

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE SALVATIERRA**



**“ANÁLISIS DE PRUEBAS DE GALGAS
EXTENSOMÉTRICAS PARA ESTUDIOS DE
STRAIN GAGE EN GENTHERM CELAYA EBU”**

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

**Elaborada por:
ERIKA LEDEZMA PUGA**

**Para obtener el título de:
INGENIERA INDUSTRIAL**

**Asesora:
DRA. ANA LUISA OLVERA MONTOYA**

Salvatierra, Gto.

Abril, 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra

Subdirección Académica

FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Lugar y fecha: 24 de marzo de 2025

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral.

C. M.C.P. OMAR GIL VÁZQUEZ

Jefe(a) de la División de Estudios Profesionales o su equivalente en los Institutos Tecnológicos Descentralizados

PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre:	Erika Ledezma Puga
Carrera:	Ingeniería Industrial
No. De Control	IN20110221
Nombre del proyecto:	Análisis de pruebas de galgas extensométricas para estudios de strain gage en Gentherm Celaya EBU
Producto:	Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

M.C.P. Omar Gil Vázquez

Dra. Ana Luisa Olvera Montoya Nombre y firma del Asesor	Dra. Marcela Espinosa Rodríguez Nombre y firma del revisor	ME. Maribel Ramos Aguilar Nombre y firma del revisor

*Solo aplica en caso de Tesis
Ccp. Expediente



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Manuel Gómez Morín #300 Comunidad de Janicho, Salvatierra,
Guanajuato, Méx. C.P. 38900 Tels. 466 663 98 00 Ext. 130



Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a la empresa Gentherm electrónicos, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales con ellos, también quiero agradecer a mi asesor externo el Ing. Rogelio Álvarez por todos sus conocimientos compartidos conmigo y el apoyo brindado, así mismo estoy muy agradecida con la Ing. Alejandra Lara y Jorge Luviano por sus consejos, el apoyo y confianza que me dieron dentro de la empresa.

También estoy muy agradecida con mi asesora interna la Dra. Ana Luisa Olvera Montoya, que no solo me apoyo en mi trayecto de prácticas profesionales, sino en mi trayectoria académica dándonos consejos para ser mejor cada día y motivándome a esforzarme en carrera. De igual manera quiero agradecer a la Dra. Marcela Espinosa por sus consejos que reflejan su gran corazón, porque me impulsaron a no rendirme en el proceso. Sin dejar atrás los demás guías que tuve en este proceso, muchas gracias a todos mis maestros.

Por último y no menos importante quiero agradecer a mi mamá por todo su esfuerzo para poder lograr mis metas, darme los mejores ánimos con grandes palabras de motivación y enseñarme que soy capaz de alcanzar mis sueños esforzándome por ellos.

Muchas gracias, las palabras no alcanzan para expresarlo.

Dedicatoria

A mi madre, María Teresa Puga y mi abuelita Julieta Flores, les dedico todo mi esfuerzo, porque no permitieron que me rindiera, me apoyaron más que nadie a lograrlo de todas las maneras posibles, sin su amor y dedicación este logro no hubiera sido posible, ustedes han sido mi fuente de inspiración y fortaleza en el proceso.

A mis seres queridos, que han soportado mi ausencia, mis nervios y dudas, este trabajo es una retribución a su amor y dedicación.

A mi hermana, que es mi compañera en pequeñas aventuras y ratos de pelea, ha compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables, también le dedico este trabajo, se lo ha ganado por su paciencia, amistad y ratos que valen oro.

Resumen

El siguiente proyecto, se llevó a cabo con el propósito de aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera y las metodologías aprendidas en la empresa mediante la experiencia.

El objetivo principal del proyecto es llevar a cabo un análisis para identificar la posibilidad de reutilizar las galgas extensométricas que se utilizan en la empresa, y con ello disminuir los gastos de la empresa relacionados con metrología. Por ello se trabajó en analizar los cambios en las galgas extensométricas en cada uso, así como en el análisis de los cambios en los datos obtenidos de ellas, es por esto que se utilizaron herramientas como R&R según correspondan (atributos o variables), gráficos de control, análisis estadísticos (comparación de muestras pareadas), AMEF y estandarización, que permitieron identificar cada cambio y comportamiento en ellas.

Para llevarlo a cabo se pueden identificar 4 fases, la primera es identificar las características que pueden cambiar en el proceso y pueden ser significativas en su uso, segundo, monitorear como cambian con certeza estadística ellas y los datos, tercero, identificar las posibles fallas de reutilizar las galgas y cuarto, estandarizar su uso para disminuir probabilidades de fallo.

Contenido

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Tablas	vii
Índice de Ilustraciones	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO 1. DATOS GENERALES	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Objetivo General	10
1.3 Objetivos Específicos	10
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Justificación del proyecto	10
1.6 Alcance del proyecto.....	11
1.7 Limitaciones	11
1.8 Descripción detallada de las actividades	12
1.9 Lugar donde se realizará el proyecto	13
1.10 Información sobre la empresa.	14
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA	15
2.1 Fundamentos teóricos	15
2.1.1 Fundamentos del proyecto	15
2.1.2 Fundamentos para el desarrollo del proyecto	17
2.2 Filosofía de la empresa.....	17
2.2.1 Misión	17
2.2.2 Visión.....	17

2.2.3	Valores	18
2.3	Tecnología actual de la empresa	18
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO		20
3.1.	Galgas Extensométricas.....	20
3.1.1	Definición	20
3.1.2	Funcionamiento	20
3.1.3	Especificaciones	21
3.1.4	<i>Strain Gage</i>	21
3.2	MSA.....	22
3.2.1	Sistema de medición	23
3.2.2	Estudios de los sistemas de medición	23
3.3	Gráficos de control.....	29
3.3.1	Definición	29
3.3.2	Límites de control	30
3.3.3	Variación	30
3.4	Distribución muestral para la diferencia de medias	31
3.4.1	Contraste de hipótesis.....	31
3.4.2	Comparación de muestras pareadas	32
3.4.3	La ley de <i>t-Student</i>	32
3.4.4	Significancia estadística	33
3.5	AMEF.....	34
3.5.1	Tipos de AMEF	34
3.5.2	ELEMENTOS.....	35
3.5.3	Pasos para el desarrollo	37
3.6	Calidad.....	37
3.6.1	Control de la calidad	37
3.6.2	Estandarización.....	42

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	45
4.1 Enfoque de investigación.....	45
4.2 Tipo de investigación.....	45
4.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos.....	46
4.4 Método.....	47
4.4.1 Análisis de deformación de galgas tras someterse a fuerza	47
4.4.2 Análisis estadístico de datos obtenidos.	50
4.4.3 Desarrollo de un procedimiento estandarizado para la reutilización de galgas.	52
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	54
5.1 Análisis de deformación de galgas tras someterse a fuerza.....	54
5.2 Análisis estadístico de datos obtenidos.....	73
5.3 Desarrollo de un procedimiento estandarizado.....	77
Conclusiones	78
Recomendaciones.....	79
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	80
GLOSARIO	83
ANEXOS	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos generales de la empresa.....	14
Tabla 2. Equipos utilizados	18
Tabla 3. Resultado de capacidad del sistema de medición	54
Tabla 4. Informe de variación (Longitud) - R&R	56
Tabla 5. Gráficos de control (Longitud)	58
Tabla 6. Resultado de capacidad del sistema de medición (resistencia)	62
Tabla 7. Informe de variación (Resistencia) - R&R	64
Tabla 8. Gráficos de control (Resistencia).....	66
Tabla 9. Efectividad (Inspección visual)	69
Tabla 10. Kappa (Inspección Visual)	70
Tabla 11. Kappa (Inspección Visual)	73
Tabla 12. Resultados Strain gage (pruebas 1 y 2)	74
Tabla 13. Estadísticas descriptivas	74
Tabla 14. Estimación pareada para la prueba.....	74
Tabla 15. Resultados <i>Strain gage</i> (pruebas 1 y 3)	76
Tabla 16. Estadísticas descriptivas	76
Tabla 17. Estimación pareada para la prueba.....	76

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Vista satelital de la empresa	13
Ilustración 2. Curva de ley t Student.....	33
Ilustración 3. Longitud de la rejilla de medición activa	47
Ilustración 4. Medición de longitud de galga	48
Ilustración 5. Medición de resistencia Óhmica	49
Ilustración 6. Ejemplo de inspección visual.	49
Ilustración 7. Estándar aceptable de eficiencia.	50
Ilustración 8. Criterio de aceptación Kappa	50
Ilustración 9. Posición de galgas	51
Ilustración 10. Ruta comparación de muestras pareadas	51
Ilustración 11. Selección de muestras	52
Ilustración 12. t pareada: opciones.....	52
Ilustración 13. Efectividad (Inspección visual).....	71
Ilustración 14. Grafica de distribución t.....	75

INTRODUCCIÓN

Gentherm es conocido por desarrollar y comercializar tecnologías de gestión térmica para calefacción, refrigeración y control de temperatura. Entre sus productos se encuentran asientos con control de clima, calefacción radiante, acondicionamiento de cuello, y calefacción del volante, la empresa no solo se dedica al sector automotriz ya que también cuenta con productos para el sector térmico. Esta empresa realiza validaciones de distintos tipos para asegurar la calidad de sus procesos, aunque especial en las validaciones de fuerza, se utilizan Galgas extensométricas, que tienen un costo alto.

Por estos motivos, surge la necesidad de realizar este proyecto, el cual muestra el procedimiento que realizo para analizar, cada cambio que hay en las galgas al utilizarse, así como el desarrollo e implementación de los procedimientos de operación estandarizada junto con las actividades realizadas, las cuales son: estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R), gráficos de control, pruebas estadísticas de datos (comparación de muestras pareadas), AMEF y estandarización del proceso. Todas estas necesarias para identificar el comportamiento de las galgas, considerando el método de análisis de varios participantes, de esta manera se poder asegurar la reutilización de ellas.

Al tener un proceso estandarizado del uso de las galgas se puede disminuir la probabilidad de fallas consideradas en el AMEF y asegurar un resultado confiable de galgas en reusó. Con este proyecto se beneficia la empresa, ya que puede disminuir los gastos asociados a esta prueba y no se retrasará por inexistencias.

El documento consta de los siguientes apartados:

Capítulo 1: Información general referente a la planeación del desarrollo proyecto y la información de la empresa, tal como planteamiento del problema, objetivo general y específicos, los alcances, limitaciones y cronograma de actividades.

Capítulo 2: corresponde al marco de referencia, que cuenta con trabajos anteriores de otros investigadores, en los que se basó este análisis, también se encuentra la filosofía de la empresa, así como la tecnología con la que cuenta Gentherm para la realización del proyecto.

Capítulo 3: Correspondiente al marco teórico, en el que se encuentran términos necesarios para el entendimiento del proyecto.

Capítulo 4: En él se encuentra la metodología utilizada para cumplir con cada uno de los objetivos, el tipo de investigación realizada y los medios usados para llevarlos a cabo.

Capítulo 5: En él se pueden observar detalladamente los resultados de los distintos análisis.

CAPÍTULO 1. DATOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

Gentherm es una empresa dedicada a la fabricación de equipos termoeléctricos para automóviles a nivel mundial, exclusivamente en planta 4 se elaboran las piezas electrónicas. Para asegurar la calidad de sus productos a sus clientes, metrología realiza estudios de fuerza aplicada a la PCBA conocidos como estudio de *Strain Gage*, para validar que los componentes no sufren fractura alguna derivada de la máquina, durante dichos estudios se utilizan las galgas extensométricas.

Las galgas extensométricas son sensores que permiten medir la deformación de un objeto o material en un cambio de resistencia eléctrica basado en el efecto piezorresistivo y son comúnmente utilizadas para medir el desplazamiento, presión, aceleración y la tensión de un objeto. Pero al volver a utilizarlas estas pueden presentar desviación en los cálculos debido a daños que puede sufrir la galga al primer uso.

Estas galgas se utilizan principalmente para realizar validaciones de equipos involucrados en diversas fases del desarrollo de productos, de esta manera se puede garantizar la funcionabilidad de los equipos y la calidad del producto consigo, sin embargo, las galgas solamente se utilizan una sola vez ya que no se sabe si se puede confiar en el resultado de ellas tras someterse a fuerza, por lo que se deben utilizar otras nuevas en un segundo estudio.

El hecho de utilizar demasiadas galgas trae a la empresa mayores gastos, considerando que tienen un costo de 20.33 USD y se utilizan muy seguido, además algunas veces no hay las suficientes para realizar los estudios, es importante considerar la eficiencia de su uso y la disposición adecuada de estos sensores para minimizar residuos y su impacto al medio ambiente.

Por estos motivos se llevará a cabo un análisis de los cambios que se generan en las galgas extensométricas después de realizar un estudio de *Strain Gage*, considerando las especificaciones de proveedor, como lo es: longitud de galga y resistencia eléctrica, además de inspección visual de daños y análisis de varianza de datos con la finalidad de conocer la viabilidad de volverlas a utilizar.

1.2 Objetivo General

Analizar la viabilidad de reutilizar galgas extensométricas para estudios de *Strain Gage*.

1.3 Objetivos Específicos

De acuerdo con el objetivo anterior se muestran los objetivos específicos:

- Analizar la deformación de las galgas extensométricas tras someterse a fuerza.
- Realizar un análisis estadístico de datos obtenidos.
- Desarrollar un procedimiento estandarizado para la reutilización de galgas.

1.4 Hipótesis

H1: Las medias de los datos obtenidos en estudios de *Strain Gage* con galgas reutilizadas son iguales a las medias obtenidas con galgas nuevas.

H0: Las medias de los datos obtenidos en estudios de *Strain Gage* con galgas reutilizadas son diferentes a las medias obtenidas con galgas nuevas.

1.5 Justificación del proyecto

La reutilización de galgas extensométricas trae consigo diversos beneficios entre ellos:

- Reducción de costos: al dar un segundo uso, Gentherm podrá disminuir los gastos asociados a la compra de nuevas galgas, lo cual puede ser significativo en estudios que requieren cantidades grandes de ellas.
- Sostenibilidad: contribuirá a la reducción de residuos y del impacto ambiental, apoyando las iniciativas de sostenibilidad de la empresa.
- Optimización de recursos: se maximizará el uso de los materiales y recursos disponibles, mejorando la eficiencia de los procesos de producción y prueba.

1.6 Alcance del proyecto

El proyecto beneficiará principalmente al área de metrología, ya que podrá realizar más estudios de *Strain Gage*, sin retrasar su trabajo por disponibilidad de ellas.

También el departamento de pruebas eléctricas podrá informarse de fallos en sus máquinas en un menor tiempo.

1.7 Limitaciones

A continuación, se muestran las limitaciones consideradas para la realización del proyecto:

- Tiempo: La instalación de galgas extensométricas requiere de precisión al posicionarlas, especialmente si se desean ser utilizadas nuevamente, por lo que el análisis de datos puede llevar más tiempo.
- Recursos: La disponibilidad de galgas extensométricas es limitada, por lo que se debe esperar a que el proveedor envíe más, para poder proseguir.
- Disponer de aprobación para utilizar máquinas y realizar las pruebas

1.8 Descripción detallada de las actividades

A continuación, se enlistan las actividades a realizar durante la realización del proyecto:

Analizar la deformación de las galgas extensométricas tras someterse a fuerza.

- Recabar datos reales de las galgas, considerando las especificaciones del proveedor y las tolerancias (Longitud y resistencia), utilizando los dispositivos de medición necesarios, para galgas nuevas, con un uso y con un segundo uso.
- Realizar inspección visual de daños en las galgas, utilizando el microscopio, tanto para nuevas, con un uso y con un segundo uso
- Validar sensibilidad del sensor en las galgas, mediante el software Nimax, tanto para nuevas, con un uso y con un segundo uso.
- Con los datos obtenidos de longitud, resistencia y daños se realizarán gráficos de control X-R.
- Realizar R&R de los factores analizados, para los datos de proveedor se realizará por variables y para daños en las galgas se realizará por atributos.

Realizar un análisis estadístico de datos obtenidos.

- Recolectar de datos de fuerza en máquinas de corte.
- Analizar si el factor (reutilización) tiene efecto en los datos mediante una comparación de muestras pareadas.
- Analizar la varianza de los datos, mediante una prueba de hipótesis para la media t, con datos recabados.

Desarrollar un procedimiento estandarizado para la reutilización de galgas.

- Creación de MI (*Manufacturing Instruction*), para indicar el uso correcto de galgas reutilizadas.
- Desarrollo de AMEF para documentar los problemas que potencialmente se puedan presentar y a su vez puedan llegar a afectar

1.9 Lugar donde se realizará el proyecto

La ilustración 1 muestra la vista satelital de la empresa Gentherm Electrónicos, lugar donde se lleva a cabo el proyecto:

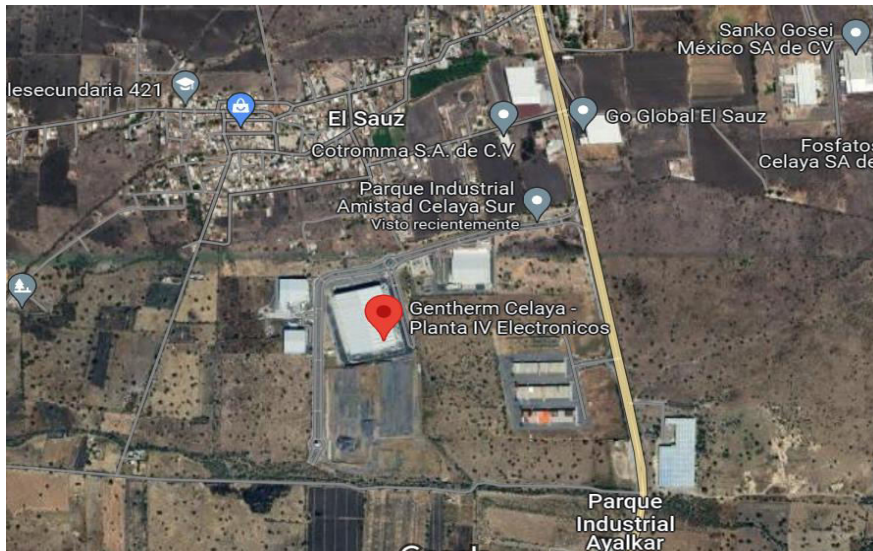


Ilustración 1. Vista satelital de la empresa

Fuente: <https://maps.google.com.mx>

1.10 Información sobre la empresa.

En la Tabla 1, se muestran los datos generales de la empresa Gentherm

Tabla 1. Datos generales de la empresa

DATOS GENERALES DE LA EMPRESA	
Nombre:	Gentherm
Giro:	EBU
Domicilio:	Av Amistad 105 Parque Industrial Amistad Celaya Sur, 38159 Celaya, Guanajuato.
Teléfono:	877 700 7000
E-mail:	Rogelio.Alvarez@gentherm.com
RFC:	38088
Nombre del contacto:	Rogelio Álvarez Blanco

Fuente: ITESS

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Fundamentos del proyecto

En proyecto realizado por Dorantes Benavidez, Dorantes Benavidez y Acosta Mendizabal (2021), titulado **"Implementación de gráficos de Control por variables (X-R) por el método R&R en el proceso de corte"**, realizan una investigación para abordar el problema que tiene la empresa CMA Automotives S.A de C.V con un componente denominado 4193, la cual es la que más afecta a la organización, debido a las variables de corte y tolerancias. Su objetivo es conocer la variabilidad del proceso, por lo que deciden realizar un muestreo para determinar el número de piezas a revisar del componente, para ello se implementó un estudio al sistema de medición (R&R), para evaluar con mayor precisión el sistema de medición, y determinar si las variaciones en las mediciones se deben al sistema o a otros factores como la calibración de equipos, también incluyen en su trabajo la implementación de gráficos de control para verificar el comportamiento del proceso y detectar variaciones anormales. La finalidad de todo esto es conocer lo que la empresa necesita, ya sea calibrar los equipos o capacitar al personal, así que al realizar el análisis se llegó a la conclusión de que los errores de corte y las tolerancias del componente se deben a la falta de calibración de los equipos, más no se debe a errores en las personas.

Gutiérrez, Chica y Pérez (2023), realizan un Estudio titulado **"Análisis de varianza y coeficiente de variación como criterios de repetibilidad de una estufa basada en gasificación de pellets"**, se llevó a cabo un estudio de repetibilidad a una estufa de cocción basada en gasificación de pellets de madera, mediante un protocolo de ebullición de agua llamado Water Boling Test. La repetibilidad se evaluó mediante 2 metodologías, las cuales son: coeficiente de variación (CV, %) y análisis de varianza (ANOVA), tomando en cuenta

las variables, eficiencia térmica (η , %), potencia (P , kW), consumo de combustible (FC , g/min), consumo específico de combustible (SFC , g/L), consumo específico de energía ($SFEC$, kJ/L) y consumo específico de energía por unidad de tiempo ($SFCT$, kJ/L-min), y mediante el análisis de coeficiente de varianza se obtuvo un CV promedio global de $4.69\% \pm 0.87\%$. Como el coeficiente de variación es menor a 5, se llegó a la conclusión que la estufa de cocción basada en gasificación es repetible. De acuerdo con la tabla ANOVA, los valores P de las variables son mayores a 0.05 ($P > 0.05$), por lo tanto, la estufa de gasificación es repetible basado en un criterio de confianza del 95%. Con todo lo anterior mencionado concluyeron que la eficiencia térmica promedio alcanzada por la estufa es aproximadamente del $29\% \pm 2.25\%$, con un nivel de confianza del 95%. Este valor de eficiencia térmica es aceptable comparado con otras estufas de cocción basadas en gasificación reportadas en la literatura con valores entre 16 y 38%.

Urbano León (2024) Realiza su proyecto de investigación titulado **“Aportaciones en Comparación Estocástica y Modelos de Regresión Logística en Muestras Pareadas de Elementos de Subespacios de L_2 Finitamente Generados”**, su trabajo trata el tema de la variabilidad y la asociación de datos funcionales, mediante la varianza, covarianza y correlación escalar. También habla al respecto sobre la utilidad de algunos de los estadísticos existentes por ser utilizados como herramientas comparativas. Entre algunos casos que muestra es la utilización de comparación de muestras pareadas para la distribución t , para identificar si existen diferencias significativas entre 2 olas de contagio de COVID-19 en Colombia para los periodos entre 7 de julio de 2020 y 20 de julio de 2021. Por otra parte, después de un exhaustivo análisis de parámetros funcionales en el problema de regresión muestra una propuesta para extender el modelo de regresión logística funcional, que modela una variable de respuesta escalar, la extensión se aborda incluyendo un efecto aleatorio en el modelo, planteando diferentes escenarios.

Los investigadores Caballero, Escalona, Donis, López, Ascanio y Ruiz (2020) presentan su trabajo titulado “Sistema de medición de presión para simuladores gástricos” debido a que el desarrollo de simuladores para emular órganos con fines de investigación ha crecido en los últimos tiempos y estos se relacionan con la creación de sistemas de medición para registrar variables involucradas como lo son la presión, el PH y la temperatura, pero utilizar un sistema de medición comercial resulta muy costoso, por lo que ellos desarrollaron uno que es capaz de medir una presión atmosférica desde 200 mmHg, para revisar si el sistema es apto evaluaron la reproducibilidad en 5 experimentos en un intervalo de presión atmosférica a 250 mmHg, pero resultado inestable, es por ello que el sistema se estableció de 0 a 200 mmHg. Para el simulador de estómago el sistema de ganancia se ajustó a 823. En este caso, la prueba se realizó entre la presión atmosférica y 120 mmHg. El tipo de ajuste para este caso fue lineal, obteniéndose una correlación con un error máximo cercano a 0.2 mmHg y una desviación estándar de 0.12 mmHg.

2.1.2 Fundamentos para el desarrollo del proyecto

Se tomarán en cuenta los registros de *Strain Gage* aplicados en la empresa para el desarrollo del proyecto y como referencia el proyecto realizado por Dorantes Benavidez, Dorantes Benavidez y Acosta Mendizabal del año 2021, titulado “Implementación de gráficos de Control por variables (X-R) por el método R&R en el proceso de corte”, debido a la similitud entre los proyectos.

2.2 Filosofía de la empresa

2.2.1 Misión

La misión de Gentherm es crear y ofrecer soluciones extraordinarias que marquen diferencias importantes en la vida diaria, mejorando la salud, el bienestar, la comodidad y la eficiencia energética.

2.2.2 Visión

La visión de Gentherm es liderar el mercado en soluciones innovadoras de gestión térmica, integrando tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles para mejorar la comodidad del consumidor en las industrias automotriz y médica.

2.2.3 Valores

Innovación: Compromiso con la mejora continua y el avance en la tecnología.

Calidad: Mantener los más altos estándares en productos y servicios.

Sostenibilidad: Centrarse en la administración ambiental y las prácticas sostenibles.

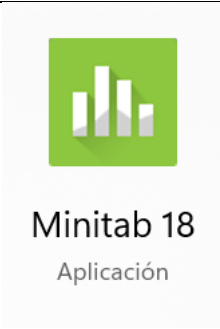
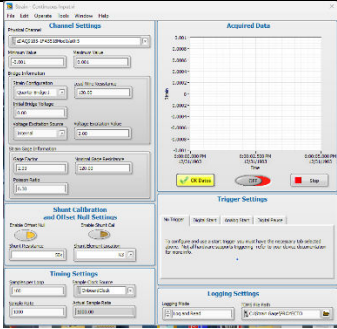
Enfoque en el cliente: Priorizar la satisfacción del cliente y las soluciones a medida.

2.3 Tecnología actual de la empresa

La Tabla 2, muestra los equipos con los que cuenta Gentherm, y son utilizados para la elaboración del proyecto:

Tabla 2. Equipos utilizados

Equipo	Descripción	Imagen
Microscopio	Microscopio <i>Keyence</i>	
Software NiMax	Detector de Voltaje	

Software estadístico	Minitab	 Minitab 18 Aplicación
Software (Strain gage)	Strain – Continuous Input.vi	

Fuente: Propia.

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1. Galgas Extensométricas

3.1.1 Definición

Montero Echeverria (2011) plantea que una galga extensométrica es un sistema o dispositivo electrónico que es utilizado para medir deformaciones por la tensión aplicada. Fueron inventadas en el año 1938 por Edward E. Simmons y Artur C. Ruge, funcionan de acuerdo al cambio en su resistencia eléctrica de la galga en función de la deformación que sufren.

3.1.2 Funcionamiento

Estrada y González (2014) mencionan que existen 3 premisas del funcionamiento de las galgas extensométricas, las cuales son:

1. La resistencia de un conductor se relaciona en función a sus características geométricas.
2. El aumento en la longitud corresponde a una disminución de la sección transversal.
3. La variación en la resistencia es proporcional a la variación relativa en volumen.

Esto quiere decir que si un conductor de longitud (l) y un diámetro (d), tiene una resistencia nominal R , al actuar una fuerza sobre el conductor, este aumentará o disminuirá en longitud dependiendo de si la fuerza es de tracción y compresión, de igual manera al disminuir el diámetro se reducirá un aumento proporcional en la resistencia.

3.1.3 Especificaciones

HBM (s.f) menciona que las tolerancias se aplican según la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal con una desviación estándar doble, es decir que si sus valores de tolerancia especificados del factor de calibración, sensibilidad transversal, los coeficientes de temperatura y la respuesta de temperatura se reducen a la mitad, los datos aun cumplen con la directiva VDI/VDE 2635.

Estas son las especificaciones más comunes de las galgas:

Longitud de galga

El libro *Strain Gauge – First choice for strain measurements*, lanzado por HBM para un mejor entendimiento de galgas extensométricas indica que la longitud de la rejilla es la longitud neta de la rejilla sin los lazos finales o también conocidos como (Puentes transversales).

De acuerdo con la Real Academia Española (2014), “la longitud es una magnitud física que expresa la distancia entre dos puntos” (p.114).

Resistencia

Torrente Artero (2016) habla acerca de la resistencia eléctrica en su libro *El mundo Genuino -Arduino*, y comenta que, podemos definirla como la capacidad para oponerse al paso de la corriente eléctrica a través de él, de un objeto cualquiera, aunque con mayor frecuencia se utiliza para referirse a componentes de circuitos electrónicos. La resistencia eléctrica es la relación de cuanto mayor sea la resistencia de un componente, más dificultad tendrán los electrones para atravesarlo, hasta incluso el extremo de imposibilitar la existencia de electricidad.

3.1.4 Strain Gage

Se le conoce como estudio de Strain Gage a la prueba en la que se mide la deformación de un objeto cuando se le aplica una fuerza externa, haciendo

uso de un sensor que cambia su resistencia eléctrica en respuesta a la tensión mecánica, este cambio en la resistencia es proporcional a la cantidad de formación, lo cual permite realizar mediciones precisas en aplicaciones de ingeniería estructural, mecánica y de materiales (Shukla y Dally, 2014).

Gage

Según Brown, J., & Taylor, M (2018), En el contexto de la medición y control de la calidad, un *gage* (también se le conoce como *gauge*) es un dispositivo utilizado para medir dimensiones específicas o parámetros físicos como presión, espesor, peso, temperatura, entre otros, en procesos industriales.

Strain

El *strain* se define como “la relación entre el cambio en la longitud de un objeto y su longitud original debido a la aplicación de una fuerza” (Smith & Johnson, 2020, p.123).

Fuerza

De acuerdo con Resnick y Krane (1992), la fuerza se define como una interacción que cambia el estado de movimiento de un objeto o también puede llegar a deformarlo. El concepto de fuerza entra en el contexto de las leyes de Newton, en el que la fuerza es el resultado de la interacción de objetos, produciendo una aceleración proporcional a la masa de objeto afectado (Segunda ley de Newton).

3.2 MSA

Richard K. Burdick, Connie M. Borror y Douglas C. Montgomery (2005), menciona que se conoce como MSA al análisis del sistema de medición por sus siglas en inglés. El propósito del MSA es proporcionar una guía para evaluar la calidad de un sistema de medición. Esta herramienta al igual que el APQP, PPAP, AMEF y SPC es considerada parte de las Core Tools del sector

automotriz y es un requerimiento de la especificación técnica ISO/TS 16949 / IATF 16949.

3.2.1 Sistema de medición

De acuerdo con la cuarta versión del manual de MSA (2010), el sistema de medición se define como:

“Conjunto de instrumentos o *gages*, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida; el proceso completo usado para obtener mediciones”. (p. 5)

3.2.2 Estudios de los sistemas de medición

Algunos de los estudios que conforman a MSA son:

- **Linealidad**

Rodríguez Barragán (2015) explica que la linealidad indica la variación del nivel de exactitud que se obtiene en la medición en función del tamaño del objeto que es medido. Así mismo, da una idea de cómo el tamaño del elemento a medir afecta a la exactitud del sistema de medida.

- **Exactitud**

La exactitud forma parte importante de MSA y Rodríguez Barragán (2015) la define como: “diferencia entre la medición media observada y un valor maestro. Da una idea de lo centrado o ajustado que está el sistema de medida” (p.9).

- **Estabilidad**

Una de las herramientas más importantes para MSA también es la estabilidad.

Estabilidad (o cambio) es la variación total en las mediciones obtenida con un sistema de medición sobre el mismo master o partes cuando se mida

una característica misma sobre un periodo de tiempo extenso. Esto es, la estabilidad es un cambio en sesgo en el tiempo. (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation , 2010, p. 52)

- **Repetibilidad y reproducibilidad (R&R)**

La repetibilidad como variación o error de las mediciones sucesivas sobre el mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes (diferentes operadores), mientras que la reproducibilidad la define como variabilidad o error de las mediciones sobre el mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes, es decir, diferentes operadores (Gutierrez Pulido & de la Vara Salazar, 2013).

R&R Por variables

De acuerdo con Montgomery (2019), el estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) por variables es utilizado para evaluar la precisión del sistema de medición al analizar los factores importantes que intervienen en el: la repetibilidad (variación dentro de un mismo operario) y la reproducibilidad (variación entre operarios). Este tipo de análisis permiten determinar la contribución que aportan al sistema de medición, la variabilidad total de un proceso, ayudando a identificar si las mediciones resultantes son confiables y adecuadas para el control de la calidad.

Método de los Rangos

El método de rangos para estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) es una técnica utilizada para evaluar la variabilidad en un sistema de medición, diferenciando entre la variación causada por los operadores (reproducibilidad) y la variación inherente al instrumento (repetibilidad). Este método se basa en clasificar y analizar las diferencias en las mediciones repetidas de una muestra (Montgomery, 2020).

Método de los Promedios y Rangos

El método de promedios y rangos es una técnica empleada en estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) para sistemas de medición. Este método analiza tanto la tendencia central (promedios) como la dispersión (rangos) de las mediciones realizadas por diferentes operadores y con diferentes piezas. Es particularmente útil en sistemas donde se busca identificar y separar las fuentes de variabilidad asociadas al instrumento (repetibilidad) y al operador (reproducibilidad). La evaluación se lleva a cabo calculando los promedios y rangos de las mediciones repetidas de una muestra y aplicando fórmulas estándar para descomponer las fuentes de variación (Montgomery, 2020).

Gráficos de Control

Dodge y Romig (1959) discuten los gráficos de control para la Capacidad y Rendimiento (R&R) en su libro "Planning and Control Charts". Estos son algunos puntos clave:

1. **Objetivo:** Los gráficos de control para R&R tienen como objetivo detectar cambios en la capacidad y rendimiento del proceso.
2. **Tipos de gráficos:** Dodge y Romig recomiendan utilizar gráficos de control X-bar y R (media y rango) para monitorear la capacidad y rendimiento.
3. **Establecimiento de límites:** Los límites de control se establecen utilizando la media y la desviación estándar del proceso.
4. **Interpretación:** Los gráficos de control permiten identificar si el proceso está dentro de los límites de control, lo que indica que la capacidad y rendimiento son estables.

Así mismo, estos son algunas ventajas de utilizar gráficos de control en los R&R, según Dodge y Romig (1959):

1. **Detección temprana de problemas:** Los gráficos de control permiten detectar cambios en la capacidad y rendimiento antes de que afecten la calidad del producto.
2. **Mejora continua:** Los gráficos de control facilitan la identificación de oportunidades de mejora en el proceso.

3. Reducir variabilidad: Los gráficos de control ayudan a reducir la variabilidad en el proceso.

Método de ANOVA

Según Gutiérrez y de la Vara (2013), “El método de análisis de varianza (ANOVA) es más efectivo que el descrito antes, ya que permite identificar y cuantificar de mejor manera todas las fuentes de variación presentes en el estudio R&R” (p. 276).

Así mismo, mediante el método de ANOVA se puede identificar la interacción entre las partes y el evaluador, esta no es su única función, ya que también puede evaluar otras fuentes de variación. ANOVA se utiliza de preferencia debido a su flexibilidad si es que el usuario tiene acceso a un apropiado programa de computadora. Si no, el enfoque de X barra y R es apropiado y puede hacerse manualmente o vía un programa de computadora (Automotive Industry Action Group (AIAG), 2010).

Variables cuantitativas

Para González y Martínez (2022), Una variable cuantitativa es toda aquella característica que se mide numéricamente y puede tomar valores en un rango definido tales como: peso, edad, calificaciones, estatura, etc. La variable debe ser presentada con claridad, es decir Qué mide la variable?, la escala de medición y la unidad medida.

Participantes

Los participantes del R&R (Repetibilidad y reproducibilidad) son las personas involucradas en el estudio de medición diseñado para evaluar la capacidad de un sistema de medición. Este tipo de análisis, común en áreas como manufactura y control de la calidad, se utiliza para determinar la variabilidad introducida por los operadores (reproducibilidad) y por el instrumento o método de medición (Montgomery, 2019).

GRR

AIAG (2006), define en el manual de MSA El termino GRR (Gauge Repeatability and Reproducibility) como un análisis estadístico utilizado en estudios de R&R dentro de un sistema de medición. Este análisis estima qué tan confiable es un sistema de medición al identificar las variaciones causadas por el instrumento y los operadores. Es parte esencial del proceso de control de la calidad y mejora continua. La varianza de RRGs es igual a la suma de las varianzas dentro del sistema y entre sistemas.

Precisión

"La precisión se define como la proximidad de los resultados de una medición a la media de las mediciones repetidas" (Juran & Godfrey, 1999, p. 123).

Esto quiere decir que, la precisión se refiere a la capacidad de un instrumento o método para obtener resultados cercanos entre sí cuando se repite la medición bajo condiciones similares.

Variación

"La variación de la medición es la diferencia entre los resultados obtenidos al medir un mismo parámetro en diferentes ocasiones o con diferentes instrumentos" (Juran & Godfrey, 1999, p. 125).

Consistencia

Tomando en cuenta las afirmaciones de Mertler y Reinhart (2021), se puede decir que la consistencia de los datos consiste en la fiabilidad y estabilidad de la información dentro de un conjunto de datos, es decir, que los datos sean coherentes entre sí y no contengan errores ni contradicciones. Este concepto es clave en la estadística y la investigación, ya que asegura que las conclusiones derivadas de los datos sean válidas y reproducibles.

Uniformidad

Triola (2020), menciona que la uniformidad de los datos es la homogeneidad y similitud que existe entre ellos, lo que indica que no hay variaciones significativas o inconsistencias dentro de ellos. Este es muy concepto importante al realizar análisis estadísticos, ya que una alta uniformidad puede ser indicativa de patrones claros o de datos con poca variabilidad. Esta se evalúa a través de medidas descriptivas (como la varianza o el coeficiente de variación) o gráficos (como histogramas o diagramas de caja) para identificar si los datos son consistentes y representan un comportamiento uniforme.

Habilidad

La habilidad en el contexto de la medición, hace referencia a la capacidad de un instrumento, técnica o investigador para obtener datos precisos, válidos y confiables. Esto implica minimizar errores de medición y garantizar la exactitud de los datos del fenómeno que se estudia. La habilidad en la medición es clave para generar resultados reproducibles y útiles en cualquier campo de investigación (Nunnally y Bernstein, 1994).

R&R Por atributos

Gutiérrez y de la Vara (2013) explican que, estos estudios permiten evaluar la consistencia de los procesos de medición basados en evaluaciones subjetivas realizadas por inspectores, que clasifican las piezas en pocas categorías (ya sea como buenas o malas). En este estudio m operadores evalúan n piezas, r veces, clasificándolas con los códigos: 1= aceptable o 0= inaceptable, también se puede contar o no con una columna de referencia que indica el verdadero estado de la pieza.

Variable cualitativa

Hair, Black, Babin y Anderson (2017), mencionan que “Una variable cualitativa es una variable que se utiliza para describir características o atributos que no pueden ser medidos numéricamente, sino que se expresan en categorías o etiquetas” (p. 15).

Kappa

Este concepto es muy importante en el desarrollo de un R&R por atributos, "El kappa es un coeficiente que mide la concordancia entre dos evaluadores, corrigiendo por la concordancia aleatoria" (Fleiss, 1981, p. 218).

Efectividad

"La eficiencia del R&R se define como la proporción de variabilidad total que se debe a la variabilidad de los productos, en lugar de la variabilidad del proceso de medición" (AIAG, 2010, p. 53).

3.3 Gráficos de control

3.3.1 Definición

Paola Maseada (2009) expresa que "los gráficos de control se enfocan en causas especiales y la variación. Además, aportan pruebas del control estadístico del proceso, se pueden analizar en ellos tanto variables como atributos. Pero también menciona la importancia de que los operarios participen en la construcción y análisis de los mismos, por esto deben hacerse en el propio lugar de trabajo".

Los gráficos de control pueden clasificarse según las características a estudiar:

- Por variables

"Los gráficos de control habitualmente utilizados en el control de fabricación se elaboran para representar de una forma ordenada y cronológica las informaciones recogidas sobre el resultado de las características de calidad a lo largo de un periodo" (Perez Marques, 2010, p. 269).

- Por atributos

Los gráficos de control de control por atributos son herramientas del control estadístico de la calidad, son utilizados para verificar procesos con características cualitativas o categóricas, en resumen, evalúan la presencia o ausencia de algunas características como defectos o fallas (Montgomery, 2019).

3.3.2 Límites de control

Gutiérrez pulido y de la Vara Salazar (2009) explican que los límites de una carta de control no son especificaciones ni tolerancias para el proceso. Por el contrario, es un cálculo que parte de la variación del estadístico (datos) que se representa en la carta. De esta forma, la clave está en establecer los límites para cubrir cierto porcentaje de la variación natural del proceso, pero se debe tener cuidado ya que, si el porcentaje es demasiado alto, los límites serán muy amplios, lo que dificultaría visualizar los cambios en el proceso; mientras que, si el porcentaje es pequeño, los límites serán demasiado estrechos y se incrementará el error tipo 1 (decir que se presentó un cambio cuando en realidad no lo hubo).

Límite de Control Superior (LCS)

Límite de Control Inferior (LCI)

Límite de especificación superior

3.3.3 Variación

Madrigal Maldonado (2021) explica que los gráficos de control presentan una variación natural debido a los factores que intervienen en el proceso, conocidos como las 6M (Materiales, Maquinaria, medición, mano de obra, métodos y medio ambiente) bajo las condiciones cotidianas de trabajo.

Carro y Gonzales (1992) declaran que, existen dos categorías básicas de variación: las causas comunes y las especiales, las primeras son simplemente aleatoria, no identificables e imposibles de evitar mientras se utilice el mismo método, mientras que las especiales, el factor causante de variación logra identificarse más fácilmente y a su vez eliminado.

3.4 Distribución muestral para la diferencia de medias

El tema de distribuciones muestrales es muy amplio, por lo que Llinás Solano, H. (2017) comenta que, en muchas situaciones prácticas, el investigador concentra su trabajo en dos poblaciones, pues a menudo se desea sacar inferencias acerca de la diferencia entre dos medias poblacionales. Un ejemplo podría ser el caso de un agricultor que está considerando el uso de dos fertilizantes alternativos y, por eso, se halla interesado en la diferencia de las producciones medias por hectáreas resultantes. Para comparar las medias poblacionales en casos como este, se extrae una muestra aleatoria de las dos poblaciones y la inferencia acerca de la diferencia entre ambas medias se basa en los resultados muestrales.

3.4.1 Contraste de hipótesis

Parte fundamental de una distribución muestral para la comparación de muestras son las hipótesis, Prat Bartés, A. Tort-Martorell Llabrés, X. y Grima Cintas, P. (2015) indican que, el procedimiento seguido en el análisis de los datos para la comparación de medias consta de las siguientes etapas:

1. Formular la hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1).
2. A partir de los datos disponibles se calcula un valor relevante, a este se le conoce como “estadístico de prueba”, mediante una determinada expresión. En caso de no existir diferencia de medias, el valor obtenido pertenece a una determinada distribución de probabilidad denominada “distribución de referencia”.
3. Se compara el estadístico de prueba con su distribución de referencia, determinando el nivel de significancia que un valor como el observado se deba al azar en el caso de que la hipótesis nula sea cierta.

Hipótesis

Kerlinger (1986), menciona que una hipótesis es una afirmación o suposición que se hace sobre una relación o fenómeno, y que se somete a prueba o verificación a través de la investigación y el análisis de datos.

3.4.2 Comparación de muestras pareadas

Llinás Solano, H. (2017) explica que:

En este procedimiento, las muestras se eligen por pares, una de cada población. La idea es que, aparte del aspecto objeto de estudio, los elementos de cada uno de estos pares deben relacionarse, de manera que la comparación pueda ser establecida directamente. (p. 73)

Muestra

Una muestra es un subconjunto de elementos seleccionados de una población más grande, con el objetivo de obtener información representativa de la población, una muestra debe ser representativa de la población, lo suficientemente grande para ser estadísticamente significativa y seleccionada de manera aleatoria y sin sesgo. También existen distintos tipos de muestras como: muestra aleatoria simple, estratificada o por conglomerados (Hair et al., 2017).

Muestra pareada

Una muestra pareada es un tipo de muestra en la que se seleccionan pares de elementos que están relacionados entre sí, con el objetivo de analizar la relación entre las variables de interés (Hair et al., 2017).

3.4.3 La ley de t-Student

Una ley muy importante cuando se habla de distribuciones muestrales es la ley de t-Student.

Prat Bartés et al. (2015) explica que la gráfica t es similar a la de una distribución normal, en forma de campana, centrada en cero, pero con colas más extensas que la ley normal, por lo que la t-Student puede resultar de utilidad para modelar datos en los que se sospeche que haya algunas anomalías moderadas. También habla acerca de que Gosset encontró la densidad del estadístico t_v cuando se interesó por la t -distribución del estadístico:

$$t = (\bar{Y} - \mu) \sqrt{\frac{n}{S}}$$

Ecuación 1. Distribución t

para muestras pequeñas, que es el equivalente a

$$z = \frac{(\bar{Y} - \mu)}{\sigma} \sqrt{n}$$

Ecuación 2. Distribución z

La ilustración 2 muestra la distribución de t Student, en la cual se pueden ver las zonas de aceptación y rechazo en cuanto a curva correspondiente:

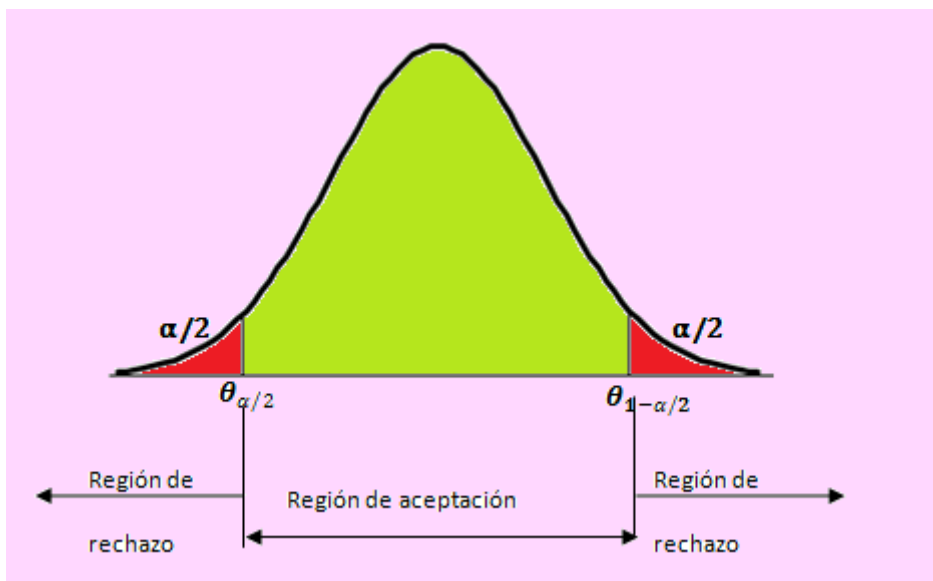


Ilustración 2. Curva de ley t Student

Fuente: Wordpress.com

3.4.4 Significancia estadística

Significa que los resultados no se deben al azar, pues las muestras probabilísticas involucran un proceso aleatorio, por lo que siempre es posible que los resultados de la muestra difieran del parámetro poblacional. El investigador quiere estimar las probabilidades con las que los resultados de una muestra son resultado del parámetro poblacional o al azar del muestreo aleatorio. La significancia estadística usa la teoría de la probabilidad y pruebas estadísticas específicas para decirle al investigador si los resultados, ya sea de

asociación, de diferencia entre dos medias o un coeficiente de regresión, son producidos por un error aleatorio dentro de un muestreo aleatorio. La significancia estadística sólo dice lo que es probable, no puede probar nada con absoluta certeza. Establece si ciertos resultados son o no menos probables. (Cruz del Castillo y Olivares Orozco, 2014, p. 218)

3.5 AMEF

Análisis de Modo y Efectos de Fallas Potenciales (AMEF) es una metodología analítica usada para asegurar que problemas potenciales se han considerado y abordado a través del proceso de desarrollo del producto y proceso (APQP –Planeación Avanzada de la Calidad de un Producto). El resultado más visible es la documentación de conocimientos en forma colectiva de grupos multifuncionales. Parte de la evaluación y análisis es una evaluación de riesgos misma. (Chrysler LLC, Ford Motor Company y General, 2008, p. 2)

Un tema muy importante para el desarrollo de este proyecto es entender ¿Qué es el AMEF?, Según Escobedo y Socconini (2021):

Es la principal fuente para identificar las variables clave a controlar y para realizar una evaluación inicial del plan de control actual, entendiendo que mediante el control de estos factores podemos evitar que se produzcan errores en el proceso. A su vez, las medidas que se incluyan en el plan de control deben de tenerse en cuenta para actualizar el AMEF y reevaluar los números de prioridad de riesgo (RPN). (p. 279)

3.5.1 Tipos de AMEF

AMEF de proceso

Una parte importante para el desarrollo del proyecto es el entendimiento del AMEF, más específicamente de proceso, este en el manual de AMEF se especifica que tiene un enfoque el desarrollo del proceso de manufactura en la reducción del riesgo de las fallas, identificando y evaluando las funciones y

requerimientos del proceso, modos de fallas potenciales relacionados con el producto y el proceso, y los efectos de las fallas potenciales en el proceso y los clientes, identificando las causas potenciales del proceso de manufactura ó ensamble, permitiendo el establecimiento de un sistema de prioridades para acciones preventivas/correctivas y controles (Chrysler LLC et al., 2008)

AMEF de producto

El Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) de producto es una metodología sistemática utilizada en ingeniería y gestión de calidad para identificar y analizar fallas potenciales en un producto, en este se evalúa su impacto en el usuario final y del producto en el mercado. Mediante este análisis, en el desarrollo de productos se puede identificar y reducir riesgos, priorizar las acciones correctivas correspondientes y mejorar la confiabilidad y seguridad de los productos antes de su lanzamiento al mercado (Stamatis, 2003).

3.5.2 ELEMENTOS

Estos son algunos de los elementos que conforman al AMEF:

Modos de falla

Se le conoce como modos de falla a las diversas maneras en que un sistema, componente o proceso puede fallar, es decir, las formas específicas en las que puede ocurrir una disfunción o error. Estos describen un tipo particular de defecto o problema que afecta el rendimiento esperado de un producto o proceso. Identificar los modos de falla es fundamental en el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), ya que permite identificar posibles problemas futuros de esta manera diseñar medidas preventivas o correctivas para reducir el riesgo de ocurrencia (Carlson, 2012).

Efectos de falla

En un contexto de análisis de confiabilidad, los efectos de fallas son las consecuencias o impactos que tienen las fallas en el sistema, ya sea el proceso o el producto. Este concepto es fundamental en el desarrollo de AMEF, este enfoque proactivo sirve para identificar y evaluar los distintos modos de falla y los efectos en el desempeño del sistema (Smith J. T., 2020).

Severidad

La severidad es uno de los puntos clave para el desarrollo del AMEF, Stamatis (2003) plantea que, la severidad se define como una medida de la gravedad de las consecuencias de una falla potencial sobre el usuario final o el proceso en caso de que ocurra. La severidad se clasifica en una escala numérica, donde un puntaje más alto indica un efecto más serio o perjudicial. Esta clasificación ayuda a priorizar los problemas que requieren atención, de esta manera también priorizar las acciones de mejora inmediata para evitar consecuencias significativas.

Ocurrencia

Hair et al. (2017), describen la ocurrencia en AMEF (Análisis de Métodos Estadísticos para la Evaluación de la Fiabilidad del Proceso) como la frecuencia con la que se produce un evento o condición específica en un proceso, que no pueden ser medidos numéricamente, sino que se expresan en categorías o etiquetas.

Número de Prioridad de Riesgo

Montgomery, D.C (2019), menciona que el Numero de Prioridad de Riesgo (RPN, por sus siglas en inglés) es una métrica utilizada en AMEF para dar prioridad a las fallas potenciales en un sistema. Este número que es asignado, ayuda a clasificarlos modos de falla en función de su riesgo, facilitando la toma de decisiones sobre las acciones correctivas necesarias. Este se calcula al multiplicar los factores: Severidad, ocurrencia y detección.

Acciones correctivas

"Una acción correctiva es una medida que se toma para corregir un problema o defecto identificado en un proceso o producto, con el objetivo de prevenir su recurrencia" (Juran & Godfrey, 1999, p. 342).

3.5.3 Pasos para el desarrollo

Los pasos generalmente utilizados del AMEF son:

1. Identificar el proceso o producto.
2. Determinar los modos de falla.
3. Análisis de efectos de falla.
4. Calificación de severidad.
5. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo.
6. Implementación de acciones correctivas.
7. Revisión y monitoreo (Carlson, 2012).

3.6 Calidad

Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993), proponen que la calidad es el grado en el cual un producto, servicio o proceso cumple con los requisitos o expectativas de los clientes y otras partes interesadas. También mencionan que es la capacidad de un producto o servicio de satisfacer necesidades expresadas e implícitas, lo cual implica confiabilidad, durabilidad y cumplimiento de especificaciones establecidas. En la gestión organizacional, la calidad se asocia con prácticas y sistemas diseñados para mejorar el desempeño y la satisfacción del cliente (Juran y Gryna, Quality planning and analysis: From product development through use., 1993).

3.6.1 Control de la calidad

El control de la calidad es un proceso continuo que busca identificar y corregir los defectos o problemas que puedan afectar la calidad del producto servicio. Esto puede incluir la inspección, las pruebas, la calibración y la verificación de los productos o servicios (Montgomery D. C., 2013, p. 56).

Estos son algunos conceptos relacionados con el control de la calidad y relevantes para el desarrollo del proyecto:

Inspección

Como señala Juran (2010), “la inspección es el proceso de examinar los productos o servicios para determinar si cumplen con los requisitos y estándares establecidos” (p.15).

Así mismo la inspección puede ser realizada de diferentes maneras, incluyendo la inspección visual, la inspección dimensional y la inspección funcional (Montgomery D. C., 2013, p. 123).

Pruebas

Calibración

Según la norma ISO 9000, la calibración es “el proceso de comparar un instrumento de medición con un patrón de medición para determinar la relación entre las lecturas del instrumento y el valor real de la magnitud medida” (ISO, 2015, p.3).

Así mismo la norma ISO/IEC 17025, la define como “el proceso de establecer bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de entrada y los valores de salida de un instrumento de medición” (ISO/ IEC, 2017, p.5).

La calibración es esencial en diversas áreas, como la industria, la investigación científica y la medicina, ya que garantiza la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante instrumentos de medición.

En palabras de Montgomery (2013), “la calibración es un paso crítico en el proceso de medición, ya que garantiza que los instrumentos de medición estén funcionando correctamente y proporcionen resultados precisos ” (p.123).

Acreditación

La acreditación es un proceso que evalúa y reconoce la competencia y capacidad de una organización, laboratorio o entidad para realizar actividades específicas, como ensayos, calibraciones, inspecciones o certificaciones.

Según la norma ISO/IEC 17011, la acreditación es "el proceso de evaluación y reconocimiento de la competencia de un organismo de evaluación de la conformidad para realizar actividades específicas" (ISO/IEC, 2017, p. 3).

La acreditación es un proceso voluntario que busca garantizar la confiabilidad y la precisión de los resultados obtenidos por una organización o laboratorio. Este proceso implica la evaluación de la competencia técnica, la gestión de la calidad y la infraestructura de la organización o laboratorio.

En palabras de la norma ISO/IEC 17025, "la acreditación es un reconocimiento formal de la competencia de un laboratorio para realizar ensayos y calibraciones" (ISO/IEC, 2017, p. 5).

La acreditación es importante para el control de la calidad porque:

- Garantiza la confiabilidad y la precisión de los resultados.
- Demuestra la competencia y capacidad de una organización o laboratorio.
- Facilita la comparabilidad y la aceptación de los resultados a nivel nacional e internacional.

Análisis de causa raíz

El análisis de causa raíz (ACR) es un método utilizado para identificar y analizar las causas subyacentes de un problema o defecto en un proceso o sistema.

Según la norma ISO 9001, el análisis de causa raíz es "un método para identificar y eliminar las causas raíces de los problemas" (ISO, 2015, p. 3).

Como señala Juran (2010), "el análisis de causa raíz es un proceso que busca identificar las causas subyacentes de un problema, en lugar de simplemente tratar los síntomas" (p. 234).

El ACR es una herramienta poderosa para el control de la calidad porque:

- Ayuda a identificar y eliminar las causas raíces de los problemas.
- Reduce la recurrencia de los problemas.
- Mejora la eficiencia y la efectividad de los procesos.
- Aumenta la satisfacción del cliente.

El proceso de ACR típicamente incluye los siguientes pasos:

1. Identificar el problema.
2. Recopilar datos.
3. Analizar los datos.
4. Identificar las causas raíces.
5. Implementar soluciones.
6. Verificar la efectividad de las soluciones.

Control estadístico de procesos

El control estadístico de procesos (CEP) es una técnica utilizada para monitorear y controlar los procesos para garantizar que operen dentro de los límites establecidos y produzcan productos de alta calidad.

Según la norma ISO 9001, el control estadístico de procesos es "un método para monitorear y controlar los procesos utilizando técnicas estadísticas" (ISO, 2015, p. 3).

Como señala Montgomery (2013), "el control estadístico de procesos es una técnica que utiliza la estadística para monitorear y controlar los procesos, con el objetivo de reducir la variabilidad y mejorar la calidad" (p. 123).

El CEP es una herramienta poderosa para el control de la calidad porque:

- Ayuda a identificar y corregir los problemas en el proceso.
- Reduce la variabilidad en el proceso.
- Mejora la calidad del producto.
- Aumenta la eficiencia y la productividad.

El proceso de CEP típicamente incluye los siguientes pasos:

1. Identificar los procesos críticos.
2. Establecer los límites de control.
3. Recopilar datos.
4. Analizar los datos.
5. Tomar acciones correctivas.

Auditoría de calidad

La auditoría de calidad es un proceso sistemático y independiente que evalúa la eficacia y eficiencia de un sistema de gestión de la calidad, con el objetivo de determinar si se ajusta a los requisitos establecidos y si es adecuado para lograr los objetivos de la organización.

Según la norma ISO 9001, la auditoría de calidad es "un proceso que evalúa la conformidad del sistema de gestión de la calidad con los requisitos establecidos" (ISO, 2015, p. 3).

Como señala Juran (2010), "la auditoría de calidad es un proceso que evalúa la eficacia y eficiencia del sistema de gestión de la calidad, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora" (p. 456).

La auditoría de calidad es una herramienta importante para el control de la calidad porque:

- Ayuda a evaluar la eficacia y eficiencia del sistema de gestión de la calidad.
- Identifica oportunidades de mejora.
- Proporciona recomendaciones para mejorar el sistema de gestión de la calidad.
- Aumenta la confianza en la capacidad de la organización para producir productos y servicios de alta calidad.

El proceso de auditoría de calidad típicamente incluye los siguientes pasos:

1. Planificación de la auditoría.
2. Ejecución de la auditoría.
3. Evaluación de los resultados.
4. Elaboración del informe de auditoría.
5. Implementación de las recomendaciones.

3.6.2 Estandarización

"La estandarización es el proceso de establecer y mantener un conjunto de procedimientos y especificaciones para garantizar la consistencia y calidad de un proceso o producto" (Juran & Godfrey, 1999, p. 150).

Procedimiento estandarizado

Se le llama proceso estandarizado a la serie de pasos establecidos y documentados que se siguen de forma continua para lograr un resultado predecible y eficiente. Estos procedimientos ayudan a reducir la variabilidad, asegurar la calidad y facilitar la replicación del proceso en diferentes áreas o equipos de trabajo. Este tipo de proceso es fundamental en las organizaciones para asegurar la eficiencia y garantizar que los productos o servicios cumplan con los requisitos y expectativas de calidad establecidos (Imai, 2012).

Protocolo

Un protocolo es un conjunto de reglas y procedimientos que se deben seguir para realizar una tarea o proceso de manera específica y consistente, tiene las siguientes características: especificidad (el protocolo debe ser claro y específico en cuanto a los pasos y procedimientos que se deben seguir), consistencia (debe ser consistente en su aplicación y seguimiento, revisión y actualización (debe ser revisado y actualizado periódicamente para garantizar su relevancia y eficacia) (ISO 9001:2015, 2015).

Especificaciones

"Una especificación del proceso es un documento que describe los requisitos y parámetros que deben cumplirse durante la ejecución de un proceso, con el objetivo de garantizar la calidad y consistencia del producto o servicio final" (Juran & Godfrey, 1999, p. 156).

Control del proceso

"El control del proceso es la actividad de monitorear y ajustar los procesos para garantizar que se cumplan los requisitos y especificaciones establecidos" (Montgomery, 2020, p. 234).

Juran y Godfrey (1999) también discuten el control del proceso en su libro, estos son algunos de los elementos del control del proceso:

- Monitoreo de los procesos
- Análisis de los datos
- Ajuste de los procesos
- Verificación de la efectividad

Y a su vez también menciona algunos tipos de control del proceso, como:

- Control del proceso estadístico (SPC)
- Control del proceso total (TPC)
- Control del proceso de calidad (QPC). (pp. 234-240)

Capacitación y entrenamiento

"La capacitación y el entrenamiento son procesos que buscan mejorar las habilidades y conocimientos de los empleados para que puedan realizar sus tareas de manera efectiva y eficiente" (Noe, 2017, p. 12).

Mejora continua

La mejora continua es un enfoque que busca mejorar continuamente los procesos, productos y servicios de una organización, mediante la identificación y eliminación de desperdicios y la implementación de cambios que mejoren la eficiencia y la calidad (Juran & Godfrey, 1999).

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque de investigación

Método mixto

Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio mencionan que los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación, por lo que implican actividades como la recolección y el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias o conclusiones de la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno estudiado. (2010, p. 546)

Se eligió un enfoque mixto ya que se analizaron factores como longitud y resistencia, además se realizaron pruebas estadísticas, lo que resulta en datos numéricos, pero también se analizó el cambio en la galga es decir si la galga visualmente está rota o no lo cual es una característica descriptiva, por esta razón se comprende que hay una combinación de ambos enfoques de investigación lo cual se denomina enfoque mixto.

4.2 Tipo de investigación

Exploratoria

Lara Muñoz (2011), menciona que en este tipo de investigación los estudios se efectúan, normalmente, cuando se tiene como objetivo analizar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes, ya que este tipo de investigación puede aumentar el grado de familiaridad con fenómenos relativamente desconocidos, además se puede obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa sobre un contexto particular.

Se llevarán a cabo una investigación exploratoria, ya que se tiene como objetivo analizar el comportamiento de los datos obtenidos con galgas extensométricas reutilizadas.

Descriptiva

“La investigación descriptiva, según se mencionó, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Ésta puede incluir los siguientes tipos de estudios: encuestas, casos exploratorios, causales, de desarrollo, predictivos, de conjuntos, de correlación”. (Lara Muñoz, 2011, p. 50)

También se considera una investigación descriptiva, ya que se interpretarán los datos de las características importantes de las galgas extensométricas, describiendo los cambios en ellas y en los datos.

4.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Observación

Vázquez, Ferreira, Mogollón, Fernández, Delgado y Vargas (2017), explican que la observación implica un encuentro entre el observador y los sujetos observados. De este encuentro se realizan inferencias por la percepción de quien observa y por su deseo de obtener información sobre un tema en particular. La observación se lleva a cabo mediante un proceso sistemático de registro, descripción detallada e interpretación de un acontecimiento de interés.

Medición

Moro Piñedo (2000), menciona que “medir es por definición comparar una magnitud dada, con otra que se toma como unidad, y observar cuantas veces la primera está contenida en la segunda. La medición es un proceso a través del cual se alcanza un resultado numérico” (p. 22).

Es fundamental para el proyecto la observación y la medición ya que de ellas se obtendrán los datos requeridos.

4.4 Método

4.4.1 Análisis de deformación de galgas tras someterse a fuerza

Para realizar el análisis de deformación, se realizó un estudio de R&R por variables (3 operadores, 3 intentos y 10 galgas) , pero también se realizó un estudio por variables para inspección visual (3 operadores, 3 intentos y 10 galgas) para con la finalidad de evaluar la funcionalidad y el método de medición de las características especiales de las galgas, a su vez se registraron los gráficos de control X-R en galgas nuevas, con un uso y con dos usos tomando en cuenta las especificaciones que brinda el proveedor, con la finalidad de poder identificar anomalías en las condiciones especiales como:

- **Longitud**

De acuerdo con el libro *Strain Gauge – First choice for strain measurements*. La longitud de la rejilla es la longitud neta de la rejilla sin los lazos finales o también conocidos como (Puentes transversales), tal como lo muestra la Ilustración 3:

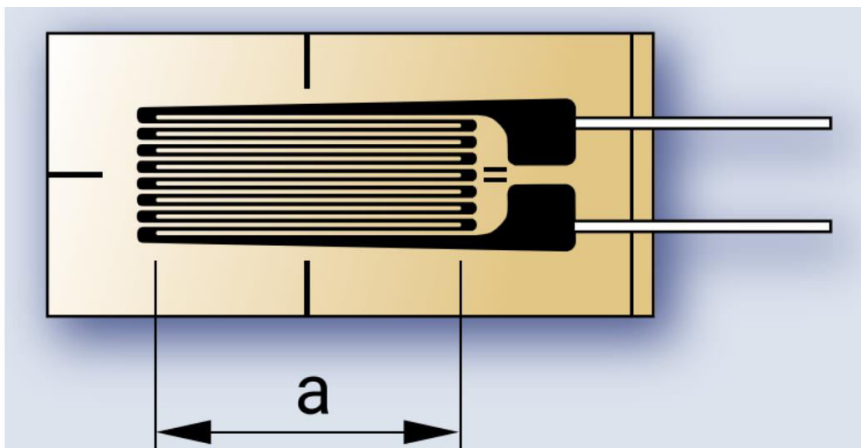


Ilustración 3. Longitud de la rejilla de medición activa

Fuente: S01265.pdf (hbm.com)

Basado en lo anterior, con ayuda del microscopio se midió esta condición como lo muestra la Ilustración 4 y se registró el resultado en la hoja de datos ([Ver anexo 1](#)), para analizarlos considerando una longitud nominal de 1mm con tolerancia de $\pm 0.05\text{mm}$.

Con los datos recabados se realizó un estudio de R&R y gráficos de control.

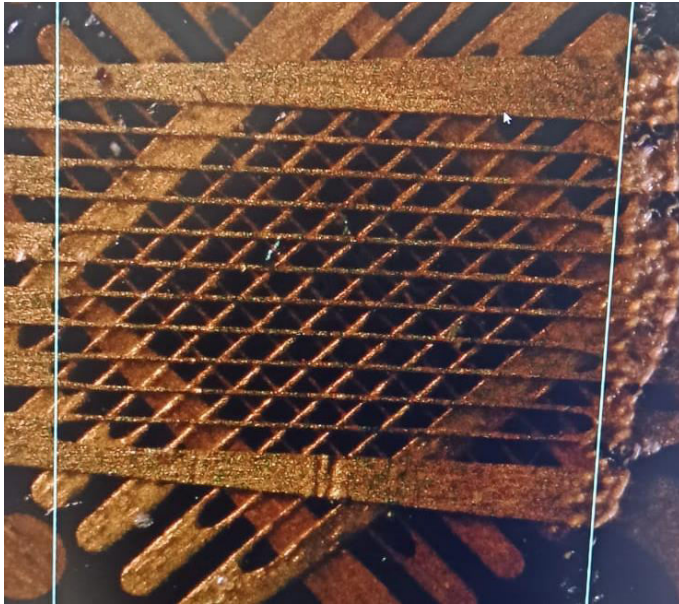


Ilustración 4. Medición de longitud de galga

Fuente: Propia

- **Resistencia**

Es necesario conocer el cambio en la resistencia debido a que cuando se aplica una fuerza sobre la galga, su resistencia eléctrica cambia proporcionalmente a la cantidad de tensión en el dispositivo.

De acuerdo con la Tesis de Esquer Aceves, la Resistencia de las galgas extensométricas y la tolerancia no son características del desempeño, sino que las proporciona el fabricante.

En el caso del modelo analizado SIP-1503, tiene una resistencia de $120\ \Omega$, y una tolerancia de $\pm 1\ \Omega$. Para verificar la resistencia Óhmica inicial se utilizó el software Nimax, ya que muestra los datos referentes a la galga como se muestra en la Ilustración 5 para galgas nuevas, con un uso, dos usos y se registró el resultado obtenido en la hoja de datos ([Ver anexo 1](#)) para su posterior análisis.

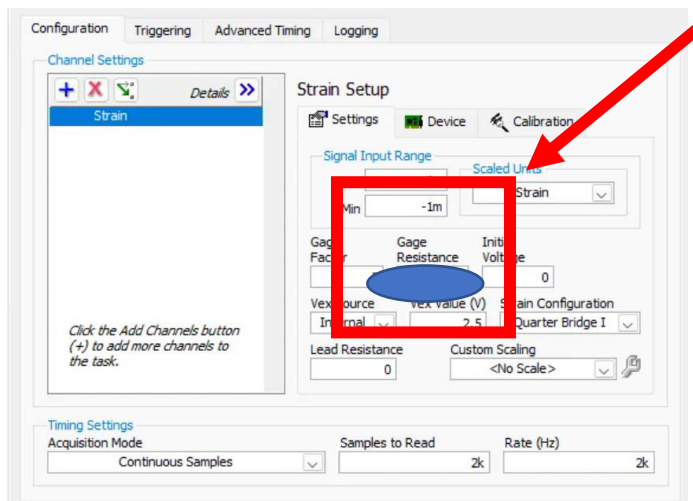


Ilustración 5. Medición de resistencia Óhmica

Fuente: Propia

- **Inspección visual**

Se realizó una evaluación visual de las galgas en el microscopio, para poder detectar galgas rotas que pueden afectar el proceso, denominando con un 0 las galgas rotas y con un 1 las que estén en buena condición, se incluyó una galga rota a la inspección con la finalidad de cumplir con los requerimientos de MSA. La ilustración 6 muestra la persona realizando la inspección:

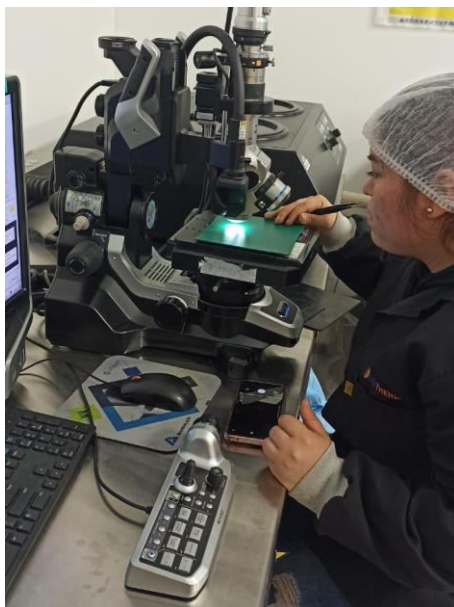


Ilustración 6. Ejemplo de inspección visual.

Fuente: Propia

Se consideró los requerimientos de la empresa del estándar aceptable en cuestión de eficiencia del sistema de medición, tal como lo muestra la ilustración 7:

Acceptable Standard:	
% Appraiser	> 93%
% Score vs Attribute	> 90%
System % Effective Score	> 85%
System % Effective Score vs Reference	> 80%

Ilustración 7. Estándar aceptable de eficiencia.

Fuente: *Gentherm*

También se consideró el Criterio de aceptación del Kappa de la empresa y del manual MSA. La ilustración 8 muestra el criterio de este estándar:

Acceptability Criteria	Kappa ≥ 0.75
------------------------	-------------------

Ilustración 8. Criterio de aceptación Kappa

Fuente: Getherm

- **Sensibilidad del sensor**

Se verificó si el sensor tiene sensibilidad, mediante el software Nimax, validando la forma de las líneas de sensibilidad, cuando no hay sensibilidad se mira una línea recta en este caso se le denominara como 0 ya que es una condición NOK, en caso de que se visualicen líneas dispersas se denominó con 1 por ser condición OK, esto se realizó con todas las galgas, tanto en nuevas, con un uso y dos usos, y a su vez con los tres participantes, se incluyó una galga rota a la inspección con la finalidad de cumplir con los requerimientos de MSA. Al ser también un sistema de medición por atributos se consideró también el estándar aceptable de efectividad, así como el criterio de aceptación del Kappa.

4.4.2 Análisis estadístico de datos obtenidos.

Después de analizar cada característica significativa, se procede a colocar las galgas en la PCB, de tal manera en que los sensores se dañen lo menos posible para poder realizar el *Strain Gage*, tal como se muestra en la Ilustración

9, así mismo se registraron los datos obtenidos en la hoja de datos - *Strain Gage* ([Ver anexo 2](#)).

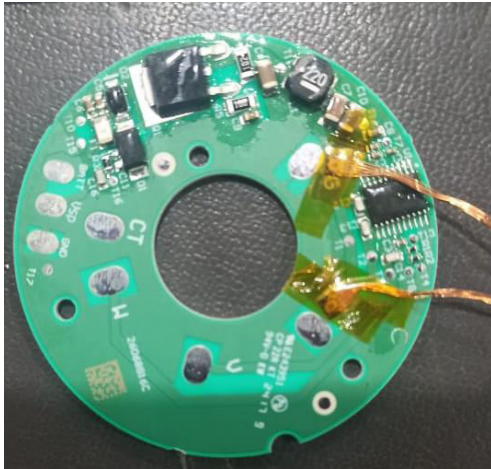


Ilustración 9. Posición de galgas

Fuente: Propia

Con los datos de los estudios (*Strain Gage*) se realizó una comparación de muestras pareadas, analizando si la media de los datos obtenidos significativamente es igual o no, comparando los datos de galgas nuevas Vs galgas con un uso y galgas nuevas Vs galgas con dos usos.

El procedimiento de comparación de muestras pareadas se realizó ingresando los datos al software Minitab y siguiendo la ruta que se muestra en la Ilustración 10:

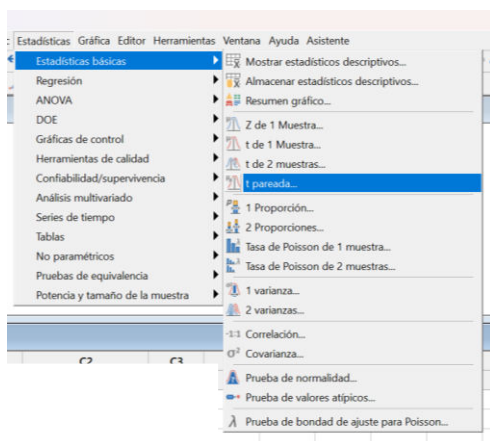


Ilustración 10. Ruta comparación de muestras pareadas

Fuente: Propia

Una vez terminado esto, en automático se abre una ventana en la que se seleccionaron las muestras a analizar y se seleccionó la ventana de opciones, tal como se ve en la Ilustración 11:

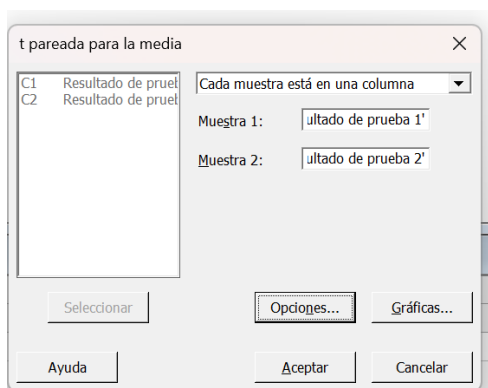


Ilustración 11. Selección de muestras

Fuente: Propia

Al abrir las opciones se dejaron el nivel de confianza y la diferencia hipotetizada que vienen por default, pero se selecciona específicamente la hipótesis alterna que se puede ver en la Ilustración 12, ya que es la que más se adapta con las hipótesis planteadas y lo que se desea saber.

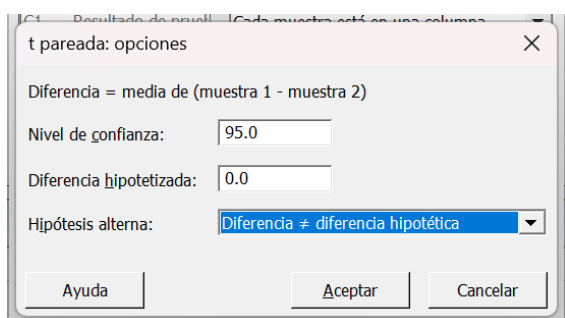


Ilustración 12. t pareada: opciones

Fuente: Propia

Con ello al seleccionar aceptar, Minitab arroja el estudio completo, solamente lo que se realizó fue una breve conclusión de lo obtenido.

4.4.3 Desarrollo de un procedimiento estandarizado para la reutilización de galgas.

Se creó una instrucción de manufactura con los pasos a seguir para utilizar las galgas extensométricas que explica detalladamente los paso a seguir para

utilizar las galgas extensométricas y la forma adecuada de acomodarla para que no sufran daños.

- Desarrollo de AMEF de proceso de reutilización para documentar los problemas que potencialmente se puedan presentar y a su vez puedan llegar a afectar, para ello se consideraron las faces o pasos que esto conlleva, los modos potenciales de falla, efectos y causas de ella, así mismo se da una puntuación a la severidad, ocurrencia y detección de acuerdo con el manual de AMEF, para proceder a calcular el NPR.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la realización de cada objetivo establecido para conocer la factibilidad de reutilizar galgas extensométricas.

5.1 Análisis de deformación de galgas tras someterse a fuerza

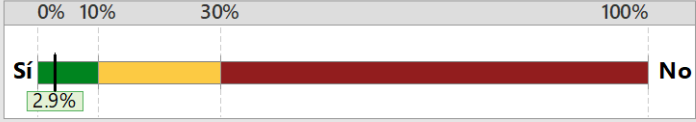
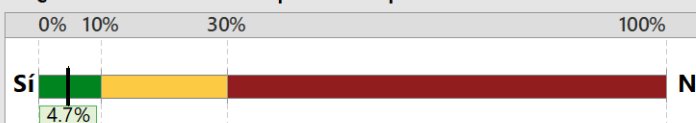
El análisis que fue dividido entre cada característica de las galgas extensométricas, las cuales son:

- Longitud de galga.

Los datos obtenidos de las mediciones se pueden observar en el anexo 4, ([Ver anexo 4](#)) al aplicar los R&R correspondientes, la capacidad de los sistemas de medición se encuentra en la tabla 3:

Tabla 3. Resultado de capacidad del sistema de medición

Sistema de medición	Resultado
Galgas Nuevas	¿Puede evaluar bien el rendimiento del proceso? La variación del sistema de medición es igual al 2.0% de la variación del proceso. La variación del proceso se estima utilizando las partes incluidas en el estudio. ¿Puede diferenciar las partes aceptables de las defectuosas? La variación del sistema de medición es igual al 3.3% de la tolerancia.

Galgas con un uso	¿Puede evaluar bien el rendimiento del proceso?  La variación del sistema de medición es igual al 4.5% de la variación del proceso. La variación del proceso se estima utilizando las partes incluidas en el estudio. ¿Puede diferenciar las partes aceptables de las defectuosas?  La variación del sistema de medición es igual al 2.9% de la tolerancia.
Galgas con dos usos	¿Puede evaluar bien el rendimiento del proceso?  La variación del sistema de medición es igual al 7.4% de la variación del proceso. La variación del proceso se estima utilizando las partes incluidas en el estudio. ¿Puede diferenciar las partes aceptables de las defectuosas?  La variación del sistema de medición es igual al 4.7% de la tolerancia.

Fuente: Propia.

Con los resultados de la tabla 3 se puede deducir que el sistema de medición es adecuado, y en los 3 casos se puede evaluar bien el rendimiento del proceso y se pueden diferenciar las partes aceptables de las defectuosas, pero también se nota que la capacidad del sistema de medición conforme más usadas están las galgas, la capacidad del sistema está más cerca de ser marginal, es decir que podría dejar de ser fiable.

También al realizar el R&R, el software Minitab arrojó un informe de variación para las mediciones realizadas, para los 3 estudios realizados, en el

que se puede entender la repetitividad y reproducibilidad de las mediciones realizadas de una manera visual y estadística, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Informe de variación (Longitud) - R&R

Sistema de medición

Resultado

Galgas Nuevas

Estudio R&R del sistema de medición para LARGO Informe de variación

Reproducibilidad — Interacción Oper. por Parte Busque puntos o patrones anormales.

Partes	Erika	Michel	Rogelio
1	0.9985	0.9985	0.9985
2	1.0035	1.0035	1.0035
3	1.0005	1.0005	1.0005
4	1.0045	1.0045	1.0045
5	0.9965	0.9965	0.9965
6	1.0025	1.0025	1.0025
7	0.9975	0.9975	0.9975
8	1.0035	1.0035	1.0035
9	1.0015	1.0015	1.0015
10	0.9995	0.9995	0.9995

Reproducibilidad - Efec. princ. operador Busque operadores con prom. mayores o menores.

Operadores	Min	Q1	Median	Q3	Max
ERIKA	0.9985	0.9995	1.0015	1.0035	1.0045
MICHEL	0.9985	0.9995	1.0015	1.0035	1.0045
ROGELIO	0.9985	0.9995	1.0015	1.0035	1.0045

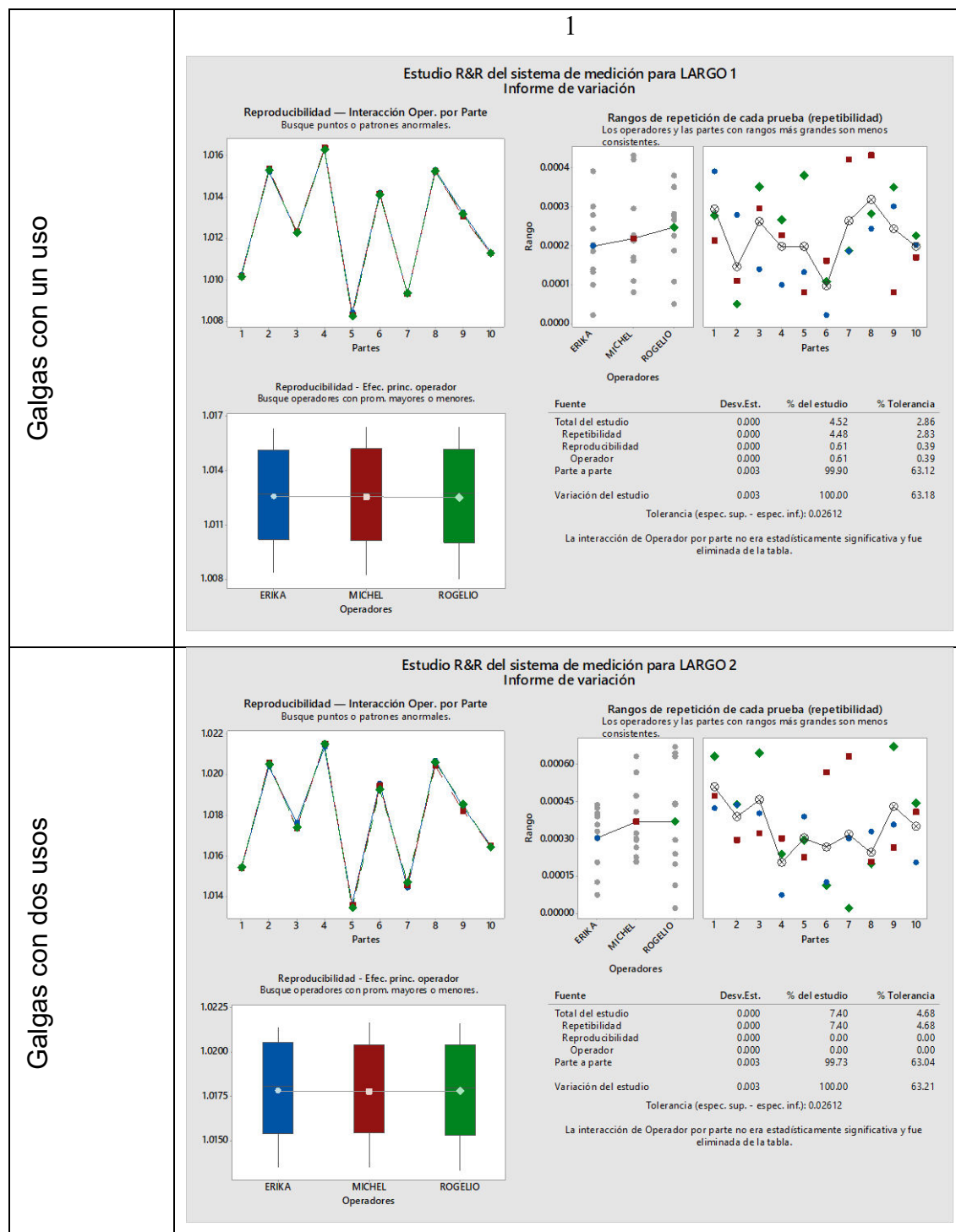
Rangos de repetición de cada prueba (repetibilidad) Los operadores y las partes con rangos más grandes son menos consistentes.

Partes	Erika	Michel	Rogelio
1	0.00008	0.00008	0.00008
2	0.00005	0.00005	0.00005
3	0.00010	0.00010	0.00010
4	0.00008	0.00008	0.00008
5	0.00008	0.00008	0.00008
6	0.00010	0.00010	0.00010
7	0.00008	0.00008	0.00008
8	0.00008	0.00008	0.00008
9	0.00010	0.00010	0.00010
10	0.00008	0.00008	0.00008

Fuente	Desv.Est.	% del estudio	% Tolerancia
Total del estudio	0.000	2.02	3.34
Repetibilidad	0.000	2.02	3.34
Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00
Operador	0.000	0.00	0.00
Parte a parte	0.003	99.98	165.11
Variación del estudio	0.003	100.00	165.14

Tolerancia (espec. sup. - espec. inf.): 0.01

La interacción de Operador por parte no era estadísticamente significativa y fue eliminada de la tabla.



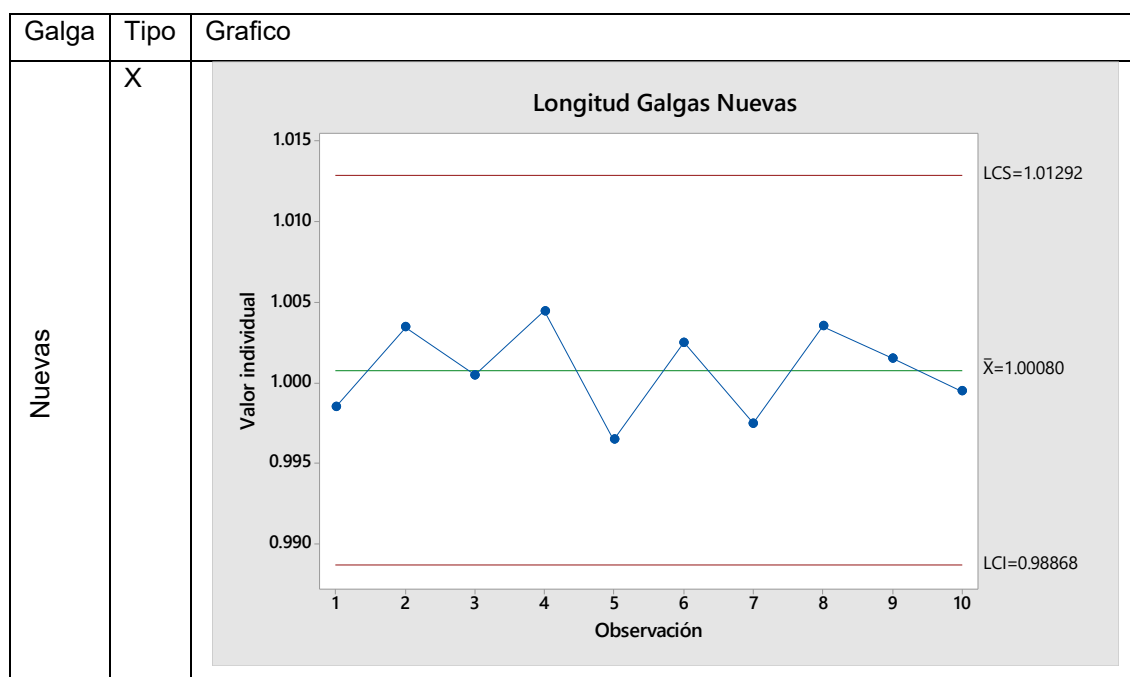
Fuente: Propia

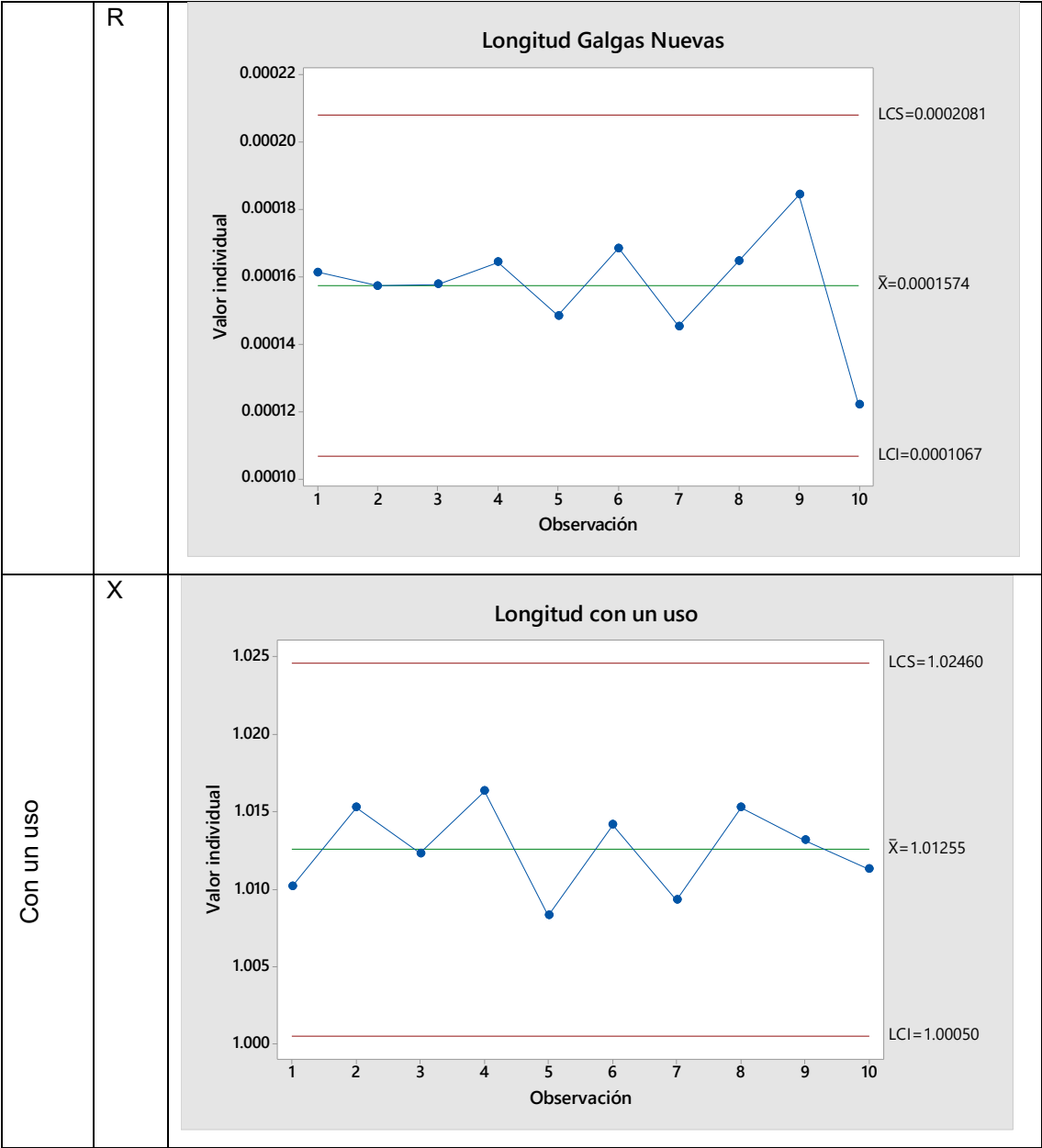
Se entiende con el informe que las mediciones entre los participantes son similares, las de Erika son más dispersas en la medición de galgas nuevas, las de Michel en las galgas con un uso y finalmente Rogelio en las galgas con 2

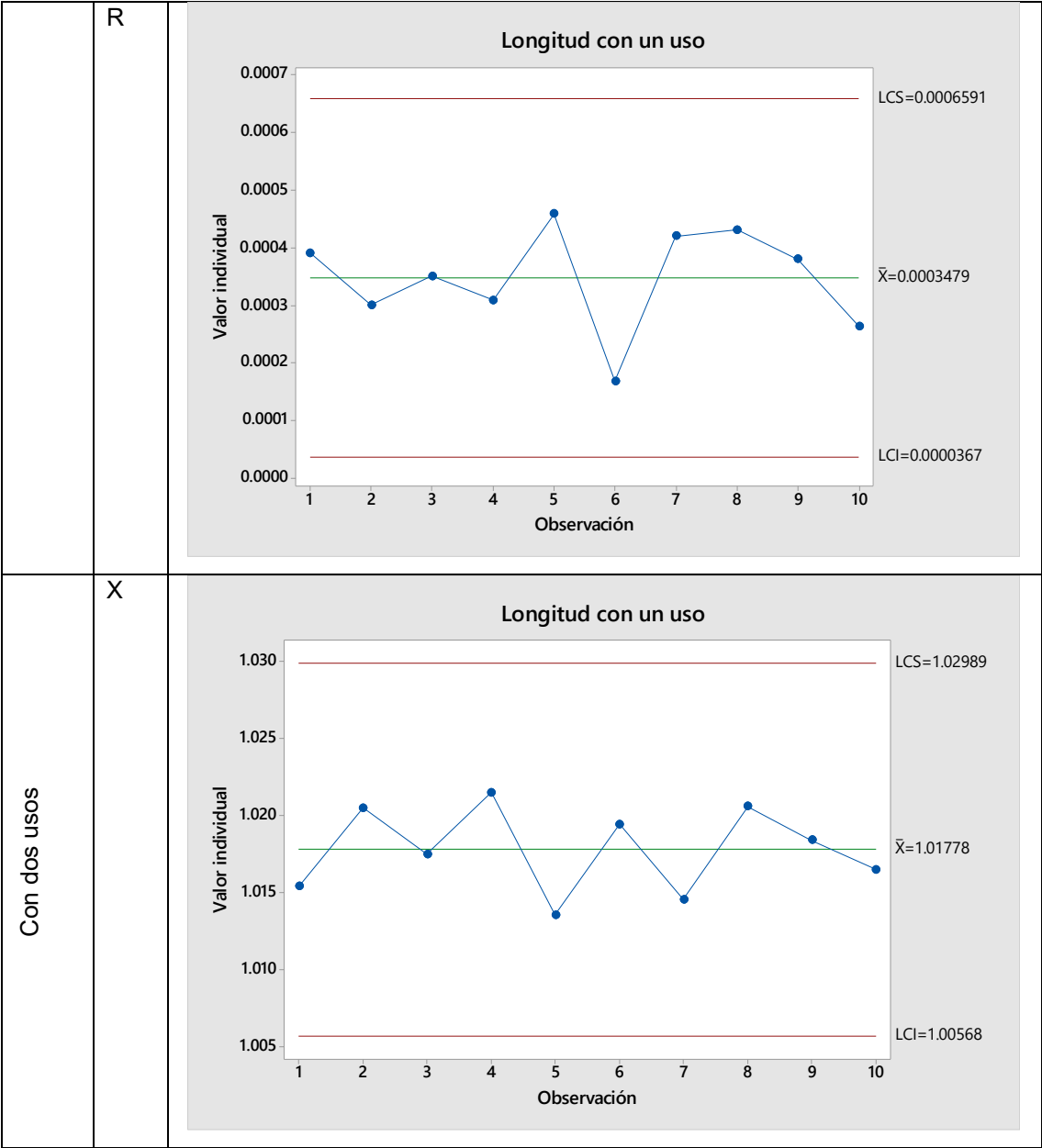
usos. También se entiende que la variación del estudio comienza a variar con cada uso, pero sigue siendo aceptable, ya que el manual de MSA indica que la máxima variación permitida es del 10%, de igual manera la repetitividad comienza a subir cada vez, aunque la reproducibilidad no presenta un patrón en los casos.

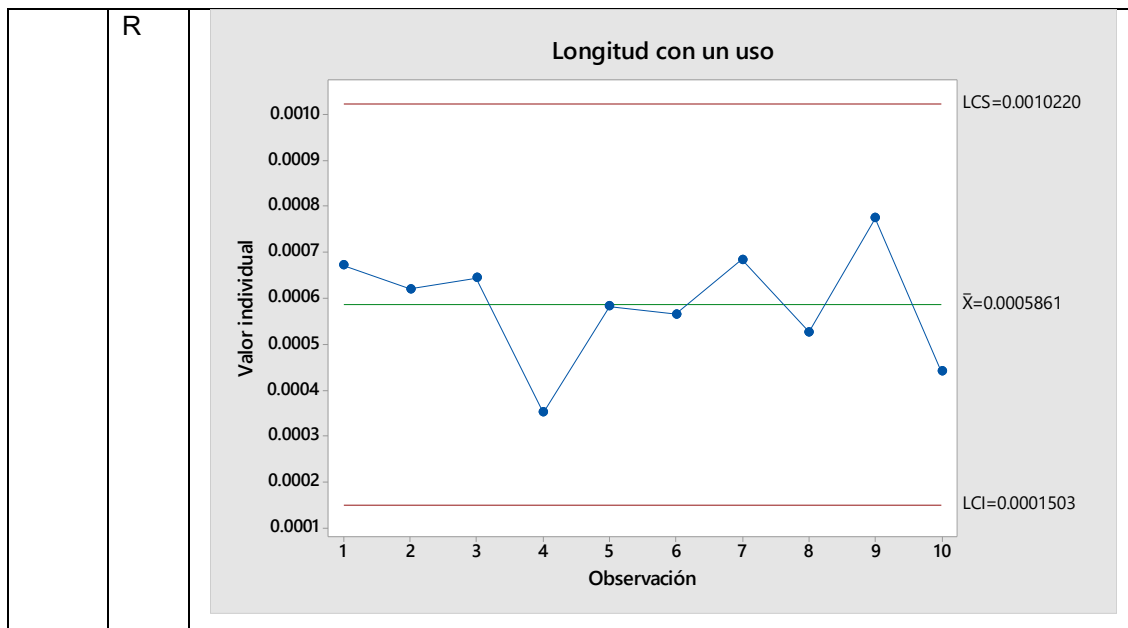
Finalmente, el comportamiento de la longitud de las galgas se observa en los gráficos de control X-R (tabla 5):

Tabla 5. Gráficos de control (Longitud)









Fuente: Propia

Lo que se observa en los gráficos de control es el mismo patrón de medición, es decir, la forma de las líneas es igual, aunque solo varían en escala, mientras los rangos de las mediciones se despegan cada vez más del valor central, pero sin salir ninguno de control.

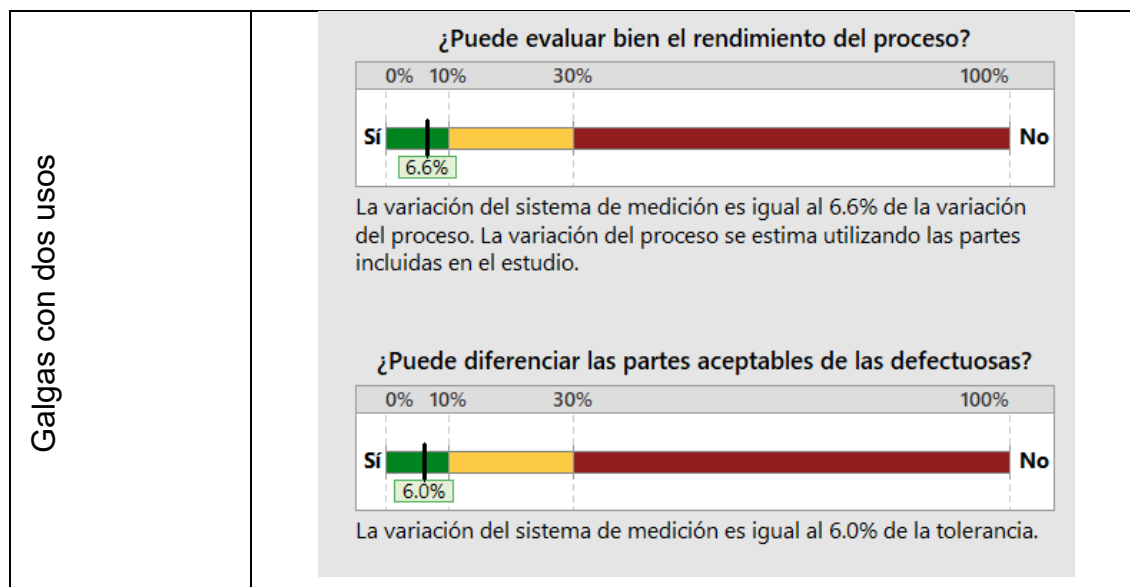
Con todo lo anterior mencionado se puede decir que la longitud de galga tras usarse 3 veces sigue siendo considerada aceptable, pero un siguiente uso sería dudoso.

- Resistencia.

Los datos obtenidos de las mediciones se pueden observar en el anexo 5 ([Ver anexo 5](#)) al aplicar los R&R correspondientes, la capacidad de los sistemas de medición se encuentra en la tabla 6:

Tabla 6. Resultado de capacidad del sistema de medición (resistencia)

Sistema de medición	Resultado
Galgas Nuevas	¿Puede evaluar bien el rendimiento del proceso? La variación del sistema de medición es igual al 1.0% de la variación del proceso. La variación del proceso se estima utilizando las partes incluidas en el estudio. ¿Puede diferenciar las partes aceptables de las defectuosas? La variación del sistema de medición es igual al 0.9% de la tolerancia.
Galgas con un uso	¿Puede evaluar bien el rendimiento del proceso? La variación del sistema de medición es igual al 3.2% de la variación del proceso. La variación del proceso se estima utilizando las partes incluidas en el estudio. ¿Puede diferenciar las partes aceptables de las defectuosas? La variación del sistema de medición es igual al 2.9% de la tolerancia.

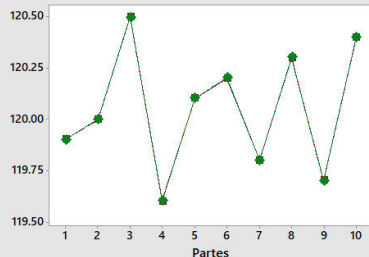
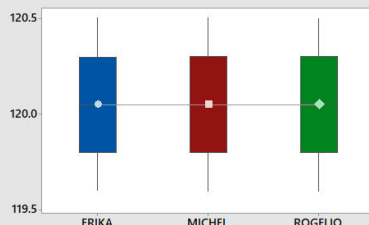
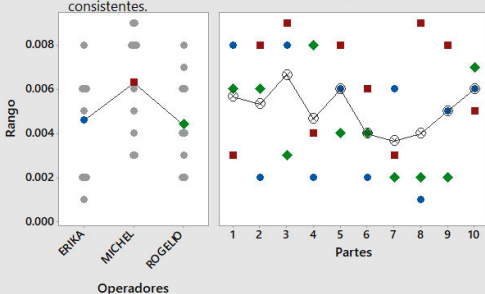
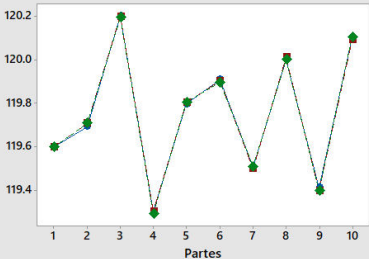
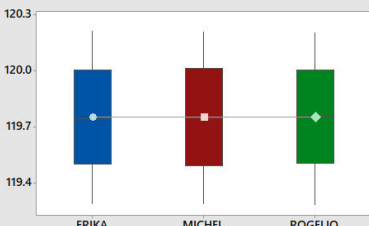
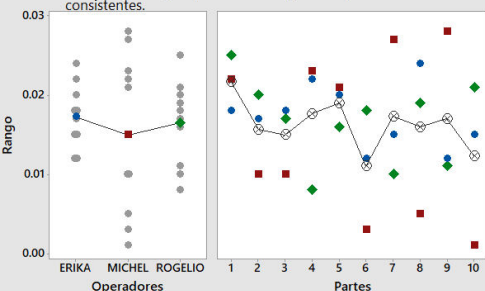


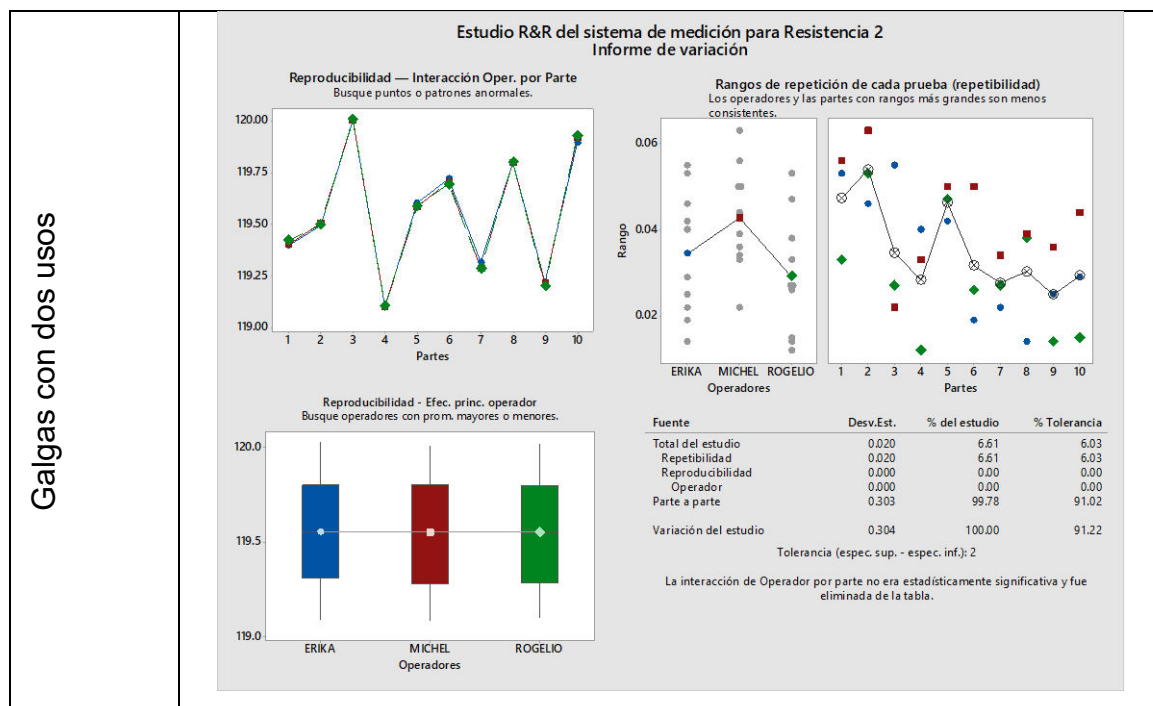
Fuente: Propia.

Con los resultados de la tabla 6 se puede deducir que el sistema de medición es adecuado, y en los 3 casos se puede evaluar bien el rendimiento del proceso y se pueden diferenciar las partes aceptables de las defectuosas.

También al realizar el R&R, el software Minitab arrojó un informe de variación para las mediciones realizadas, para los 3 estudios realizados, en el que se puede entender la repetitividad y reproducibilidad de las mediciones realizadas de una manera visual y estadística, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7:

Tabla 7. Informe de variación (Resistencia) - R&R

Sistema de medición	Resultado																												
Galgas Nuevas	Reproducibilidad — Interacción Oper. por Parte Busque puntos o patrones anormales.  Reproducibilidad - Efec. princ. operador Busque operadores con prom. mayores o menores.  Rangos de repetición de cada prueba (repetibilidad) Los operadores y las partes con rangos más grandes son menos consistentes.  <table><tr><th>Fuente</th><th>Desv.Est.</th><th>% del estudio</th><th>% Tolerancia</th></tr><tr><td>Total del estudio</td><td>0.003</td><td>1.01</td><td>0.91</td></tr><tr><td>Repetibilidad</td><td>0.003</td><td>1.01</td><td>0.91</td></tr><tr><td>Reproducibilidad</td><td>0.000</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Operador</td><td>0.000</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Parte a parte</td><td>0.302</td><td>99.99</td><td>90.75</td></tr><tr><td>Variación del estudio</td><td>0.303</td><td>100.00</td><td>90.75</td></tr></table> Tolerancia (espec. sup. - espec. inf.): 2 La interacción de Operador por parte no era estadísticamente significativa y fue eliminada de la tabla.	Fuente	Desv.Est.	% del estudio	% Tolerancia	Total del estudio	0.003	1.01	0.91	Repetibilidad	0.003	1.01	0.91	Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00	Operador	0.000	0.00	0.00	Parte a parte	0.302	99.99	90.75	Variación del estudio	0.303	100.00	90.75
	Fuente	Desv.Est.	% del estudio	% Tolerancia																									
Total del estudio	0.003	1.01	0.91																										
Repetibilidad	0.003	1.01	0.91																										
Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00																										
Operador	0.000	0.00	0.00																										
Parte a parte	0.302	99.99	90.75																										
Variación del estudio	0.303	100.00	90.75																										
Galgas con un uso	Reproducibilidad — Interacción Oper. por Parte Busque puntos o patrones anormales.  Reproducibilidad - Efec. princ. operador Busque operadores con prom. mayores o menores.  Rangos de repetición de cada prueba (repetibilidad) Los operadores y las partes con rangos más grandes son menos consistentes.  <table><tr><th>Fuente</th><th>Desv.Est.</th><th>% del estudio</th><th>% Tolerancia</th></tr><tr><td>Total del estudio</td><td>0.010</td><td>3.22</td><td>2.93</td></tr><tr><td>Repetibilidad</td><td>0.010</td><td>3.22</td><td>2.93</td></tr><tr><td>Reproducibilidad</td><td>0.000</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Operador</td><td>0.000</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Parte a parte</td><td>0.304</td><td>99.95</td><td>91.15</td></tr><tr><td>Variación del estudio</td><td>0.304</td><td>100.00</td><td>91.20</td></tr></table> Tolerancia (espec. sup. - espec. inf.): 2 La interacción de Operador por parte no era estadísticamente significativa y fue eliminada de la tabla.	Fuente	Desv.Est.	% del estudio	% Tolerancia	Total del estudio	0.010	3.22	2.93	Repetibilidad	0.010	3.22	2.93	Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00	Operador	0.000	0.00	0.00	Parte a parte	0.304	99.95	91.15	Variación del estudio	0.304	100.00	91.20
Fuente	Desv.Est.	% del estudio	% Tolerancia																										
Total del estudio	0.010	3.22	2.93																										
Repetibilidad	0.010	3.22	2.93																										
Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00																										
Operador	0.000	0.00	0.00																										
Parte a parte	0.304	99.95	91.15																										
Variación del estudio	0.304	100.00	91.20																										



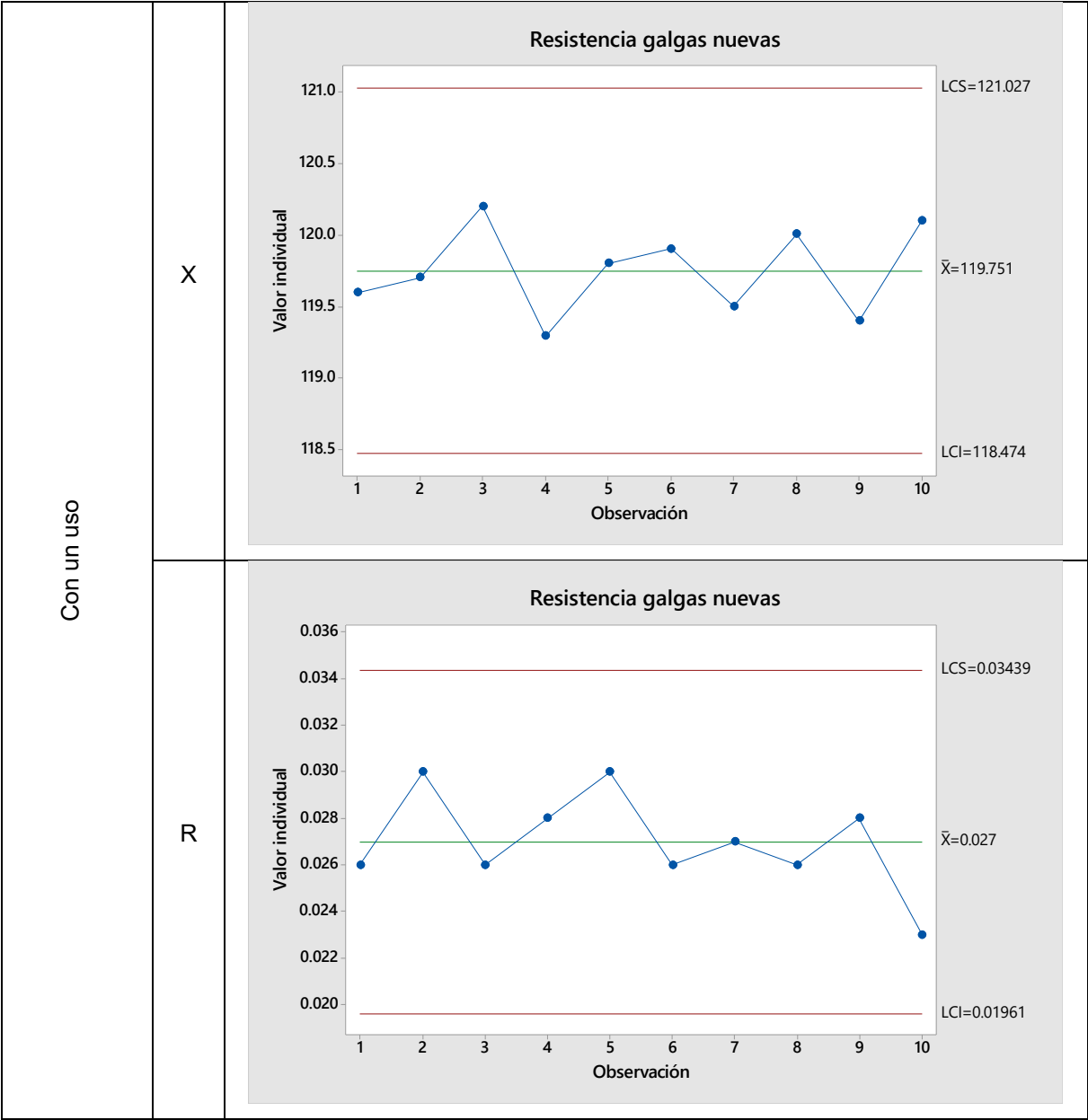
Fuente: Propia

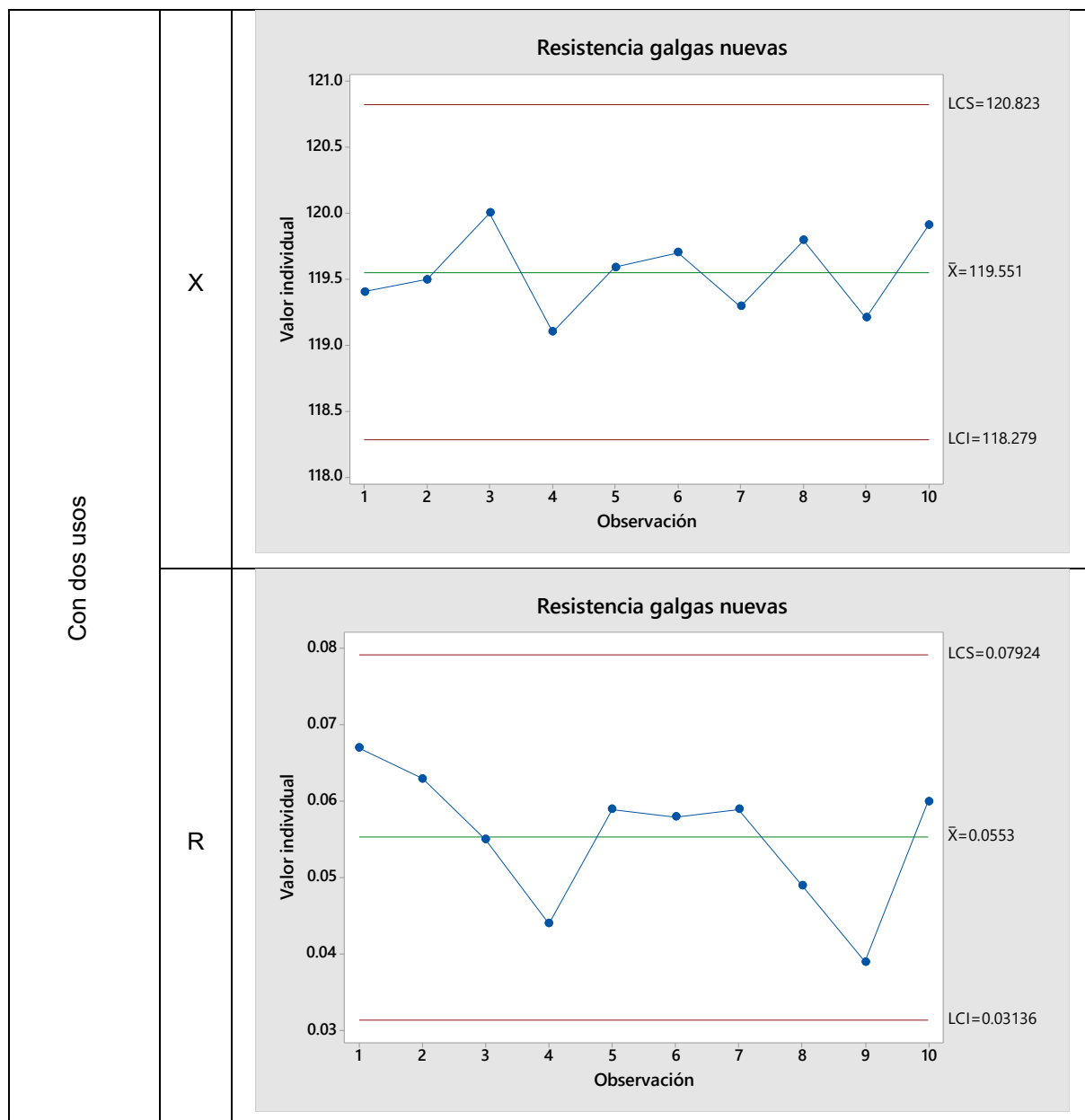
Se entiende con el informe que las mediciones entre los participantes son similares, las de Erika son más dispersas en la medición de galgas nuevas, las de Michel en los demás estudios. También se entiende que la variación del estudio comienza a variar con cada uso, pero sigue siendo aceptable, ya que el manual de MSA indica que la máxima variación permitida es del 10%.

Finalmente, el comportamiento de la resistencia eléctrica de las galgas se observa en los gráficos de control X-R (tabla 8):

Tabla 8. Gráficos de control (Resistencia)

Galga	Tipo	Gráfico																						
Nuevas	X	Resistencia galgas nuevas Valor individual Observación $\bar{X}=120.050$ LCS=121.320 LCI=118.781 <table><thead><tr><th>Observación</th><th>Valor individual</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>119.90</td></tr><tr><td>2</td><td>120.00</td></tr><tr><td>3</td><td>120.50</td></tr><tr><td>4</td><td>119.60</td></tr><tr><td>5</td><td>120.10</td></tr><tr><td>6</td><td>120.20</td></tr><tr><td>7</td><td>119.80</td></tr><tr><td>8</td><td>120.30</td></tr><tr><td>9</td><td>119.70</td></tr><tr><td>10</td><td>120.40</td></tr></tbody></table>	Observación	Valor individual	1	119.90	2	120.00	3	120.50	4	119.60	5	120.10	6	120.20	7	119.80	8	120.30	9	119.70	10	120.40
	Observación	Valor individual																						
1	119.90																							
2	120.00																							
3	120.50																							
4	119.60																							
5	120.10																							
6	120.20																							
7	119.80																							
8	120.30																							
9	119.70																							
10	120.40																							
R	Resistencia galgas nuevas Valor individual Observación $\bar{R}=0.0082$ LCS=0.011155 LCI=0.005245 <table><thead><tr><th>Observación</th><th>Valor individual</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0.0080</td></tr><tr><td>2</td><td>0.0090</td></tr><tr><td>3</td><td>0.0090</td></tr><tr><td>4</td><td>0.0080</td></tr><tr><td>5</td><td>0.0080</td></tr><tr><td>6</td><td>0.0090</td></tr><tr><td>7</td><td>0.0060</td></tr><tr><td>8</td><td>0.0090</td></tr><tr><td>9</td><td>0.0080</td></tr><tr><td>10</td><td>0.0080</td></tr></tbody></table>	Observación	Valor individual	1	0.0080	2	0.0090	3	0.0090	4	0.0080	5	0.0080	6	0.0090	7	0.0060	8	0.0090	9	0.0080	10	0.0080	
Observación	Valor individual																							
1	0.0080																							
2	0.0090																							
3	0.0090																							
4	0.0080																							
5	0.0080																							
6	0.0090																							
7	0.0060																							
8	0.0090																							
9	0.0080																							
10	0.0080																							





Fuente: Propia

Lo que se puede observar en los gráficos de control es el mismo patrón de medición, es decir, la forma de las líneas es igual, aunque solo varían en escala, mientras los rangos de las mediciones se despegan cada vez más del valor central, pero sin salir ninguno de control. También se observa que la resistencia eléctrica disminuye cada prueba, pero se mantiene centrada

Con todo lo anterior mencionado se puede decir que la resistencia eléctrica tras usarse 3 veces sigue siendo considerada aceptable, pero un siguiente uso sería dudoso.

- Inspección Visual.

Los datos obtenidos de las inspecciones se pueden observar en el anexo ([Ver anexo 6](#)), al aplicar los R&R correspondientes (por atributos). En cuanto a la efectividad de los sistemas de medición, la tabla 9 muestra los resultados obtenidos:

Tabla 9. Efectividad (Inspección visual)

Galgas Nuevas						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
	50	50	50	50	50	50
	50	50	50	50	50	50
	False Negative (appraiser biased toward rejection)			0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)			0	0	0	
Mixed			0	0	0	
Calculated Score	100.00 %	100.00%	100.00 %	100.00%	100.00%	100.00%
Total Inspected # in Agreement Calculated Score	System % Effective Score			System % Effective Score vs Reference		
	50			50		
	50			50		
	100.00%			100.00%		
Galgas con un uso						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
	50	50	50	50	50	50
	50	50	50	50	50	50
	False Negative (appraiser biased toward rejection)			0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)			0	0	0	
Mixed			0	0	0	
Calculated Score	100 .00 %	100.00%	100 .00 %	100.00%	100.00%	100.00%
Total Inspected	System % Effective Score			System % Effective Score vs Reference		
	50			50		

# in Agreement	50				50	
Calculated Score	100.00%				100.00%	
Galgas con dos usos						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
Total Inspected	50	50	50	50	50	50
# Matched	50	50	50	50	50	50
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				0	0	0
Calculated Score	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	System % Effective Score			System % Effective Score vs Reference		
Total Inspected	50			50		
# in Agreement	50			50		
Calculated Score	100.00%			100.00%		

Fuente: Propia

Con los datos de la tabla 9 se determina que la efectividad de los 3 sistemas de medición es del 100%, por lo que es aceptable, se puede decir que no se llegó a romper ninguna galga durante las pruebas y los participantes pueden distinguir las galgas en condición OK de las NOK. Por lo que los R&R son aprobados.

Mediante el cálculo del Kappa se puede visualizar el valor del coeficiente de concordancia de los resultados entre los participantes, los resultados obtenidos mediante los R&R se observan en la tabla 10:

Tabla 10. Kappa (Inspección Visual)

Sistema de medición	Kappa			
Galgas Nuevas	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...

Galgas con un uso	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...
Galgas con dos	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...

Fuente: Propia

Con el Kappa se puede ver que hay relación entre las observaciones de los participantes, es decir en los 3 sistemas de medición los participantes llegaron a la misma conclusión, es decir hay concordancia.

- Sensibilidad del sensor

Los datos obtenidos del análisis de sensibilidad del se pueden observar en el anexo 7 ([Ver anexo 7](#)), al aplicar los R&R correspondientes (por atributos). En cuanto a la efectividad de los sistemas de medición, la ilustración 13 muestra los resultados obtenidos:

Ilustración 13. Efectividad (Inspección visual)

Galgas Nuevas						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
Total Inspected	50	50	50	50	50	50
# Matched	50	50	50	50	50	50
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				0	0	0
Calculated Score	100.00 %	100.00%	100.00 %	100.00%	100.00%	100.00%
Total Inspected # in Agreement Calculated Score	System % Effective Score			System % Effective Score vs Reference		
		50			50	
		50			50	
		100.00%			100.00%	

Galgas con un uso						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
Total Inspected	50	50	50	50	50	50
# Matched	50	50	50	50	50	50
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				0	0	0
Calculated Score	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
System % Effective Score				System % Effective Score vs Reference		
Total Inspected	50			50		
# in Agreement	50			50		
Calculated Score	100.00%			100.00%		
Galgas con dos usos						
Source	% Appraiser			% Score vs Attribute		
	A=	B=	C=	A=	B=	C=
Total Inspected	50	50	50	50	50	50
# Matched	50	50	50	50	50	50
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				0	0	0
Calculated Score	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
System % Effective Score				System % Effective Score vs Reference		
Total Inspected	50			50		
# in Agreement	50			50		
Calculated Score	100.00%			100.00%		

Fuente: Propia

Con los datos de la tabla 10 se determina que la efectividad de los 3 sistemas de medición es del 100%, por lo que es aceptable, se puede decir que las galgas no perdieron sensibilidad durante las pruebas y los participantes pueden distinguir las galgas en condición OK de las NOK. Por lo que los R&R son aprobados.

Mediante el cálculo del Kappa se puede visualizar el valor del coeficiente de concordancia de los resultados entre los participantes, los resultados obtenidos mediante los R&R se observan en la tabla 11:

Tabla 11. Kappa (Inspección Visual)

Sistema de medición	Kappa			
Galgas Nuevas	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...
Galgas con un uso	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...
Galgas con dos	Kappa	A	B	C
	A	...	1	1
	B	1	...	1
	C	1	1	...

Fuente: Propia

Con el Kappa se puede ver que hay relación entre las observaciones de los participantes, es decir en los 3 sistemas de medición los participantes llegaron a la misma conclusión, es decir hay concordancia

5.2 Análisis estadístico de datos obtenidos.

Con los resultados obtenidos de la primera prueba de *Strain gage* (Galgas nueva) y la segunda prueba (con un uso), que se encuentran en la tabla 12:

Tabla 12. Resultados Strain gage (pruebas 1 y 2)

GALGA	Resultado de prueba (Galga Nueva)	Resultado de prueba (Galga con un uso)
1	0.000273459	0.000242205
2	0.000212219	0.000253220
3	0.000238278	0.000234961
4	0.000229817	0.000231865
5	0.00023729	0.000248664
6	0.000221696	0.000235022
7	0.000243557	0.000239750
8	0.000237679	0.000233907
9	0.000228493	0.000244660
10	0.00024093	0.000255484

La comparación de muestras pareadas con las hipótesis:

H0: Media de la diferencia de datos =0

HA: Media de la diferencia de datos $\neq 0$, considerando 9 grados de libertad,
da como resultado descriptivamente lo que se muestra en la tabla 13:

Tabla 13. Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Resultado de prueba (Galga Nuev	10	0.000236	0.000016	0.000005
Resultado de prueba (Galga con	10	0.000242	0.000008	0.000003

Fuente: Propia

La media de los datos obtenidos de los *strain gage* es originalmente de 0.000236 *Strain*, tras reutilizarse esta aumenta a 0.000242 μ *Strain*, aumentando la desviación estándar y el error estándar de la media, pero considerando la estimación pareada para la prueba (Ver tabla 14), se tiene que analizar si este error en la media de los datos es significativo.

Tabla 14. Estimación pareada para la prueba.

Hipótesis nula	H ₀ : diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H ₁ : diferencia_μ $\neq 0$
Valor T	Valor p
-0.95	0.367

Fuente: Propia

El valor de t calculado es de -0.93 , dicho valor se verifico si se debe aceptar o rechazar la hipótesis nula en la distribución t para un intervalo de confianza del 95%, en prueba de 2 colas y considerando 9 grados de libertad. Por lo que el grafico de la distribución t se puede observar en la ilustración 14:

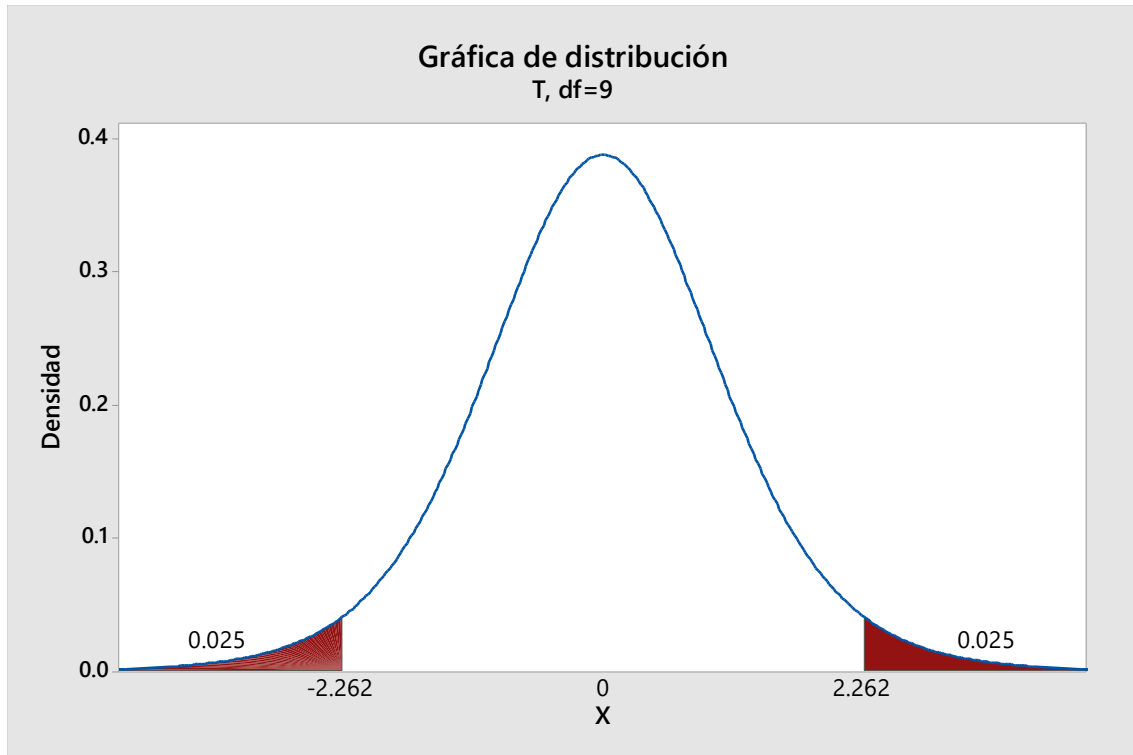


Ilustración 14. Grafica de distribución t

Fuente: Propia

En este grafico el valor de significancia corresponde al 0.05, distribuido en las 2 colas, al cual corresponde un valor apropiado de $t = \pm 2.262$, como -0.95 está dentro de la zona marcada en blanco se acepta la hipótesis nula.

Una vez comprobada la viabilidad de hacer un segundo uso de galgas extensométricas, se validó poderse utilizar las galgas una tercera vez debido a la aprobación de los R&R, con los resultados obtenidos de la primera prueba de *Strain gage* (Galgas nueva) y la tercera prueba (con dos usos), que se encuentran en la tabla 15:

Tabla 15. Resultados *Strain gage* (pruebas 1 y 3)

GALGA	Resultado de prueba (Galga Nueva)	Resultado de prueba (Galga con dos usos)
1	0.000273459	0.000283030
2	0.000212219	0.000233395
3	0.000238278	0.000192816
4	0.000229817	0.000242431
5	0.00023729	0.000246903
6	0.000221696	0.000246903
7	0.000243557	0.000232544
8	0.000237679	0.000248709
9	0.000228493	0.000259876
10	0.00024093	0.000253899

Fuente: Propia

La comparación de muestras pareadas con las hipótesis:

H0: Media de la diferencia de datos = 0

HA: Media de la diferencia de datos $\neq 0$, considerando 9 grados de libertad, da como resultado descriptivamente lo que se muestra en la tabla 16:

Tabla 16. Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Resultado de prueba (Galga Nueva)	10	0.000236	0.000016	0.000005
Resultado de prueba (Galga co_1)	10	0.000244	0.000023	0.000007

Fuente: Propia

La media de los datos obtenidos de los *strain gage* es originalmente de 0.000236 *Strain*, tras reutilizarse esta aumenta a 0.000244 μ *Strain*, aumentando la desviación estándar y el error estándar de la media, pero considerando la estimación pareada para la prueba (ver tabla 17), se tiene que analizar si este error en la media de los datos es significativo.

Tabla 17. Estimación pareada para la prueba.

Hipótesis nula	H ₀ : diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H ₁ : diferencia_μ $\neq$ 0
Valor T	Valor p
-1.12	0.293

Fuente: Propia

El valor de t calculado es de -1.12 , dicho valor se verifico si se debe aceptar o rechazar la hipótesis nula en la distribución t para un intervalo de confianza del 95%, en prueba de 2 colas y considerando 9 grados de libertad. Por lo que el grafico de la distribución t se puede observar en la ilustración 14.

En este grafico el valor de significancia corresponde al 0.05, distribuido en las 2 colas, al cual corresponde un valor apropiado de $t = \pm 2.262$, como -1.12 está dentro de la zona marcada en blanco se acepta la hipótesis nula.

El valor de p calculado correspondiente a 0.293, cae dentro de la zona de aceptación de la hipótesis nula, esto quiere decir que como H_0 es verdadero, no hay diferencia significativa entre los datos. Con todo lo mencionado queda comprobado que las galgas extensométricas se pueden utilizar 2 veces más.

5.3 Desarrollo de un procedimiento estandarizado.

Se creo la instrucción de manufactura con los pasos a seguir, términos importantes y consideraciones, siguiendo el estándar del sistema de gestión de la calidad ([Ver anexo 9](#)).

Con el objetivo de evaluar la fiabilidad y eficacia del proceso de reutilización de galgas extensométricas, se realizó un Análisis de Métodos Estadísticos para la Evaluación de la Fiabilidad del proceso (AMEF). En el anexo 8 se muestra el AMEF con los probables fallos considerados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Después de cada uso de las galgas extensométricas sus características se vuelven más variables y más difíciles de medir, sin embargo, esto no afecta ya que, si se considera el límite del valor GRR, este es menor al 10% que es el considerado en la empresa, tanto para la resistencia y longitud de la galga. Se puede deducir que el sistema de medición es adecuado, y en los 2 casos se puede evaluar bien el rendimiento del proceso y se pueden diferenciar las partes aceptables de las defectuosas, pero también se nota que la capacidad del sistema de medición conforme más usadas están las galgas.

Las galgas también siguen sin romperse en los usos y esto lo comprueban los participantes en el R&R, también se percibe debido a que a pesar de que se les dio a verificar esta condición, cada vez dieron el mismo resultado, por la concordancia entre las respuestas concluye que no hay confusión de la condición y ninguna galga se rompió.

En cuanto a la sensibilidad del sensor este no la pierde ya que se demostró su funcionalidad continua aun cuando se utilizó dos veces previamente, cabe mencionar que mediante la comparación de muestras pareadas se identificó que los resultados arrojados son similares entre sí, al considerar el intervalo de confianza del 95%, esto quiere decir que la media de los datos obtenidos en los estudios de *Strain Gage*, no tienen diferencias significativas y estadísticamente es aceptable su reutilización.

Mediante la realización del AMEF (Análisis de Modos de Efecto de Fallas), se documentaron las posibles fallas y se realizaron propuestas para evitarlas, estas se pueden ver en el procedimiento para estudios de *Strain Gage*, ya que se consideró la mejor forma de evitar que las galgas se rompan. Por lo anterior mencionado se rechaza la hipótesis nula, es decir las galgas se pueden reutilizar.

Recomendaciones

A continuación, se mencionarán algunas recomendaciones para que el proyecto siga teniendo impacto positivo en el área y áreas beneficiadas:

- Solo usarse como máximo 3 veces las galgas.
- Juntar los filamentos, envolviéndolos en cinta Kapton.
- Verificar que los módulos del sistema de adquisición de datos estén correctamente colocados.
- Al colocar la galga en la PCB, asegurarse que el filamento no pase por los *test points*.
- Verificar la sensibilidad del sensor en la aplicación NiMax.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- (ISO), O. I. (2015). *ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. ISO.
- (RAE), R. A. (2014). *Diccionario español*. RAE.
- Arter, T., & Ocas. (2016). *El mundo Genuino - Arduino*. RC Libros.
- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2008). *ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS (AMEF)*. AIAG.
- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2010). *Measurement systems analysis (MSA) reference manual*. AIAG.
- Borror, R. K., & Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis*. The American Statistical Association.
- Brown, J., & Taylor, M. (2018). *Measurement and control in industrial processes*. Engineering Press.
- Carlson, C. S. (2012). *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. Wiley.
- Carro Paz, R., & Daniel, G. G. (1992). *Control estadístico de procesos*. Ed. Macchi.
- Cruz del Castillo, C., & Olivares Orozco, S. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Grupo Editorial Patria.
- Dodge, H. F., & Romig, H. G. (1959). *Planning and control charts*. John Wiley & Sons. John Wiley & Sons.
- Escobedo, E., & Socconinni Perez, L. V. (2021). *Lean six sigma geen belt: paso a paso*. Barcelona: Marge Books.
- Estrada Cingualbres, R., & González Utria, E. (2014). *Medición de tensiones y deformaciones a través de la técnica de Strain Gage*. La Habana: Editorial Universitaria Cuba.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical methods for rates and proportions*. John Wiley & Sons.
- González, P. R., & Martínez, L. T. (2022). *Metodos cuantitativos en psicología experimental*. Editorial Universitaria.
- Gutierrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- Gutierrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. Mexico, D.F: McGraw-Hill.

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2017). *Multivariate data analysis (8.ª ed.)*. Cengage Learning.
- HBM. (s.f). *Strain Gauges*. HBM.
- Hernandez Sampieri, R. F. (2010). *Metodologia de la investigacion*. Mc Graw Hill.
- Imai, M. (2012). *Gemba kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy*. . McGraw-Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality control handbook*. McGraw-Hill.
- Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993). *Quality planning and analysis: From product development through use*. McGraw-Hill.
- Kerlinger, F. N. (1986). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación*. Editorial Trillas.
- Lara Muñoz, E. M. (2011). *Fundamentos de investigacion*. México, D.F. : Alfaomega.
- Llinás Solano, H. (2017). *Estadística inferencial*. Barranquilla, Colombia: Universidad del norte.
- Madrigal Maldonado, R. (2021). *Control estadístico de la calidad. Un enfoque creativo*. Grupo Editorial Patria: Ciudad de Mexico.
- Mertler, C. A., & Reinhart, R. V. (2021). *Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation (7.ª ed.)*. Routledge.
- Montero Echeverría, W. E. (2011). *Efecto de la curvatura superficial sobre la exactitud en el calculo de la tension a partir de la deformacion medida con galgas extensometricas resistivas*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Montgomery, D. (2019). *Introduccion al control estadistico de la calidad (8a ed.)*. Limusa.
- Moro Piñeiro, M. (2000). *Metrologia: Introduccion, Conceptos e Instrumentos*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Noe, R. A. (2017). *Employee training and development*. Employee training and development.
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory (3 ed)*. McGraw-Hill.
- Perez Marques, M. (2010). *Metodología seis sigma atravez de excel*. Madrid: RC Libros.
- POLA MASEDA, Á. (2009). *Aplicación de la estadística al control de calidad*. Barcelona: Marcombo.

- Prat Bartés, A. T.-M. (2015). *Métodos estadísticos: Control y mejora de la calidad*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Rodriguez Barragan, E. (2015). *ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN MEDIANTE ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN SCHOTT ENVASES FARMACÉUTICOS SAS*. Bogotá: Fundación universitaria los libertadores.
- Shukla, K. K., & Dally, J. W. (2014). *Experimental stress analysis*. College House Enterprises.
- Smith, J. T. (2020). *Reliability Engineering and Risk Management (3a ed.)*. McGraw-Hill.
- Smith, R., & Johnson, T. (2020). *Introduction to materials science and engineering*. Engineering Press.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. ASQ Quality Press.
- Triola, M. F. (2020). *Estadística elemental (13. ed.)*. Pearson Education.
- Vázquez Navarrete, M. L., Ferreira da Silva, M. R., Mogollón Pérez, A. S., Fernández de Sanmamed, M. J., Delgado Gallego, M. E., & Vargas Lorenzo, I. (2017). *Introducción a las técnicas cualitativas de investigación*. Cali: Universidad del Valle. doi:10.25100/peu.188

GLOSARIO

Strain gage: Mide la tensión por medio de un cambio en la resistencia

Galga Extensiométrica: Sensor que mide la deformación, presión, carga, par y posición de determinado material.

Modulo NI cDAQ-9185: Es un chasis Ethernet CompactDAQ diseñado para sistemas distribuidos de medidas de sensor

PCBA: Ensamblaje de placa de circuito impreso, se refiere a la combinación de PCB, componentes y accesorios electrónicos.

Maquina: sistema compuesto de cuerpos resistentes y mecanismos, combinados de tal manera que por medio de ellos es posible transformar adecuadamente la energía de una fuente energética en un trabajo útil.

Sistema de medición: Conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida; el proceso completo usado para obtener mediciones.

Significancia estadística: Sólo dice lo que es probable, no puede probar nada con absoluta certeza. Establece si ciertos resultados son o no menos probables.

GRR: Análisis estadístico utilizado en estudios de R&R dentro de un sistema de medición. Este análisis estima qué tan confiable es un sistema de medición al identificar las variaciones causadas por el instrumento y los operadores.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de datos

ROGELIO	1				
ROGELIO	1				
ROGELIO	1				
ROGELIO	2				
ROGELIO	2				
ROGELIO	2				
ROGELIO	3				
ROGELIO	3				
ROGELIO	3				
ROGELIO	4				
ROGELIO	4				
ROGELIO	4				
ROGELIO	5				
ROGELIO	5				
ROGELIO	5				
ROGELIO	6				
ROGELIO	6				
ROGELIO	6				
ROGELIO	7				
ROGELIO	7				
ROGELIO	7				
ROGELIO	8				
ROGELIO	8				
ROGELIO	8				
ROGELIO	9				
ROGELIO	9				
ROGELIO	9				
ROGELIO	10				
ROGELIO	10				
ROGELIO	10				
MICHEL	1				
MICHEL	1				
MICHEL	1				
MICHEL	2				
MICHEL	2				
MICHEL	2				
MICHEL	3				
MICHEL	3				
MICHEL	3				
MICHEL	4				
MICHEL	4				
MICHEL	4				
MICHEL	5				
MICHEL	5				
MICHEL	5				
MICHEL	6				
MICHEL	6				

MICHEL	6				
MICHEL	7				
MICHEL	7				
MICHEL	7				
MICHEL	8				
MICHEL	8				
MICHEL	8				
MICHEL	9				
MICHEL	9				
MICHEL	9				
MICHEL	10				
MICHEL	10				
MICHEL	10				

Anexo 2. Hoja de datos - Strain Gage

GALGA:	Nueva	
GALGA	Resultado de prueba	Unidad
1		μ Strain
2		μ Strain
3		μ Strain
4		μ Strain
5		μ Strain
6		μ Strain
7		μ Strain
8		μ Strain
9		μ Strain
10		μ Strain
GALGA:	Un uso	
GALGA	Resultado de prueba	Unidad
1		μ Strain
2		μ Strain
3		μ Strain
4		μ Strain
5		μ Strain
6		μ Strain
7		μ Strain
8		μ Strain
9		μ Strain
10		μ Strain
GALGA:	Dos usos	
GALGA	Resultado de prueba	Unidad
1		μ Strain
2		μ Strain
3		μ Strain
4		μ Strain
5		μ Strain
6		μ Strain
7		μ Strain
8		μ Strain
9		μ Strain
10		μ Strain

Anexo 3. Formato AMEF

		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)										Código:					
				Diseño				Procesos				Sistemas				Edición:	
Cliente:								Denominación producto:		Pasador de punta cónica				Preparado por:			
Planta:								Referencia/s:						Revisado por:			
Proveedores involucrados:								Nivel de modificaciones cliente:						Aprobado O.T.:			
Descripción de la fase	Modo(s) potenciales de falla	Efecto(s) potencial(es) de falla	Severidad	Causa(s) potencial(es) de falla	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	N P R	Acción(es) recomendada(s)	Área(s)/persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Resultados de las acciones						
											Acciones realizadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	N P R		

Anexo 4. Medición de longitud de galga

	Galga	Largo								
		Erika			Michel			Rogelio		
Galgas nuevas	1	0.99846	0.99845	0.99852	0.99853	0.99846	0.99842	0.99859	0.99849	0.99857
	2	1.00346	1.00346	1.00345	1.00343	1.00343	1.0035	1.00353	1.00357	1.00341
	3	1.00044	1.00059	1.00043	1.00046	1.00053	1.00053	1.00049	1.00056	1.00045
	4	1.00444	1.00449	1.00442	1.00442	1.00446	1.00444	1.00446	1.00458	1.00444
	5	0.99648	0.99649	0.99644	0.99644	0.99648	0.9964	0.99649	0.99655	0.99647
	6	1.00253	1.00252	1.00253	1.00259	1.00242	1.00259	1.00258	1.00247	1.00245
	7	0.99746	0.9975	0.99754	0.99744	0.99748	0.99756	0.99758	0.99748	0.99745
	8	1.00358	1.00358	1.00359	1.00343	1.0035	1.00347	1.0035	1.00344	1.00358
	9	1.00156	1.00141	1.00156	1.00159	1.00149	1.00158	1.00155	1.00148	1.00159
	10	0.99945	0.99944	0.99955	0.99955	0.99946	0.99955	0.99946	0.99943	0.99949
Galgas con un uso	Galga	Largo								
		Erika			Michel			Rogelio		
	1	1.0104	1.01029	1.01001	1.01019	1.01003	1.01024	1.01004	1.01002	1.0103
	2	1.01513	1.01512	1.0154	1.01542	1.01532	1.01531	1.01526	1.0153	1.01531
	3	1.01238	1.01231	1.01224	1.01218	1.01235	1.01247	1.0122	1.01213	1.01248
	4	1.01633	1.01633	1.01623	1.01623	1.01645	1.01644	1.01614	1.01632	1.01641
	5	1.00848	1.00835	1.00836	1.00832	1.00824	1.00826	1.0084	1.00823	1.00802
	6	1.01419	1.01419	1.01421	1.01421	1.01423	1.01406	1.01406	1.01406	1.01416
	7	1.00926	1.0092	1.00938	1.00937	1.00905	1.00947	1.00925	1.00944	1.00926
	8	1.01526	1.01544	1.0152	1.01519	1.01549	1.01506	1.01515	1.01513	1.01541
	9	1.01336	1.01306	1.01329	1.01304	1.013	1.01308	1.01303	1.01308	1.01338
	10	1.01133	1.01122	1.01142	1.01136	1.01119	1.01127	1.01138	1.01123	1.01115
Galgas con dos usos	Galga	Largo								
		Erika			Michel			Rogelio		
	1	1.01553	1.01548	1.01511	1.01558	1.01511	1.01552	1.01515	1.01536	1.01578
	2	1.02059	1.02015	1.02052	1.02069	1.02064	1.0204	1.02033	1.02077	1.02038
	3	1.01778	1.01778	1.01738	1.01719	1.01737	1.01752	1.0173	1.01714	1.01779
	4	1.02137	1.02141	1.02134	1.02139	1.02152	1.02169	1.02138	1.02162	1.02152
	5	1.01386	1.01347	1.01356	1.01353	1.01368	1.01346	1.01342	1.01357	1.01328
	6	1.01951	1.01957	1.01964	1.01957	1.01969	1.01913	1.01922	1.01927	1.01933
	7	1.01452	1.01423	1.01452	1.01443	1.01428	1.01491	1.01471	1.01469	1.01471
	8	1.02056	1.02089	1.02065	1.02036	1.02057	1.02041	1.02052	1.02058	1.02072
	9	1.01862	1.01826	1.01836	1.01835	1.01825	1.01809	1.0182	1.01856	1.01887
	10	1.01639	1.01656	1.0166	1.01663	1.01622	1.01662	1.01641	1.01665	1.01621

Anexo 5. Resultados de Resistencia eléctrica

Galga	Largo									media	rango
	Erika			Michel			Rogelio				
1	119.901	119.896	119.904	119.9	119.903	119.902	119.897	119.898	119.903	119.900	0.008
2	120	120.002	120.002	119.995	120.003	119.997	119.999	119.998	120.004	120.000	0.009
3	120.503	120.496	120.504	120.503	120.495	120.504	120.496	120.496	120.499	120.500	0.009
4	119.602	119.604	119.604	119.598	119.6	119.602	119.601	119.596	119.604	119.601	0.008
5	120.102	120.097	120.103	120.096	120.102	120.104	120.1	120.1	120.104	120.101	0.008
6	120.197	120.196	120.198	120.199	120.203	120.197	120.205	120.201	120.204	120.200	0.009
7	119.799	119.803	119.797	119.799	119.801	119.798	119.801	119.799	119.799	119.800	0.006
8	120.297	120.296	120.296	120.304	120.3	120.295	120.3	120.301	120.302	120.299	0.009
9	119.698	119.702	119.703	119.699	119.705	119.697	119.698	119.699	119.697	119.700	0.008
10	120.404	120.403	120.398	120.401	120.399	120.396	120.402	120.396	120.403	120.400	0.008
Galga	Largo									media	rango
	Erika			Michel			Rogelio				
1	119.593	119.611	119.594	119.601	119.608	119.586	119.587	119.594	119.612	119.598	0.026
2	119.702	119.686	119.685	119.71	119.7	119.71	119.713	119.695	119.715	119.702	0.030
3	120.193	120.203	120.211	120.207	120.2	120.197	120.202	120.201	120.185	120.200	0.026
4	119.288	119.31	119.292	119.29	119.299	119.313	119.285	119.291	119.293	119.296	0.028
5	119.805	119.799	119.785	119.809	119.808	119.788	119.799	119.815	119.799	119.801	0.030
6	119.909	119.915	119.903	119.905	119.903	119.902	119.889	119.889	119.907	119.902	0.026
7	119.497	119.512	119.499	119.495	119.486	119.513	119.512	119.502	119.504	119.502	0.027
8	120.013	119.998	119.989	120.01	120.015	120.011	120.003	120.01	119.991	120.004	0.026
9	119.413	119.412	119.401	119.385	119.391	119.413	119.395	119.401	119.39	119.400	0.028
10	120.114	120.099	120.099	120.091	120.091	120.092	120.091	120.111	120.112	120.100	0.023
Galga	Largo									media	rango
	Erika			Michel			Rogelio				
1	119.377	119.43	119.378	119.424	119.368	119.409	119.423	119.402	119.435	119.405	0.067
2	119.472	119.491	119.518	119.508	119.534	119.471	119.475	119.528	119.487	119.498	0.063
3	119.97	120.007	120.025	119.988	120.01	120.003	120.019	119.992	120.007	120.002	0.055
4	119.088	119.127	119.087	119.097	119.116	119.083	119.109	119.109	119.097	119.101	0.044
5	119.625	119.583	119.596	119.568	119.616	119.566	119.575	119.614	119.567	119.590	0.059
6	119.706	119.725	119.723	119.689	119.733	119.683	119.7	119.701	119.675	119.704	0.058
7	119.306	119.308	119.328	119.303	119.269	119.28	119.27	119.297	119.287	119.294	0.059
8	119.801	119.804	119.79	119.771	119.81	119.803	119.82	119.79	119.782	119.797	0.049
9	119.222	119.203	119.228	119.19	119.226	119.216	119.203	119.203	119.189	119.209	0.039
10	119.898	119.904	119.875	119.935	119.929	119.891	119.918	119.933	119.929	119.912	0.060

Anexo 6. Resultados de inspección visual

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution			Gage			Sample (Only for reference)			Characteristic		
Date:	29/10/2024		Test equipment Nr.:			Item No.:	Galga extensometrica		Characteristic:	Inspeccion Visual	
Responsible:	Erika Ledezma		Description:			Description:	Nueva		Nominal Value:	USL= 1	
Telephone Nr.:			Resolution:			Failure Catalogue:			Unit:	LSL= 0	
Department:	Metrologia		Last Calibration:			Border Samples			Comment:		
Location:	Celaya Electronicos		Authorized institute:								

Appraiser			A= Rogelio						B= Erika						C= Michel						Overview	
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute
1	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
3	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
5	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
8	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
22	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

[illegible]

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution		Gage		Sample (Only for reference)		Characteristic	
Date:	29/10/2024	Test equipment Nr.:		Item No.:	Galga extensometrica	Characteristic:	Inspeccion Visual
Responsible:	Erika Ledezma	Description:		Description:	Un uso	Nominal Value:	USL= 1
Telephone Nr.:		Resolution:		Failure Catalogue:		Unit:	LSL= 0
Department:	Metrologia	Last Calibration:		Border Samples		Comment:	
Location:	Celaya Electronicos	Authorized institute:					

Appraiser			A= Rogelio						B= Erika						C= Michel						Overview	
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute
1	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
3	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
5	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
8	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
22	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

[illegible]

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution		Gage		Sample (Only for reference)		Characteristic	
Date:	29/10/2024	Test equipment Nr.:		Item No.:	Galga extensometrica	Characteristic:	Inspeccion Visual
Responsible:	Erika Ledezma	Description:		Description:	Dos usos	Nominal Value:	USL= 1
Telephone Nr.:		Resolution:		Failure Catalogue:		Unit:	LSL= 0
Department:	Metrologia	Last Calibration:		Border Samples		Comment:	
Location:	Celaya Electronicos	Authorized institute:					

Appraiser			A=			Rogelio			B=			Erika			C=			Michel			Overview		
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute	
1	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
3	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
5	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
8	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
22	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condicion OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

[illegible]

Anexo 7. Resultados Sensibilidad del sensor

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution		Gage		Sample (Only for reference)		Characteristic	
Date:	05/11/2024	Test equipment Nr.:		Item No.:	Galga Extensométrica	Characteristic:	Sensibilidad del sensor
Responsible:	Erika Ledezma	Description:		Description:	Nueva	Nominal Value:	USL= 1
Telephone Nr.:		Resolution:		Failure Catalogue:		Unit:	LSL= 0
Department:	Metrología	Last Calibration:		Border Samples		Comment:	
Location:	Celaya Electrónicos	Authorized institute:					

Appraiser			A=			Rogelio			B=			Michel			C=			Erika			Overview	
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute
1	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
3	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
5	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

8	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
22	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
24	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
25	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
26	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

27	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
28	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
29	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
30	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
31	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
32	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
33	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
34	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
35	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
36	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
37	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
38	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
39	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
40	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
41	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
42	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
43	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
44	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
45	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

46	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
47	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
48	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
49	Galga condición OK	0	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	1	1
50	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution		Gage		Sample (Only for reference)		Characteristic	
Date:	05/11/2024	Test equipment Nr.:		Item No.:	Galga Extensométrica	Characteristic:	Sensibilidad del sensor
Responsible:	Erika Ledezma	Description:		Description:	Un uso	Nominal Value:	USL= 1
Telephone Nr.:		Resolution:		Failure Catalogue:		Unit:	LSL= 0
Department:	Metrología	Last Calibration:		Border Samples		Comment:	
Location:	Celaya Electrónicos	Authorized institute:					

Appraiser			A=			Rogelio			B=			Michel			C=			Erika			Overview	
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute
1	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
3	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

5	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
8	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
22	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

24	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
25	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
26	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
27	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
28	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
29	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
30	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
31	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
32	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
33	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
34	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
35	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
36	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
37	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
38	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
39	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
40	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
41	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
42	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

43	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
44	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
45	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
46	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
47	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
48	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
49	Galga condición OK	0	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	1	1
50	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

Risk Analysis Method according to MSA fourth Edition

Execution		Gage		Sample (Only for reference)		Characteristic	
Date:	05/11/2024	Test equipment Nr.:		Item No.:	Galga Extensométrica	Characteristic:	Sensibilidad del sensor
Responsible:	Erika Ledezma	Description:		Description:	Dos Usos	Nominal Value:	USL= 1
Telephone Nr.:		Resolution:		Failure Catalogue:		Unit:	LSL= 0
Department:	Metrología	Last Calibration:		Border Samples		Comment:	
Location:	Celaya Electrónicos	Authorized institute:					

Appraiser			A=			Rogelio			B=			Michel			C=			Erika			Overview	
Part	Ref Value	Ref	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	1 st	2 nd	3 rd	Code	Score	Score VS Attribute	Score	Score VS Attribute
1	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
2	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

3	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
4	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
5	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
6	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
7	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
8	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
9	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
10	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
11	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
12	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
13	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
14	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
15	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
16	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
17	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
18	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
19	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
20	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
21	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

22	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
23	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
24	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
25	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
26	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
27	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
28	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
29	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
30	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
31	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
32	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
33	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
34	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
35	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
36	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
37	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
38	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
39	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
40	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

41	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
42	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
43	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
44	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
45	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
46	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
47	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
48	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1
49	Galga condición OK	0	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	0	0	0	C	1	1	1	1
50	Galga condición OK	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1	1	C	1	1	1	1

Anexo 8. Procedimiento estandarizado

En el siguiente enlace se puede visualizar el procedimiento estandarizado:

<https://drive.google.com/file/d/1DcYkRPYQphHUOYSiuBS028Jh3qMUVyqS/view?usp=sharing>

Nota: Al ser documento confidencial solo las personas con la contraseña lo podrán abrir.

Anexo 9. AMEF de proceso

		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)										Código: A-01				
												Edición: 1				
				Diseño	X	Procesos					Sistemas			Fecha: 07-nov-24		
Cliente:	Gentherm					Denominación producto:			Galga extensométrica			Preparado por:		Erika Ledezma Puga		
Planta:	IV (EBU)					Referencia/s:		Reutilización			Revisado por:		Rogelio Álvarez			
Proveedores involucrados:							Nivel de modificaciones cliente:			0			Aprobado O.T.:		Rogelio Álvarez	
Descripción de la fase	Modo(s) potencial(es) de falla	Efecto(s) potencial(es) de falla	Severidad	Causa(s) potencial(es) de falla	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	N P R	Acción(es) recomendada(s)	Área(s)/persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Resultados de las acciones					
											Acciones realizadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	N P R	
Ajuste de galga en PCB	Colocar sobre <i>Test Point</i>	Galga Rota	1	Mala colocación	2	Verificar la colocación antes de realizar la prueba de <i>Strain Gage</i>	3	6	Colocar la galga lo más próximo a un componente sin pasar por el <i>Test Point</i>	Metrología - Rogelio Álvarez	Colocar la galga lo más próximo a un componente sin pasar por el <i>Test Point</i>	1	2	2	4	

Verificación de sensibilidad de la galga extensométrica	No conectar correctamente las terminales de los sensores al sistema de adquisición de datos	Rechazo de galgas en condición OK	1	No identificar el canal correcto	2	Ninguna	2	4	Crear marcas de acuerdo al color de las terminas	Metrología - Rogelio Álvarez	Crear marcas de acuerdo al color de las terminas	1	1	1	1
Realización de <i>Strain Gage</i>	Romper la galga extensométrica en el proceso	No se podrá reutilizar la galga extensométrica	1	Hacer caso omiso de la correcta colocación de las galgas en la PCB	2	Procedimiento oficial del <i>Strain gage</i>	3	6	Actualización del procedimiento oficial del <i>Strain Gage</i>	Metrología - Rogelio Álvarez	Segur el procedimiento actualizado del <i>Strain gage</i>	1	2	2	4
									Verificación de sensibilidad de la galga extensométrica		Verificación de sensibilidad de la galga extensométrica	1	1	1	1