



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
EMPLEANDO ULTRASONIDO Y TERMOGRAFÍA PARA CAÑÓN Y HUSILLO DE EMPUJE
DE MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS, SEGÚN ISO 17359**

Jaime Rodolfo Chocoy Cachín

Asesorado por el Msc. Ing. Rudy René Carías

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
EMPLEANDO ULTRASONIDO Y TERMOGRAFÍA PARA CAÑÓN Y HUSILLO DE EMPUJE
DE MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS, SEGÚN ISO 17359**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAIME RODOLFO CHOCOY CACHÍN
ASESORADO POR EL MSC. ING. RUDY RENE CARIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO 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

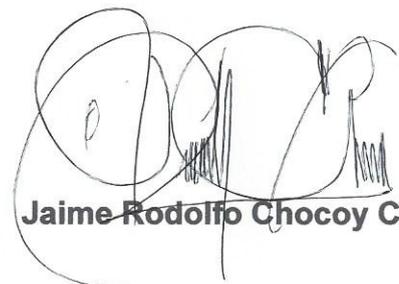
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Walter Anibal Garcia Pérez
EXAMINADOR	Ing. Saul Moisés Méndez Garza
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
EMPLEANDO ULTRASONIDO Y TERMOGRAFÍA PARA CAÑÓN Y HUSILLO DE EMPUJE
DE MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS, SEGÚN ISO 17359**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 26 de junio de 2018.



Jaime Rodolfo Chocoy Cachín

AGS-MIMPP-003-2018

Guatemala, 26 de junio de 2018.

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
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 **Jaime Rodolfo Chocoy Cachin** con carné número **9515879**, quien optó 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,

"Id y Enseñad a todos"

MSc. Ing. Rudy René Carías
Asesor (a)

Rudy René Carías
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO No. 11,125

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc: archivo/LZ.L.A.

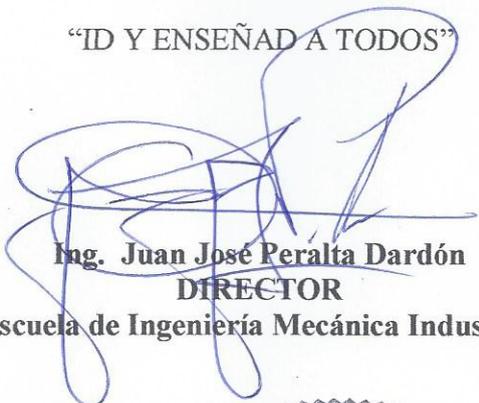
RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



REF.DIR.EMI.091.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EMPLEANDO ULTRASONIDO Y TERMOGRAFÍA PARA CAÑÓN Y HUSILLO DE EMPUJE DE MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS, SEGÚN ISO 17359**, presentado por el estudiante universitario **Jaime Rodolfo Chocoy Cachín**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2018.

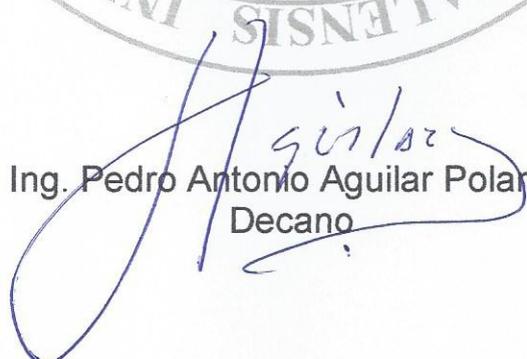


/mgp



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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EMPLEANDO ULTRASONIDO Y TERMOGRAFÍA PARA CAÑÓN Y HUSILLO DE EMPUJE DE MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS, SEGÚN ISO 17359**, presentado por el estudiante universitario: **Jaime Rodolfo Chocoy Cachín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, agosto de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por sus infinitas bendiciones y brindarme el don de la Vida.
Mis padres	Rodolfo Chocoy y Elvira Cachín Yoc. Por su amor incondicional en cada momento de mí vida.
Mi esposa	Lorena González. Por ser el complemento en este feliz camino de la vida.
Mis hermanos	William, Carolina, Wendy y Elder. Por su apoyo incondicional
Mis sobrinos	Andrea, William, David, Danna, Sofia y Dylan. Por ser una fuente de inspiración en mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme las herramientas para ser factor de cambios positivos en nuestra sociedad guatemalteca.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme las puertas de las fuentes inagotables del conocimiento.
Mis padres	Porque gracias a sus enseñanzas, esfuerzos e inagotables muestras de amor he logrado alcanzar un peldaño más en mi vida.
Mis amigos de la infancia	Ricardo Villatoro, Luis Solis, Hector Yoque, Roy Salazar, William, porque sigamos compartiendo muchos éxitos.
Mis amigos de la Facultad	Walter, Roberto, Carlos, Rafael, Lenin, Estuardo, Eduardo, Baldomero, Walter, Manolo, César, Julio, Douglas. Por su compañerismo en este arduo recorrido.
Pueblo de Guatemala	Porque gracias al fruto de su trabajo nos permite tener una educación superior.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Polímeros	15
7.2. Proceso de extrusión.....	15
7.2.1. Zonas geométricas del tornillo extrusor	17
7.2.2. Zonas funcionales del tornillo extrusor	19
7.2.3. Variables de control del proceso.....	20
7.2.4. Variables de control del equipo.....	21
7.3. Mantenimiento	21
7.3.1. Mantenimiento correctivo.....	21

7.3.2.	Mantenimiento preventivo	22
7.3.3.	Normas internacionales relativas al mantenimiento.....	24
7.3.4.	Mantenimiento predictivo.....	25
7.3.5.	Ultrasonido	26
7.3.6.	Requisitos para el proceso de medición.....	29
7.3.7.	Termografía.....	34
7.4.	Análisis del historial de fallas	35
7.5.	Costos del mantenimiento.....	36
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL.....	39
9.	METODOLOGÍA	41
9.1.	Diseño de la investigación.....	41
9.2.	Tipo de investigación.....	42
9.3.	Fases de la investigación	42
9.4.	Alcances.....	43
9.5.	Plan de muestreo	43
9.6.	Instrumentos de recopilación de la información	44
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	47
11.	CRONOGRAMA	49
12.	RECURSOS NECESARIOS	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	APÉNDICE	59
	ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	14
2.	Tornillo de Arquímedes	16
3.	Descripción típica del husillo de empuje	17
4.	Esquema de holgura del tornillo y pared interna del cañón.....	18
5.	Extrusora típica con indicación de sus componentes.....	20
6.	Pirámide de MCM.....	23
7.	Gráfica de los ultrasonidos.....	27
8.	Esquema de ultrasonido pulso-eco	29
9.	Equipo Dakota de ultrasonido	32
10.	Block de 5 pasos.....	33
11.	Esquema de medición de tornillo y cañón.....	34
12.	Actores que influyen en una medición térmica	35
13.	Cronograma de actividades	49

TABLAS

I.	Especificaciones del equipo de ultrasonido.....	31
II.	Resumen de costos.....	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
PHVA	Ciclo de la calidad: planear, hacer, verificar y actuar
END	Ensayos no destructivos
Kg/hr	Kilogramos/hr
MPd	Mantenimiento predictivo
MHz	Mega Hertz
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	Polietileno de baja densidad
LLDPE	Polietileno de baja densidad lineal
PP	Polipropileno

GLOSARIO

Filete	Parte alta del husillo que da la apariencia de ser una rosca del tornillo y que permite el empuje del material a través del cañón y el husillo.
Husillo	Tornillo sin fin ubicado en el interior del cañón de una máquina extrusora.
Multímetro	Equipo de medición de variables eléctricas que permite tomar lecturas de corriente, voltaje y resistencia.
VOSO	Inspección preliminar: ver, oír, sentir, oler.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra una innovación en el desarrollo de la gestión de mantenimiento en la industria de extrusión de polímeros. Generalmente se enfocan todos los esfuerzos a realizar mantenimiento correctivo con un mayor esfuerzo: el mantenimiento preventivo. Sin embargo, innovar en la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo representa un salto cualitativo en la gestión de los activos de una industria. Para este caso específico, en el proceso de extrusión de polímeros, para la fabricación de material de empaque para la agroindustria y la industria alimenticia se utilizan máquinas extrusoras de simple tornillo. Se trata de activos que se gestionan a través del mantenimiento preventivo y correctivo, sin embargo, esto tiene un costo elevado, además de representar paradas programadas que eventualmente limitan los resultados de la eficiencia en la producción.

Es también importante mencionar que la competencia globalizada exige tener una gestión de los equipos con altos indicadores de eficiencia, lo que se refleja en menores costos de mantenimiento por cada kilo de producto final, o bien en obtener el mayor rendimiento de la maquinaria, porque en caso contrario se pueden transformar en un problema para la industria bajo análisis, a través de la pérdida de clientes principalmente.

Evolucionar hacia la gestión de activos a través de las filosofías del mantenimiento predictivo, mediante la aplicación de sus diversas técnicas, representa una oportunidad de solución y de anticipación a la competencia globalizada, puesto que se considera que a través de esta metodología se pueden tener resultados satisfactorios para el negocio en general, resultados

que se verán reflejados, por ejemplo, en mejores índices de productividad, menores costos de mantenimiento por kilo producido, menores tiempos de paradas programadas, entre otros.

Con el presente trabajo se espera aportar a esta industria guatemalteca herramientas que faciliten la toma de decisiones oportunamente en la gestión de los equipos, que a la postre se reflejarán en beneficios económicos para los accionistas y consecuentemente para sus colaboradores. La investigación se desarrolla de forma completa en los capítulos siguientes:

El capítulo 1 es la sección donde se hace referencia a las especificaciones del proceso de extrusión, la fundamental del cañón y del tornillo impulsor, así como la importancia del monitoreo de condiciones para el proceso y para la estimación de la vida útil de los dispositivos, según la norma ISO 17359. Además se hace referencia a las técnicas de mantenimiento predictivo, tales como el ultrasonido y la termografía.

En el capítulo 2 se tendrá la tabulación de toda la información obtenida a través de la recolección de información histórica de productividad y los datos obtenidos de los mantenimientos predictivos, para poder realizar análisis comparativos contra las especificaciones nominales del fabricante de la máquina y de los dispositivos específicos bajo análisis.

El capítulo 3 está conformado por la presentación y el análisis de los resultados obtenidos, realizando gráficos que permiten visualizar el estado actual de los dispositivos, compararlos con los datos nominales del fabricante para obtener tendencias de la vida útil.

En el capítulo 4 se realizará la discusión de resultados, donde se definirá y explicará la propuesta de gestión del mantenimiento predictivo para una máquina extrusora de polímeros de cañón simple, con base en las técnicas de mantenimiento predictivo: ultrasonido y termografía.

2. ANTECEDENTES

El proceso de extrusión va más allá de derretir los polímeros y hacer que pasen por una matriz o molde para obtener un producto final; es también importante cuidar las condiciones del proceso: la temperatura, la mezcla homogénea y la presión en el sistema. Sin embargo, es fundamental poner mucho cuidado a la maquinaria, como lo dijo Cantor en el 2006: “el sistema de barril/tornillo se ha llamado el corazón de la operación”.

Como lo dijo Giles en el 2005: “el equilibrio de propiedades” del producto extruido se obtiene a través de un adecuado funcionamiento de todos los dispositivos del sistema; es en este punto donde toma mayor relevancia el mantenimiento y, para este caso de estudio, el predictivo. Como lo indicó Amendola en el 2013: “disponer de procesos productivos óptimos” implica una gestión adecuada de los activos o sistemas de un proceso, buscar que funcionen en sus condiciones estándar y que cumplan con los objetivos para los que fueron diseñados. Es importante monitorear las condiciones de operación para obtener una buena confiabilidad.

Por tal razón se puede definir por el investigador al mantenimiento predictivo como una técnica que permite proyectar la falla o avería de un elemento sometido a verificación de forma periódica, para establecer el momento oportuno de cambio, justo antes de que se produzca la falla, y así minimizar los tiempos muertos y maximizar la vida útil de los componentes mecánicos en función del tiempo.

Una de las técnicas de END permite, como lo indicó Sánchez en 2012, realizar “el análisis de integridad” de los elementos evaluados, para localizar con exactitud aquellos puntos con discontinuidades o con algún problema es el ultrasonido. Para que luego de obtener información periódica se puedan tomar decisiones de la gestión de mantenimiento en función, como lo mencionó Quesada en el 2006, de las “necesidades del negocio”.

Adicionalmente, para el mantenimiento predictivo la aplicación de la técnica VOSO dará los primeros indicios de una falla cuando se desarrolla de forma rutinaria, mientras que técnicas como la termografía permiten obtener imágenes de la energía emitida por los equipos, tal como lo indicaron Olarte y Botero en 2011: “esta energía es directamente proporcional a su temperatura” y generalmente cambios drásticos en la temperatura son indicios de falla en los equipos.

Parte de la gestión del mantenimiento se enfoca, como lo indicó Huacuz en el 2003, en el desarrollo de “los programas de mantenimiento”, los cuales inicialmente eran las recomendaciones del fabricante, sin embargo, la aplicación adecuada del mantenimiento predictivo permite reducir costos y maximizar la vida útil de los dispositivos de los equipos productivos o, como lo indicó Cárdenas en 2007, “conservar la integridad”.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una planta de procesamiento o plastificación de polímeros existe implementado un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas extrusoras, sin embargo, para la sección más importante donde se encuentra el cañón y el tornillo extrusor se limita únicamente a limpieza general y verificación de que no se presenten golpes o fisuras visibles utilizando la técnica VOSO.

Aun cuando las dos partes están directamente relacionadas con el rango de producción de la máquina, no se cuenta con una revisión técnica que permita determinar las condiciones actuales de estos componentes, teniendo que esperar a que el rango de producción por período de tiempo disminuya considerablemente para programar la inversión de cambio y la instalación misma. Es decir que no se tiene una certeza en tiempo de cuándo es necesario realizar el cambio de los elementos en cuestión, lo que implica una disminución en la productividad. Además que la forma física del cañón y el husillo dificultan poder realizar inspecciones adecuadas a sus dimensiones. Como consecuencia de los problemas se formulan las siguientes preguntas:

- Pregunta general

¿Qué modelo de gestión de mantenimiento predictivo es el adecuado para optimizar el rendimiento de un cañón y tornillo de una máquina extrusora, basado en la norma ISO 17359?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Por qué es importante utilizar la técnica VOSO como parámetro inicial para la aplicación de otras técnicas de mantenimiento predictivo?
 - ¿Cómo se puede obtener la frecuencia adecuada de la aplicación de los END, ultrasonido y termografía, en la gestión del mantenimiento predictivo del cañón y el husillo de empuje de una máquina extrusora?
 - ¿Cómo se puede obtener una proyección técnica de la vida útil del cañón y el husillo de una máquina extrusora con la gestión del mantenimiento predictivo?
 - ¿Cómo se puede obtener una relación técnica entre las condiciones dimensionales del cañón, el husillo y el rango de producción por unidad de tiempo de una máquina extrusora?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se desarrolla bajo la línea de investigación de la Administración del Mantenimiento. A menudo técnicas como el ultrasonido y la termografía son ampliamente utilizadas para monitorear las condiciones de elementos rotativos, como cojinetes, engranajes, entre otros, permitiendo con esto definir el momento oportuno para realizar una intervención de mantenimiento. Sin embargo, partiendo del gran alcance de estas técnicas se podrá establecer una relación directa en la línea de tiempo entre las condiciones métricas del cañón y el husillo de una máquina extrusora y su rango de producción por unidad de tiempo.

Obtener una proyección o estimación de la vida útil del cañón y husillo de una máquina extrusora tendrá relevancia para el área de producción, toda vez que la información sea complementaria para garantizar una inversión oportuna, cuando se tome la decisión de realizar un cambio de los elementos críticos afectados en la máquina extrusora. Para el presente caso de estudio la inversión de estas partes de recambio puede estimarse en alrededor de 15 mil euros.

Una de las atribuciones del equipo de mantenimiento es optimizar la disponibilidad de la maquinaria para cumplir con los objetivos de productividad y eficiencia, resultados que están directamente relacionados con la calidad del mantenimiento realizado y con el cambio oportuno de elementos críticos dentro de proceso de extrusión (generalmente son los que tienen mayor costo de reposición). Para el caso del cañón y tornillo de una máquina extrusora, disponer de estos elementos oportunamente garantiza cumplir con las metas de

producción, minimizar costos por almacenamiento de repuestos, entre otros. En el caso contrario, no disponer de estos dispositivos puede representar un costo de oportunidad, por lo que se deja de producir y de entregar a los clientes. Como referencia se tiene que esta máquina extrusora nominalmente debe producir 200kg/hr.

Un kilo de producto procesado puede tener un valor en promedio de 1,2 euros, una reducción respecto de la producción nominal representa un alto costo de oportunidad para el inversionista. Considerando que en la práctica se ha llegado a tener hasta reducciones de un 25 % de la producción nominal, este valor puede representar un costo de al menos 37 euros/hr.

Esto ocasiona la necesidad de proyectar en la línea de tiempo el momento oportuno para realizar las inversiones, con la finalidad de garantizar la eficiencia nominal de las máquinas extrusoras, apoyadas con las técnicas del mantenimiento predictivo, específicamente ultrasonido y termografía, sin dejar de utilizar el plan de mantenimiento preventivo ya implementado.

5. OBJETIVOS

General

Diseñar el modelo de gestión del mantenimiento predictivo, a través de las técnicas de ultrasonido y termografía, para el cañón y husillo de empuje de una máquina extrusora según ISO 17359.

Específicos

- Establecer la importancia que tiene la aplicación de la técnica VOSO, como parámetro inicial para la aplicación de las otras técnicas de mantenimiento predictivo.
- Determinar la frecuencia adecuada para la aplicación de los END dentro de la gestión del mantenimiento predictivo, del cañón y el husillo de una máquina extrusora.
- Construir una relación matemática entre las condiciones dimensionales y la productividad de la máquina extrusora, que ayuden a definir la vida útil del cañón y el husillo de empuje.
- Desarrollar una relación técnica entre las condiciones dimensionales del cañón, el husillo de empuje y el rango de producción de una máquina extrusora.

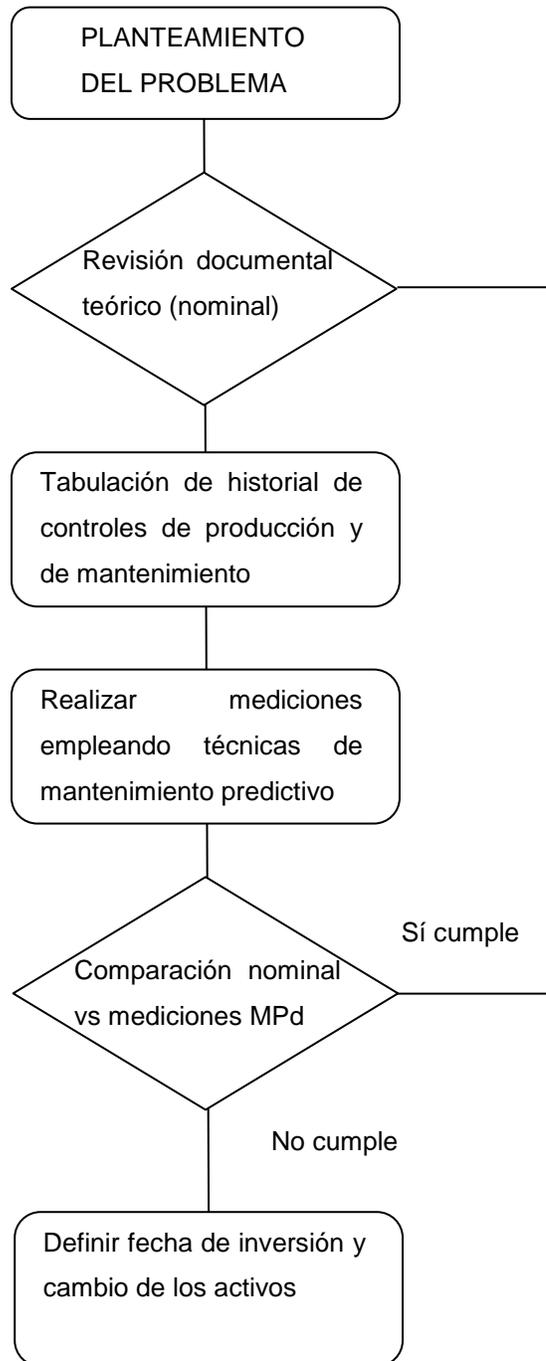
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con la definición de las variables a medir a través de las técnicas de mantenimiento predictivo, ultrasonido y termografía, se podrán desarrollar bases de datos que permitan generar tendencia y servirán de base para la toma de decisiones. El análisis de los datos obtenidos con la técnica de ultrasonido permitirá generar una frecuencia oportuna para hacer las revisiones de las condiciones del cañón y el tornillo de la máquina extrusora.

Complementar con la técnica de termografía el mantenimiento predictivo permitirá obtener estadísticos y tendencia de fallas en la sección crítica del cañón y tornillo de la máquina extrusora. La información será una herramienta fundamental para la toma de decisiones al momento de definir la inversión para el cambio de un cañón y tornillo de una máquina extrusora, sobre todo por el alto costo de estas piezas de recambio.

A través de la técnica VOSO se verificarán las condiciones superficiales de los componentes del equipo; adicionalmente se realizarán tres ensayos empleando ultrasonido y termografía, a intervalos de tres meses, para definir la tendencia de desgaste en ambos dispositivos. Se establecerá una comparación con los datos nominales del fabricante.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente. elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Uno de los procesos de transformación de polímeros más importantes es el de extrusión de película tubular. La versatilidad del producto obtenido permite que cumplan muchas funciones, tales como: empaque flexible de alimentos o contenedores de basura, por ejemplo, además de las “propiedades físicas” que se obtienen en el producto final (Gómez y Gutiérrez, 2007, p. 20). Sin embargo, para obtener los resultados deseados es necesario conocer y controlar las variables de proceso y elegir los polímeros adecuados, en función de las especificaciones físicas del producto diseñado.

7.1. Polímeros

Se denomina polímeros a las largas cadenas de átomos, usualmente Carbono (C), Oxígeno (O), Nitrógeno (N) o Azufre (S), combinados de tal forma que tiene una configuración única para cada polímero. Para el proceso de extrusión de este caso de investigación se utilizan polímeros denominados de la siguiente forma: HDPE, LDPE, PP, LLDPE, entre otros.

Cabe destacar que “el polietileno, además de ser el plástico de mayor producción y consumo en el mundo, es uno de los más baratos” (Delgado y Medina, 2005).

7.2. Proceso de extrusión

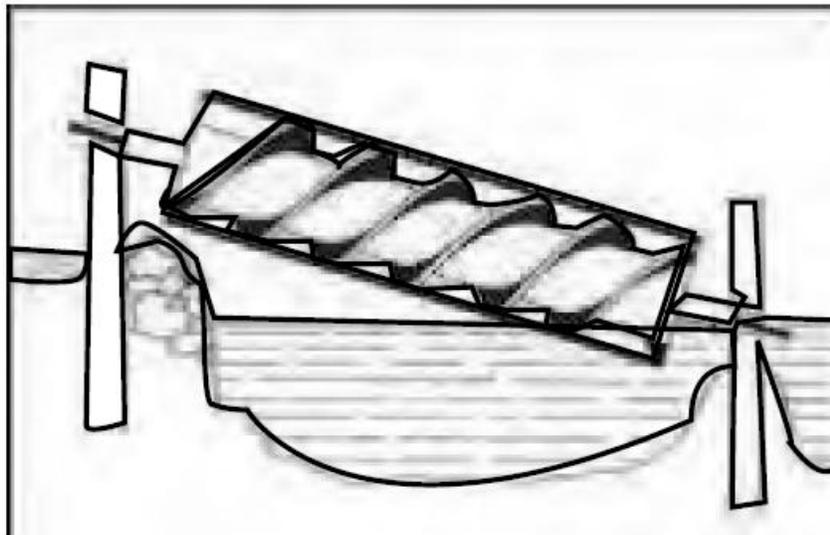
El proceso de extrusión se desarrolla a partir de un tornillo de Arquímedes o tornillo sin fin, que se utiliza para bombear materia prima bajo condiciones de

temperatura y presión controlada, hasta llegar al punto de plastificación, para luego hacer pasar la mezcla de polímeros homogenizados al cabezal o molde y obtener una película tubular controlada.

La burbuja tubular obtenida debe cumplir con las propiedades y especificaciones previamente acordadas con el cliente; y cumplir con el objetivo para el cual fue diseñada y fabricada.

En la figura 1 se puede observar un esquema representativo de un tornillo de Arquímedes, el cual es la base de muchas aplicaciones industriales y para el desarrollo de esta investigación tiene relación directa con el husillo de una máquina extrusora.

Figura 2. **Tornillo de Arquímedes**



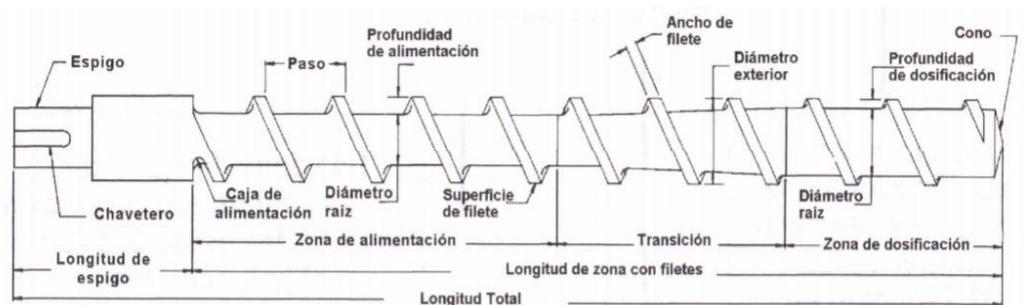
Fuente: PARRA, Edward. *Arquímedes: su vida, obras y aporte a la matemática moderna*. P. 3.

7.2.1. Zonas geométricas del tornillo extrusor

Generalmente los husillos tienen diversas secciones geométricas, cada una desempeña un rol importante del proceso de extrusión, siendo estas secciones las siguientes:

- Zona de alimentación
- Zona de transición (o compresión)
- Zona de dosificación

Figura 3. Descripción típica del husillo de empuje



Fuente: GÓMEZ, Jimmy; GUTIÉRREZ, Jorge. *Diseño para una extrusora para plástico*. P. 16.

Una característica importante de la geometría del tornillo es la relación existente entre el largo y el diámetro del tornillo, L/D.

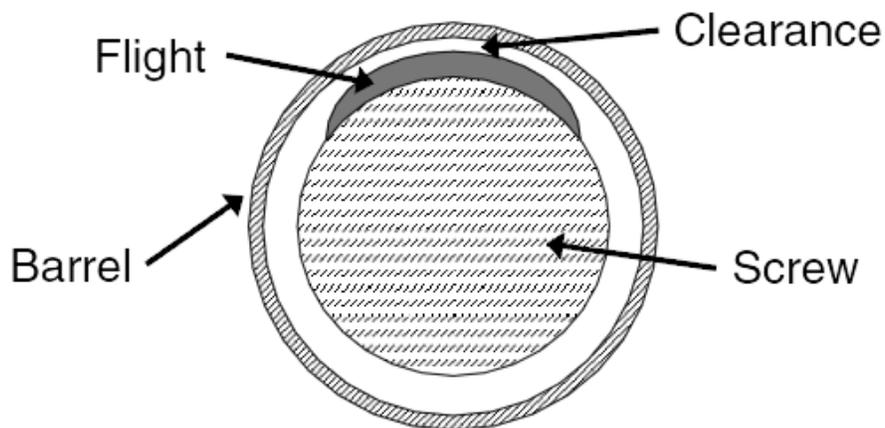
$L/D = \text{largo total de tornillo con filetes} / \text{diámetro de salida del tornillo}$.

Los rangos típicos de esta relación van desde 18:1 hasta 32:1, siendo comúnmente utilizados los que tienen relación de 24:1, para cumplir con las funciones estándar de traslados de material, fundición del material y bombeo

del material fundido, de tal forma que menos funciones requerirán un tornillo más corto, mientras que más funciones, como mezclado y desgasificación, requerirán un tornillo más largo.

Otra característica es el ajuste o espacio libre que deba existir entre el filete del tornillo y el diámetro interno de la pared del cañón o barril. Generalmente esta holgura debe ser equivalente al 0,1% del diámetro del tornillo. Por ejemplo, si un tornillo tiene de diámetro de 70 mm, la holgura total deberá ser de 0,07 mm, de tal forma que holguras más pequeñas pueden generar un desgaste excesivo de los filetes del tornillo, mientras que holguras más grandes reducen la capacidad de fundición y bombeo de la mezcla fundida.

Figura 4. **Esquema de holgura del tornillo y pared interna del cañón**



Fuente: CANTOR, Kirk. *Blown film extrusion*. P. 29.

7.2.2. Zonas funcionales del tornillo extrusor

Además, es importante establecer que para los tornillos extrusores se definen seis zonas funcionales, las cuales se deben reconocer para entender la forma en que trabaja el sistema y lograr el máximo rendimiento del proceso.

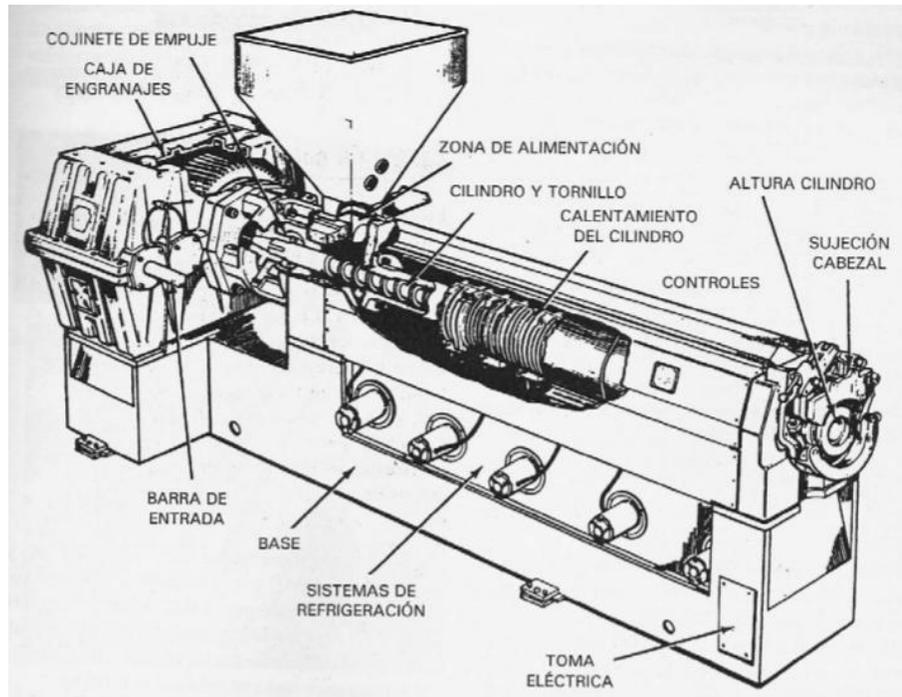
Cada zona desarrolla una función específica en el proceso de extrusión, es por esta causa que cada una de estas zonas tiene una configuración diferente; básicamente las variaciones se producen en el diámetro de la base del tornillo, en la distancia de separación del tornillo y finalmente en la forma de los filetes. Estas zonas funcionales son las siguientes:

- Transporte de sólidos
- Fundición de sólidos
- Bombeo de material fundido
- Mezclado
- Desgasificación (o desvolatización)
- Formador

Cada una de estas zonas trabaja a temperaturas diferentes para cumplir la función para la cual fue diseñada; por tal motivo, cada zona está regida por un control de temperatura y una resistencia eléctrica para mantener la temperatura en el valor programado.

Las temperaturas o el perfil de temperaturas del tornillo extrusor varía de acuerdo al tipo de material que se está procesando, generalmente va en forma ascendente de la zona de transporte de sólidos hasta el formador, iniciando en un rango de 90-100 °C y finalizando en el formador en un rango de 190-220°C.

Figura 5. **Extrusora típica con indicación de sus componentes**



Fuente: MALDONADO, Mario; MEDINA, Christian. *Diseño y construcción de una extrusora con capacidad de 1 kg/h, diseño del proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET*. P. 51.

7.2.3. **Variables de control del proceso**

Las variables que se deben controlar en el proceso de extrusión, como indicaron Pérez, Torres y Candal en 2013, “para obtener la medida, espesor y propiedades requeridas por el cliente”, constantemente se deben modificar a través de los equipos auxiliares de control de proceso. Dentro de este caso de investigación del proceso de extrusión de película tubular se puede citar como las variables más importantes:

- La temperatura de fusión
- El caudal o velocidad del husillo de empuje

- La presión dentro del cañón

7.2.4. Variables de control del equipo

Las variables para el monitoreo de condiciones del equipo son: la cantidad de corriente consumida por el motor del husillo, la temperatura de la caja reductora, las dimensiones mecánicas de cañón y del husillo, el consumo de corriente de las resistencias, la temperatura de las diferentes secciones del cañón y las dimensiones del molde. Las variables generalmente son útiles para el monitoreo de condiciones en las rutinas de mantenimiento.

7.3. Mantenimiento

De forma habitual se define al mantenimiento como el conjunto de técnicas y actividades desarrolladas sobre activos, con la finalidad de prolongar su vida útil y su disponibilidad, para completar los procesos para los cuales fueron diseñados y, como lo indicó García en el 2010, “con el máximo rendimiento”. Sin embargo, la gestión moderna del mantenimiento ha adoptado conceptos como el ciclo de calidad total, con la finalidad de optimizar los recursos, reducir costos y aumentar la productividad, a través de la mejora continua de las prácticas del mantenimiento desarrollado.

7.3.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se define como la primera fase de la gestión del mantenimiento, el cual está enfocado en corregir todas las fallas que se presentan en los activos en el menor tiempo posible. Es decir, como indicaron Rodríguez, Miguel y Sánchez en el 2001, “restaurar su estado operacional”.

Habitualmente la gestión del mantenimiento considera oportuno reducir al mínimo la aplicación del mantenimiento correctivo, por lo relativo a los costos elevados asociados que implica y por la intervención del equipo de mantenimiento en la resolución de las fallas que se presentan de manera abrupta, además de considerar el costo de oportunidad de que un activo deje de desarrollar la actividad para la cual fue diseñado (generalmente es dejar de producir algún producto para la comercialización). En favor de esta técnica se puede decir que se tiene un “máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos” (Cárcel, 2014, p.125) y gestionada de manera adecuada puede ser una técnica valiosa dentro de un plan general de mantenimiento.

7.3.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es el que se desarrolla a partir de un programa de mantenimiento previamente establecido, orientado a alcanzar los siguientes resultados:

- Reducir tiempos muertos de los equipos
- Minimizar las fallas emergentes
- Determinar las causas de las fallas recurrentes para eliminarlas
- Aumentar la vida útil de los activos

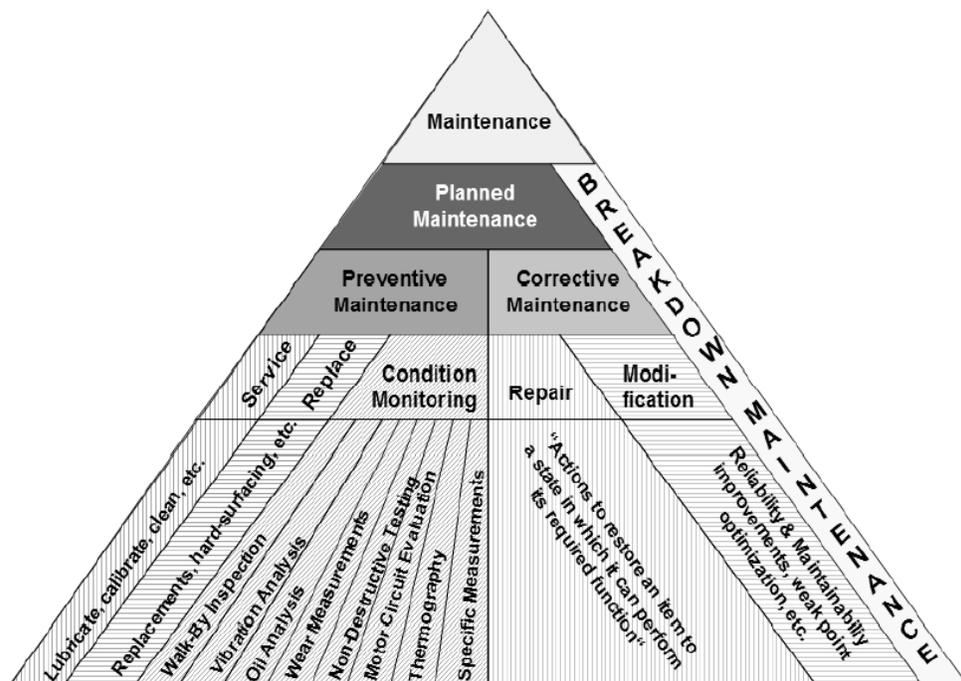
El mantenimiento preventivo tiene la particularidad, como lo indicó Aladesaye en el 2008, de que “se realiza en activos periódicamente o por horarios”, cubriendo actividades como: servicios, reemplazos y monitoreo de condiciones.

Con los procesos de globalización, la competencia en toda la industria se ha incrementado y consecuentemente, como lo indicó Tavares en el 2006,

todas las corporaciones industriales se han convertido en una cadena conformada por cada departamento que la integra y “el mantenimiento es uno de los de mayor importancia” en el alcance de los objetivos de la empresa.

De tal forma que la gestión del mantenimiento de clase mundial ha adoptado muchas herramientas para alcanzar los objetivos que demanda el mundo moderno, tales como: tecnología para END y monitoreo de condiciones, software para la gestión propia del mantenimiento, análisis de causa raíz, ciclo PHVA, entre otras. A continuación se muestra un esquema gráfico de los elementos que conforman una gestión de mantenimiento de clase mundial, la cual puede ser útil como guía para la coordinación efectiva de la gestión de activos (ver figura 6).

Figura 6. Pirámide de MCM



Fuente: PUERTAS, Jorge. *Seminario de gestión estratégica del mantenimiento de clase mundial*. P.6.

7.3.3. Normas internacionales relativas al mantenimiento

En la industria generalmente se observa que se pone especial énfasis en sistemas de gestión de calidad enfocados en los procesos productivos. Estos sistemas están enfocados en obtener estándares de calidad de los productos y/o servicios, tomando como primicia el ciclo PHVA, obteniendo como consecuencia estandarización de los procesos, eficiencia, reconocimiento de los clientes, entre otros. La gestión de mantenimiento no es ajena a los ciclos de la mejora continua, por lo cual se hace necesaria la implementación de las normas necesarias para cada uno de los procesos. Es importante hacer notar que todas las normas definen criterios relevantes para procesos productivos, los cuales son documentados por los distintos comités técnicos y para la implementación se definen como de carácter voluntario. Existen diversos organismos o asociaciones internacionales, conformadas por equipos técnicos que elaboran normas o guías para estandarizar muchos procesos. Dentro de estos organismos es posible citar los siguientes:

- ASTM-American Society of Testing Materials
- ASME-The American Society of Mechanicals Engineers
- SAE-Society of Automotive Engineers
- EN-Normas europeas
- ISO-International Organization for Standardization

7.3.3.1. Monitoreo de condiciones, ISO 17359

Se denomina monitoreo de condiciones, según ISO 17359:2003 (E), a la serie de “actividades que están enfocadas en identificar y evitar los modos de fallas desde la causa raíz”. Esta norma fue elaborada por el subcomité de SC5

de vibración mecánica e impacto. Y todos los lineamientos son aplicables a todo tipo de máquina.

Generalmente para estas actividades se realiza la técnica VOSO como principio básico, porque no incurre en costos sino que únicamente en las habilidades de los técnicos designados para la actividad. VOSO son las iniciales de ver, oír, sentir y oler; con estas actividades rutinarias se pueden detectar las condiciones anómalas en un equipo.

Posteriormente a la técnica VOSO y con la implementación de dispositivos tecnológicos, se pueden desarrollar actividades de monitoreo de “variables físicas que son indicadores de la condición” del activo (Altman, 2005, p.2). Estas variables pueden ser: temperatura, consumo de corriente, vibraciones, ruido, entre otras. Sin embargo, los equipos por sí mismos proporcionan datos netamente puntuales únicamente, por lo que, con el avance en la implementación de nuevas formas de administrar el mantenimiento, la capacitación y calificación del personal técnico se convierten en procesos relevantes dentro de la gestión de mantenimiento de una industria, como por ejemplo en análisis de vibraciones, lubricantes, ultrasonidos, ensayos no destructivos (END), entre otros. Para que el personal, luego de calificado, pueda realizar interpretaciones adecuadas que permitan obtener mejores resultados en la fase del mantenimiento predictivo.

7.3.4. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo permite conocer de forma profunda las condiciones de los equipos, “observando el comportamiento y su funcionamiento” (Zaldívar, 2006, p.27), a través de actividades rutinarias planificadas como: ensayos no destructivos, termografía, verificación de

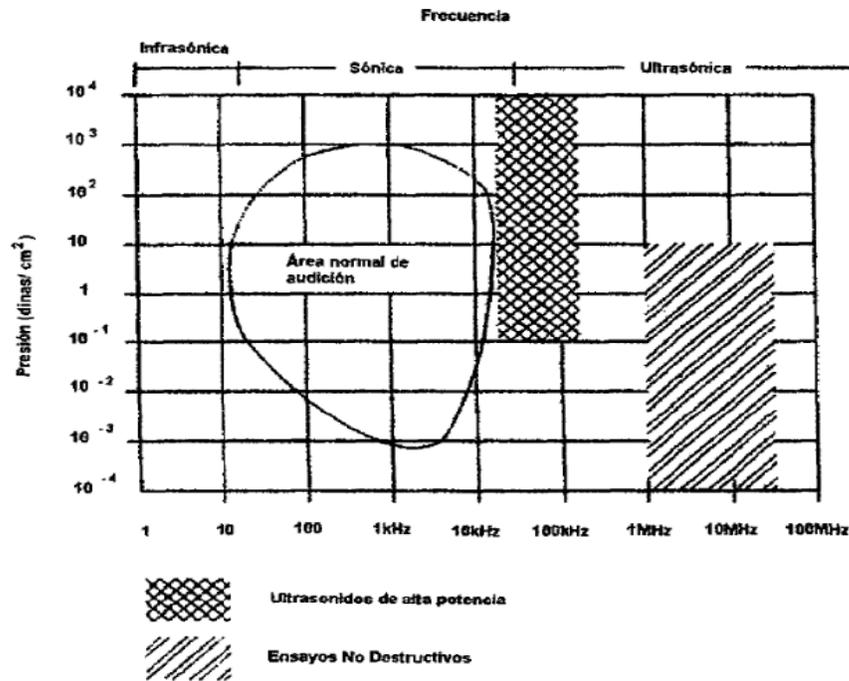
dimensiones, análisis de aceite, entre otras. Para el presente caso de estudio se desarrollarán las técnicas de ultrasonido y termografía.

Es importante destacar que la implementación del mantenimiento predictivo de forma sistemática permite tener ahorros considerables en piezas de recambio, costos por almacenaje, mejoras en los índices de productividad, incremento de la confiabilidad de los activos, intervenciones oportunas del equipo de mantenimiento, entre otros beneficios.

7.3.5. Ultrasonido

Antes de definir ultrasonido se debe saber que la zona audible, es decir, la zona donde los humanos perciben de forma natural los sonidos, se encuentra dentro del rango de frecuencia entre los 16-20000 Hz/seg, mientras que para la aplicación de la técnica de ultrasonido se utilizan frecuencias a partir de 1 Mhz/seg.

Figura 7. Gráfica de los ultrasonidos



Fuente: Asociación Española de Ensayos No Destructivos. *Ensayos no destructivos de ultrasonidos nivel II*. P.7.

Tal como se muestra en la figura 7, se indica el área normal de audición encerrada en un círculo para los humanos, mientras que la sección con rayado a doble línea inclinada muestra la zona donde se realizan los ensayos no destructivos a través de ultrasonido.

El ultrasonido tiene una amplia gama de aplicaciones en el mantenimiento predictivo, tales como:

- Detección de fugas de aire comprimido
- Detección de elementos rotativos dañados
- Fugas de fluidos
- Detección de efectos corona en transformadores
- Medición de espesor de pared de tuberías

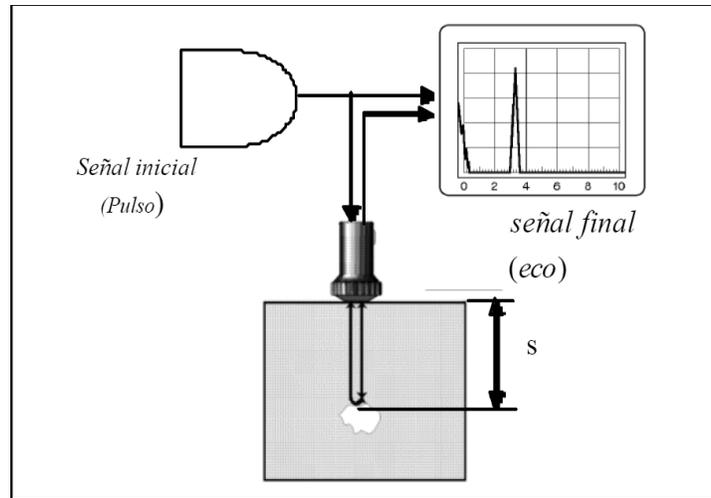
- Inspección de soldaduras
- Evaluación de discontinuidades en materiales

Para la presente investigación se utilizará el ultrasonido por contacto, del tipo pulso-eco, para definir “las condiciones físicas” del cañón y del husillo de empuje de una máquina extrusora. (Cárdenas, 2007, p.27).

7.3.5.1. Método pulso-eco

Este método es generalmente utilizado para detectar discontinuidades o fallas en las piezas bajo análisis, o bien para la medición de espesores de diversos materiales, razón por la cual se utiliza el método pulso-eco en este caso de estudio. A través del equipo de ultrasonido mediante el palpador piezoeléctrico se genera un haz ultrasónico, que se puede desplazar por el interior o en la superficie del material. Al encontrar un reflector se produce un eco, donde los reflectores básicamente son “cambios en las propiedades físicas” (Santos, Cancino, Yenque, Ramírez y Polomo, 2005, p. 25), superficiales o internas del material. El palpador recibe el retorno del haz ultrasónico y lo transforma a través del equipo en una indicación digital.

Figura 8. **Esquema de ultrasonido pulso-eco**



Fuente. SANTOS, E.; et al. *El ultrasonido y sus aplicaciones*. P. 26

7.3.6. **Requisitos para el proceso de medición**

Para obtener los resultados precisos es necesario establecer condiciones adecuadas para el proceso de ultrasonido. Estas condiciones son las siguientes:

- Objetivo de la medición
- Alcance
- Normas de aplicación
- Personal
- Tiempo de ensayo
- Condiciones superficiales
- Equipo
- Control de linealidad
- Medio acoplante
- Calibración

- Forma de barrido y medición

Para el presente caso de estudio el objetivo del proceso de las mediciones por ultrasonido se enfoca en determinar los espesores del cañón y las dimensiones del husillo o tornillo de empuje, a fin de obtener la existencia o no de un desgaste propio del uso. El alcance se define únicamente para el cañón y el husillo de empuje, siendo estas las partes de mayor desgaste dentro de la máquina extrusora.

Por la naturaleza de la aplicación y de la estructura de las piezas bajo análisis, se establece que el proceso se regirá por las normas ASTM E 797 e IRAM-ISO 9712. La técnica de END por ultrasonido demanda competencias específicas para el analista, las cuales deben estar avaladas o certificadas por un este especializado en el tema. Para el presente caso de estudio se tendrá el aval de IRAM, con sede en Buenos Aires, Argentina. El mismo certifica las competencias del responsable de la utilización del equipo y de la interpretación de los resultados. Para este efecto se encuentra, en el Anexo 2, el certificado de competencias personales del ingeniero analista. Cabe destacar que para poder realizar este proceso de medición y emitir un informe con la interpretación de los resultados, el analista debe contar con el nivel II para el método de ultrasonidos.

Este END demanda un tiempo específico para la medición, sin embargo, previo a realizar el procedimiento es necesario desmontar el husillo de empuje del interior del cañón y realizar una limpieza de las superficies del husillo y de la parte interna del cañón, para eliminar todos los residuos del material que se procesa en la máquina extrusora, a fin de evitar que se enmascaren las posibles imperfecciones.

El proceso del END por ultrasonido involucra al equipo de medición que se muestra en la figura 8; se muestra el equipo, el palpador de 5 Mhz y el medio acoplante de forma representativa. Para este caso de estudio se estará utilizando un dispositivo con las especificaciones mostradas en la tabla I:

Tabla I. **Especificaciones del equipo de ultrasonido**

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Marca	Dakota Ultrasonics CMX
Modelo	7499
Trasductor	5 MHz.
Tipo de acoplante	Acoplante Ultrasonix
Patrón	<i>Block</i> de calibración de 5 pasos acero

Fuente: elaboración propia.

Este equipo tiene la capacidad de tomar lecturas precisas para espesores desde 1 hasta 150 milímetros, por lo cual es apto para realizar las mediciones del cañón y el husillo de la máquina extrusora bajo análisis.

Figura 9. **Equipo Dakota de ultrasonido**



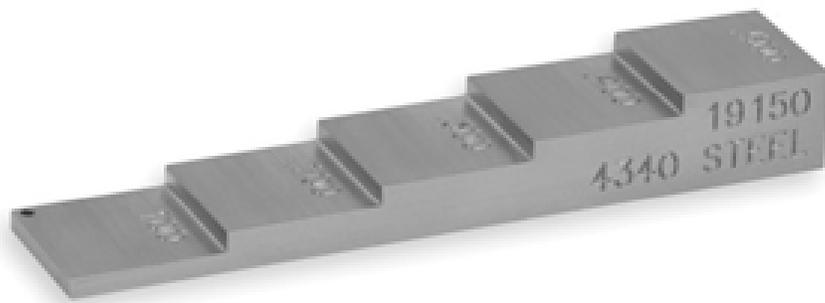
Fuente: elaboración propia.

Al instrumento se le realiza una verificación de control de linealidad, preferentemente cada doce meses. Para el caso de la linealidad vertical deberá presentar un +5 % hasta el 80 % de la altura total de la pantalla, y para el caso de la amplitud de la pantalla deberá estar dentro del 1 % de la longitud total de barrido realizado.

Para obtener lecturas correctas es preciso utilizar un medio acoplante, el cual consiste en una sustancia líquida y viscosa para permitir un fácil desplazamiento del palpador, es decir, el transductor de 5 Mhz. En este caso se utilizará el lubricante mineral SAE 30, tanto para la calibración como para el ensayo mismo.

Antes de iniciar la medición se requiere realizar una verificación con el *block* de 5 pasos. Este *block* debe ser idealmente de la misma “composición del material a medir” (Colín y Viliesid, 2010. P.2), o en su defecto uno de material representativo o similar a la pieza medida. Para este caso se utilizará el *block* de 5 pasos de acero aleado 4340.

Figura 10. **Block de 5 pasos**

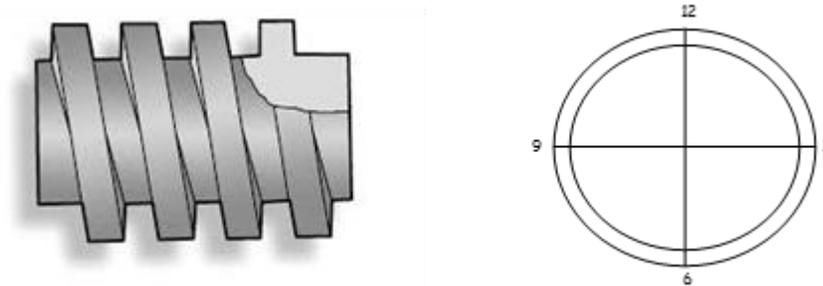


Fuente: elaboración propia.

Cada paso tiene un espesor definido, la verificación consiste en realizar la medición con el palpador y el medio acoplante, de tal forma que, en la pantalla del equipo de ultrasonidos, se muestre el valor especificado en cada uno de los pasos del *block*.

Para realizar el barrido y las mediciones se tomarán ciertas consideraciones, de tal forma que el informe pueda ser comprendido por el lector. El barrido se realizará de forma manual por contacto directo, de acuerdo al esquema de la figura siguiente:

Figura 11. **Esquema de medición de tornillo y cañón**



Fuente: elaboración propia.

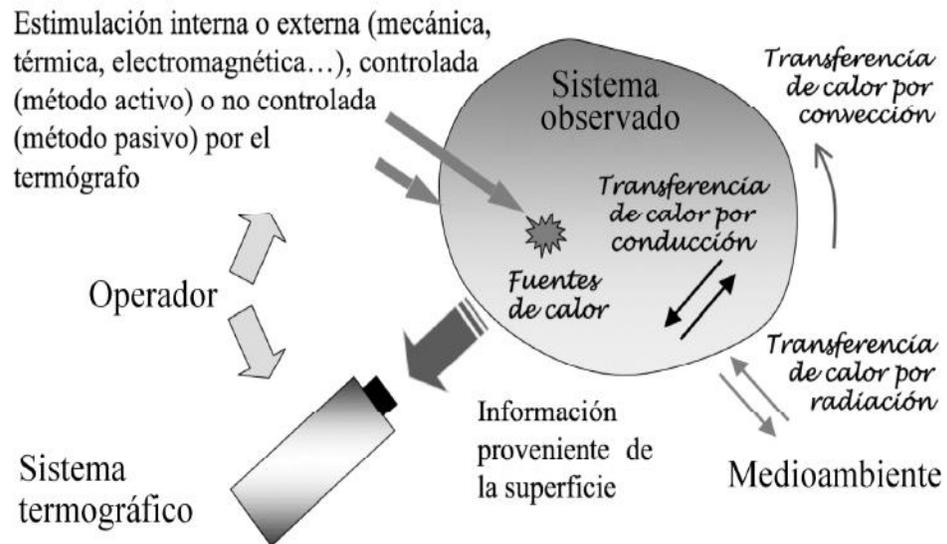
Los valores obtenidos serán tabulados y tendrán posición horaria donde se efectúa la medición y el valor obtenido del equipo de ultrasonidos.

7.3.7. Termografía

El análisis de termografía puede considerarse un sistema sencillo, sin embargo, como indicó Balageas en el 2007, “es una situación más compleja” cuando no se tiene cierto nivel de capacitación y experiencia. Cabe destacar que es de suma importancia para realizar un diagnóstico certero conocer el objeto observado y la naturaleza de su comportamiento en lo relativo a la transferencia de calor, así como el medio ambiente donde se desarrolla esta actividad de mantenimiento, tal como se muestra en la figura 12.

Como se puede determinar, no solamente el sistema observado o el sistema termográfico son importantes para este análisis, también es necesario tomar en cuenta el medio ambiente donde se desarrolla la medición, puesto que se produce una transferencia de calor por radiación al sistema observado, transferencia que puede ser del medio ambiente al sistema observado o viceversa, por lo cual también influye en el resultado final.

Figura 12. Actores que influyen en una medición térmica



Fuente. BALAGEAS, Daniel. *Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END)*. P. 3.

Si se pone el enfoque en el sistema termográfico, es decir las cámaras, es posible definir características importantes que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar una de ellas, siendo las siguientes:

- Sensibilidad térmica
- La precisión
- La resolución espacial
- La frecuencia de la imagen

7.4. Análisis del historial de fallas

El análisis de fallas es de suma importancia en la gestión de activos, la utilización adecuada permitirá enfocar los esfuerzos del equipo de

mantenimiento en las fallas recurrentes y de mayor impacto en la disponibilidad de los equipos.

Para obtener estos análisis es necesario estandarizar la información y definir los modos de fallas. Con esto se podrá tipificar de manera adecuada cada falla que se presente. Luego de la focalización de la falla se podrán utilizar metodologías para la búsqueda de la solución óptima, entre las que se puede mencionar como referencia las siguientes:

- Análisis de causa raíz
- 5 Why-Why (5 por qué)
- Pareto
- Ishikawa
- Entre otros

Sin embargo, el uso o la aplicación de cada una de ellas dependerán del historial de que se disponga y del criterio del investigador o analista.

7.5. Costos del mantenimiento

Se puede indicar de forma sencilla que todos los esfuerzos de la gestión de mantenimiento están enfocados en maximizar la rentabilidad de los activos. Esto implícitamente está relacionado con la gestión de costos de mantenimiento, de tal forma que el equipo de colaboradores debe estar involucrado desde la fase de diseño de una línea de producción, la compra misma y el acompañamiento a lo largo de su vida útil.

El mantenimiento debe de evolucionar a no considerarse un gasto, sino definirlo como una inversión, por la magnitud del impacto que tiene en el

resultado final del producto o servicio obtenido. Esto se puede lograr a través de la implementación de las nuevas metodologías de trabajo, tales como el mantenimiento predictivo y sus diversas técnicas.

Otros factores que influyen en una gestión adecuada de mantenimiento son el nivel de tecnología del equipo o maquinaria, la eficiencia energética, la accesibilidad para el monitoreo de condiciones, la disponibilidad de las piezas de recambio, entre otros. La implementación adecuada de estas metodologías y procesos permite al mantenimiento entrar en la dinámica de la mejora continua y obtener mejores indicadores respecto del costo-beneficio de lo invertido en la gestión del mantenimiento.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	
LISTA DE SÍMBOLOS	
GLOSARIO	
RESUMEN.....	
OBJETIVOS.....	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO TEÓRICO.....	
1.1. Polímeros	
1.2. Proceso de extrusión.....	
1.2.1. Zonas geométricas del tornillo extrusor	
1.2.2. Zonas funcionales del tornillo extrusor	
1.2.3. Variables de control del proceso.....	
1.2.4. Variables de control del equipo.....	
1.3. Mantenimiento	
1.3.1. Mantenimiento correctivo.....	
1.3.2. Mantenimiento preventivo.....	
1.3.3. Monitoreo de condiciones	
1.3.4. Mantenimiento predictivo	
1.3.4.1. Ultrasonido.....	
1.3.4.2. Termografía	
1.4. Análisis del historial de fallas.....	
1.5. Costos del mantenimiento	
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	

3. PRESENTACIÓN RESULTADOS.....

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....

CONCLUSIONES.....

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA.....

ANEXOS.....

9. METODOLOGÍA

Para todo trabajo de investigación es sumamente necesario definir el proceso sistemático que permita llegar a obtener una propuesta de solución, y el presente caso de estudio no es la excepción. De tal forma que, dentro de esta sección, se definirán aspectos importantes de este proceso, tales como: diseño, tipo de estudio, variables de medición, fases del estudio y resultados esperados, entre otros.

9.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación del presente caso de estudio se define como no experimental, toda vez que se recolectará información relacionada con las condiciones de operación de la máquina de acuerdo a la gestión del mantenimiento desarrollado actualmente, lo que será considerado como variables cualitativas.

Además se obtendrán datos derivados de la investigación desarrollada, a través de las técnicas del mantenimiento predictivo propuestas, análisis de datos históricos de producción, que se definen como variables cuantitativas de la investigación.

El presente trabajo se desarrolla a través de la metodología descriptiva cualitativa, por lo que se considera necesario obtener información histórica de rangos de producción y realizar comparaciones en la línea de tiempo.

9.2. Tipo de investigación

Para el presente caso particular se define como de tipo descriptivo, puesto que a través del análisis de la información histórica y en comparación con los datos obtenidos de la aplicación de las técnicas predictivas, se espera obtener mediciones de especificaciones físicas de los equipos y finalmente las comparaciones para obtener la relación entre productividad y vida útil de los equipos, lo que será útil en la gestión del mantenimiento, de toda cuenta que permitirá definir períodos adecuados de la aplicación de las técnicas predictivas al activo bajo estudio, para que posteriormente pueda tener alcance a todas las máquinas de procesos iguales.

9.3. Fases de la investigación

Para obtener los resultados esperados en este trabajo de investigación se considera necesario desarrollar las siguientes fases:

- Fase 1 revisión documental: para obtener los datos referentes a la producción obtenida se revisará y tomará información de los reportes diarios de producción, mientras que para obtener las variaciones de las dimensiones físicas de los equipos se realizarán mediciones periódicas y revisión documental de los procedimientos y equipos necesarios.
- Fase 2 revisión teórico-técnica: en este apartado se realizará la investigación documental de los conceptos aplicados en el caso de estudio, tales como: gestión de activos, termografía y ultrasonido, para poder enfatizar el alcance de las técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas.

- Fase 3 tabulación de información: en esta fase se recopilará y tabulará la información obtenida en una hoja electrónica, que facilite el manejo e interpretación de los resultados.
- Fase 4 trabajo de campo: en esta fase se realizará la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo que dan origen a este trabajo de investigación empírico.
- Fase 5 análisis de información: luego de completar las fases anteriores, la información permitirá al investigador generar conclusiones de la investigación que estén encaminadas a generar propuestas de solución de la problemática planteada.

9.4. Alcances

El alcance abarca una máquina extrusora de producción nominal de 200 kh/hr, específicamente para el cañón y tornillo de empuje, para que posteriormente se utilice como base en la cobertura de la gestión del mantenimiento predictivo de las demás máquinas extrusoras de la planta de producción.

9.5. Plan de muestreo

Se requiere realizar una asociación entre variables numéricas, para que posteriormente la información sea de utilidad en la toma de decisiones de la gestión de mantenimiento. Se tomarán diversas muestras de variables como las siguientes:

- Temperatura

- Amperaje
- Diámetro
- Espesores
- Rangos de producción

Para el caso de las mediciones de diámetro y espesores del cañón y tornillo de empuje se considera realizar 3 mediciones, derivado de la complejidad de la aplicación de la técnica de ultrasonido y el tiempo que implica detener la producción de la maquinaria, mientras que las demás variables serán datos que tienen diferentes períodos de medición, por ejemplo, para el caso de los rangos de producción se realiza cada 12 horas. La temperatura y amperaje que son variables de control de proceso se tomarán semanalmente.

9.6. Instrumentos de recopilación de la información

Para la recopilación de la información de las distintas variables se utilizarán diferentes formatos. Algunos son completados por el personal operativo de producción y otros serán anotados por el personal técnico de mantenimiento.

Para el caso de los niveles de producción se tiene el reporte de producción por cada turno (ver anexo 1). Estos valores serán tabulados en una hoja electrónica (Excel), para luego generar tendencias de producción en función del tiempo. Posteriormente se tiene los formatos del monitoreo de condiciones, es decir, aquellos donde se anotarán las condiciones en las cuales opera la máquina extrusora (ver apéndices 1 y 2). Las variables que estarán bajo un monitoreo son las siguientes:

- Temperatura de la caja reductora

- Amperaje de motor de tornillo extrusor
- Velocidad de operación del tornillo extrusor
- Temperatura del motor del tornillo extrusor

De igual manera se tabularán en una hoja electrónica para posteriormente realizar gráficas que muestren la tendencia del funcionamiento del equipo.

En consecuencia, se establecerá una relación matemática entre las variables medidas que finalmente serán de utilidad para la gestión del mantenimiento y la toma de decisiones sobre los equipos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

- Información de campo

Se recopilará información de los reportes de producción para realizar un análisis sistemático de la variable kilos producidos del equipo bajo estudio.

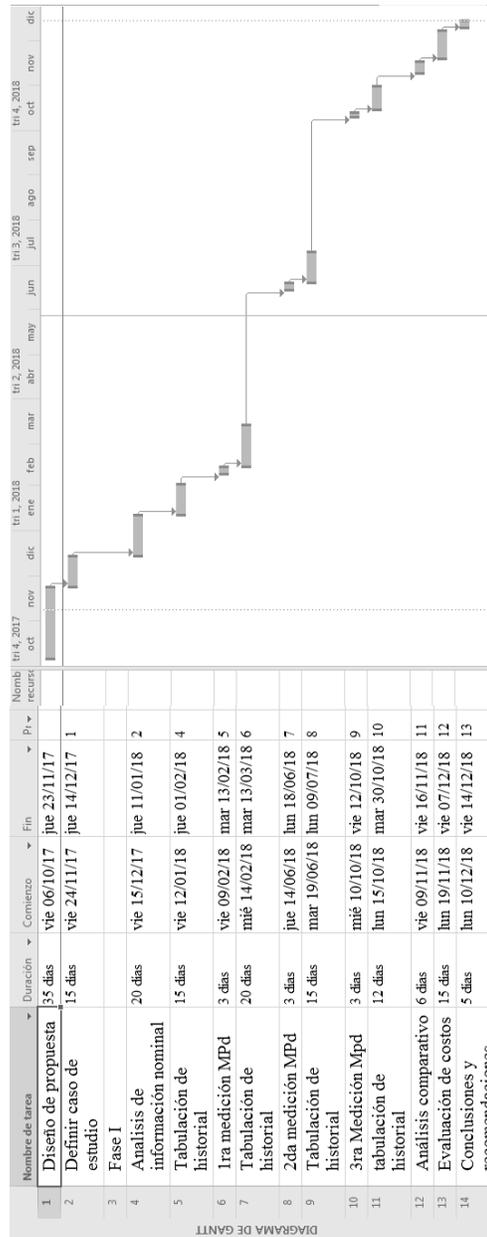
Además se tabulará la información de las variables medidas a través del uso de las técnicas de mantenimiento predictivo. Posteriormente se podrá analizar y generar una proyección a futuro de las variables en control. Para el investigador será de gran utilidad revisar las características y comportamiento de las variables en el pasado, para de esa forma poder definir su proyección en el futuro.

- Análisis gráfico

A través de gráficos se podrá relacionar las diversas variables medidas y obtener una perspectiva global de los resultados. Para el investigador y el personal dueño del proceso será de ayuda disponer de la información presentada de esta forma, porque podrán analizar la relación de todas las variables, por ejemplo: rendimiento del equipo y desgaste de los componentes, lo cual permitirá definir oportunamente el cambio de los activos bajo análisis, de tal forma que se obtenga el mayor rendimiento de los equipos.

11. CRONOGRAMA

Figura 13. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS

- Ensayos no destructivos

Las inspecciones necesarias a través de los END de termografía y ultrasonido.

- Herramientas

Dispositivos de uso general en mantenimiento para medición y monitoreo de condiciones, tales como:

- Multímetro
- Cinta métrica
- Calibrador Vernier
- Cámara termográfica

- Financieros

Los recursos de financiamiento que se utilizarán para el desarrollo de la investigación se estiman en un total de Q 11 300,00, distribuidos de acuerdo a la tabla 1. Para el caso del ítem 2 se considera la contratación de un proveedor que realizará los ensayos de termografía y ultrasonido. Sin embargo, es probable que la empresa donde se desarrolle el análisis tenga la disposición de adquirir los equipos para implementar ensayos de ultrasonido y termografía, para que posteriormente puedan ser parte de la gestión de mantenimiento de activos en la sección de mantenimiento predictivo (MPd).

Tabla II. **Resumen de costos**

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Asesor	Q 2,500.00
2	3 ensayos no destructivos (ultrasonido + termografía)	Q 7,000.00
3	Horas de trabajo de técnicos de mantenimiento	Q 1,600.00
4	Papelería	Q 200.00
	TOTAL	Q11,300.00

Fuente: elaboración propia.

- Humanos

El equipo humano necesario para el desarrollo del presente trabajo de tesis está conformado de la siguiente forma:

- 1 asesor de tesis
- 2 analistas de END
- 2 técnicos de mantenimiento
- 1 investigador de tesis

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de Ensayos no Destructivos. *Ensayos no destructivos de ultrasonidos nivel II*. 2009.
2. ALADESAYE, M. (2008) *Application of predictive maintenance to industry including cepstrum analysis of a gearbox*. Tesis Doctoral. Massey University Auckland, New Zealand.
3. ALTMAN, C. (2005). *El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo de flotas de maquinaria pesada. Gestión de activos y confiabilidad*. I Congreso de Mantenimiento, Montevideo, Uruguay.
4. AMENDOLA, L. (2013). *Gestión integral de mantenimiento de activos como estrategia de negocios. Mantenimiento, ingeniería industrial y de edificios*. Págs. 12-16
5. BALAGEAS, D. (2007). *Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la evaluación no destructiva (END)*. IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, Argentina.
6. CANTOR, K. (2006). *Blow film extrusion*. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag.
7. CÁRCEL, J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.197>.

8. CÁRDENAS, M. (2007). *Análisis comparativo de evaluación de defectos en ductos entre estudios realizados con equipos instrumentados inteligentes de segunda y tercera generación*. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México.
9. COLÍN, C.; VILIESID, M. (2010). *Consideraciones en la estimación de incertidumbre en la calibración y medición con medidor de espesores por ultrasonido*. Simposio de Metrología en CENAM, Querétaro, México.
10. DELGADO, O.; MEDINA, J. (2005). *Extrusión de perfiles espumados de madera plástica*. Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Págs. 58-63
11. GARCÍA, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
12. GILES, H. (2005). *Extrusion: the definitive processing guide and handbook*. United States of America: William Andrew, Inc.
13. GÓMEZ, Jimmy; GUTIÉRREZ, Jorge. (2007). *Diseño de una extrusora para plástico*. Tesis de Tecnólogo en Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
14. HERNÁNDEZ, Roberto; et al. (1997). *Metodología de la investigación*. Colombia: McGraw-Hill.

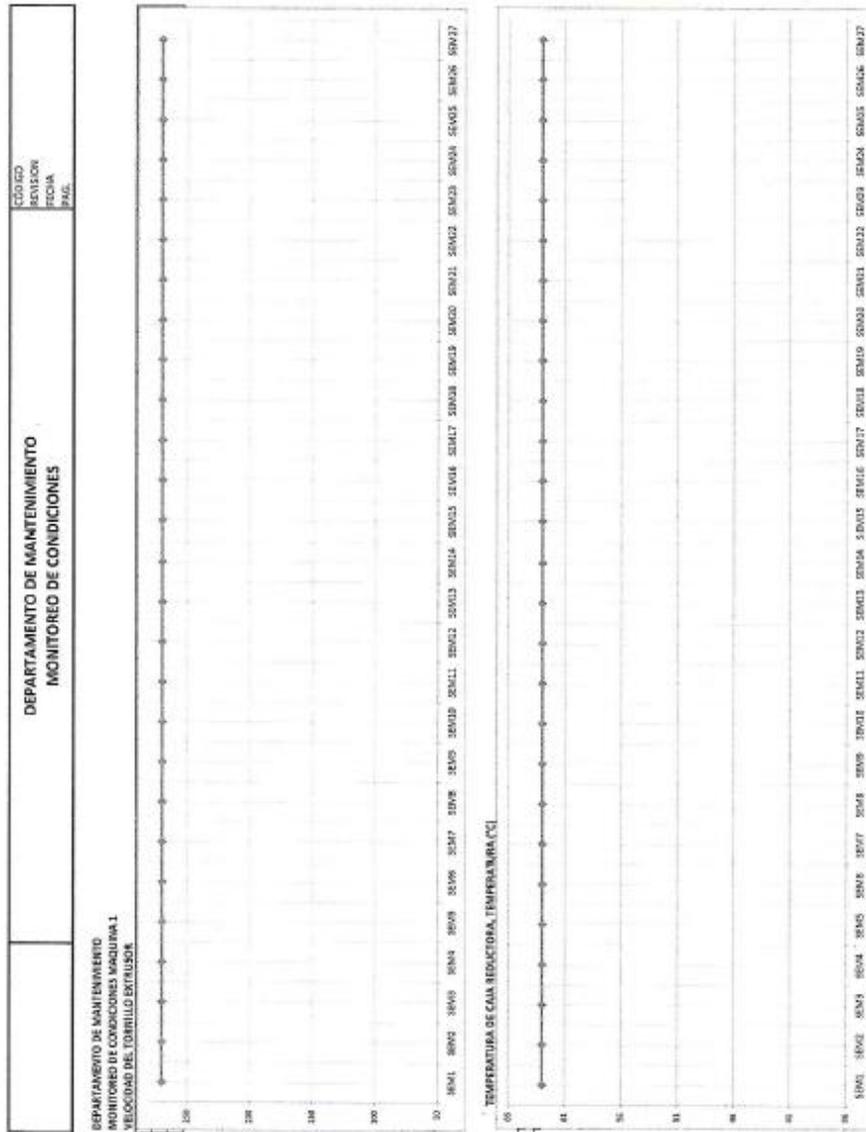
15. HUACUZ, H. (2003). *Determinación óptima de la frecuencia de mantenimiento preventivo. Confiabilidad y mantenimiento.* Primer Seminario Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. México.
16. International Standard ISO 17359. (2003). *Condition monitoring and diagnostics of machines-General guidelines.* Switzerland.
17. JIMÉNEZ, G; et al. (1993). *Simulación de un proceso de extrusión de polietileno de alta densidad.* Tesis de la Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, México.
18. MALDONADO, M.; MEDINA, C. (2008). *Diseño y construcción de una extrusora con capacidad de 1 Kg/h, diseño de proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET.* Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica del Ejército, Salgoquí, Ecuador.
19. MUÑOZ, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis.* México: Pearson.
20. OLARTE, W.; BOTERO, M.; CAÑÓN, B. (2010). *Técnicas de mantenimiento predictivo usadas en la industria. Scientia et Technica.* Págs. 223-226.
21. OLARTE, W.; BOTERO, M. (2011). *La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo.* Scientia et Technica. Págs. 230-233.

22. PARRA, E. (2009). *Arquímedes: su vida, obras y aportes a la matemática moderna*. Revista digital de matemática, educación e internet. [en línea] <http://www.Cidse.itcr.ac.cr/revistamate/>. [Consulta: 2018].
23. PÉREZ, R.; TORRES, A.; CANDAL, M. (2013). *Efectos de las variables del proceso de extrusión sobre la relación estructura-propiedades de películas tubulares de PEBD*. Revista Iberoamericana de Polímeros, P. 257-274.
24. PUERTAS, J. (2016). *Gestión estratégica del mantenimiento de clase mundial*. Seminario llevado a cabo en Cámara de Industria de Guatemala, Guatemala.
25. QUESADA, G. (2006). *Modelo para análisis de la confiabilidad y disponibilidad en plantas de procesamiento de petróleo*. Tesis de Maestría, Universidad del Zulia, Venezuela.
26. RODRÍGUEZ, E.; MIGUEL, A.; SÁNCHEZ, M. (2001). *Gestión de mantenimiento para equipos médicos*. II Congreso Latinoamericano de Bioingeniería, La Habana, Cuba.
27. SÁNCHEZ, J. (2012). *Estudio del ensayo no destructivo ultrasónico aplicado a líneas de tuberías submarinas en mantenimiento*. Tesis de Maestría, Universidad Libre, Colombia.
28. SANTOS, E.; et al. (2005). *El ultrasonido y sus aplicaciones*. Revista Industrial Data, Revista de Investigación, Págs. 25-28

29. TABARES, L. (2006). *Administración moderna del mantenimiento*. Brasil: Novo Polo.
30. VALDEZ, J.; SAN MARTÍN, E. (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplas*. Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena, Colombia.
31. ZALDÍVAR, M. (2006). *El mantenimiento técnico: un reto histórico-lógico en el perfeccionamiento de la actividad gerencial*. Tecnología en Marcha. Págs. 24-30

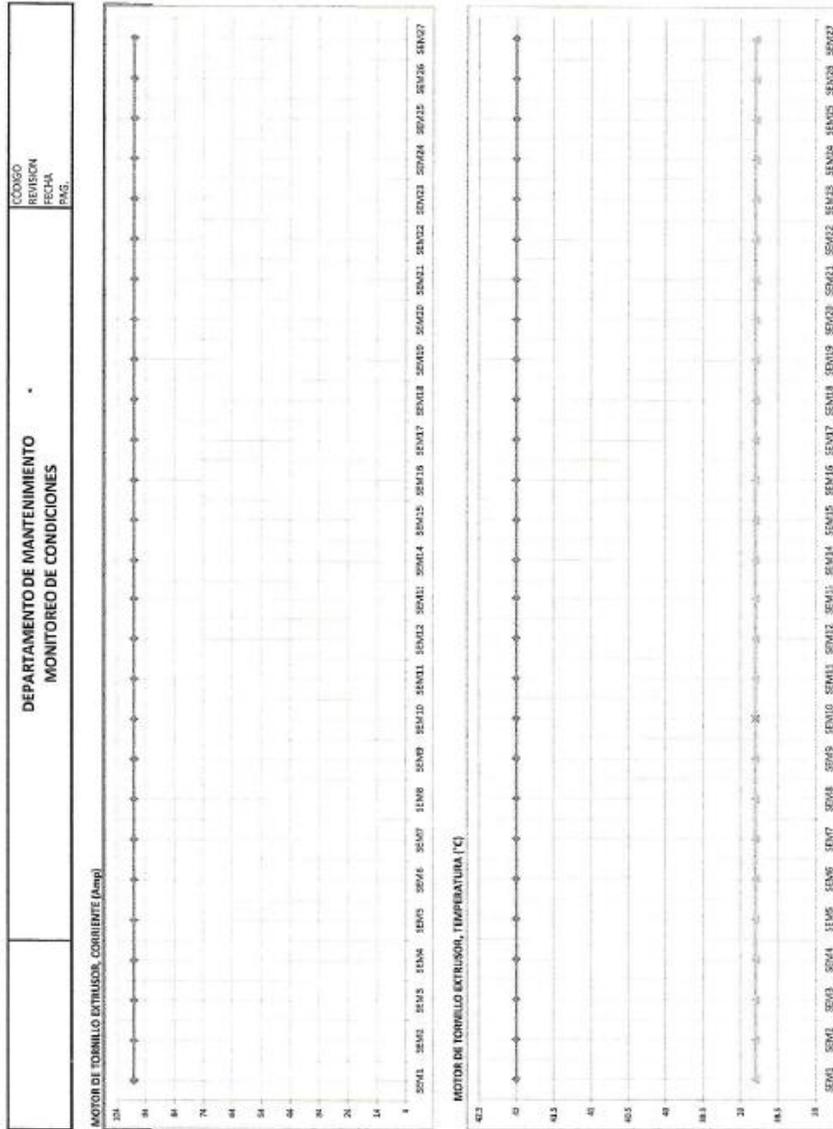
APÉNDICE

Apéndice 1. Monitoreo de condiciones 1



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Monitoreo de condiciones 2



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	INDICADORES	TECNICAS DE INVESTIGACIÓN
¿Qué modelo de gestión de mantenimiento predictivo es el adecuado para optimizar el rendimiento de un cañón y tornillo de una máquina extrusora, basado en la norma ISO 17359?	Diseñar el modelo de gestión del mantenimiento predictivo, a través de las técnicas de ultrasonido y termografía, para el cañón y husillo de empuje de una máquina extrusora según ISO 17359	Variable Independiente: Condiciones físicas del cañón y husillo Variable Dependiente: Rango de producción de máquina extrusora	Técnicas de recolección de datos: Análisis documental histórico; Análisis de formatos de control de producción, Análisis de formatos de monitoreo de condiciones; Análisis de ensayos de ultrasonido	Para Xi: Diámetro interior y diámetro exterior. Para Xd: Nivel de productividad	Tipo de investigación: Descriptiva. Toda vez que se miden diversas variables independientemente para que en conjunto se pueda describir lo que se investiga. Diseño de la Investigación. No experimental ; se obtendrán datos históricos para realizar análisis . Ademas. se tomaran datos a través de los metodos END. Además de ser descriptiva cualitativa, porque se obtendrán datos históricos y se complementaran con datos de END
¿Por qué es importante utilizar la técnica VOSO como parámetro inicial para la aplicación de otras técnicas de mantenimiento predictivo?	Establecer la importancia que tiene la aplicación de la técnica VOSO, como parámetro inicial para la aplicación de las otras técnicas de mantenimiento predictivo	Variable Independiente: % cumplimiento plan de mantenimiento predictivo. Corriente en amperios. Temperaturas en °C. Variable Dependiente: Rango de producción obtenido. Producción en Kg/hr. Holgura entre cañón y husillo			
¿Cómo se puede obtener la frecuencia adecuada de la aplicación de los END, ultrasonido y Termografía, en la gestión del mantenimiento predictivo del cañón y husillo de empuje de una máquina extrusora?	Determinar la frecuencia adecuada para la aplicación de los END dentro de la gestión del mantenimiento predictivo, del cañón y husillo de una máquina extrusora	Velocidad del tornillo extrusor en RMP. Variable Dependiente: Rango de producción obtenido. Producción en Kg/hr. Holgura entre cañón y husillo			
¿Cómo se puede obtener una proyección técnica de la vida útil del cañón y husillo de una máquina extrusora con la gestión del mantenimiento predictivo?	Construir una relación matemática entre las condiciones dimensionales y la productividad de la máquina extrusora, que ayuden a definir la vida útil del cañón y husillo de empuje				
¿Cómo se puede obtener una relación técnica entre las condiciones dimensionales del cañón y husillo, y el rango de producción por unidad de tiempo de una máquina extrusora?	Desarrollar una relación técnica entre las condiciones dimensionales del cañón y husillo de empuje, y el rango de producción de una máquina extrusora				

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Certificado de competencias personales



IRAM, Organismo de certificación de personas acreditado por el OAA según norma IRAM-ISO/IEC 17024:2013 (ISO/IEC 17024:2012, IDT) certifica que

CARÍAS, Rudy René

documento de identidad
Pas. 2649057250502

ha dado cumplimiento a los requisitos de la norma
IRAM-NM-ISO 9712:2014 (ISO 9712:2012, IDT)

cuyo alcance es:
Sector: Ensayos previos y durante el servicio, que incluyen los de fabricación.

Método: Ultrasonidos
Nivel: 2
Organismo calificador autorizado: ENDE - CNEA

Nº de certificado: 001/US/2/520

Fecha de otorgamiento: 14/07/2017
Fecha de vencimiento: 14/07/2022

Titular del certificado

Dirección de Certificación

OAA ✓

Organismo
Argentino de
Acreditación

Organismo de Certificación
de Personas
05/1/2012

DC-FI_066 Rev 02

IRAM | Perú 552/6 | C1068AAB | Buenos Aires, República Argentina | certipersonas@iram.org.ar
Este certificado es propiedad de IRAM y debe confirmarse su vigencia y forma de uso autorizada en www.iram.org.ar

Fuente: IRAM, Buenos Aires, Argentina.

