("Voltaje= ");
  //Serial.println(voltaje);

  int temp = (voltaje - 0.5) * 100;
  val = digitalRead(BOT);

  if (temp > 100.1)
  {
    digitalWrite(ROJ, HIGH);
    delay(300);

    digitalWrite(ROJ, LOW);
    delay(300);
  }
}
```

Imagen 13. Código de simulación.

Se puede observar en la imagen 13 que el rango de temperatura aceptado en este caso se escogió aleatoriamente con carácter demostrativo y fue menos de 75°C en el cual el monitoreo se encuentra encendido en el led verde, un dato del sensor entre 75°C y 100° es una alerta amarilla lo que quiere decir que en este rango el operador debería realizar las acciones impidiendo que se llegue a un estado rojo que serían lecturas del sensor de más de 100°C.

Costos

En comunicación con el equipo de Emerson los cuales ayudaron en brindar asesoría en el tema se hizo una pre-cotización de los equipos sugeridos los cuales están sujetos a cambios esto dado a que en visita a planta o ahondando más en el tema de las especificaciones de los equipos pueden surgir cambios en estas especificaciones o en el equipo completo, recordando que esta es solo una sugerencia en cuanto al sistema de monitoreo.

En la imagen 7 se puede observar dicha cotización, está dada a 4 sensores y 4 transmisores, ya que se le planteó a el proveedor que se contaba con 4 bloques; pero siendo objetivos el proyecto se debe probar y es eficiente y suficiente con al menos 1 sensor y un transmisor por variable; esto quiere decir que se pondrían para la casetera más crítica y se escalarían los valores para las demás; en este caso la casetera principal y más crítica es la casetera del último bloque ya que este corre a mas alta velocidad para compensar a longitud del alambre por lo que implica más calentamiento por fricción.

Item	Descripción	Cant.	Ud.	Valor Unitario	Valor Total
SUMINISTRO					
1	3051SMV2M41NNN2A12A1AWR3	4	ud	USD 7.247,14	USD 7.247,14
	0304RW52B21B4				
2	0085N3P1J0080P0022AM1XA	4	ud	USD 7.943,81	USD 7.943,81
	648DX1D1NAWA3WK1PTC1XA				
				SUBTOTAL	USD 15.190,95
				I.V.A. 19%	USD 2.886,28
				TOTAL	USD 18.077,23

Tabla 7. Cotización de sensores y transmisores Emerson.

Para analizar el costo beneficio del proyecto se puede realizar un análisis general donde se realiza un promedio de productividad real de la maquina trefiladora 1 en os años estudiados del 2021 al2023.

Año	Productividad real (Ton/h)
2021	1.45
2022	1.40
2023	1.48
Promedio	1.44

Tabla 8.Productividad promedio

Así, la productividad promedio de estos 3 años es de 1.44 ton/h lo que quiere decir que en promedio se están produciendo 1.44 toneladas por cada hora trabajada.Ahora si miramos el tiempo de afectación solo de la maquina WD01, podemos ver cuantas toneladas se están dejando de producir.

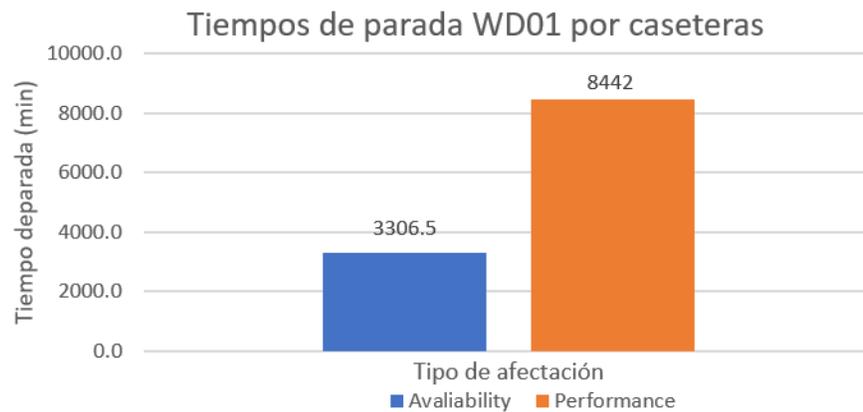


Imagen 14.Tiempos de paradas wd01 por caseteras.

Como se observa en la imagen 14 se ha tenido un tiempo de 8442 min por paradas por lo que se han perdido 141 horas de producción tan solo en esta máquina.

Lo que quiere decir que si multiplicamos el numero de horas que se ha dejado de producir por el promedio de toneladas producidas por hora como se muestra en la ecuación 4, podríamos obtener lo que se decidió llamar toneladas perdidas.

$$\text{Toneladas perdidas (Ton)} = \text{productividad promedio} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) * \text{Horas perdidas(h)} \quad (4)$$

$$\text{Toneladas perdidas(Ton)} = 1,44 \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) * 141 \text{ (h)} = 203 \text{ ton}$$

Esto indica que se han dejado de producir 203 toneladas por un tiempo de parada de 141 horas, esto demuestra la afectación en la productividad de la maquina en especifico que afecta la productividad de la planta y el logro de objetivos.

Por otro lado, se hace necesario ver el beneficio de la inversión que se está proponiendo para justificar mejor el proyecto entonces logramos ver en la ecuación 5 la afectación que se ha tenido en dinero que se ha dejado de ganar en dicho tiempo, considerando que el margen de utilidad promedio es de 200 dólares por tonelada.

$$\text{Afectacion en dinero(USD)} = 203 \text{ ton} * 200 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} = 40.600 \text{ USD} \quad (5)$$

En conclusión, han dejado de entrar a la empresa 40.600 USD, que si estas afectaciones de tiempo no existieran se podrían haber ganado.

Esta afectación esta vista desde hace 3 años que es igual a 36 meses lo que seria igual a que por mes han dejado de entrar a la empresa un total de 1.128 USD aproximadamente por lo que la inversión inicial que es un total de 18.000 USD se recuperaría en 16 meses.

Resultados

Inicialmente se recolectaron datos históricos de paradas ocasionadas por causa de las caseteras para la planta de Beaumont en los últimos 2 años y posteriormente se analizaron los datos para tener una vista más clara de estos.

Se mostró la necesidad de monitorear la maquina trefiladora y sus caseteras dado al histórico de paradas y a las imágenes de estos elementos sobrecalentados hasta el punto de estar incendiados, lo que da a entender que se tiene un problema en la línea de enfriamiento y teniendo el sistema de monitoreo se puede prevenir futuras paradas por dichas causas.

Se realizó la búsqueda y cotización de los sensores que se propone utilizar para la conformación del sistema de monitoreo donde se seleccionó tanto el sensor como el transmisor de temperatura y de flujo en base a las recomendaciones de los fabricantes.

Se definieron ventajas y desventajas de los sensores propuestos para la implementación del sistema de monitoreo para lograr escoger correctamente los adecuados para la aplicación.

Se realizó la simulación de un prototipo explicativo de como funcionaría un sistema de alerta según la sensorica pudiendo observar un poco de las conexiones básicas que se deben hacer en una medición de temperatura y flujo y la generación de alertas cuando los datos recolectados se encuentren fuera del rango permisible.

Discusión

Según la propuesta dada del sistema de monitoreo, analizaremos según un enfoque estratégico para saber si la implementación de esta mejora es viable y beneficiosa para la máquina WD01 y la planta. Esta discusión se basa en analizar los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos planteados y descubrir si estos fueron cumplidos.

En cuanto a el histórico y el análisis de los datos esta parte fue esencial en este proyecto ya que ayuda a comprender la frecuencia y comprender el tiempo productivo y u afectación en las eficiencias de las máquinas.

La evidencia de las temperaturas trabajadas en las caseteras mostradas en las imágenes proporciona un resultado visible que respalda la necesidad de la inversión en el proyecto donde se evidencia que es crucial para mantener la eficiencia operativa y evitar daños repetitivos de caseteras.

En cuanto a la selección de sensores se piensa que es una elección responsable ya que está respaldada por los fabricantes y asesores lo que nos brinda más fiabilidad y precisión de los sensores que se propusieron utilizar ya que adicionalmente y con ayuda de las hojas de datos de dichos sensores se realizó las tablas de ventajas y desventajas que muestran una evaluación completa antes de la propuesta de su implementación.

En resumen, se piensa que los resultados obtenidos obedecen a el objetivo general planteado para este informe ya que se realizó la investigación, formulación de un sistema de monitoreo de flujo y temperatura en la casetera de trefilado de la WD01 de la planta BW y se presenta una propuesta que se piensa factible y necesaria.

Conclusiones

El estudio preliminar realizado, generó claridad acerca de los tiempos de paradas por performance y por disponibilidad que tiene la empresa; además, se mostró claramente la cantidad de afectaciones por las caseteras que ha habido en la trefiladora Koch estudiada durante los últimos 2 años, validando y reafirmando la necesidad de implementación del proyecto.

Se concluye dado a las referencias citadas en el texto que un sistema de monitoreo mejora la fluidez de los sistemas de producción logrando prevenir sucesos indeseados como lo estamos proyectando en este proceso, además se requiere la implementación de este ya que podremos reducir costos de mantenimientos correctivos.

Los sensores recomendados en este proyecto fueron los hallados óptimos y necesarios para la aplicación y se recomienda su uso desde el estudio realizado del sistema de enfriamiento de la máquina y las recomendaciones dadas, de igual forma esta escogencia tiene una percepción personal por lo que se recomienda el estudio a profundidad con opiniones desde el conocimiento en persona de la máquina y desde opiniones diversas del equipo encargado.

La simulación mostrada es únicamente un prototipo simple de un sistema de generación de alarmas de temperatura y flujo lo cual hace más visible lo que se quiere generar a la escala real y con los sensores escogidos en la máquina trefiladora.

Recomendaciones

Inicialmente se recomienda que se continúe el seguimiento de las paradas de las caseteras teniendo claro en que situaciones se dan las paradas más largas por temperaturas altas, teniendo un registro de dichas paradas para el futuro de la implementación del proyecto de monitoreo.

Este proyecto es un proyecto de un estudio investigativo por lo que en el caso de comenzar la implementación de este se recomienda la revisión de cada ítem junto con una visita a planta para tener mayor tangibilidad del sistema a tratar.

Antes de la implementación completa del sistema se recomienda hacer una prueba piloto con la casetera del último paso, recopilando la información obtenida y escalándola a las caseteras de los pasos anteriores, analizando la efectividad de este, siendo negativa esta respuesta del escalamiento de las variables alertadas entonces se deben utilizar los sensores en cada paso o en los pasos que se vea más críticos según el histórico de paradas.

Adicionalmente se recomienda la generación de planes de mantenimiento preventivo para los elementos de trefilado de la casetera, con la implementación del sistema de monitoreo se pueden basar dichos planes en los resultados que se obtengan del proyecto.

Referencias

Alcántara. (2019). Conferencias TECMA. *Vanguardia industrial*.

Karim El Amine, J. L. (2018). Experimental comparison of roller die and conventional wire drawing die. *ELSEVIER, Journal of materials processing tech*, 8.

polo, D. (2013). Data acquisition systems.

Productividad y mantenimiento. (s.f.). Obtenido de Power BI:
<https://app.powerbi.com/groups/af224bae-a144-4bfc-90d9-278d7de08268/list?ctid=0bd5d348-70a7-4e01-92d1-818e0e836823&experience=power-bi>

Pulsarm1. (s.f.). Obtenido de <https://app.pulsarm1.com/dashboard>

Roberto hernandez, C. f. (2014). Metodlogia de la investigacion.