



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
APLICANDO TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO EN TERMOFORMADORA QUE TRABAJA
AL VACÍO PARA PIEZAS DE POLIETILENO Y ABS**

Douglas Rafaél Martínez Montes

Asesorado por el MSc. Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
APLICANDO TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO EN TERMOFORMADORA QUE TRABAJA
AL VACÍO PARA PIEZAS DE POLIETILENO Y ABS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DOUGLAS RAFAÉL MARTÍNEZ MONTES
ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Veliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
APLICANDO TERMOGRAFÍA Y ULTRASÓNIDO EN TERMOFORMADORA QUE TRABAJA
AL VACÍO PARA PIEZAS DE POLIETILENO Y ABS**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Posgrado, con fecha 28 de septiembre de 2018.

Douglas Rafaél Martínez Montes

AGS-MIMPP-017-2018

Guatemala, 29 de septiembre de 2018.

Director
Julio César Campos Paiz
Escuela de **Ingeniería Mecánica**
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Douglas Rafael Martínez Montes** con carné número **200413338**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

"Id y Enseñad a todos"

Maestro. Ing. Carlos Humberto Pérez R.
Asesor (a)

Doctora. Inga. Alba Maritza Guerrero
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611

Edgar Darío Álvarez Cotí
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.280.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación de la Coordinadora del Área de Gestión y Servicios de la Escuela de Estudios de Postgrado, modalidad Pregrado-Postgrado de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento, del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO EN TERMOFORMADORA QUE TRABAJA AL VACÍO PARA PIEZAS DE POLIETILENO Y ABS** del estudiante **Douglas Rafaél Martínez Montes**, CUI **2485948501401**, Registro Académico No. **200413338** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



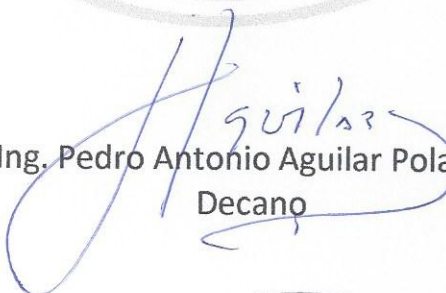
Guatemala, octubre de 2018

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO EN TERMOFORMADORA QUE TRABAJA AL VACÍO PARA PIEZAS DE POLIETILENO Y ABS**, presentado por el estudiante universitario: **Douglas Rafaél Martínez Montes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2018

/gdech



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. General.....	7
3.2. Específicas	7
3.3. Delimitación del problema	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
8. MARCO TEÓRICO.....	17
8.1. Definición de termoformado.....	18

8.1.1.	Calentamiento del semielaborado	20
8.2.	Temperatura.....	21
8.3.	Calor.....	22
8.3.1.	Termoformado al vacío	23
8.3.2.	Enfriamiento de la pieza termoformada.....	25
8.4.	Definición de mantenimiento predictivo.....	26
8.5.	Técnicas de ultrasonido	27
8.5.1.	Frecuencias del sonido	28
8.6.	Técnica de termografía	28
8.7.	Espectro electromagnético.....	29
8.7.1.	Criterios de aceptación eléctricos.....	30
9.	ÍNDICE PROPUESTO	33
10.	METODOLOGÍA	35
10.1.	Diseño	35
10.2.	Tipo de estudio.....	35
10.3.	Alcance	35
10.4.	Variables e indicadores.....	36
10.5.	Fases	36
10.5.1.	Fase1	36
10.5.2.	Fase 2	37
10.5.3.	Fase 3	37
10.5.4.	Fase 4	37
10.5.5.	Fase 5	37
10.6.	Recolección de la información	38
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	39

12.	CRONOGRAMA.....	41
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	43
14.	BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Puerta termoformada	17
2.	Molde para termoformado de HDF.....	19
3.	Área de calentamiento	20
4.	Controladora de temperatura marca Autonics.....	21
5.	Cronograma PID, para alcanzar una temperatura con mayor precisión.....	23
6.	Termoformado al vacío	24
7.	Pieza termoformada al vacío.....	24
8.	Bomba de vacío marca Becker	25
9.	Ventilador eléctrico.....	26
10.	Gráfico de condición versus tiempo de un elemento mecánico	27
11.	Espectro electromagnético.....	30
12.	Niveles de acción para el equipo eléctrico	31
13.	Cámara termográfica FLIR i3.....	31
14.	Cronograma de actividades	41

TABLAS

I.	Esquema de solución	15
II.	Factibilidad del estudio.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibeles
°C	Grados celcius
Kpa	Kilopascales
Psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
mmHg	Milímetros de mercurio
nm	Nanómetro
Ω	Ohmio

GLOSARIO

FOGEL	Es una marca comercial registrada de la empresa Fogel de Centroamérica, S.A.
<i>Food Service</i>	Es una empresa dedicada a la comercialización, distribución y almacenaje de productos comestibles e insumos necesarios.
FROSTER	Modelo de equipo de refrigeración.
PID	(Proporcional Integrativo Derivativo) es un mecanismo de control genérico.
Semielaborado	Materia prima para termoformar.

1. INTRODUCCIÓN

Fogel de Centroamérica es una empresa dedicada a la manufacturación de equipos de refrigeración comercial de alta calidad para supermercados, tiendas de conveniencia y *food service* a nivel mundial para diversas marcas reconocidas. Siendo la línea más completa de refrigeración comercial para satisfacer necesidades de frío desde el año 1967.

Debido al incremento de la demanda de piezas de polímeros en el mercado de refrigeración, bajo costo comparado con el acero y tiempos favorables para la manufactura de piezas de polímeros, fue viable el diseño y fabricación de una máquina termoformadora para incrementar la producción y reducir tiempos de entrega de piezas terminadas a las líneas de ensamblaje de equipos de refrigeración en planta de producción.

A partir del año 2012, el departamento de termoformado se ha encontrado con la necesidad de producir más piezas, lo cual cuenta con una sola máquina, la cual trabaja 24 horas continuas y 7 días a la semana, con poco tiempo para realizarle mantenimiento planificado, esto ha provocado que generen paros por mantenimiento correctivo y afecten la disponibilidad de la máquina.

Máquina que fue construida con éxito para las necesidades que se tienen dentro de la planta de producción. Pero como toda maquinaria necesita mantenerse en óptimas condiciones es necesario adecuarle un plan de mantenimiento acorde a las nuevas tendencias de mantenimiento que ayudará a minimizar los paros y costos de mantenimiento con base a técnicas de mantenimiento predictivo.

En muchas de las instalaciones industriales, el mantenimiento predictivo ha tenido un gran éxito con la ayuda de la tecnología como la técnica de termografía y la de ultrasonido, siendo estas dos técnicas aplicables a la máquina termoformadora, con esto se ayudará a mantener la calidad del proceso y las altas demandas de producción, así como también la utilización de los recursos de manera óptima como lo son el aire comprimido, electricidad, vacío y un mejor aprovechamiento de la vida útil de los elementos de la máquina.

El presente trabajo consistirá en realizar la ruta de monitoreo del circuito de vacío, neumático y rodamientos por medio de ultrasonido. La termografía se utilizará en motor de bomba de vacío, elementos eléctricos y resistencias del área de horno donde se calienta la materia prima a termoformar.

La investigación está contemplada en los siguientes capítulos:

En el primer capítulo, se describirá la técnica de termoformado al vacío y elementos que se utilizan en la máquina termoformadora, para realizar el proceso.

En el segundo capítulo, se desarrollará la investigación enfocándose en la máquina de termoformado al vacío, así como de sus componentes, para llevar a cabo una rutina de mantenimiento predictivo.

En el tercer capítulo, se presentarán los resultados obtenidos y se incorporarán a la rutina de mantenimiento e integrarlas a los formatos ya definidos por Fogel de Centroamérica, S.A., así como toda la documentación necesaria, para la implementación del plan de mantenimiento predictivo.

En el último capítulo, se hará mención, se analizará y discutirán los primeros resultados obtenidos por los equipos utilizados.

Finalmente, se encontrarán las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y apéndice del trabajo.

2. ANTECEDENTES

El mantenimiento predictivo se ha convertido en una filosofía en muchas plantas de producción a nivel mundial, ya que con las estrategias de reducción de costos que cada día son más rigurosas y nuevas normas de mantenimiento, como la gestión de activo de la ISO 55001 publicada a finales de 2014, que ayudan a mejorar la fiabilidad de los activos, muchas empresas han reaccionado y apuestan por una mejor gestión, además el mantenimiento centrado en fiabilidad RCM y “con una frecuencia adecuada de toma de datos, mejor se pueden identificar situaciones puntuales anómalas”. (Renovetec.com 2015, p.38). La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial ha representado un gran avance para la industria.

Uno de los métodos de mantenimiento más efectivos para detectar fallas es el predictivo, que está basado en medición y monitoreo de los estados de los sistemas o equipos y con el conocimiento adecuado en gestión de mantenimiento y parámetros que se establecen con base a las condiciones de operación podemos actuar a tiempo y aprovechar al máximo la vida útil de los equipos y aumentar la disponibilidad del mismo (García 2012). Picazo (2016) afirma: “El mantenimiento predictivo se puede definir como el seguimiento organizado con medición periódica o continua de variables de estado del sistema y su comparación con unos patrones preestablecidos, para la determinación del instante en que se debe producir la intervención para el mantenimiento” p 26. Este método de investigación ayuda a concluir que es uno de los mantenimientos más efectivos en la detección de fallas.

La termografía es una técnica que se ha utilizado en muchos ámbitos de nuestro entorno como lo es la industrial, construcción, en medicina para diagnóstico de algunas enfermedades, etc.; las primeras aplicaciones de termografía en la industria fueron en la medición de temperatura de cables de alta tensión en 1965, FLIR systems, (2011) convirtiéndose en una herramienta muy eficaz para cumplir con las normativas.

La empresa sueca Aga construye la primera cámara termográfica en el año de 1960, con propósitos comerciales y civiles. Luego toma auge en los 1990, con el desarrollo de la electrónica y la era digital, se ha convertido en una herramienta vital y muy útil en el mantenimiento. Academia Testo (2018) Historia cámara termográfica, Argentina, recuperado de <https://www.acdemiatesto.com.arg>

Otra de las técnicas utilizadas en mantenimiento predictivo es el ultrasonido es una herramienta END (ensayos no destructivos) que no dañan el equipo o elemento a revisar y tampoco tiene contacto físico, por lo que puede realizarse en un equipo en operación a una distancia segura, efectuando como dice la norma ASTM E1616 “procedimiento para la visión o la observación visual, características de un material o componente en un cuidado, de manera crítica”.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Fogel de Centroamérica, S.A. no se cuenta con un plan de mantenimiento predictivo de termografía y ultrasonido, para la máquina termoformadora por ser una máquina con elementos neumáticos a presión y eléctricos que producen alta temperatura por radiación, se considera necesario la utilización de técnicas de mantenimiento predictivo que contribuyan a mejorar la disponibilidad de la máquina termoformadora.

3.1. General

¿Qué técnica de mantenimiento deberá incluir el plan de mantenimiento para una termoformadora que trabaja al vacío para piezas de polietileno y ABS?

3.2. Específicas

Las preguntas específicas son:

- ¿Cuáles son las técnicas de mantenimiento predictivo que puedan aplicarse al diseñar un plan de mantenimiento a la termoformadora?
- ¿Cuáles son los parámetros, criterios de aceptación y línea base para inspecciones?
- ¿Cuáles deben ser los parámetros en pre alarma y alarma para mantener la máquina en condiciones de operación?
- ¿Con qué frecuencia deberá monitorearse la termoformadora?

3.3. Delimitación del problema

Toda la investigación se desarrollará en la planta Fogel de Centroamerica, S. A. ubicada en 3ª. Avenida 8-92 lotificación el Rosario zona 3 de Mixco ciudad de Guatemala, en la maquina termoformadora que trabaja al vacío para piezas de polietileno y ABS.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo está basado en la línea de investigación de gestión del mantenimiento, específicamente en la aplicación de tipo predictivo en el departamento de termoformado de Fogel de Centroamérica, S.A., que es un departamento crítico para la producción de equipos de refrigeración, es razonable que con la técnica se logre reducir los paros no programados y tiempos muertos ocasionados por fallas inesperadas que se pueden detectar antes de llegar al fallo total y programarlas para su reparación en menor tiempo posible y tiempos controlados.

Con una adecuada gestión de mantenimiento predictivo y el compromiso de la gerencia de mantenimiento es viable implementar la técnica y lograr el objetivo planteado.

Con el diseño de un plan de mantenimiento predictivo para la máquina termoformadora, es factible para el departamento de producción de Fogel de Centroamérica, S. A. cumplir con las demandas de piezas fabricadas por el proceso de termoformado, obteniendo una mejor calidad en sus productos y un menor tiempo del proceso, cumpliendo con los estándares establecidos.

Actualmente se cuentan con técnicas de mantenimiento predictivo como la termografía y ultrasonido industrial, lo cual es de mucha ayuda para la obtención de datos y tener una estadística precisa del estado de los componentes de máquinas y con ello actuar en el momento preciso. Evitando paros innecesarios no programados y los consecuentes atrasos en producción, debido a que para corregir una falla se debe esperar el descenso de

temperatura de hasta una hora y media y se obtendrían grandes beneficios, como evitar el costo de operación reduciendo horas extras y aumentando la calidad de vida de los operadores.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo con las técnicas de ultrasonido y termografía para la máquina termoformadora que trabaja las piezas de polietileno y ABS en Fogel de Centroamérica, S.A.

5.2. Específicos

1. Describir las técnicas de ultrasonido y termografía al plan de mantenimiento predictivo a la máquina termoformadora.
2. Determinar los parámetros, puntos y elementos de la máquina, en los cuales serán tomadas las mediciones por ultrasonido y termografía, de acuerdo a la criticidad.
3. Establecer los valores de pre alarma y alarma para mantener la máquina en condiciones de operación mediante normas ANSI/NETA.

Establecer la frecuencia con la que será monitoreado el equipo con base a los análisis de las lecturas iniciales y variaciones encontradas por las técnicas de ultrasonido y termografía analizadas durante la investigación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con el presente estudio se pretende solucionar los problemas de disponibilidad y mejora del equipo, reducir los costos de mantenimiento para la termoformadora.

Se reducirán las horas hombres en los turnos, debido que al producirse una falla en el equipo, deben prolongar su horario de trabajo con horas extras, para recuperar lo que se dejó de producir por la falla.

Se minimizarán los consumos eléctricos del sistema de calentamiento y se optimizará la vida útil de los componentes eléctricos.

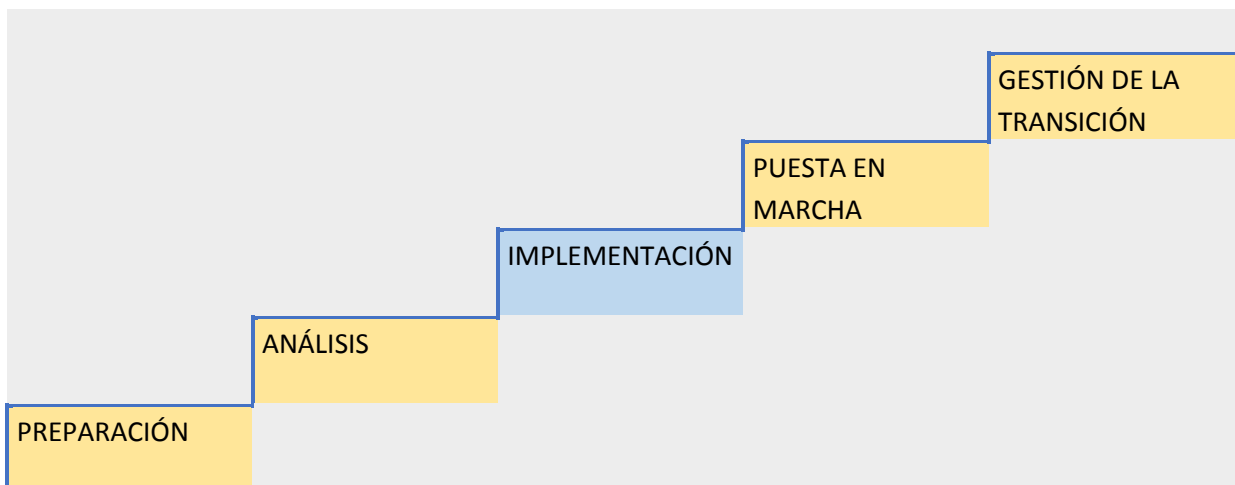
Se alcanzará un sistema de vacío totalmente hermético, para evitar pérdidas y se obtendrá un ciclo corto al momento de formar la pieza.

Se trabajará de manera segura, debido a que las lecturas y la inspección, se hará con un equipo que permite realizarla a una mayor distancia del técnico y la máquina.

7. ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente esquema de solución es de tipo escalonado con el propósito de que se lleve a cabo de manera dinámica y que favorezca a la mejora continua en cada una de sus fases que a continuación se describen.

Tabla I. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

- Preparación: involucrar al departamento de mantenimiento orientándolo y capacitándolo en las nuevas técnicas a implementar.
- Análisis: evaluación de los diversos equipos a utilizar y necesidades de los usuarios a cubrir e identificación previa en cuanto a la creación de informes.
- Implementación: configuración y estandarización técnica y funcional, para lograr alcanzar el éxito del proyecto.

- Puesta en marcha: hacer pruebas piloto, analizar la información recolectada y estudiar si es necesario realizar cambios o ajustes.
- Gestión de la transición: al finalizar la implementación, debe darse un seguimiento de la adopción de la técnica de mantenimiento predictivo, para dar soporte a los usuarios y gestionar el mantenimiento de forma correcta y evolutiva.

8. MARCO TEÓRICO

La técnica de termoformado se ha practicado con mucho éxito en la industria y ha evolucionado a pasos agigantados, siendo muy importante para el desarrollo de la industria y la utilización de polímeros.

Las nuevas necesidades del mercado de refrigeración, cada día son más exigentes y las normativas en la industria con respecto al medio ambiente se va haciendo más rigurosas, dependiendo en qué mercado quiera ingresar, estas dependerán de la ubicación del mercado, por ejemplo, el estadounidense es más exigente que el centroamericano, lo cual conlleva a que la maquinaria utilizada, para el proceso de termoformado evolucione con nuevas tecnologías como la automatización industrial, que a la vez requiere mantenimiento mayor calificado, los nuevos polímeros con nuevas propiedades, para una mejor innovación en los acabados de los productos termoformados como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. **Puerta termoformada**



Fuente www.fogel-group.com.

8.1. Definición de termoformado

El termoformado es un proceso en el cual se alcanza a dar forma a una lámina plástica, por medio de transferencia de calor y la utilización de un sistema de vacío (600 a 760 mmHg), dándole forma por medio de un molde que puede ser fabricado de madera, HDF, MDF o aluminio. El molde debe soportar valores de temperatura superiores a los cuales se lleva a cabo el proceso de termoformado (Pérez,2012).

Entre los procesos de termoformado, la inyección y el soplado, el termoformado permite realizar producciones pequeñas por su bajo costo en matricería obteniendo mayor utilidad en producciones altas.

Los materiales más demandados para termoformado son PET PSI, PP, PAI, PEAD, ABS. Otros materiales que se pueden termoformar son: PVC, acrílico, policarbonato, entre otros. Los espesores varían dependiendo la necesidad o características de diseño, los más utilizados van de 0,2 mm para envases descartables a 6 mm en la mayoría de piezas o carcasas de electrodomésticos y maquinaria, “pero en la industria del empaque la mayoría de las operaciones de termoformado se utilizarán con películas delgadas” Molina (2008).

Una característica a tomar en cuenta en este proceso de termoformado, la pieza debe ser desmoldable con la mayor facilidad posible, esto podría lograrse haciendo la matriz o molde con mayor dimensión en la base con respecto a la parte superior. “Este ángulo de desmolde y la aplicación de algún tipo de lubricante ayuda considerablemente al proceso de desmolde y generalmente es de 3 grados como mínimo” (Gruenwald, 1998).

Molina (2008) afirma: “El método más antiguo es el termoformado al vacío, llamado simplemente formado al vacío en sus inicios, en los años mil novecientos cincuenta” (p 33). En el cual se usa presión negativa respecto a la atmosférica, para adherir la lámina precalentada dentro de la cavidad del molde.

En Fogel de Centroamérica se utilizan moldes de HDF (fibra de alta densidad) y en los casos de geometría compleja de aluminio, los cuales han cumplido satisfactoriamente con los estándares de calidad del proceso.

Figura 2. **Molde para termoformado de HDF**



Fuente: elaboración propia.

Existen 3 etapas del termoformado, que son: 1). Calentamiento del semielaborado. 2). Proceso de vacío y 3). Enfriamiento.

8.1.1. Calentamiento del semielaborado

El calentamiento se realiza mediante resistores eléctricos, “la resistencia de cualquier material con un área transversal uniforme se determina, mediante los siguientes factores: material, longitud, área transversal y temperatura” Boylestad, (2004, p.59). En la parte superior de la lámina de plástico se efectúa la transferencia de calor a una distancia aproximada de 500mm. Dependiendo del polímero, su espesor y color, así es como debe de durar el ciclo de calentamiento como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Área de calentamiento



Fuente: elaboración propia.

Cengel (2011) afirmaba que “el calor, es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la

temperatura". (p2), con este proceso logramos que la lámina a termoformar alcance un estado moldeable.

El proceso de calentamiento es controlado por medio de la automatización industrial, con controladores de temperatura, son dispositivos electrónicos que con la ayuda de otros dispositivos como las termocuplas pueden manejar valores programados y mantenerlos de tal manera que la temperatura se mantenga controlada en todo momento como una función PID (Sistema proporcional integral derivativo).

Figura 4. **Controladora de temperatura marca Autonics**



Fuente: Catálogo de Marca Autonics.

8.2. Temperatura

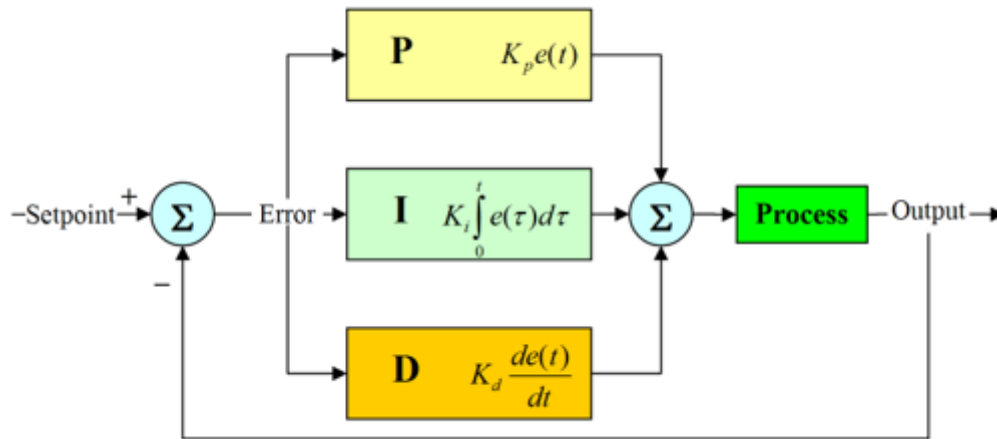
La temperatura es un fenómeno de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas de un elemento o sustancia y se miden se dice que dos objetos tienen equilibrio térmico si y solo si tienen la misma temperatura y las mediciones se dividen en dos tipos absoluta y relativa.

8.3. Calor

El calor se puede definir como la energía cinética total de todos los átomos y está relacionada directamente con la temperatura, pero con conceptos diferentes, además, existen diferentes tipos de calor que a continuación se describen:

- Calor sensible: este fenómeno se da cuando hay un cambio de entalpía y se asocia directamente a un cambio de temperatura.
- Calor latente: este tipo de calor se da cuando hay un cambio de entalpía, caracterizado por un cambio de fase de modo isotérmica.
- Calor de reacción: es requerido por una reacción química.
- Calor eléctrico: se produce al existir un flujo de electrones llamado corriente eléctrica.

Figura 5. **Cronograma PID, para alcanzar una temperatura con mayor precisión**



Fuente: www.rocatek.com, (2017).

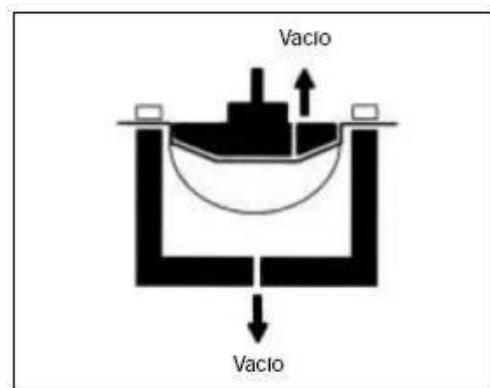
8.3.1. Termoformado al vacío

Es uno de los procesos versátiles y más económico. Consiste en sujetar la materia prima en un mecanismo, luego aumentarle la temperatura hasta alcanzar el estado moldeable, el cual por medio del vacío tomará la forma del molde de acuerdo al diseño adaptándose completamente a la geometría deseada. Morton (1989) afirma: “El aire que queda entre el molde y el semielaborado se elimina mediante la etapa de vacío (600 a 700mmHg), que atrae la lámina contra la superficie y contornos del molde. Una vez que se enfría se extrae el molde” (p 104).

En la siguiente figura 6 se muestra el proceso de termoformado al vacío (1) se suaviza la lámina plana de plástico por medio de transferencia de calor. (2) se coloca sobre un molde diseñado previamente; (3) el vacío se inyecta por

medio de agujeros en el molde que atraen la lámina hacia la cavidad (4) el plástico alcanza la dureza desviada sobre el molde (5) finalmente se desmolda la pieza, para ser recortada de la hoja.

Figura 6. **Termoformado al vacío**



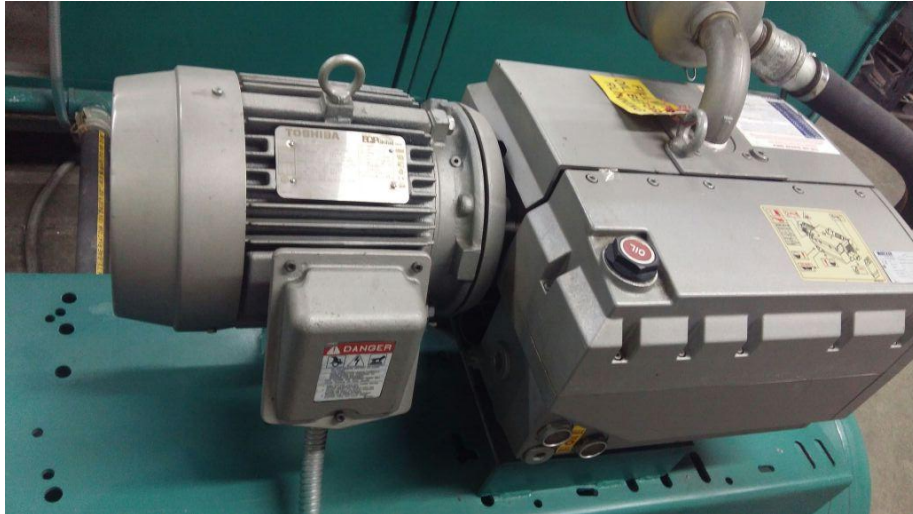
Fuente: D. H. Morton-Jones, Procesamiento de Plásticos. Inyección, moldes, hule, PVC, (1989 p. 104).

Figura 7. **Pieza termoformada al vacío**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Bomba de vacío marca Becker**



Fuente: elaboración propia.

El sistema de vacío está compuesto por una bomba que genera una presión negativa respecto de presión atmosférica conectada a un tanque. “Se recomienda diseñar un recipiente para una presión mayor que la de operación” Megyesy & Eugene (1992 p. 21).

8.3.2. Enfriamiento de la pieza termoformada

El proceso de enfriamiento empieza cuando se ha alcanzado la forma deseada del termoplástico en el molde, después de un tiempo, es enfriado por aire forzado que se obtiene utilizando un ventilador en una posición estratégica, para dirigir el aire y alcanzar la temperatura donde la pieza está en su estado rígido y concluye cuando la temperatura ha descendido para desmoldar sin que sufra ningún cambio que pueda afectar su calidad o estética.

Figura 9. **Ventilador eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

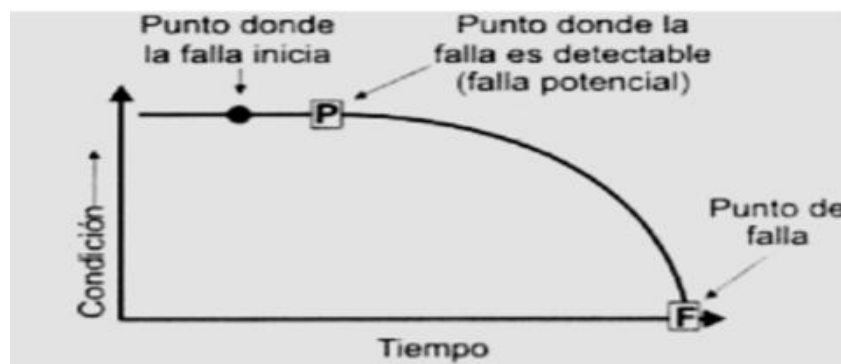
8.4. Definición de mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es uno de los mantenimientos más eficaces en la actualidad, utilizando variable física con el desgaste o estado de una máquina, por medio de la trazabilidad de parámetros y condiciones operativas del equipo. García (2012). También se puede decir, que es una actividad que consiste en dar un seguimiento mediante una medición periódica o continua a un sistema, con diferentes variables y mecanismos que pueden constituir una máquina y hacer comparaciones con patrones preestablecidos por normas o previos estudios o condiciones de diseño González (2009).

El objetivo primordial de esta estrategia o técnica es detectar de manera temprana una falla y así actuar de manera programada y disminuir la

probabilidad de fallas catastróficas y lograr mantener el equipo con un indicador de disponibilidad alto, así como disminuir los costos de reparación Altmann (2007).

Figura 10. **Gráfico de condición versus tiempo de un elemento mecánico**



Fuente: Altmann, las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento predictivo. (2007. p.4).

8.5. Técnicas de ultrasonido

Como lo explica Marks, en el manual del ingeniero mecánico: “El análisis de señal acústica o ultrasonido comprende el análisis de la energía de sonido” (Marks,1992) y la técnica de ultrasonido es muy utilizada en diferentes aplicaciones en la industria una de ellas es la detección de fugas en sistemas de aire comprimido y sistemas de vacío; “el sonido se propaga en forma de ondas” Ensayo no destructivo por método de ultrasonido (n.d.), esto ayuda conocer las propiedades de las ondas y la utilización de equipo adecuado a detectar fallas o fugas en sistemas tales como: neumáticos, bombas de vacío, válvulas, trampas de vapor, entre otros. “El sonido tiene como fuente la

propiedad mecánica vibratoria que viaja a través de un medio y es percibido como “sonido” por el receptor” UE systems, (1997, p.10).

Como lo menciona Olarte y Botero (2011), debe tenerse la tecnología necesaria, para que el ultrasonido pueda escucharse o visualizarse en un display mediante técnicas o circuitos de amplificación, hoy en día ya se cuenta con instrumentos específicos para esta técnica de mantenimiento.

8.5.1. Frecuencias del sonido

Rimoldi (2006) afirma que, en el rango de frecuencias del sonido no todo es audible para los seres humanos, existe un rango el cual puede diferir entre una y otra persona, por cuestiones de anatomía o edad, este rango se encuentra alrededor de 16 Hz como el límite inferior y el superior 20 KHz. Los rangos se encuentran clasificados de la manera siguiente:

- Subsónico: $f < 16\text{Hz}$: no se escucha ningún tono, aunque exista presión entre las moléculas.
- Sónico: $16\text{Hz} \leq f \leq 20\text{KHz}$: rango audible por los humanos
- Ultrasónico: $f > 20\text{KHz}$ comienza el lumbral del dolor

8.6. Técnica de termografía

Esta técnica comprende en revelación de energía electromagnética infrarroja emitida por el objeto o material que se analiza (Marks volumen I) y que permite determinar temperaturas sin necesidad de contacto con el elemento a estudiar, permite detectar los rayos infrarrojos emitidos por los objetos o cuerpos y convertirlos a imágenes por medio de una cámara termográfica. FLIR (2017); la reflexión producto del material o la superficie causa un nivel de

energía radiada y puede ser interpretada por la cámara termográfica de tecnología infrarroja (Girdhar, 2004).

8.7. Espectro electromagnético

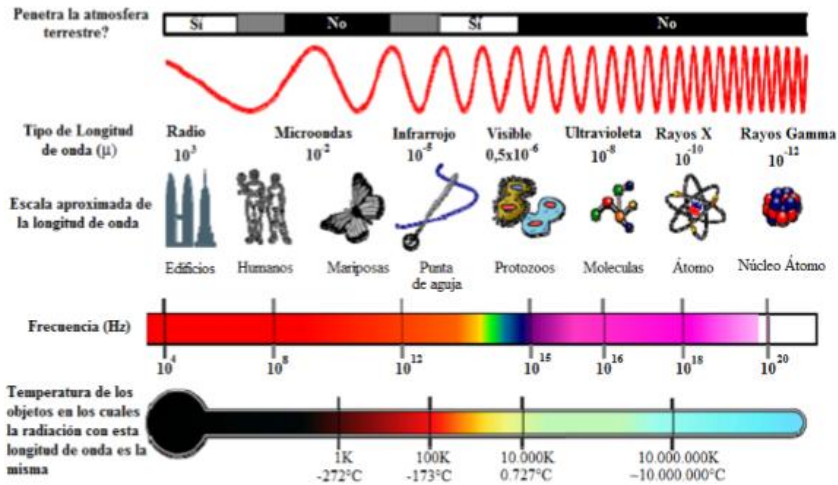
En el espectro se agrupan todas las longitudes de onda desde las de onda corta hasta las de radio que son de mayor longitud.

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Refiriéndose a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación. (Abarca, D. y Iglesias F., 2012, p.10)

Es conveniente considerar algunos de estos tipos de radiación electromagnética con más detalle y tenemos las siguientes:

- La luz visible
- Infrarrojo
- Microondas
- Ondas de radio
- Ultravioleta
- Rayos X
- Rayos gamma

Figura 11. Espectro electromagnético



Fuente: <https://es.wikipedia.org>.

8.7.1. Criterios de aceptación eléctricos

La norma ISO 18434-1 clasifica las fallas tomando unos criterios de aceptación de la NETA, para equipos o sistemas eléctricos donde da valores tomando en cuenta la temperatura ambiente que se muestra en la siguiente figura:

Figura 12. **Niveles de acción para el equipo eléctrico**

Para efectos de clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta los criterios de la NETA, * O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient		
DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN
1°C – 10°C O/A ó < 3°C O/S	En buen estado	BUENO
11°C–20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE
21°C–40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia	INSATISFACTORIA
>40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia mayor	PELIGROSA

Fuente: Referencia Estándar ANSI/NETA, para evaluación de riesgos por temperatura en componentes eléctricos (2017).

Figura 13. **Cámara Termográfica FLIR i3**



Fuente: www.flirmedia.com (2017).

9. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN
DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Definición de termoformado

1.1.1. Calentamiento del semielaborado

1.1.2. Moldeo del semielaborado

1.1.3. Enfriamiento de la pieza termoformada

1.2. Definición de mantenimiento predictivo

1.3. Técnica de ultrasonido

1.3.1. Frecuencias del sonido

1.4. Técnica de termografía

1.4.1. Criterios de aceptación

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Diseño

La presente investigación es de carácter no experimental que tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento para la máquina termoformadora que trabaja al vacío, para piezas de polietileno y ABS.

10.2. Tipo de estudio

La presente investigación se define de tipo descriptiva e inductiva, aplicando normas, técnicas y/o modelos aplicados al mantenimiento predictivo a maquinaria industrial, con el propósito de obtener resultados que puedan ayudar a tomar decisiones o acciones que contribuyan al aprovechamiento de la vida útil del equipo y obtener una producción óptima en el proceso.

10.3. Alcance

Está definido por las necesidades a cubrir, que comprende el diseño de mantenimiento predictivo con la aplicación de técnicas de ultrasonido propagado por aire y análisis de termografía (IRT) a máquina termoformadora que trabaja al vacío, para piezas de polietileno y ABS, ubicada en planta Fogel de Centroamérica, S.A., en Guatemala.

10.4. Variables e indicadores

La valuación será por método cuantitativo, que se obtendrán a partir de las inspecciones realizadas con los equipos de ultrasonido propagado por aire y termografía (IRT), comparando los resultados con las recomendaciones y criterios de aceptación recomendación ANSI/NETA.

Las variables a utilizar serán:

- Temperatura °C
- Sonido dB
- Costos \$
- Tiempo min.
- Distancia mts.

10.5. Fases

El presente trabajo de investigación se dividirá en las siguientes fases con el objetivo de obtener resultados y parámetros medibles para determinar las mejoras alcanzadas.

10.5.1. Fase1

Revisión documental y diagnóstico del estado actual del equipo y sus diferentes componentes, mediante la técnica de termografía y ultrasonido y revisión de fallas registradas en los archivos de mantenimiento sobre la máquina termoformadora al vacío.

10.5.2. Fase 2

Determinar la criticidad de los elementos, sistemas y puntos críticos que puedan afectar el funcionamiento de la máquina y que técnica aplicar, así como también establecer los valores recomendados de temperatura o ultrasonido según sea el caso.

10.5.3. Fase 3

Realizar las correcciones y/o modificaciones en base al diagnóstico obtenido por medio del análisis y valores recomendados para los componentes evaluados y llevarlos a los valores determinados en la fase 2.

10.5.4. Fase 4

Realizar inspecciones periódicas que se considerarán con el departamento de mantenimiento, con el objetivo de observar los cambios y determinar los intervalos de las rutinas que se utilizarán para el diseño del plan de mantenimiento.

10.5.5. Fase 5

Diseño y recomendaciones para el plan de mantenimiento predictivo con base a la información obtenida en las fases anteriores, para la máquina termoformadora al vacío.

10.6. Recolección de la información

Para la recolección de información haremos uso de herramientas auxiliares tales como:

- Amperímetro
- Voltímetro
- Manómetro para medición de vacío
- Manómetro para medición de presión neumática.

Los cuales se tomarán las lecturas antes de iniciar las mediciones con las técnicas de mantenimiento predictivo, para posteriormente tabular los datos en diferentes formatos de acuerdo a las necesidades, según el caso, y establecer los valores con mayor confiabilidad.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

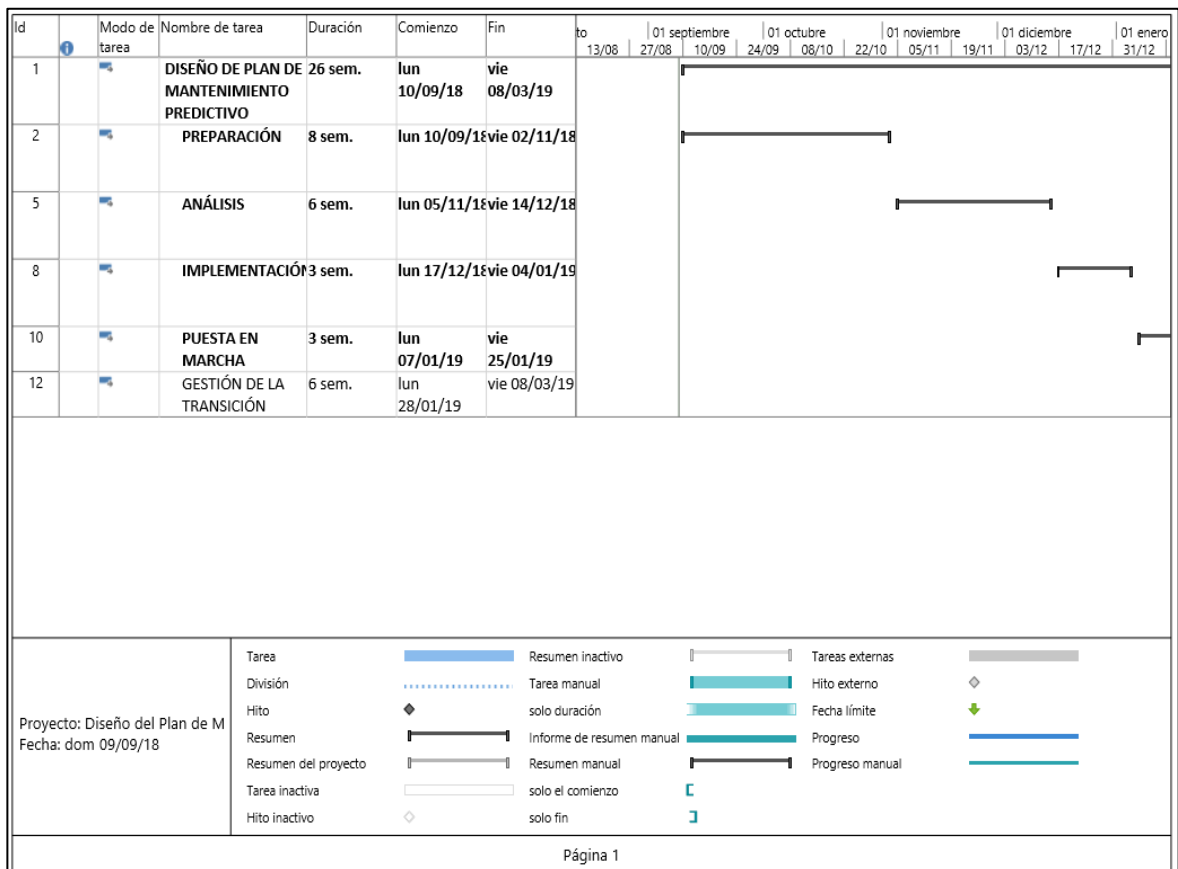
Se hará uso de la estadística descriptiva con el propósito de obtener datos confiables y observar las tendencias de las variables analizadas. Se contará con los recursos de software *spectralyzer* para analizar el ultrasonido y la herramienta de FLIR para el análisis de termografía.

Se utilizará el método de gráfica de barras para comparar los cambios obtenidos con el mantenimiento predictivo.

Se utilizará medidas de tendencia central que proporciona la estadística descriptiva, para obtener valores promedio de las mediciones de temperatura realizadas en los elementos eléctricos.

12. CRONOGRAMA

Figura 14. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar el mantenimiento predictivo de manera autónoma por parte del departamento de mantenimiento de Fogel de Centroamérica, S.A., es necesario realizar la inversión que a continuación se muestra:

Tabla II. **Factibilidad del estudio**

REQUERIMIENTO	COSTO US\$
Computadora	\$4,000.00
Capacitación y Certificación del Personal	\$10,000.00
Equipo para Ultrasonido	\$15,000.00
Equipo para Termografía	\$9,500.00
Papelería y útiles	\$100.00
	\$28,600.00

Fuente: elaboración propia.

Para Fogel de Centroamérica, S.A. sería una ventaja invertir en el equipo, ya que cuenta con un número de maquinaria alto, que se puede implementar el mantenimiento predictivo con lo cual el tiempo de retorno de la inversión se vería reducido.

Para realizar el plan piloto de mantenimiento se cuenta con las herramientas propias por parte del estudiante Douglas Rafael Martínez Montes, de ultrasonido y termografía.

La toma de datos se realizará con personal propio por parte de Fogel de Centroamérica, S.A. al momento de realizar el mantenimiento preventivo programado.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Abarca, D. y Iglesias, F. (2012). Elaboración de un plan de Mantenimientopredictivo, mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la Planta Eurolit en la empresa Tubasec, C.A.
2. Academia Testo (2018) Historia Cámara Termográfica, Argentina Recuperado de <https://www.academiatesto.com.arg>
3. Altmann. 2007. Las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento proactivo. Buenos Aires, Argentina. Adine.
4. ASTM American Society Testing Materials (2016) Estándar E1616 Standard Terminology for Nondestructive Examinations.
5. Ballesteros termoformado de geometrías complejas Madrid España 1998 Boylestad principios de electricidad México 2004.
6. Botero Botero. Mantenimiento preventivo Universidad Industrial de Santander-UIS. Postgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena 2007.
7. Boylestad, R. (2004) Introducción al análisis de circuitos. Pearson Educación, México.

8. Cengel Y. A y Ghajar, A. J. (2011) Transferencia de calor y masa. Fundamentos. McGraw Hill.
9. D. H. Morton-Jones (1989) Polymer Processing, Londo Chapman & Hall.
10. FLIR Recuperado de www.flir.com 2018.
11. García S. (2009-2012) Ingeniería del Mantenimiento Editorial Renovetec, Madrid España.
12. Girdhar, Paresh, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Elsevier. Oxford, 2004.
13. Gruenwald G, Thermoforming, A Plastic Processing Guide 1998.
14. Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Volumen I, 2da. edición en Español, MacGraw Hill 1992.
15. Megyesy, E. (1992) Manual de Recipientes a Presión, México: Limusa.
16. Molina, V (2008) Diseño de una Termoformadora de Envases Plásticos. Tesis de Maestría Escuela de Politécnica Nacional, Quito Ecuador.
17. Pérez, V. y Chavarro, B. (2012). Diseño y construcción de una máquina de termoformado (Tesis de Pregrado), Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.

18. Picazo, M. (2016) Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante Técnicas de Termografía Infrarroja. Universidad Politécnica de Valencia.
19. Rimoldi, C y Mundo L. 2012. Ensayo no destructivo por método de ultrasonido. Sevilla España, Facultad de Ingeniería, Departamento de Aeronáutica.
20. Rocatek, S.A. (2017) Automatización Industrial recuperado de www.rocatek.com/forum:lazos_control.php.
21. UE TRAINING SYSTEMS, 1997. Airborne ultrasound Level I Elmsford, NY. UE Systems, Inc.

