



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA  
ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES  
TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA  
NORMA ISO 10012**

**Edgar Alexander Nova Esquivel**

Asesorado por la Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDGAR ALEXANDER NOVA ESQUIVEL**

ASESORADO POR LA INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez.

## **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 PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha mayo 2,019.

**Edgar Alexander Nova Esquivel.**

Ref. . AGS-MIMPP-004-2019

Guatemala, 14 de marzo de 2019.

Director:  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de **Ingeniería Mecánica Industrial**  
Su despacho. -

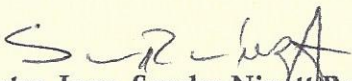
Estimado Director:

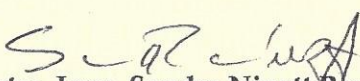
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Edgar Alexander Nova Esquivel** carné número **200512278**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de 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.

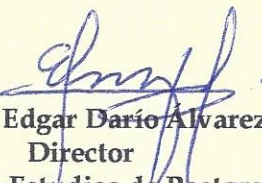
Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestra. Inga. Sandra Ninett Ramirez F.  
Asesor(a)

  
Maestra. Inga. Sandra Ninett Ramirez F.  
Coordinadora de Área  
Gestión de Servicios

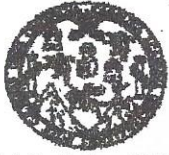
*Sandra Ninett Ramirez Flores*  
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437  
Asoc. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

  
Maestro Ing. Edgar Dario Alvarez Coti  
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.



REF.DIR.EMI.075.019

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 DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Alexander Nova Esquivel**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas**  
**DIRECTOR a.i.**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**



Guatemala, mayo de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

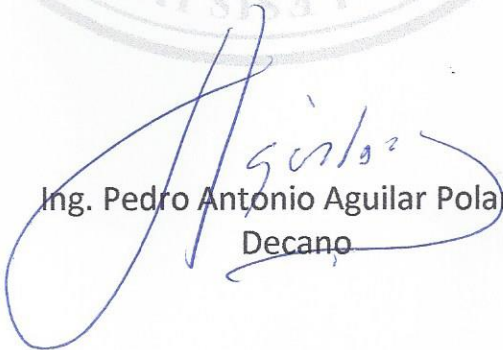


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 242.2019

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 DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Alexander Nova Esquivel**, 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, mayo de 2019



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Quienes con su ejemplo y apoyo me han acompañado siempre.

### **Mis hermanos**

Quienes con amistad y consejos han estado siempre conmigo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**      Por ser mi casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**      Por formarme como profesional.

**Asesor de tesis**      Por compartirme sus conocimientos.

**Mi familia**      Por apoyarme siempre.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO.....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Pregunta general .....	10
3.2. Preguntas específicas .....	10
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. Objetivo general .....	15
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Definición de PET .....	19
7.1.1. Propiedades físicas del PET .....	20
7.1.2. Reciclaje del PET.....	20
7.2. Definición de mantenimiento preventivo .....	22
7.2.1. Mantenimiento a equipos de medición .....	22

7.2.2.	Mantenimiento a sensores termopares.....	23
7.3.	Normas ISO .....	24
7.3.1.	Norma ISO 10012.....	25
7.4.	Definición de calibración .....	26
7.4.1.	Calibración de termopares.....	26
7.5.	Definición de termopar .....	28
7.5.1.	Tipos de termopares.....	29
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	31
9.	MARCO METODOLÓGICO .....	33
9.1.	Diseño de la investigación.....	33
9.2.	Tipo de estudio.....	33
9.3.	Alcances de la investigación .....	34
9.4.	Variables cuantitativas .....	34
9.5.	Indicadores .....	35
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	37
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	39
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	41
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	18
2.	Estructura del PET.....	19
3.	Equipo para calibración de termopares.....	27
4.	Sensor termopar.....	28
5.	Aislamiento del termopar.....	29
6.	Tipos de termopares.....	30
7.	Cronograma de actividades.....	39

### TABLAS

I.	Montos aproximados de la investigación.....	42
----	---	----



## GLOSARIO

<b>Calibración</b>	Es la comparación de la lectura de un instrumento a analizar con la lectura generada por un instrumento de referencia (o patrón) bajo determinadas condiciones.
<b>Certeza</b>	Lo que tiene la calidad de cierto, real, verdadero, lo que escapa de toda posibilidad de duda.
<b>Certificación</b>	Garantía de que determinado producto, servicio, sistema, proceso, etc., cumple con las exigencias marcadas en diferentes normas.
<b>Extrusión</b>	Es un proceso industrial mecánico en que se realiza una acción de moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.
<b>Medición</b>	Proceso básico que consiste en comparar un patrón elegido con otro objeto o fenómeno que tenga una magnitud física igual a este para poder así calcular cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud en especial.
<b>Normas ISO</b>	(International Organization for Standardization). Son documentos que especifican requerimientos que pueden ser empleados en organizaciones para garantizar que los productos y/o servicios ofrecidos por dichas organizaciones cumplen con su objetivo.



# 1. INTRODUCCIÓN

La empresa en la que se realizará el trabajo de investigación se dedica a procesar una resina de PET (tereftalato de polietileno) reciclado desde botellas post-consumo y post-industrial, mediante un proceso de alta tecnología europea certificado por la FDA (Food and Drug Administration: Administración de Medicamentos y Alimentos).

La medición de temperatura se presenta en una gran cantidad de aplicaciones industriales. Existen diversos tipos de equipos de medición de temperatura para procesos, los dos tipos de sensores que se utilizan con mayor frecuencia son las termoresistencias (RTD) y las termocuplas o termopares (TC). A pesar de ser estos los equipos de medición más utilizados y conocidos en las industrias, se pueden enumerar diferentes problemas asociados a la medición de la variable temperatura y las diversas causas que los generan. La investigación se enfocará en los sensores termopares, los trabajos de mantenimiento preventivo y calibraciones recomendadas por la norma ISO 10012.

En la investigación se implementará un programa de calibración a termopares como herramienta de mantenimiento preventivo basado en las especificaciones de calibración de equipos de medición para monitorización y control de procesos industriales según la familia de normas ISO 10012.

En el capítulo uno se definirán los aspectos teóricos que intervienen en la investigación, como: una breve descripción del proceso industrial en el cual se enfocará el proyecto, para poner en contexto la importancia en la exactitud de la medición de la variable temperatura en cualquier proceso productivo de



transformación de materiales, la definición de la variable de proceso a medir, la descripción de los diferentes tipos de sensores que se pueden utilizar para la aplicación analizada, se detallarán las normas internacionales que rigen los lineamientos y procedimientos para la correcta calibración de los equipos de medición de variables de procesos industriales y se enumerarán las diferentes técnicas que se pueden utilizar para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y calibración para los termopares.

El capítulo número dos se enfocará en la fase experimental, se analizará la factibilidad económica tomando en cuenta dos opciones, la primera es contratar a una empresa especializada y certificada en trabajos de calibración y mantenimiento preventivo aplicado a termopares, y la segunda opción es adquirir el equipo para realizar la calibración de estos sensores y certificar a un técnico del departamento de mantenimiento para que realice los trabajos periódicamente, tomando en cuenta que en la segunda opción se debe certificar el buen funcionamiento del equipo de calibración con periodicidad anual.

Después de determinar la factibilidad económica se procederá a la toma de datos y realización de tablas comparativas en las que se anotarán las variables de mayor incidencia en el proceso, la temperatura registrada y la señal en mA (miliamperios) o mV (mili voltios) que retorna hacia el controlador de temperatura.

En el capítulo tres se evaluarán los resultados registrados en la toma de datos generada en el capítulo anterior, los valores obtenidos se compararán con las tablas predeterminadas para la calibración de sensores, los datos a utilizar como referencia son establecidos en las normas de calibración de equipos de medición en variables en procesos industriales, también se tomarán en cuenta otras variables como las horas de trabajo analizadas y los rangos de temperatura en los que se desempeñan.

En el capítulo cuatro se diseñará un programa de mantenimiento preventivo y calibración que cumpla con los requerimientos de las normas ISO que rigen a los equipos de medición de variables en procesos industriales. Luego se determinará la periodicidad en la cual se deben realizar los trabajos descritos en el plan de mantenimiento, para garantizar el buen funcionamiento de los termopares que se encuentran en las diferentes etapas del proceso productivo.



## 2. ANTECEDENTES

En todos los procesos productivos existen variables que se pueden regular para obtener diferentes características en las materias primas, productos terminados, condiciones ambientales, entre otros aspectos. Cada aplicación requiere de un instrumento de medición que garantice exactitud y fiabilidad en las lecturas. Hilario y Salcedo (2013) hacen énfasis en que los instrumentos que se utilicen para la medición de las variables y los equipos utilizados para realizar los trabajos de calibración deben manipularse cuidadosamente, de tal manera que su desempeño y exactitud no se expongan a riesgo alguno.

Angosto (2016) indica que todo proceso que contenga medición de variables presenta errores en las lecturas, ya que ninguna medida es completamente exacta y presenta rangos permisibles en su funcionamiento. El origen de los errores en la medición de variables es muy amplio, entre los más comunes están: los errores por la intervención del operador o por el método de medición, errores por el medio ambiente en el que se toma la muestra para medir la variable y la más común es por error en el instrumento que se utiliza para la medición de la variable en el proceso. La calibración de un instrumento de medición permite determinar la relación que presentan las lecturas indicadas por dicho equipo para un patrón de referencia y los valores establecidos de dicho patrón.

En la mayoría de procesos industriales que existen en la actualidad está presente la medición de la temperatura, para cuantificarla comúnmente se utilizan dos tipos de instrumentos o termoelementos: las termoresistencias (RTD) y las termocuplas o termopares (TC). A pesar de que la medición de la temperatura

es uno de los métodos con mayor presencia en la industria se pueden encontrar muchos inconvenientes asociados a esta variable, la mayor parte de ellos se debe a que no se realizan trabajos de mantenimiento preventivo, tampoco calibraciones periódicas para garantizar que la medición presentada cumpla con los rangos permisibles de error para cada aplicación.

Se debe tomar en cuenta que los termopares son equipos delicados debido a que están compuestos por la unión de dos metales puros o aleaciones que interactúan entre sí para proporcionar la lectura de la variable, según Di Ciancia (2016).

En condiciones dinámicas la magnitud del error presenta variaciones porcentuales considerables porque los instrumentos de medición toman energía del proceso que están midiendo y la transferencia de energía requiere tiempo de transmisión, lo cual genera retrasos en la lectura que representan los controladores. Los termopares, según la distancia a la que se encuentren del punto de control, cuentan con un aislamiento que protege el instrumento de las condiciones externas a las que se expone en las diferentes aplicaciones que se utilizan, la protección suele fabricarse de acero inoxidable y un cabezal de aluminio. Los cables que se utilizan deben ser protegidos para transportar la señal eléctrica y evitar que sufran alteraciones en la medición, todos estos aspectos tienen gran importancia porque son necesarios al reducir la magnitud del error y garantizar que la lectura de la temperatura se encuentre en los rangos aceptables dependiendo de la aplicación, según Chiva (2014).

En los laboratorios de calibración para equipos de medición de variables se lleva a cabo la trazabilidad de los mismos basándose en procedimientos predeterminados según normas con estándares internacionales, que al ser aplicadas generan confiabilidad en los valores que indica el instrumento. Adriana

Moreno (2007) considera que contar con instrumentos de calibración correctamente calibrados es muy importante para el buen desempeño y la optimización de los recursos en cualquier proceso productivo. Existen calibraciones en las cuales el procedimiento se realiza completamente de manera manual, y como consecuencia la probabilidad de error se incrementa respecto a una calibración realizada por medio de equipos automáticos, también los tiempos en la secuencia de calibración se elevan.

Las normas comúnmente utilizadas como referencia para realizar trabajos de calibración aplicada a instrumentos de medición en variables de proceso y certificación de gestión de la calidad son la 9001:2000, 9001:1994, 9002:1994, 9003.1994, según Domínguez (2001). Los equipos que se utilizan para realizar las calibraciones de instrumentos de medición deben estar contemplados en un programa de calibración, y realizarlo periódicamente debido a que de ellos depende la validez de los resultados de las calibraciones, muestreos o ensayos desarrollados.

No contar con un plan de control sobre los equipos de medición de variables genera un proceso no confiable y puede conllevar tareas ineficientes en una organización, porque no garantiza que las características de fabricación cumplan con los lineamientos que requiere el control de calidad. En términos financieros, las mediciones erróneas representan pérdidas económicas significativas en los procesos, ya que pueden generar desperdicio de materias primas, incremento en tiempos de paro productivo, producto fuera de especificaciones, no conformidad en productos despachados, reclamos e insatisfacción por parte de los clientes, entre otros aspectos, según Reina y Ortíz (2016).



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa en la que se realizará el estudio está ubicada en Villa Nueva, la actividad productiva a la que se dedica es el reciclaje de botellas PET post-consumo y post-industrial. Inició operaciones en el año 2008, cuenta con 3 líneas de producción: la primera es la encargada de seleccionar, embalar y almacenar las botellas que son llevadas a la planta por cualquiera de los proveedores con los que se cuenta, la siguiente línea es la de lavado y molido, en el proceso las botellas son lavadas externamente y molidas, luego pasan por un segundo proceso de lavado, las hojuelas de PET lavadas son secadas y almacenadas. La última línea de producción es la de extrusión y pelletizado, en este proceso el PET es fundido, extruido, filtrado y pelletizado para luego ser almacenado como producto terminado. En el proceso del reciclaje el sistema de medición de temperatura es fundamental para cumplir con los lineamientos de calidad; debido a su importancia, el monitoreo del desempeño de los termopares es esencial.

En la línea de extrusión de PET reciclado (objeto del estudio) no existe ningún programa de calibración y mantenimiento preventivo a los equipos de medición de variables del proceso (temperatura, presión, vacío, flujo, entre otras), el estudio a realizar se enfocará en los equipos de medición de temperatura o termopares que están distribuidos en cada una de las fases del proceso productivo. La variación de la temperatura en las diferentes zonas del proceso define las propiedades mecánicas y físicas del producto terminado.

La empresa no cuenta con la certificación de calibración de equipos de medición de temperatura del proceso que pueda garantizar el correcto funcionamiento de los mismos. Al momento de montar un termopar nuevo no se



tiene la certeza de que se esté cumpliendo con los requerimientos de calibración de equipos de medición para monitorización y control de procesos industriales según las normas ISO 10012. No contar con los equipos de medición en las mejores condiciones, ni con rangos de trabajo controlado, puede ser extremadamente costoso para el proceso productivo.

En la actualidad, el programa general de mantenimiento no incluye calibración ni trabajos preventivos a equipos de medición de variables. De acuerdo a la auditoría de procesos realizada en el mes de julio del 2018 por uno de los clientes, se concluyó que se debe realizar periódicamente para poder asegurar el buen funcionamiento de los mismos.

Al no contar con un programa de calibración y mantenimiento preventivo, no se puede garantizar que la medición de los equipos sea la correcta, la carencia de un programa de calibración conlleva una incertidumbre sobre la exactitud y precisión del desempeño de los termopares, ya que no se cuenta con un punto de referencia para determinar la eficiencia de los mismos y la posible influencia sobre las características finales del producto terminado.

### **3.1. Pregunta general**

¿Cómo se puede estandarizar el proceso de calibración en mediciones de temperatura de sensores termopares en la línea de extrusión de PET reciclado?

### **3.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál es el rango de medición actual de los termopares y las principales variables que pueden afectar el buen funcionamiento de un equipo de medición dentro del proceso productivo?

- ¿Cuál es la periodicidad con la cual se deben realizar los trabajos de calibración y mantenimiento preventivo en los termopares con las condiciones de trabajo del proceso analizado?
- ¿Cómo establecer la estandarización para los equipos de medición de temperatura que sea eficiente y a la vez económicamente viable para el proceso?



## 4. JUSTIFICACIÓN

La investigación cumple con la línea de investigación de normalización del mantenimiento: fundamentos de técnicas de mantenimiento con base en normas internacionales y producción más limpia: optimización de procesos industriales.

Ciertos clientes de la organización solicitan en las auditorías a proveedores los certificados de calibración de los instrumentos de medición de variables de cada fase de los procesos que intervienen en las propiedades físicas y mecánicas del producto terminado y que puedan generar no conformidades en los procesos subsiguientes. En el plan general de mantenimiento de la empresa no existen trabajos que se enfoquen hacia al buen funcionamiento de los equipos de medición de variables de proceso, los cuales se deben apegar a los estándares y normas internacionales sobre la gestión de mediciones que cumplan con las exigencias necesarias en los procesos y equipos de medición para demostrar los requerimientos metrológicos, con base en lo indicado por ICONTEC (2003).

Las organizaciones que tienen como finalidad la producción de bienes o servicios deben desarrollar programas que garanticen la correcta gestión de la calidad, cumpliendo con la norma ISO 9001, e integrar procedimientos para seguir la línea de la norma ISO 10012 que se enfoca en la gestión de los procesos y equipos de medición, según Rodríguez y Rivera (2008). Debido a que la empresa en la que se realizará la investigación se dedica a la producción de un producto que es materia prima para otros procesos productivos, es importante tener la certeza de que los instrumentos de medición se desempeñan de manera correcta. Para asegurar el buen funcionamiento de los equipos de medición es

necesario crear un programa de trabajos de mantenimiento preventivo y calibraciones periódicas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar de un plan de mantenimiento preventivo para la estandarización de los rangos de medición de temperatura aplicados a sensores termopares en una línea de extrusión de PET reciclado utilizando la Norma ISO 10012.

### **5.2. Específicos**

- Determinar el rango de medición de los sensores termopares y las principales variables que afectan el funcionamiento de un equipo de medición de temperatura según la norma ISO 10012.
- Definir la periodicidad necesaria de calibración de los termopares y las variables que afectan el buen funcionamiento de los equipos de medición en el proceso de extrusión de PET reciclado.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de medición de temperatura que cumpla con las especificaciones de la norma ISO 10012.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

El proyecto en desarrollo pretende alcanzar la estandarización en la medición de la temperatura en el proceso de extrusión de PET reciclado, se logrará definiendo el estado de cada termopar y determinando la certeza en la medición reflejada por cada uno. La cantidad de termopares a analizar es de 37, los cuales trabajan en un rango de temperatura desde 160 hasta 290 °C.

La calibración de los sensores termopares es importante debido a que el envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan deterioran su funcionalidad. Cuando sucede, las mediciones pierden exactitud, al calibrar los sensores se puede evitar la incerteza de las mediciones.

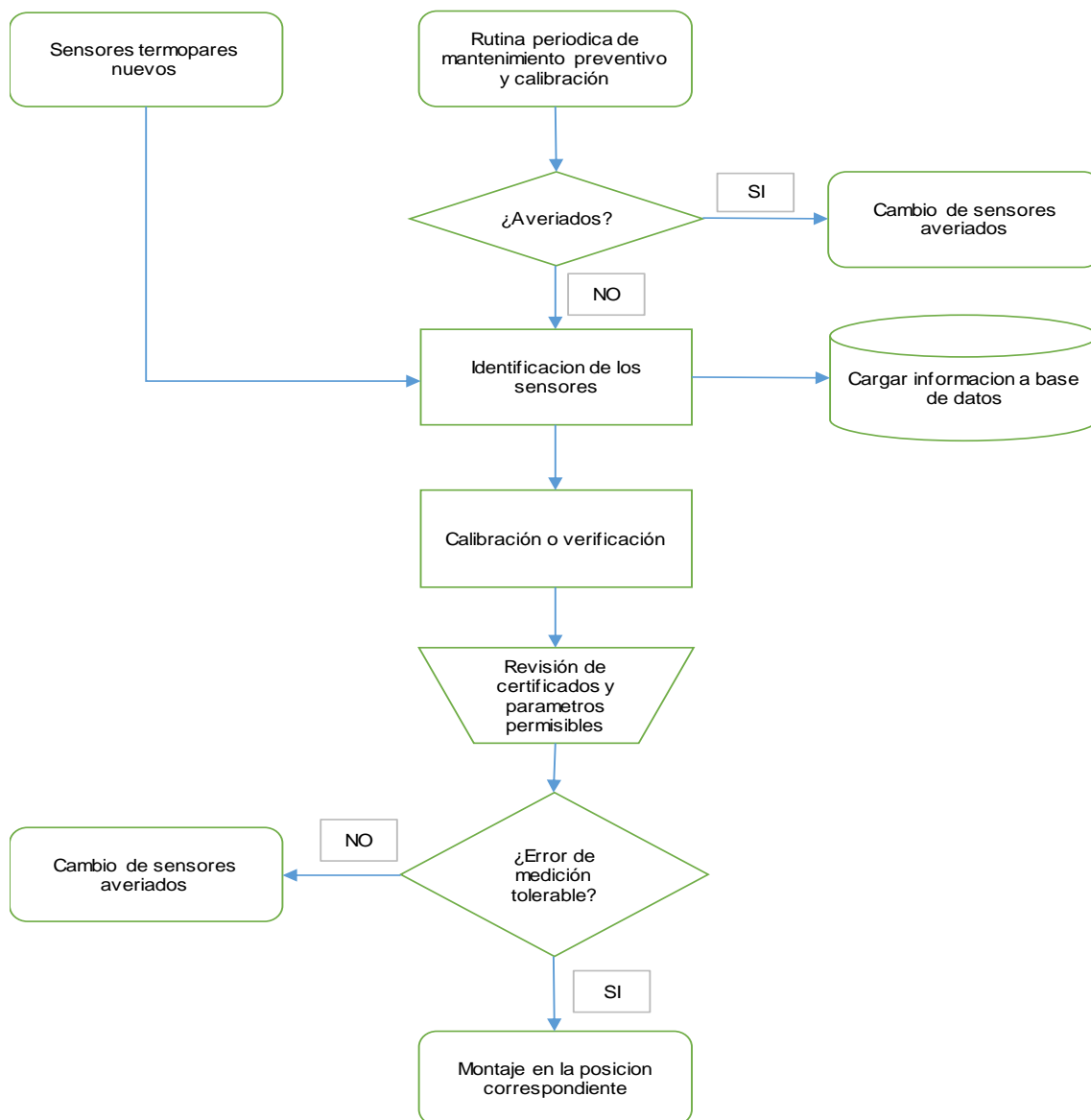
La importancia de la calibración reside en mantener y verificar el buen funcionamiento de los instrumentos de medición, responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad, garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

Tomando como base la norma ISO 10012, para sistemas de gestión de las mediciones se determinará si el sistema es eficiente en el manejo de las lecturas de variables, asegurando que el instrumento y los procesos de medición sean convenientes para su aplicación determinada y que cumplan con los requerimientos de la calidad del producto para reducir la probabilidad de conseguir resultados de medición erróneos. Con el análisis efectuado se realizarán propuestas de acciones específicas para eliminar las fallas encontradas en el sistema.



Al analizar los métodos utilizados para el sistema de medición se realizarán los estudios necesarios para determinar la fuente que genera las posibles lecturas erróneas. Los análisis van desde la comprobación del instrumento, hasta la aplicación de técnicas estadísticas en el control del proceso de medición.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

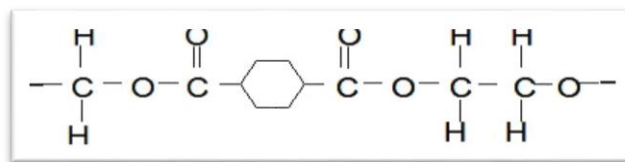
## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Definición de PET

El polietileno tereftalato es una clase de plástico que se utiliza para la elaboración de envases para bebidas con contenido carbonatado, no carbonatadas, productos de cuidado personal, productos médicos, alimentos, fibras textiles, entre otras aplicaciones. Químicamente el PET es un polímero que se adquiere por medio de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece a la clasificación de los materiales sintéticos que se conocen como poliésteres, según Herrera y Estrada (2012).

El PET es un polímero con una configuración ordenada. Así como los demás plásticos termoformables, se puede usar en los siguientes procesos: inyección, soplado y extrusión. Para impedir el crecimiento de las esferulitas y lamelas de cristales, el plástico debe ser enfriado de manera repentina, al realizar este procedimiento se obtiene un mayor porcentaje de cristalinidad, la causa de la transparencia al disminuir el calor en el material de forma rápida es debido a que los cristales no pueden desarrollarse en su totalidad y el tamaño no interfiere con el desplazamiento de la longitud de onda de la luz que se puede percibir.

Figura 2. Estructura del PET



Fuente: Herrera, J.; Estrada A. (2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicolisis.*

### **7.1.1. Propiedades físicas del PET**

Cuenta con las siguientes propiedades:

- Transparencia.
- Resistente a la corrosión.
- Resistente al desgaste.
- Elevado coeficiente de deslizamiento.
- Resistencia térmica.
- Resistencia química.
- Barrera contra CO<sub>2</sub>.
- Barrera contra O<sub>2</sub>.
- Barrera contra la humedad.
- Reusable y reciclable.
- Apto para uso en productos que tengan contacto directo con productos grado alimenticio.

Las características mecánicas y físicas que posee el PET y la capacidad de cumplir con distintas aplicaciones técnicas son las razones por las que el PET ha logrado un desarrollo relevante en la manufactura de textiles y una diversidad de envases, especialmente en la fabricación de botellas, empaques, entre otras aplicaciones, según García (2017).

### **7.1.2. Reciclaje del PET**

Las técnicas mediante las cuales se realiza el reciclaje de botellas y envases post-consumo y post-industrial de PET son principalmente tres:

reciclado químico, reciclado mecánico y aprovechamiento energético, según Quito (2011).

El proceso mecánico es la forma más utilizada para reciclar el PET, se inicia con un lavado superficial para remover cualquier contaminante que se encuentre en la parte externa de las botellas, se muele para luego pasar a un lavado con detergentes que remueven el pegamento de las etiquetas, después pasa a una fase de enjuague en la que se elimina el detergente residual en las hojuelas de PET, posteriormente se separa del polipropileno (tapa y etiquetas) en un tanque de separación por densidades.

Después de separarse llega a la etapa de secado y almacenaje, para luego ser analizado en el laboratorio de control de calidad. Si los análisis son satisfactorios las hojuelas son alimentadas y precalentadas para poder extruir el PET y después pelletizarse y ser materia prima para convertirse nuevamente en botellas, envases o fibras textiles.

El reciclaje químico es un tratamiento a los residuos del PET, el producto que se obtiene se puede destinar para generar monómeros o gases de síntesis por medio de la aplicación de procedimientos de polimerización, gasificación y otros tradicionales del refino, según Quito (2011).

En cuanto al reciclaje mediante recuperación energética, dentro de las técnicas del reciclaje se encuentran alternativas de aprovechamiento de energía, así como se aplica en varios países europeos. El polietileno tereftalato es un plástico que está conformado únicamente por átomos de hidrógeno y carbono, por lo que al ser incinerado lo único que produce es dióxido de carbono y agua con desprendimiento de energía.

## **7.2. Definición de mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es el cumplimiento de tareas metódicas y chequeos con determinada periodicidad que se programan de manera coordinada para lograr mantener en buenas condiciones las máquinas, las instalaciones y los equipos, con la finalidad de identificar situaciones inapropiadas de los elementos que potencialmente logren producir paros no programados que interrumpan el programa de producción o que puedan generar deterioro grave. Se deben efectuar de manera constante e ininterrumpida los trabajos de prevención para que en la planta se puedan evitar dichas condiciones, por medio del cumplimiento de ajustes, calibraciones, lubricaciones, inspecciones y reparaciones.

La finalidad del mantenimiento preventivo es garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria y los equipos periféricos que intervienen en el proceso productivo por medio de un mantenimiento planificado, fundamentado en las inspecciones periódicas programadas, según Sierra (2004).

### **7.2.1. Mantenimiento a equipos de medición**

Los diferentes tipos de trabajos de mantenimiento que se ejecutan en los equipos de medición de variables de proceso no son los mismos en todos los instrumentos, ya que cada tipo cuenta con cierta particularidad dependiendo la variable a analizar dentro del proceso. En términos generales, los trabajos que se efectúan con mayor frecuencia son confirmación de mediciones, cambios en la configuración de los equipos y comprobación en la calibración, para la mayor proporción de las mediciones de vacío, presión, caudal, humedad, temperatura e instrumentos de análisis de medición constante, según los autores Cornu, Del Río, Escobedo, Guerrero y Morales (2010).

Dentro de los distintos trabajos que se desempeñan en un programa de mantenimiento preventivo periódico se encuentran:

- Medición y rectificación de entradas y salidas
- Limpieza
- Lubricación
- Calibración de instrumentos con partes mecánicas

Si los equipos de medición de variables para procesos poseen programas de autodiagnóstico, el mantenimiento predictivo permite programar el mantenimiento preventivo periódico y evitar el más costoso de los mantenimientos, el correctivo, que es el que se realiza al tener presente la falla en el equipo, según Moreno (2007).

### **7.2.2. Mantenimiento a sensores termopares**

Los sensores de medición de temperatura y las resistencias térmicas de aplicación industrial son equipos que se fabrican con materiales de alta durabilidad que comúnmente requieren de tareas de mantenimiento preventivo para asegurar el buen desempeño. A continuación se enumeran consejos que contribuyen al aumento del tiempo de servicio en los equipos de medición de temperaturas:

- Verificar el apriete de las vainas y las termoresistencias.
- Verificar el apriete en las fijaciones de cajas de conexiones y los cabezales de los sensores.
- Verificar el buen estado de las uniones de las cajas de conexión y los cabezales de los sensores.

- Verificar el apriete de los fijadores de estopas y los elementos que mantienen la hermeticidad de las cajas de conexiones y los cabezales.
- Eliminar posibles riesgos de generación de humedad, ingreso de cualquier tipo de fluido en cajas de unión y cabezales.
- Verificar que las terminales de los puntos de conexión se encuentren sin suciedad ni contaminantes externos, que no exista presencia óxido, y que las terminales cuenten con el apriete adecuado.
- Verificar que los cables no tengan tensiones accidentales en las conexiones.
- Realizar, con periodicidad, durante un paro programado, un chequeo del estado de las vainas de los sensores.
- Al instalar un instrumento nuevo, comprobar que las uniones en las roscas sean herméticas, aplicando el sellante adecuado.

### **7.3. Normas ISO**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es la institución que está a cargo de fomentar la estandarización de normas internacionales para la fabricación, comercialización y comunicación de las diferentes áreas en la industria, excluyendo las divisiones electrónica y eléctrica. Su principal función es la de procurar que las normas de productos y seguridad alcancen la estandarización para las organizaciones y empresas en todo el mundo, según Müller y Rojas (2014).

ISO forma parte de las instituciones de normativas nacionales que se encuentran en más de 146 países, con base en el fundamento de un integrante por país, con una oficina central en Suiza, que está a cargo de la supervisión de las operaciones. Debido a que ISO (International Organization for Standardization) tiene diferentes siglas de acuerdo a cada idioma (IOS, en inglés,

OIN, en francés, por Organisation Internationale de Normalisation), el consejo fundador decidió establecer un nombre corto que cumpliera para todos los idiomas. Eligieron ISO, proveniente del griego isos, que significa igual. No importando el país, ni cual sea el idioma, la abreviatura del nombre de la organización será siempre ISO, según Méndez y Avella (2009). Las normativas que desarrolla la ISO son preconcebidas, entendiendo que ISO es una organización no gubernamental y no tiene dependencia de ningún organismo internacional; como consecuencia, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país.

### **7.3.1. Norma ISO 10012**

La norma NC ISO 10012 detalla los requerimientos básicos y aporta las directrices para la correcta administración de las operaciones de medición y también para la revalidación metrológica del instrumento de medición, se utiliza para afirmar y exponer la ejecución de las requisiciones metrológicas. Especifica las condiciones del manejo de la calidad en un método de gestión de los controles que se deben utilizar en una institución que realiza lecturas de medición en el procedimiento de gestión integral, y también para verificar que los requerimientos de metrología se cumplen.

Es el criterio internacional que fomenta la aceptación de una guía que se basa en técnicas al desarrollarse, implementarse y que logra incrementar la productividad de un procedimiento para gestión de la metrología. La norma se puede aplicar a diversos tipos de organizaciones.

Así como se detalla en la descripción de la norma NC ISO 10012, un método de gestión de mediciones es un colectivo de procedimientos relacionados entre sí, o que tienen interacción, son útiles para alcanzar la validación metrológica y



el seguimiento constante de los trabajos de medición, y contiene las técnicas de soporte primordiales, como son las concernientes a la designación de compromisos, las capacidades, competencias y capacitación del personal técnico, la adjudicación de los recursos, las inspecciones, el seguimiento a los reportes de conformidades en los procesos y la continua mejora, según Báez (2012).

Una gestión metódica eficiente en la toma de las mediciones puede asegurar que el instrumento y los procedimientos de medición sean apropiados para su uso y es importante para cumplir con los fines del control de la calidad del servicio o producto que se brinda. La finalidad de un sistema de control de las mediciones es minimizar la probabilidad de falla en los instrumentos y procedimientos de medición que podrían generar consecuencias que afecten a la calidad del producto que una organización ofrece.

#### **7.4. Definición de calibración**

La calibración es la suma de tareas que define, bajo situaciones determinadas, la relación de las lecturas de un instrumento, indicador de medición, valor de referencia y los datos que corresponden a las dimensiones que están establecidas por los patrones, según Marban (2002).

##### **7.4.1. Calibración de termopares**

En la calibración de un sensor de temperatura se debe efectuar un reconocimiento inicial al equipo, tomando en cuenta los materiales con los que fue construido y la aplicación en la cual se pondrá a funcionar. La inspección es para establecer que no posea defectos mecánicos o presencia de algún contaminante. Si existe humedad se debe investigar el origen porque puede

disminuir la resistencia del aislamiento o facilitar la formación de corrientes electrolíticas, según indica Sánchez (2012).

La calibración de los termopares se efectúa sin tomar en cuenta el desempeño del sensor. Esta acción puede ser un inconveniente en las lecturas de las mediciones de variables en aplicaciones industriales porque demandan un mayor nivel de confiabilidad y repetitividad en las lecturas indicadas. El ensayo en un transmisor y sensor de variables de proceso proporciona una valoración más concluyente. Si se desarrolla con el instrumento de prueba correcto se puede reducir el número de fallas del equipo, facilitando la concordancia del sensor con el sistema de toma de lectura del transmisor, según Fluke (2015).

Figura 2. **Equipo para calibración de termopares**



Fuente: Fluke, C. (2015). *Calibración de temperatura, aplicaciones y soluciones*.

## 7.5. Definición de termopar

El termopar es un instrumento para la medición de temperatura, es un transductor que convierte a una señal eléctrica de una magnitud física. Está compuesto por dos conductores de diferentes metales, al ser unidos forman en los extremos un potencial diferencial que posee una dimensión que tiene proporcionalidad con la diferencia de las temperaturas entre los extremos, según Martínez y Azuaga (1997), el diferencial que se genera al unir los dos conductores es el fundamento del efecto Seebeck, según indica Cardona (2010).

Figura 4. **Sensor termopar**



Fuente: Martínez, P.; Azuaga, M. (1997). *Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel*.

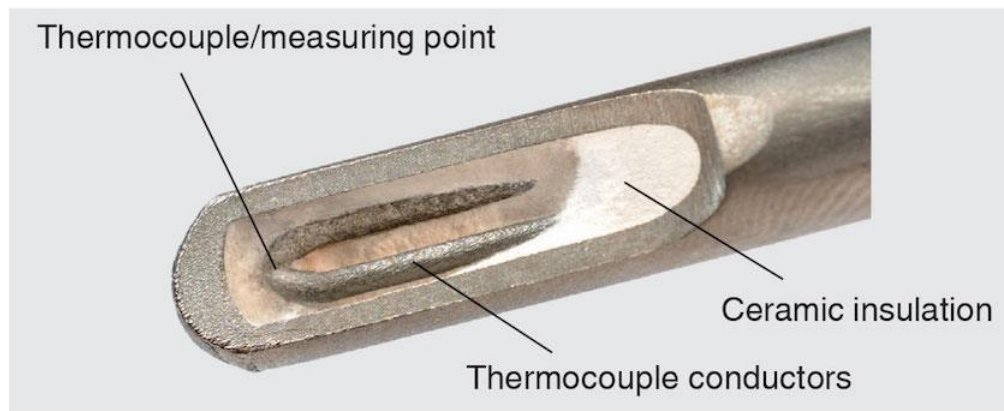
Para la medición adecuada de la variable temperatura se requiere aislar la termoresistencia, térmicamente y eléctricamente. Los materiales que se utilizan comúnmente para aislarla son:

- Teflón
- Asbesto
- Fibra de vidrio
- Cerámica

El material para el aislamiento se selecciona conforme al rango de temperatura y el medio ambiente en el cual estará instalado el instrumento, según Cedillo (1979).

En los instrumentos eléctricos para la medición de la temperatura que se utilizan en los procedimientos industriales existen dos clases de sensores: los termopares (TC) y las termoresistencias (RTD). Las dos clases de sensores de temperatura cuentan con diversos tipos de aplicación y tienen ventajas y desventajas. Las RTD más utilizadas son las PT100, el rango de aplicación va desde los  $-200^{\circ}\text{C}$  hasta los  $600^{\circ}\text{C}$ . Los termopares se pueden usar en aplicaciones hasta los  $1700^{\circ}\text{C}$ , según Wiegand (2016).

Figura 5. **Aislamiento del termopar**



Fuente: Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*.

### 7.5.1. Tipos de termopares

Al elegir los materiales para construir un sensor termopar se tienen que analizar diversas características para asegurar la fiabilidad en la lectura de la variable del proceso en cada aplicación, con base en este principio los termopares pueden ser:

- Tipo K (Níquel-Cromo)
- Tipo N (Níquel-Silicio)
- Tipo R (Platino-Rodio)
- Tipo J (Cobre-Níquel)
- Tipo T (Cobre-Níquel)
- Tipo E (Níquel-Cromo)
- Tipo S (Platino-Rodio)
- Tipo B (Platino-Rodio)

Los sensores termopares más comerciales se identifican por las letras R, J, E, K, T, esta categorización se establece por la clase de material que lo constituye y por el coeficiente térmico o la sensibilidad. Los termopares clasificados como R, J, E, K, T, cuentan con base de metal y se pueden usar en aplicaciones en las que la temperatura máxima alcance los 1000 °C. Los tipos B, R y S se catalogan como termopares nobles, este tipo posee como elemento básico, el Platino, y se utiliza en aplicaciones con temperaturas máximas de hasta 2000 °C, según Arroyo (2013).

Figura 6. Tipos de termopares

Termopar Tipo	Aleación	Rango	IEC 584	ANSI 43710
<b>K</b>	Níquel-Cromo Níquel-Aluminio	-150 a 1100°C		
<b>J</b>	Hierro Cobre-Níquel	-40 a 700°C		
<b>T</b>	Cobre Cobre-Níquel	-200 a 350°C		
<b>E</b>	Níquel-Cromo Cobre-Níquel	-150 a 800°C		
<b>N</b>	Níquel-Cromo Níquel-Silicio	-150 a 1100°C		
<b>S</b>	Platino Platino-Rodio10%	0 a 1550°C		
<b>R</b>	Platino Platino-Rodio13%	0 a 1600°C		
<b>B</b>	Platino-Rodio6% Platino-Rodio30%	0 a 1700°C		

Fuente: Arroyo, J. (2013). *Tipos de termopares*.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

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 PET

1.1.1. Propiedades físicas del PET

1.1.2. Reciclaje del PET

#### 1.2. Definición de mantenimiento preventivo

1.2.1. Mantenimiento a equipos de medición

1.2.2. Mantenimiento a sensores termopares

#### 1.3. Normas ISO

1.3.1. Norma ISO 10012

#### 1.4. Definición de calibración

1.4.1. Calibración a termopares

#### 1.5. Definición de termopar

1.5.1. Tipos de termopares

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS SENSORES TERMOPARES DE LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN BASADA EN LA NORMA ISO 10012
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN CON BASE EN LOS RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y LA CALIBRACIÓN SEGUN LA NORMA ISO 10012

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

## **9. MARCO METODOLÓGICO**

### **9.1. Diseño de la investigación**

La investigación tiene enfoque cuantitativo, ya que busca determinar numéricamente los rangos permisibles de medición de la temperatura en el proceso productivo de extrusión de PET reciclado. Para establecer los rangos se tomará en cuenta la magnitud del valor actual asignado como setpoint. Se analizará si los termopares cumplen con la tolerancia establecida por el fabricante, también se calcularán los porcentajes de corrección respecto a la tolerancia.

Para definir el estado de cada termopar y determinar la certeza reflejada en la lectura de cada uno, se utilizarán las normas ISO como parámetro para realizar las comparaciones de las mediciones de los instrumentos en el estado actual respecto al instrumento patrón de calibración. El procedimiento a utilizar para realizar la calibración aplica para termopares normalizados de acuerdo con las tablas de referencia para temperaturas de proceso de -80 a 1200 °C.

### **9.2. Tipo de estudio**

El tipo de estudio es descriptivo porque en el desarrollo de la investigación se describirá la situación actual de la lectura de los termopares que se encuentran distribuidos en el proceso de extrusión. La situación inicial de los instrumentos de medición será el punto de partida para desarrollar el programa de mantenimiento preventivo y la calibración.



Al concluir el análisis del estado inicial de los equipos de medición se definirán los procedimientos y la periodicidad de los trabajos a realizar. Se determinarán las causas que pueden generar el mal funcionamiento de los termopares en proceso y aproximar la vida útil promedio de los mismos con la base de datos obtenida en las mediciones y análisis realizados. Así, la investigación permitirá especificar los procedimientos adecuados para la conservación de los equipos de medición de temperatura, para garantizar la confiabilidad de los valores obtenidos con la medición de los diferentes termopares, y también se podrá determinar la relación entre las horas de uso y la tendencia acumulativa del error en la medición.

### **9.3. Alcances de la investigación**

Se eligió el tipo de alcance descriptivo, debido a que la finalidad es la de medir y recabar información detallada para describir sus variables con precisión. Se enumerarán de forma específica las propiedades, las características y los rangos más importantes, para poder concluir la investigación.

### **9.4. Variables cuantitativas**

Se medirá la señal de cada termopar (4-20 miliamperios), ya que los valores por debajo de los 4 y sobre los 20mA se pueden utilizar para detectar fallas en la señal, debido a que este rango se puede usar para señales de seguridad intrínseca en áreas clasificadas porque permite el chequeo de la línea.

Se evaluarán los valores de temperatura de las lecturas de cada sensor termopar del proceso para determinar la desviación respecto al valor presentado por el patrón, también se definirá el rango de temperatura adecuado para cada

aplicación y el tiempo de respuesta del sensor a los cambios presentados por las temperaturas de cada fase del proceso de producción.

## **9.5. Indicadores**

Los indicadores que se utilizarán como referencia son los ciclos por minuto de accionamiento de los contactores que alimentan eléctricamente las resistencias del proceso, debido a que una lectura estable de temperatura proporcionada por el termopar se ve reflejada en la periodicidad de cada ciclo de accionamiento. También se compararán los Kilowatts demandados por las resistencias y calentadores en cada fase del proceso, manteniendo las condiciones que puedan interferir en la variación de las lecturas para que la comparación se realice de manera objetiva y bajo los mismos parámetros de trabajo.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Los valores de temperatura medidos en cada punto seleccionado del proceso de producción se recolectarán e ingresarán a una base de datos para poder analizarlos estadísticamente y gestionarlos de manera centralizada al finalizar las mediciones. El propósito de la base de datos es simplificar la visualización y análisis de las temperaturas registradas por los termopares que están siendo utilizados para controlar el proceso.

Se realizarán tres mediciones de temperatura por termopar, al ingresar los valores tomados en la base de datos se genera el valor promedio y se determina la desviación estándar, que indicará la dispersión de los datos respecto al promedio calculado. La desviación estándar será el parámetro para establecer un valor de referencia que indique la variación general en las mediciones de temperatura del proceso.

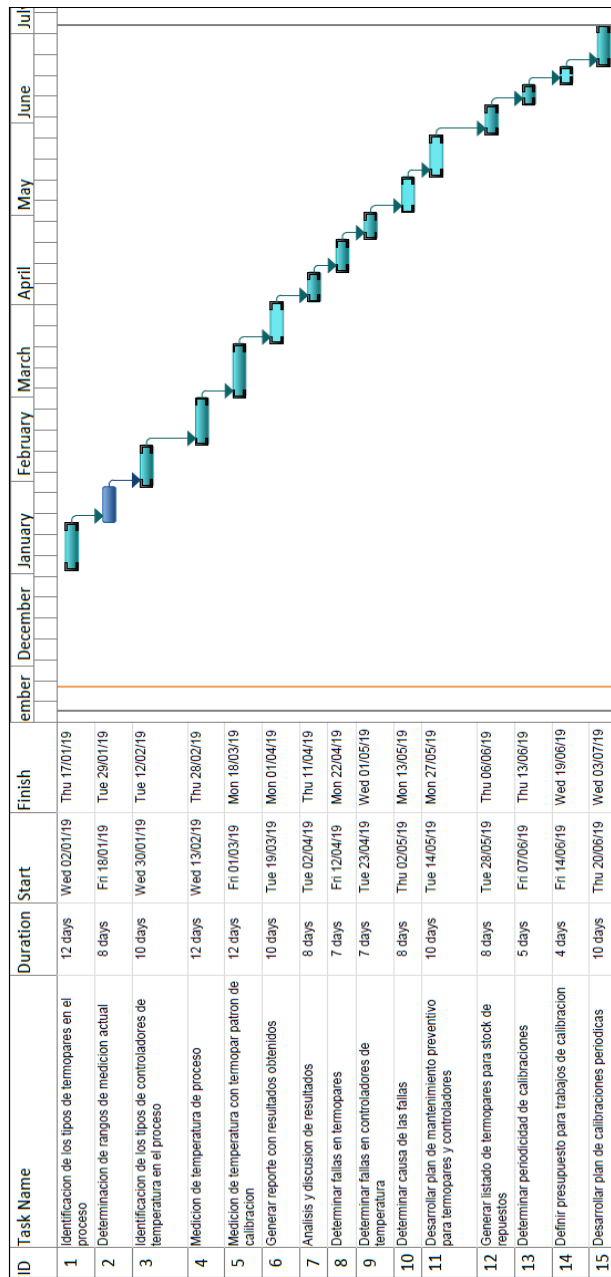
Al analizar la base de datos se podrá determinar el rango permisible de trabajo y el porcentaje de error aceptable en la medición de la temperatura. Al tener establecidas las temperaturas de proceso se generan los gráficos de control, se utilizarán como herramienta de análisis y solución de problemas, para realizarlos se establecerán los límites superiores e inferiores para cada aplicación del termopar dentro del proceso, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el producto en cada fase del flujo de material.

Se utilizarán los historiales de fallas para poder estimar el tiempo de vida útil de cada termopar y evitar variaciones en las propiedades mecánicas del producto terminado. Al analizar la tendencia en las lecturas de la temperatura se

podrá determinar si el error se mantiene dentro de los límites superior e inferior del gráfico de control, o su comportamiento indica que el error tiende a generar lecturas que se encuentren fuera de los límites.

# 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 7. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## **12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

La información acerca de los requerimientos y lineamientos a cumplir con los trabajos de calibración en los termopares se encuentra disponible en las normas ISO, específicamente en la norma 10012, que se enfoca en los sistemas de gestión de mediciones. El personal que llevará a cabo las mediciones y calibraciones es parte de una empresa que se dedica a prestar este tipo de servicios, por lo cual cuenta con los equipos técnicos, conocimientos y certificaciones necesarias para garantizar la fiabilidad de los trabajos realizados.

Dado que la realización del programa de mantenimiento preventivo y calibración a los instrumentos de medición de temperatura es un requerimiento por parte de los clientes, la empresa en la cual se desarrollará la investigación cubrirá la totalidad de los gastos en los que se tenga que incurrir.

Los conocimientos para poder llevar a cabo el programa se obtendrán por medio de manuales, normas, asesoría por parte de empresas y personal que se dedique a realizar trabajos de calibración y mantenimiento preventivo a instrumentos de medición de temperatura.



Tabla I. **Montos aproximados de la investigación**

Descripción	Unidades	Costo unitario	Costo total
Visita preliminar de inspección	1	Q350.00	Q350.00
Costo de calibración por termopar	37	Q460.00	Q17,020.00
Elaboración de certificados de calibración	37	Q0.00	Q0.00
Elaboración de manual de calibración y mantenimiento preventivo	1	Q2,150.00	Q2,150.00
			Q19,520.00

Fuente: elaboración propia.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTAHONA, D. (2006). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo en Etec, S. A.* Cartagena de Indias, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar.
2. ALZATE, E.; MONTES, J.; SILVA, C. (2007). *Medición de temperatura: sensores termoeléctricos.* Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5509>
3. ANGOSTO, D. (2016). *Desarrollo de procedimientos de calibración para instrumentación industrial.* Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
4. ARROYO, J. (2013). *Tipos de termopares.* Recuperado de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com>
5. BAUSA et al. (2003). *Sensores de temperatura.* Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
6. CANSINO, E. (2015). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fábrica Minerosa.* Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
7. CARDONA, A. (2010). *Efecto termoeléctrico.* Guadalajara, México: Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería.

8. CARREIRA, D. (2016). *Gestión de equipos de laboratorio*. Río Cuarto, Argentina: Congreso Argentino de la Ciencia.
9. CEDILLO, G. (1979). *Medición de temperatura con termopares*. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
10. CHIVA, J. (2014). *Metodología y calibración de variables de control utilizadas en sistemas navales e industriales*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
11. CIANCIA, G. D. (2016). *Solución a problemas frecuentes en mediciones con termocuplas*. AADECA, 44-46.
12. CORNU et al (2010). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la empresa Moraly*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico de México.
13. CORREA, D. (2009). *Propuesta para el uso correcto de la metrología en el aseguramiento de la calidad de los productos*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
14. DOMÍNGUEZ, J. (2001). *Calibración de los instrumentos de medida (no analizadores)*. Madrid, España: Centro de Ensayos, Innovación y Servicios.
15. FLUKE, C. (2015). *Calibración de temperatura, aplicaciones y soluciones*. Everett, EE. UU.

16. GARCÍA, S. (2012). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. Madrid, España: Renovetec.
17. HERRERA, J., ESTRADA, A. (2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicólisis*. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(3), 117-129.
18. HILARIO, A.; SALCEDO, J. (2013). *Calibración de equipos de medida*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
19. ICONTEC. (2003). *Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Norma técnica colombiana NTC-ISO 10012*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
20. INTI. (2015). *Calibración de termocuplas por comparación*. Mendoza, Argentina: INTI, Física y Metrología.
21. ISO. (2003). ISO 10012:2003 (es). Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:10012:ed-1:v1:es>.
22. ISOL, L. (2010). *Calidad y calibración*. Venezuela: Metrología SENCAMER.
23. LASO, J. (2000). *Calibración de equipos de medida*. Madrid, España: Instituto de Estudios Avanzados, Universitat Rovira i Virgili.
24. MARBAN, R.; PELLECCER, J. (2002). *Metrología para no metrólogos*. Mixco, Guatemala: Sistema Interamericano de Metrología.

25. MARTÍNEZ, P.; AZUAGA, M. (1997). *Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
26. MideBien. (2012). *Por qué mi sensor de temperatura falló en la calibración*. Recuperado de <https://midebien.com/por-que-mi-sensor-de-temperatura-fallo-en-la-calibracion/>
27. MORENO, A. (2007). *Sistema automatizado para la calibración de termopares tipo J*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
28. PLCdesign. (2016). *Rango de 4-20mA*. Recuperado de <http://plcdesign.xyz/por-que-4-20-ma/>
29. REINA, H.; ORTÍZ, J. (2016). *Propuesta para estandarización del proceso de calibración de sensores de temperatura por contacto directo para la empresa COASPHARMA, S.A.S*. Bogotá, Colombia: Instituto Técnico Central.
30. RODRÍGUEZ, R.; RIVERA, C. (2008). *Uso de ISO 10012 en el Modelo de Integración de ISO/IEC 17025 en un sistema ISO 9001*. Santiago de Querétaro, México: Centro Nacional de Metrología.
31. SÁNCHEZ, C. (2012). *Guía para la calibración de termopares*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Metrología.

32. SIERRA, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica Industrias AVM, S.A.* Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
33. URDIALES, R. (2010). *Procedimiento de control de equipos de medición.* Oviedo, España: Agencia de Sanidad Ambiental y Consumo.
34. WIEGAND, A. (2016). *Application of thermocouples.* Klingenberg, Alemania. WIKA.

