

Mejora de la productividad mediante la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo a una planta de laminación en caliente.

Walter Xavier Vásquez Roldan^a, Victor Guadalupe Echeverria.^a

^a Facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaqui, Ecuador
walxavas@espol.edu.ec, vguadalu@espol.edu.ec

Resumen

El presente proyecto se desarrolla en una empresa que se dedica a la fabricación de productos largos de acero para cubrir la necesidad del mercado de construcción a nivel nacional, la creación de empresas que presentan productos similares han ocasionado una competencia por ganar el mercado, exigiendo a la empresa en mejorar su proceso productivo, para lograr esto se debe de contar con departamentos de apoyo que cumpla con sus funciones eficientemente, tal es el caso del departamento de mantenimiento mecánico quien es el responsable de otorgar equipos que cumplan con las funciones y exigencias del proceso.

Al realizar un análisis de la situación actual de la empresa se observa que la mayoría de las actividades son del tipo correctivo.

La finalidad de este proyecto consiste en elaborar un plan de mantenimiento predictivo que mejore la productividad de la empresa, controlando y monitoreando los equipos considerados críticos, realizando mantenimientos basados en condición.

Se emplea la técnica de la termografía infrarroja determinando comportamientos térmicos de cada uno de los equipos y elementos de la línea de producción, el diagnóstico del equipo ayuda indudablemente a la planificación de las actividades de mantenimiento.

Para el control de la gestión del departamento de mantenimiento mecánico de laminación se calcula con frecuencia mensual los Kpi's.

Palabras Clave: Plan de mantenimiento predictivo, Termografía Infrarroja.

1 Introducción

Dentro de toda empresa es necesario poner atención al cuidado de las máquinas para que trabajen en buenas condiciones y no presenten interrupciones en la línea de producción por averías ocurridas, es por ello que dentro de la empresa se cuenta con departamentos que se dedica a la manutención de la maquinaria, tanto en su parte eléctrica, electrónica y mecánica.

La maquinaria recibe tres tipos de mantenimiento, el correctivo, preventivo y predictivo, esto depende de cuan controlado se tiene el proceso, la mayoría de los mantenimientos corresponden a correctivos conociendo de la falla justo cuando este presenta problemas, el costo relacionado es alto porque lleva consigo repuestos averiados, producto no conforme, perdidas en velocidad de producción, desperdicios, incumplimiento de las metas propuestas.

El cuidado que se otorga a cada equipo no es el mismo, se considera y se analiza la criticidad del equipo dependiendo de la importancia en producción, seguridad y medio ambiente.

2 Generalidades

2.1 Antecedentes

Debido al mercado cambiante y a la creación de nuevas empresas que ofrecen los mismos productos se había optado por realizar modificaciones en el proceso de producción, uno de los más importantes fue la inversión realizada en el Tren Laminador por el año 2006 con la finalidad de aumentar su productividad, la adquisición fue realizada por la compra e instalación de nuevas cajas laminadoras incluyendo un lecho de enfriamiento, en el año 2011 se realiza la adquisición de un termo proceso que sirve para mejorar las propiedades mecánicas del material, especialmente su dureza, resistencia y tenacidad.

Cada año se establece nuevas metas de producción medidas en toneladas producidas, para cumplir con lo propuesto se requiere que los equipos se encuentren en buenas condiciones.

Las paradas imprevistas en la línea de producción alejan o demoran el cumplimiento de las metas propuestas, las interrupciones son registradas diariamente por parte del jefe de turno, designa de primera mano una causa de la falla direccionando el tiempo al departamento que corresponde, al final de cada mes producción presenta un informe con información de las toneladas producidas, tiempo disponible, tiempo de paradas por parte de cada departamento.

2.2 Objetivo general

Desarrollar un plan de mantenimiento predictivo con la finalidad de monitorear las condiciones de funcionamiento de los equipos críticos de la planta de laminación en caliente.

2.3 Objetivos específicos

- Determinar la criticidad de los equipos en la planta de Laminación en Caliente, determinando así las frecuencias de monitoreo.
- Conocer los tipos de monitoreo que el Departamento Mecánico está en la capacidad de realizar, considerando los recursos existentes para dichas actividades.
- Interpretar, analizar y evaluar resultados obtenidos por parte de los tipos de monitoreo, con la finalidad de determinar las condiciones de los equipos de la sección de estudio.

- Realizar una comparación económica entre la forma de intervenir el equipo que ha llegado a falla versus la planificación basado en un análisis de mantenimiento predictivo.

2.4 Metodología.

Para el desarrollo del proyecto se recopila información de los informes diarios realizados por parte de los técnicos de mantenimiento, se revisa los registros y documentación de la empresa para diagnosticar la situación actual, analizarla, determinar los requerimientos para la implementación del plan, implementar el plan y determinar políticas de control, ver figura 2.1.

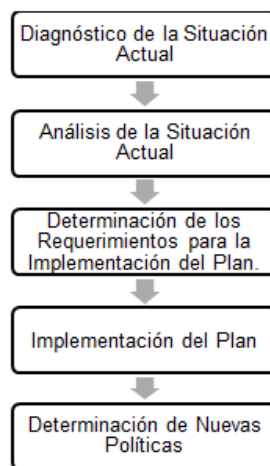


FIGURA 2.1 Metodología aplicada.

2.5 Estructura del proyecto de graduación.

El proyecto esta estructura por 6 capítulos, que se explican a continuación.

- En el capítulo 1, se describe los antecedentes, objetivo general, específicos, la metodología a seguir y la estructura del proyecto.
- En el capítulo 2, presenta información indispensable para comprender el desarrollo del proyecto.
- En el capítulo 3, se presenta información de la empresa.
- En el capítulo 4, criterios de diseño de un plan de mantenimiento predictivo utilizando termografía infrarroja.
- En el capítulo 5, se presenta resultados de la aplicación de la termografía.
- En el capítulo 6, redacta las conclusiones y recomendaciones del desarrollo del proyecto.

2.6 Justificación

El desempeño del departamento de mantenimiento mecánico de laminación en caliente se mide y se controla mensualmente mediante indicadores, la disponibilidad y confiabilidad de los equipos es importante para alcanzar las metas propuestas.

Las fallas de elementos y sistemas mecánicos generan tiempos improductivos que pueden acarrear costos financieros altos debido a la degradación y rotura de sus componentes, si el equipo interfiere directamente a la línea de producción y no existe equipo de back up se realiza un mantenimiento correctivo para que el equipo entre nuevamente en funcionamiento.

El tiempo para la reparación aumenta cuando no está disponible el repuesto, cuando la falla ocurre en el turno diferente al de la mañana la reparación queda a criterio del técnico, el trabajo es bajo presión y las decisiones varían.

Existen algunos factores por lo que el repuesto no se encuentra disponible listo para usar.

- La falla no fue anticipada.
- Técnico de mantenimiento no conoce de la existencia del repuesto en bodega principal.
- Repuesto no se encuentra en el mercado local.
- Proceso de compra muy extenso por políticas internas de la empresa.

Para brindar un mejor servicio e incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos al menor costo se realiza mantenimientos basado en condición para lo cual se requiere de técnicas que permitan diagnosticar el estado de los equipos con la finalidad de tomar las mejores decisiones en cuestión de la planificación de los mantenimientos.

3 Orientación de mantenimiento

Mantenimiento corresponde al conjunto de actividades realizadas en un equipo, sistema o componente con la finalidad de que se mantenga en un estado de funcionamiento, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad adecuada a las necesidades del proceso productivo.

El mantenimiento en el área que se desarrolla este proyecto se debe de orientar principalmente a la mantenibilidad y disponibilidad de los equipos a la que se encuentra ajustada por los requerimientos del proceso productivo, para cumplir con los objetivos planteados por la Gerencia de Mantenimiento tiene dos alternativas como son el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), y el mantenimiento productivo total (TPM).

El RCM es una filosofía de gestión que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento a realizarse a cada equipo con sus respectivas frecuencias.

El TPM es un sistema de mantenimiento que tiene como objeto principal cuidar y utilizar los sistemas productivos, manteniéndolos en su estado base aplicando sobre ellos mejora continua, este sistema involucra a todos los trabajadores de la empresa desde los altos directivos hasta los operadores.

3.1 Tipos de mantenimiento

Entre los tipos de mantenimiento se cita los siguientes.

Mantenimiento correctivo. Se dedica a reparar el equipo después de sufrir una avería, volviendo a sus condiciones originales por medio de la restauración o reemplazo de componentes o partes del equipo provocado por desgastes, daños o roturas.

Mantenimiento preventivo. Es una actividad planificada en cuestión a inspección, detección y prevención de fallas, con la finalidad de mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación, Se ejecuta frecuencias dinámicas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y el historial de fallas de los equipos, este se divide en dos tipos, que son.

- Mantenimiento periódico.
- Mantenimiento predictivo.

Mantenimiento proactivo. Se define como una metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de las máquinas. Mediante esta metodología se busca encontrar la causa raíz, no solo el síntoma.

3.2 mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo utiliza equipos de diagnóstico con modernas técnicas de procesamiento de señales para las mediciones de diversos parámetros, determinando las condiciones del equipo durante su operación normal asociando a la ocurrencia de fallas.

La inspección y evaluación de los parámetros se puede realizar en forma periódica o en forma continua dependiendo de diversos factores como son el tipo de equipo, los tipos de fallas por diagnosticar y la inversión que se pueda realizar, lo importante de la utilización de este mantenimiento es de no interferir al funcionamiento normal de la planta mientras se aplica.

En el mantenimiento predictivo se puede aplicar varias técnicas de monitoreo entre las que se detalla a continuación.

- Termografía infrarroja.
- Ultrasonido.
- Análisis de vibración.
- Análisis de aceite.
- Análisis espectral de intensidad de corriente.
- Ensayos no destructivos.

El mantenimiento basado en la condición se enfoca hacia las soluciones puntuales y no hacia la intervención general de la maquinaria, en la figura 3.1 se muestra las técnicas a utilizar en el dominio del predictivo según modo de fallo.

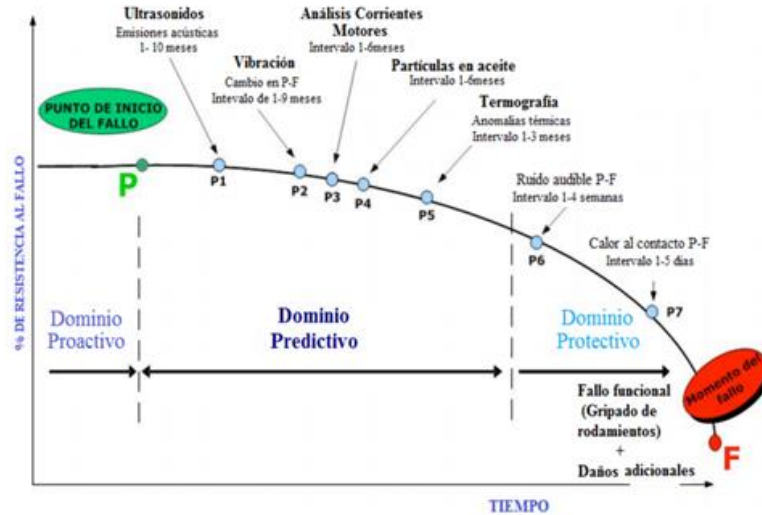


FIGURA 3.1 Técnicas a utilizar en el dominio predictivo según modo de fallo.

3.3 Análisis de vibración

El análisis de vibración es uno de los métodos concretos utilizados en un plan de mantenimiento predictivo, los cambios de las condiciones de una máquina a menudo produce un cierto grado de vibración, y no resulta difícil establecer una relación medible e interpretable entre el tipo, intensidad y frecuencia de las vibraciones y el aspecto del estado de la máquina.

3.4 Análisis de aceite

Es otra técnica utilizada en el mantenimiento predictivo debido a que la presencia de partículas muy pequeñas de materiales como la arena y polvo puede ser detectada en una muestra de aceite con la finalidad de tomar las acciones correctivas para evitar que cause deterioro a las partes más delicadas del equipo.

El análisis de aceite mide algunas propiedades químicas y físicas con la finalidad de otorgar información acerca de:

- Salud del aceite.
- Contaminación del aceite.
- Desgaste de los componentes de la máquina.
- Presencia de humedad.

3.5 Termografía infrarroja

La termografía es una técnica utilizada en mantenimiento predictivo cada vez más utilizada en las industrias, utiliza cámaras de mediciones para observar la energía térmica emitida por un objeto, la energía térmica o infrarroja es la luz que no resulta visible debido a que su longitud de onda es demasiada larga como para ser detectadas por el ojo humano, es la parte del espectro electro magnético que se percibe en forma de calor.

En el mundo infrarrojo cualquier elemento cuya temperatura este por encima del cero absoluto, emite calor, aun los objetos que son muy fríos como los cubos de hielo emiten infrarrojo, entre más alta sea la temperatura del objeto mayor es la radiación infrarroja emitida.

4 Plan de mantenimiento predictivo aplicando termografía.

Para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo se debe de analizar primero cuales son los equipos y elementos que presenta más severidad en la línea de producción, y luego realizar mediciones termogáficas analizando cada una de ellas.

4.1 Criterio de diseño para el plan de mantenimiento predictivo

Para el diseño del plan de mantenimiento predictivo se utilizara la matriz de criticidad la cual permite establecer jerarquías entre los equipos de la planta de laminación en caliente, en cuanto con el impacto ambiental, perdida de producción y daños a las instalaciones, facilita a la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, los criterios respectivos ubica a cada ítem en una de las siguientes posibilidades.

- Criticidad baja.
- Criticidad media.
- Criticidad alta.

Para determinar la criticidad de un equipo se utiliza la siguiente matriz de frecuencia por consecuencia de la falla ver tabla 1.

TABLA 1 Matriz de criticidad de equipos.

MATRIZ DE CRITICIDAD						
Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5

A	Criticidad Alta
M	Criticidad Media
B	Criticidad Baja

Para la estimación de la frecuencia se utiliza la tabla en donde se revisa los informes de producción para observar la frecuencia de fallas de los equipos.

TABLA 2 Matriz de estimación de frecuencias.

CRITERIOS PARA ESTIMAR LA FRECUENCIA			
Categoría	Tiempo Promedio entre Fallas, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0,1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0,01 < \lambda \leq 0,1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0,001 < \lambda \leq 0,01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0,001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 1000 años.

La estimación del impacto que tiene cada falla hacia, la seguridad del operador, cuidado del medio ambiente, pérdida de producción y costos asociados a las instalaciones de la planta se utiliza la tabla.

TABLA 3 Matriz estimación de la categoría de consecuencias.

Matriz de Daño a las Instalaciones.					
Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción.	Daños a la instalación.
5	Muerte o incapacidad total permanente.	Muerte o Incapacidad total permanente.	Daños irreversibles al ambiente.	Mayor a 200 mil	Mayor a 200 mil
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas.	Incapacidad parcial, permanente.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones.	De 100 mil a 200 mil	De 100 mil a 200 mil
3	Daños o enfermedad es severas de varias personas de la instalación.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	De 50 mil a 100 mil	De 50 mil a 100 mil
2	Tratamiento médico o primeros auxilios.	Tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 10 mil a 50 mil	De 10 mil a 50 mil
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 10 mil	Hasta 10 mil

4.2 Proceso de inspección.

El proceso de inspección consiste en cubrir los equipos seleccionados en el plan de mantenimiento predictivo aplicando termografía infrarroja, realizar el análisis de la imagen, si existe una anomalía térmica se busca cual es el factor que causa la alteración, se emite un reporte técnico del estado en el que se encuentra, si este amerita pronta intervención se da seguimiento y apoyo a la planificación de las actividades a realizarse, luego de que se haya intervenido el equipo esperamos que llegue a la temperatura de trabajo y se realiza otra medición, ver figura

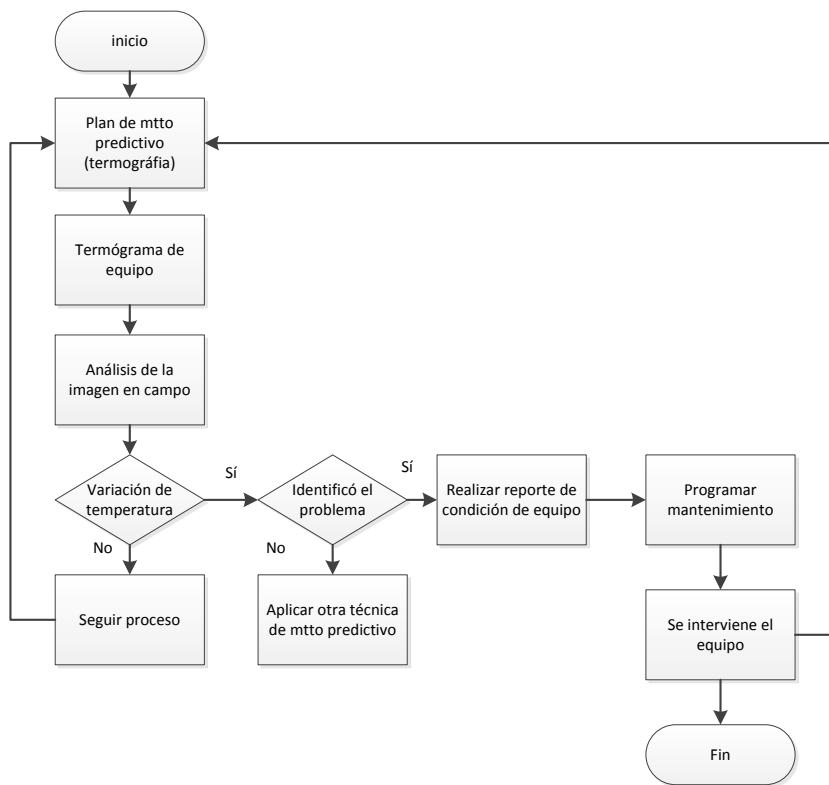


FIGURA 4.1 Proceso de inspección.

4.3 Frecuencia de inspección termográfica.

Las frecuencias recomendadas para la inspección tienen relación directa con la criticidad del equipo, los resultados de las inspecciones darán paso a la modificaciones de la frecuencia, para algunos equipos se puede extender o reducir, se registra toda la información adquirida para analizar en forma periódica.

4.4 Rutas de inspección termográfica

Las rutas de inspección son creadas debido a la criticidad y frecuencia de inspección de cada equipo, las rutas deben de ser establecidas de manera que cubran las inspecciones en equipos que se encuentran en la misma área.

4.5 Informes de los resultados del análisis de termografía

Se cumple con el plan de mantenimiento predictivo, cubriendo las rutas designadas, se genera informes de los resultados de los análisis de cada uno de los equipos y elementos, los informes son enviados por correo electrónico al especialista del área y al supervisor.

Dentro de los reportes de termografía consta una imagen en rango visible y la misma imagen en rango infrarrojo, debe de contener datos importantes como es la emisividad utilizada, la temperatura aparentemente reflejada, la utilización de marcadores, al momento de analizar se muestra en unas tablas mencionando la temperatura en las que se encuentran.

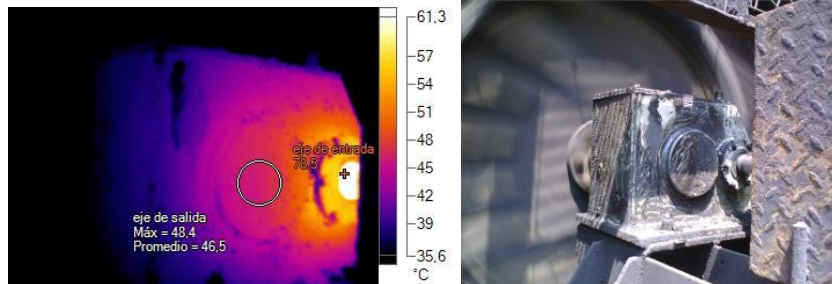
Uno de los equipos analizados corresponde al reductor del ventilador #2 de la torre de enfriamiento de agua tipo B, al analizar la imagen se observa que presenta una temperatura máxima en el eje de entrada llegando a un valor de 78.5°C con una emisividad de 0.9 y temperatura aparentemente reflejada de 36.8°C, para el cálculo de estas variables se realizó el proceso de estimación utilizando un deflector y cinta aislante.

Siguiendo el proceso de inspección se envía el reporte al supervisor de mantenimiento mecánico para que realice la planificación que cubra el reemplazo del equipo.

En la figura se presenta la imagen térmica y otra en el rango visible se utiliza la paleta de color tipo acero, las partes más brillantes son las que se encuentran con mayor temperatura.

Reductor # 2 del ventilador de la torre de enfriamiento de agua Tipo B

INFRARROJO- VISTA NORMAL



Marcadores de la imagen principal

Nombre	Promedio	Máx	Emisividad	Segundo plano
eje de salida	46,5°C	48,4°C	0,90	35,1°C

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
eje de entrada	78,5°C	0,90	35,1°C

FIGURA 4.2 Reductor ventilador 2 de torre tipo B

5 Análisis de resultados del plan de mantenimiento predictivo.

5.1 Evaluación de resultados.

La razón por la que la termografía infrarroja es una herramienta tan útil y especial es la posibilidad de trabajar con imágenes, el hecho de observar la imagen térmica es buscar posibles anomalías, para analizar los resultados se utiliza dos métodos que son los cualitativos y cuantitativos.

5.2 Análisis cualitativo

El análisis cualitativo es utilizado para revelar y localizar la existencia de posibles anomalías y evaluarlos, las características del análisis cualitativo son:

- Analiza patrones térmicos en la imagen.
- Determina si existe alguna anomalía.

- Determina el sitio donde se encuentra la anomalía.
- Se basa solo en temperatura aparente.
- Esta lectura se realiza primero.

5.3 Análisis cuantitativo

En este análisis cuantitativo se utiliza la medida de la temperatura como criterio para determinar la gravedad de un problema y así designar su prioridad de intervención para la reparación.

Las características del análisis cuantitativo son:

- Clasifica la severidad de las anomalías.
- Menciona la medida de temperatura.
- Se realiza compensación.

5.4 Delta t o variación de la temperatura

La medida de Delta t se utiliza para determinar cuánto se aleja la temperatura actual de un componente con anomalía y alguna temperatura de referencia valor normal, a esto se llama una medida cuantitativa comparativa.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- La termografía es una herramienta muy útil para la determinación del estado térmico de los elementos mecánicos, se puede conseguir de manera precisa mediante las utilidades de marcadores de imagen en donde se encuentre la radiación térmica que desee analizar.
- La termografía puede detectar y mostrar anomalías térmicas que no pueden ser visibles al ojo humano, con el objetivo de tomar decisiones al determinar el estado del equipo.
- Con el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo utilizando termografía se tiene información del comportamiento de los elementos de los equipos con relación al tiempo, se determina el comportamiento tendencial que ayuda a predecir de mejor manera el momento de la intervención.
- Las rutas implementadas sirven de guía técnica para la práctica que permita monitorear los diferentes equipos de la planta de laminación, obteniendo el estado térmico de cada uno.
- Uno de los factores para que el departamento de mantenimiento mecánico cumpla con las metas mensuales es evitando que los equipos fallen por problemas mecánicos, al realizar revisiones y ajustes se han podido evitar paradas innecesarias esto lo demuestra con el cumplimiento de las metas de los indicadores.

- En el mes de marzo se aprecia que la productividad fue mayor entre los últimos cuatro meses.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda las siguientes acciones para seguir mejorando la efectividad del sistema:

- Seguir monitoreando los equipos con la utilización de la termografía, tomando en consideración los valores de la emisividad y la temperatura aparentemente reflejada.
- La imagen debe de tener una alta calidad de resolución para que brinde un resultado confiable al realizar el análisis de la imagen.
- Evitar exponer el lente de la cámara a los rayos solares debido a que puede sufrir averías.
- Considerar la aplicación de monitoreo por vibraciones que mejore el conocimiento del estado de los equipos
- Revisar mensualmente el cumplimiento del plan de monitoreo por termografía infrarroja.

Agradecimientos

A mi madre quien me apoya en todo momento.

A Johanna mi esposa que en paz descansa por ser quien me impulso a seguir adelante.

A la Sra. Nube por el apoyo incondicional con el cuidado de mi hijo.

A mis hermanas que siempre estuvieron apoyando para la culminación de este proyecto.

Al Ing. Victor Guadalupe quién me dirigió en este proyecto.

Referencias

1. Cuatrecasas Arbós, L., & Torrel Martínez, F. (2010). *TPM en un Entorno Lean Management*. Barcelona: Profit.
2. Gutierrez, A. M. (2009). *Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicio*. Medellín: AMG.
3. Hill, C. W. (2004). *Administración Estratégica Un Enfoque Integrado*. México D.F: McGraw-Hill Interamericana.
4. Infrared Training Center. (2014). *Manual de Termografía Infrarroja*. Sorocoba: SP.
5. Páramo, J. (2010). *Tribología Centrada en Confiabilidad*. Guanajuato.
6. Raymond a., S., & Robert J., B. (s.f.). *Física Para Ciencias e Ingeniería* (quinta ed., Vol. 1). México: McGraw-Hill.
7. SKF AB. (2010). *Análisis de Vibración nivel 1 ISO 18436 W1202*. Bogota.
8. Tippens, P. E. (1991). *Física Conceptos y aplicaciones* (Tercera ed.). México: McGraw-Hill.