

**Centro de Enseñanza Técnica y Superior**  
Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja  
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**Guía formalizada de mantenimiento y calibración de equipos  
de medición para reducción de fallos en el campo**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

**Jesús Almonte Quiñones**

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda  
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México  
7 de junio del 2020

**Guía formalizada de mantenimiento y calibración de equipos de  
medición para reducción de fallos en el campo**

Tesis/Proyecto de aplicación para obtener el grado de Maestro en  
Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Jesus Almonte Quiñones**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda**

---

**Dr. Ricardo Martínez Soto**  
Coordinador del Posgrado MII

## **Resumen Español**

Resumen de la tesis presentada por **Jesus Almonte Quiñones** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e Innovación.

### **Diseño y análisis de rutas de abastecimiento de materia prima para prevenir desabastos**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Generar una guía formalizada de mantenimiento y calibración para disminuir los fallos de los equipos de medición en el campo, siguiendo las mejores prácticas para la verificación y uso de los equipos, mediante un estudio piloto de 246 equipos de medición longitudinal, de los cuales 133 fueron sometidos a nuevos métodos de inspección y uso, basado en la investigación y el resto de los equipos siguieron el procedimiento ordinario. Teniendo 5 casos de fallo en los equipos con procedimiento ordinario. Identificando 8 equipos defectivos durante la verificación y cero fallos en los equipos restantes del grupo piloto.

**Palabras Claves:** ISO, Guía, mejores prácticas, Gage R&R.

## **Resumen Inglés**

Abstract of the thesis presented **by Jesus Almonte Quinones** as a partial requirement to obtain the master's degree in Engineering and Innovation with orientation in Systems and Industrial Process.

### **Formalized maintenance and calibration guide to reduce failures of measurement equipment in the field**

Abstract approved by:

---

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Generate a formalized maintenance and calibration guide to reduce failures of measurement equipment in the field, following best practices for the verification and use of equipment, through a pilot study of 246 longitudinal measuring equipment, of which 133 were subjected to new inspection and use methods, based on research and the rest of the equipment followed the ordinary procedure. Having 5 cases of failure in equipment with ordinary procedure. Identifying 8 defective equipment during verification and zero failures on the remaining teams in the pilot group.

**Keywords:** ISO, Guide, best practices, Gage R&R.

## **Dedicatorias**

A mi madre, la cual siempre me impulso a realizar un postgrado, apoyándome de forma incondicional en todo momento y sin importar las situaciones adversas.

A mi esposa Diana González y mis hijos Luke y Jesús, con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo para la realización de esta tesis.

Los amo a todos,

Jesus Almonte Quiñones.

## **Agradecimientos**

A Conacyt, Cety's Universidad y Schneider Electric, por brindarme la oportunidad y el apoyo económico para continuar con mi preparación profesional.

Al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda, por exhortar a la búsqueda de la perfección en nuestro desempeño educacional y profesional, al igual de compartir sus conocimientos y darnos la guía necesaria.

Gracias totales.

## Tabla de contenido

<b>Resumen Español</b> .....	ii
<b>Resumen Inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	vii
<b>Lista de tablas</b> .....	viii
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 2. Antecedentes</b> .....	1
2.1 Equipos de medición.....	1
2.2 Línea base.....	6
2.3 Estándares de Calibración.....	7
<b>Capítulo 3. Definición del Problema</b> .....	8
3.1 Justificación.....	8
3.2 Preguntas de investigación.....	9
3.3 Hipótesis.....	9
3.4 Objetivos.....	9
3.4.1 Objetivo general.....	9
3.4.2 Objetivos específicos.....	10
<b>Capítulo 4. Metodología</b> .....	10
4.1 Mejores Prácticas identificadas.....	10
4.2 Tamaño de la Muestra.....	14
<b>Capítulo 5. Resultados</b> .....	14
5.1 Encuesta.....	15
5.2 Equipos de muestra.....	16
5.3 Gage R&R.....	17
<b>Capítulo 6. Discusión de Resultados</b> .....	24
<b>Capítulo 7. Conclusiones</b> .....	26
<b>Lista de referencias bibliográficas</b> .....	27

## Lista de figuras

Figura		Página
1	Diferencias de Volumen entre fabricantes de pipetas .....	3
2	Comparación de termómetros calibrados en 12 laboratorios diferentes .....	4
3	Reemplazos de equipos de medición en el 2019.....	6
4	Motivos principales de reemplazo de equipo .....	7
5	Respuesta de encuesta .....	15
6	Daños mecánicos en equipos longitudinales .....	16
7	Daño en placa electrónica en equipo longitudinal .....	16
8	Resultado general de estudio Gage R&R .....	17
9	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	18
10	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	19
11	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	20
12	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	21
13	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	22
14	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	23
15	Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia .....	24

**Lista de tablas**

Tabla		Página
1	Matriz de requisitos básicos en Calibración de instrumentos de medición .....	4
2	Agrupación de Instrumentos de medición .....	5
3	Verificación equipos de medición en Schneider Electric .....	6
4	Matriz de Recomendaciones .....	12

## **Capítulo 1. Introducción**

---

El trabajo partió de una investigación documental, identificando las mejores prácticas en el manejo de los equipos de medición, con el objetivo de reducir los fallos en el campo, al igual de la realización de un sondeo con las empresas de la localidad con el motivo de observar las cantidades de buenas prácticas identificadas con la práctica industrial, obteniendo una participación de 66 empresas.

Los certificados en normas estándares ISO, buscan generalizar los procesos administrativos de las industrias, y el manejo de los equipos de medición no son la excepción. Las empresas buscan certificarse en estas normas, llevando a estas empresas a trabajar de forma similar, sin embargo, por comentarios de profesionistas de redes locales, el trabajo similar no es del todo correcto.

- ISO9000 – Sistema de Gestión de Calidad
- ISO10012-1 – Requerimientos Cualitativos de Equipos de Medición
- ISO 17025 - Requerimientos Generales para pruebas y calibraciones competentes en Laboratorios.

## **Capítulo 2. Antecedentes**

---

### **2.1 Equipos de medición**

Los instrumentos de medición son usados en la industria para el monitoreo, control y verificación de los procesos de manufactura. Verificar temperaturas, longitudes, monitorear espesores, verificar fuerza de resistencia, entre otras características de los procesos son ejemplos de utilización de los instrumentos de medición. Por ello es de suma importancia la integridad de estos instrumentos, la cual debe ser la requerida para poder desempeñar su función de forma confiable. El uso de estos aparatos puede ser muy rudo, o el ambiente es agresivo con los materiales de los cuales están compuestos

los instrumentos. Las industrias usan departamentos internos o externos para la revisión de estos instrumentos.

Los departamentos encargados de la revisión de los instrumentos de medición son llamados bajo el termino “metrología”, cuyo termino es definido como *ciencia de la medición*, según el libro “Handbook of Material Measurements Methods”. Una herramienta usada por los departamentos de metrología son los patrones o guías para comparar, revisar o evaluar los equipos de medición (Horst Czichos, Tetsuya Saito, Leslie Smith (Eds.), 2006).

El libro “Applied Metallurgy and Corrosion Control” (Lahiri, 2017), menciona la inspección minuciosa, es importante para una evaluación eficiente de los equipos, para la detección de los detalles por muy pequeños o insignificantes. Lahiri, promueve las inspecciones a estar basadas en un listado de puntos de evaluación al equipo, donde depende del lugar donde está el equipo, tiempo de utilización de este, condiciones de los mecanismos contenidos dentro del equipo entre otros factores. Sabiendo la variabilidad de las condiciones, este listado debe ser diferente según el equipo a revisar.

Adicional, la consideración del error en las lecturas de los instrumentos es importante, como menciona Taylor en su libro “Introducción al análisis de errores: el estudio de las incertidumbres en las mediciones físicas” (Taylor, 2104), es importante conocer la variabilidad en la lectura de los instrumentos para considerarse en la toma de decisiones con base a los valores obtenidos.

La integridad y funcionamiento de los instrumentos es en algunos casos crítico, varias partes del mundo como Checoslovaquia (Marschal, 1995), Suiza (St, Habonim, & Gan, 2004) por mencionar algunos, donde han establecido normas, estándares para acreditar a laboratorios especializados en el mantenimiento y calibración de instrumentos de medición. Estos estándares consideran conceptos como grado de incertidumbre, validaciones, Gage R&R, para evidenciar o sustentar la confiabilidad de los equipos.

Los conceptos son análisis realizados a los equipos de medición, para establecer el grado de confianza en las lecturas mostradas (N. Yu. Efremova, 2005). El grado de incertidumbre es el “error” de la lectura en los instrumentos de medición, dicho error es debido a las condiciones propias del equipo o del evento a evaluar. Este análisis nos ayuda a identificar si el instrumento empelado tiene un “error” aceptable o no, comparándolo con algún valor estándar para la incertidumbre, estos valores son establecidos de forma empírica o por alguna norma.

Las validaciones son métodos utilizados para evaluar la confiabilidad de los instrumentos de medición, el establecer el grado de incertidumbre es uno de estos parámetros de evaluación, al igual el Gage R&R. El Gage R&R como un método para medir la repetibilidad y reproducibilidad de algún evento. Esto evalúa si el instrumento de medición no tiene influencias externas al momento de ser usado. Hay un caso práctico donde hay una evaluación de pipetas, de varios proveedores para determinar su grado de confiabilidad, mediante el uso de este método de Gage R&R (Shirono & Shiro, 2014). Como muestra la figura 3, las variaciones entre los dos diferentes fabricantes de estas pipetas.

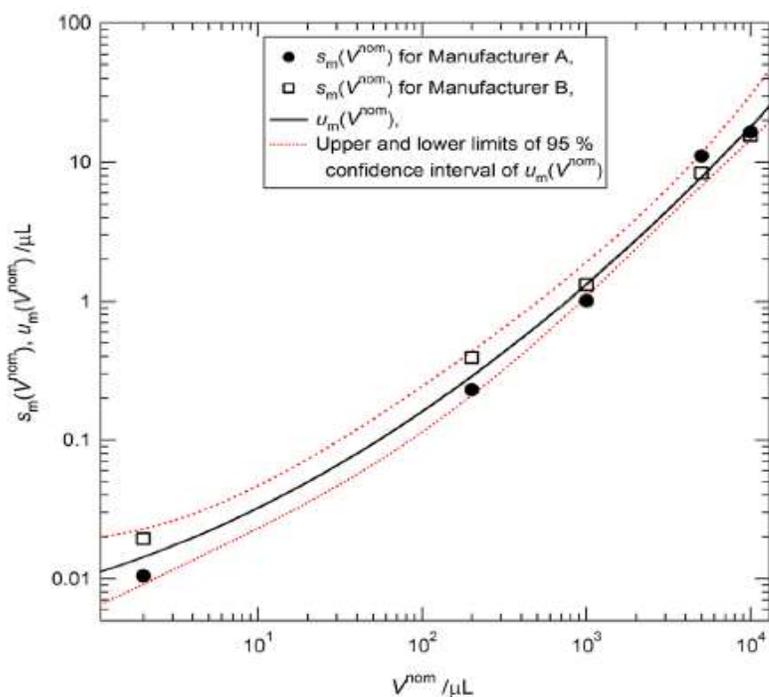


Figura 1. Diferencias de Volumen entre fabricantes de pipetas. Fuente: (Shirono & Shiro, 2014)

En otro caso práctico, mediante el uso de herramientas estadísticas, vemos la comparación de 12 Laboratorios (Filipe, 2011) de calibración, como muestra la figura 4.

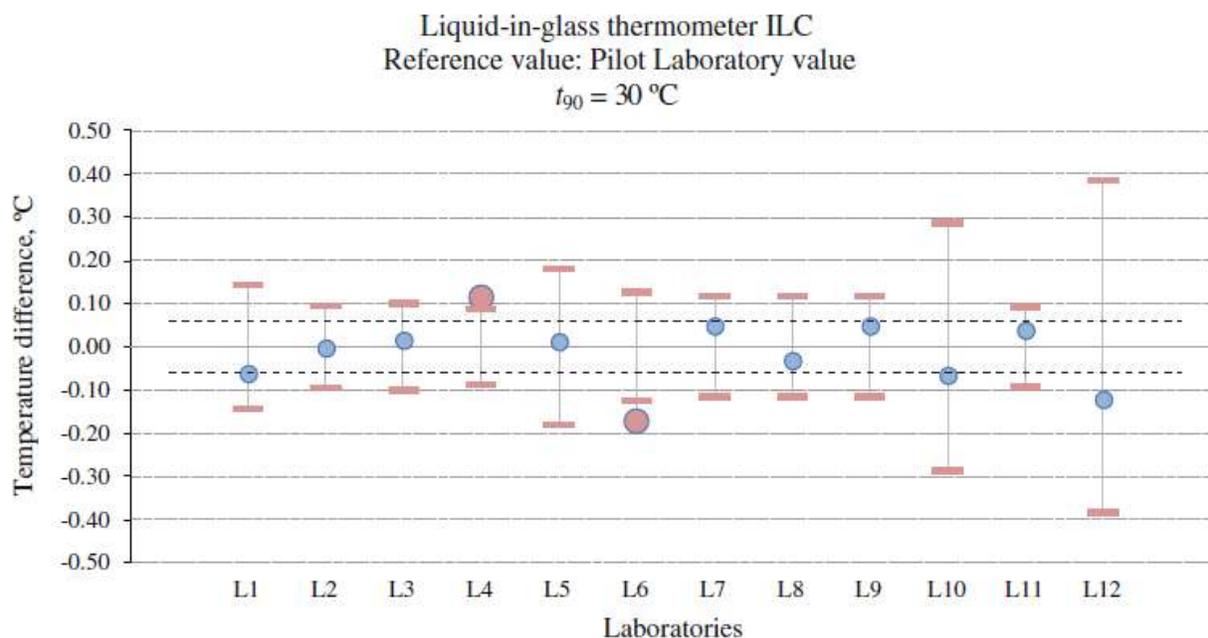


Figura 2. Comparación de termómetros calibrados en 12 laboratorios diferentes. Fuente: (Filipe, 2011)

Lo anterior muestra los requisitos mínimos necesarios para un departamento dedicado a la verificación/calibración de instrumentos de medición debe cumplir. Sin perder de vista los conceptos básicos, para efectos de esta investigación son mostrados en la tabla 1 y los equipos fueron agrupados por el editor según el uso, dimensional, magnitud, medición por sonda, eléctrica, analítica, gravimétrica, soportes universales y uso de energía ionizante:

Tabla 1. Matriz de requisitos básicos en Calibración de instrumentos de medición. Fuente: Elaboración Propia

Equipo de Medición	Mantenimiento General	Comparación con patrón	Medidas críticas	Tolerancia aceptable	Documentar resultados
Dimensional	X	X	X	X	X
Magnitud	X	X		X	X
Medición por Sonda	X	X		X	X
Eléctrica	X	X	X	X	X

Análítica	X	X	X	X	X
Gravimétrica	X	X		X	X
Soportes Universales	X		X	X	X
Energía ionizante	X	X		X	X

Hay una gran variedad de instrumentos de medición, y para facilitar esta investigación, la tabla 2 muestra ejemplos de los tipos de instrumentos de medición agrupados a criterio del editor según las categorías de la tabla 1:

**Tabla 2. Agrupación de Instrumentos de medición. Fuente: Elaboración Propia**

Equipos de Medición							
Dimensional	Magnitud	Medición por Sonda	Eléctrica	Analítica	Gravimétrica	Soportes Universales	Energía Ionizante
Calipers	Torquímetros	Potenciómetros	Multímetros	Basculas analíticas	Basculas gravimétricas	Fixturas	Equipos R-X
Reglas	Dinamómetros	Tubos Pitot	Osciloscopios	Tituladores	Pesas	Bases	Radiografías
Flexómetros	Manómetros	Termómetros	Amperímetros	Pipetas volumétricas		Nidos	
Micrómetros		Hidrómetros	Voltímetro	Buretas			
Microscopios electrónicos			Ohmímetro	Viscosímetros			
Gages go / No go			Fuentes de Poder	Densímetros			

El mantenimiento es un punto crítico para el buen funcionamiento de los equipos de medición, y siempre es parte de los procedimientos de la calibración de los mismos, sin embargo, la profundidad de este mantenimiento no es del todo claro, la norma ISO 9000(Carbonell, n.d.) menciona el tener los detalles de cualquier reparación o modificación el cual pudiera afectar al equipo de medición.

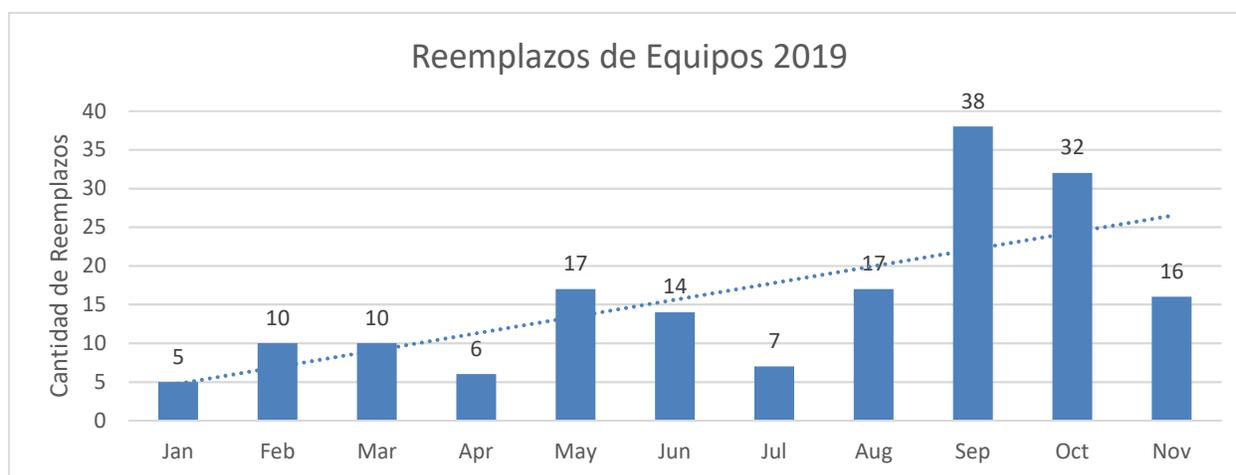
Debido a la necesidad de registrar detalles de reparación o modificación, esto sugiere el tener algún tipo de verificación mecánica funcional del equipo, bajo ciertos criterios para poder reflejar cualquier alteración realizado al equipo de medición. En la empresa Schneider Electric, su verificación funcional es mostrada en la tabla 3.

**Tabla 3. Verificación equipos de medición en Schneider Electric. Fuente. SE**

Equipo de Medición	Limpieza Polvo	Engrasado partes mecánicas	Verificación con patrón	Verificación dimensión crítica(s)	Actualizar base de datos	Reemplazo Etiqueta rastreo	Oxidación	Uso de refacción
Caliper	X	X	X		X	X	Criterio del Técnico	Criterio del Técnico
High gage	X	X	X		X	X	Criterio del Técnico	Criterio del Técnico
Gage Go/No go	X			X	X	X	Criterio del Técnico	Criterio del Técnico
Fixtura de soporte	X			X	X	X	Criterio del Técnico	Criterio del Técnico

## 2.2 Línea base

Revisando el historial del 2019 en la empresa Schneider Electric donde los cambios registrados en los reemplazos de equipos son mostrados en la figura 5.



**Figura 3. Reemplazos de equipos de medición en el 2019. Fuente. SE, Elaboración propia**

La Figura 5 muestra una tendencia al alza en el número de equipos reemplazados durante el año 2019, con un promedio aritmético de 15.6 equipos por mes, esto representa \$4,680.00 dólares al mes. La tendencia fue calculada mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios [MCO] para una línea recta (Fernández, L. A., 2013).

Revisando los motivos de los reemplazos, la figura 6 muestra como el “daño” del equipo es la causa principal del reemplazo.

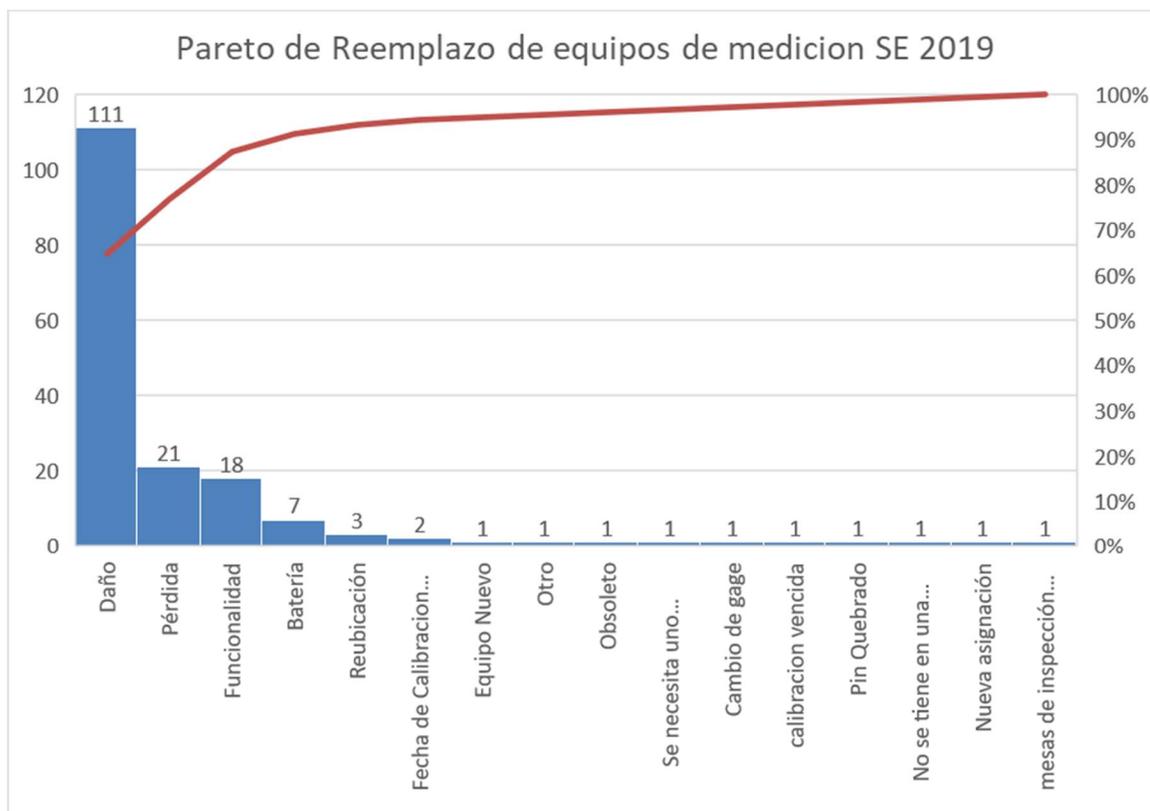


Figura 4. Motivos principales de reemplazo de equipo. Fuente. SE, elaboración propia

## 2.3 Estándares de Calibración

La norma ISO 10012-1 complementa los requisitos mencionados en la tabla 1, donde define los procedimientos para identificar, seleccionar, utilizar, calibrar, controlar y mantener los equipos de medición. Dichos procedimientos complementan los solicitado en la norma ISO10012-1(Carbonell, n.d.), a continuación la lista resumida de los principales requerimientos de la norma ISO10012-1:

1. La compañía debe disponer de equipos de medición para cuantificar todos los parámetros relacionados con la calidad del proceso/producto.
2. Documentar una lista de todos los instrumentos de medición utilizados.
3. Establecer un sistema de control y calibración de los equipos de medición.
4. Tener pruebas objetivas de la efectividad del sistema de medida.

5. Manipulación cuidadosa de los equipos de medición y calibración.
6. Todas las medidas deben considerar la incertidumbre del equipo en el proceso de calibración y verificación del proceso/producto.
7. Calibración de los equipos mediante patrones rastreables.
8. Procedimientos documentados de la calibración.
9. Identificación de cada equipo de medición individual para rastrear registro de calibración.
10. Retirar del punto de uso todo equipo con fallo o vencimiento de calibración.
11. Equipos con medida ajustable, usar sellos para evitar manipulaciones no deseadas.

Otras normas consultadas para la investigación:

- ISO 17025:2017
- ISO 9001:2015

## **Capítulo 3. Definición del Problema**

### **3.1 Justificación**

La industria Schneider Electric, como en otras empresas, ejemplo, Eaton Aerospace, VCC, Carl Zeiss Vision, por mencionar algunas, donde sus métodos de calibración son muy sencillos, usan laboratorios externos en la mayoría de sus casos, como Techmaster, para llevar el control y monitoreo de sus equipos de medición, e internamente tienen un departamento de metrología para monitoreo de equipos sencillos, como reglas, calipers, termómetros, por dar algunos ejemplos.

El uso de terceros conlleva a tener una inversión de \$500,289.00 mxn (SE,2019), debido a la diversidad de los equipos de medición conlleva a un costo variable, sobre todo con el uso de equipos sofisticados, como espectrofotómetros, equipos de R-X, hidrómetros, necesitan instalaciones y/o condiciones especiales para poder ser evaluados, por ende, el costo es mayor.

## **3.2 Preguntas de investigación**

El motivo principal es poder dar respuesta a cuestionamientos tales como el enlistado a continuación:

1. ¿Qué prácticas de mantenimiento y calibración de equipos deben emplearse para la reducción de fallos en el campo?

## **3.3 Hipótesis**

Con este planteamiento el objetivo principal es proponer factores o requisitos a los departamentos de metrología para poder dar un servicio de calidad. Mediante las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Los fallos en los equipos de medición NO disminuyen con el uso de las mejores prácticas en mantenimiento y calibración

H<sub>1</sub>: Los fallos en los equipos de medición disminuyen con el uso de las mejores prácticas en mantenimiento y calibración

## **3.4 Objetivos**

### **3.4.1 Objetivo general**

El objetivo general es el siguiente

- a) Contar con una guía de calibración y mantenimiento de equipos de medición, para prevenir los fallos en el campo.

### **3.4.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Al utilizar la guía de calibración y mantenimiento de equipos de medición, reducir el número de equipos reemplazados mensualmente.
  
- b) Establecer el método de calibración y mantenimiento de equipos de medición, para reducir los gastos de calibración externa.

## **Capítulo 4. Metodología**

---

La metodología partió de una investigación documental para identificar los tipos de equipos de medición, los tipos de mantenimiento, y las verificaciones necesarias para una calibración y mantenimiento de calidad. Seguida de una investigación de campo para identificar las buenas prácticas usadas en la industria. De igual manera someter una muestra de los equipos disponibles dentro de la empresa a estas prácticas identificadas durante un periodo definido de seguimiento, para comparar los fallos de la muestra versus un grupo del igual tamaño de control, el cual no fue sometido a las prácticas identificadas

### **4.1 Mejores Prácticas identificadas**

De acuerdo con la información obtenida de la investigación documental, son identificados los siguientes puntos esenciales para la calibración y mantenimiento de los equipos de medición:

1. Área de uso adecuado para manipular el equipo
2. Verificar la limpieza de la pieza a medir
3. No ubicar los instrumentos de medición encima de las máquinas

4. Guardar el instrumento de medición en el lugar adecuado [estuche, fresco, seco, sin estibar]
5. Evite guardar el calibrador en los bolsillos u otros lugares no apropiados
6. Verificar la limpieza del equipo [al finalizar el uso, cables, partes metálicas, cables enrollados sin torcer]
7. Método correcto para sujetar el equipo con las manos
8. Asegure el contacto correcto entre el equipo y el objeto a medir
9. Evitar caídas y exposiciones a altas y bajas temperaturas [fuente de poder, máquinas de moldeo, exposición solar, refrigeradores]
10. Ajustar firmemente sobre la base en caso de usarse
11. Presencia de humedad [agua, sudor]
12. Golpes, [caídas, choques]
13. Peso al equipo [peso considerable sobre el equipo]
14. Vibraciones
15. Polvo [ropa, método de limpieza, polvo área]
16. ESD
17. Exposición a sustancias químicas [grasas, lubricantes, solventes]
18. Variación de voltajes [osciloscopios]
19. Baterías descargadas/usadas
20. Suciedad en área de deslizamiento, desalineación del equipo
21. No arrojar/aventar, evitar amontonamiento con otras herramientas
22. Cables de los equipos electrónicos no jalar, pisar, torcer, morder o machucar
23. Uso de regulador y supresor de picos
24. Remover baterías del equipo cuando no son empleadas por más de 1 mes

Tomando los puntos identificados, pasamos a crear una matriz de recomendaciones utilizada durante las calibraciones de la muestra de los equipos, ver tabla 4.

**Tabla 4. Matriz de Recomendaciones. Fuente. Elaboración Propia**

<b>Equipo de Medición</b>	<b>Fallo</b>	<b>Causas</b>	<b>Recomendaciones</b>
Longitud	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Caídas</li> <li>*Transportación en bolsillos</li> <li>*Colocar encima del equipo cualquier objeto</li> <li>*Amontonamientos directo con otras herramientas</li> <li>*Exposición a partículas de polvo</li> <li>*Desalineación de partes móviles</li> <li>*Exposición a vibraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Trabajar sobre una superficie plana</li> <li>*Limpieza de la pieza a medir</li> <li>*No colocar sobre máquinas</li> <li>*Transportar y Guardar en estuche original</li> <li>*Verificar limpieza del equipo</li> <li>*Estiba de forma individual dentro del estuche original</li> </ul>
	Circuito Digital / Transductor	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Baterías usadas</li> <li>*Método incorrecto para sujetar y medir</li> <li>*Presencia de Humedad [agua, sudor]</li> <li>*Exposición a vibraciones</li> <li>*Estibar directamente con objetos pesados</li> <li>*Contacto con superficies calientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Evitar contacto con sustancias químicas [solventes, lubricantes, limpiadores]</li> <li>*Pilas en buen estado</li> <li>*Remover baterías en equipos sin uso por más de 30 días</li> <li>*Operar y Guardar en lugar fresco y seco</li> <li>*Transportar equipo en estuche original</li> </ul>
Eléctrica o Visión	Lectura	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Cables dañados</li> <li>*Suciedad/daño de electrodos</li> <li>*Variación en corriente de alimentación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Cuidar los cables de los equipos electrónicos al no jalar, pisar, torcer, morder o machucar</li> <li>*Uso de regulador y supresor de picos</li> <li>*Guardar en lugar fresco y seco</li> <li>*Guardar en estuche original</li> <li>*Estibar de forma individual, no poner objetos pesados encima</li> </ul>

	Sistema Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Variación en corriente de alimentación</li> <li>*Cables dañados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Cuidar los cables de los equipos electrónicos al no jalar, pisar, torcer, morder o machucar</li> <li>*Uso de regulador y supresor de picos</li> <li>*Guardar en lugar fresco y seco</li> <li>*Guardar en estuche original</li> <li>*Estibar de forma individual, no poner objetos pesados encima</li> </ul>
Temperatura	Lectura	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Baterías usadas</li> <li>*Contacto con superficies calientes</li> <li>*Estibar directamente con objetos pesados</li> <li>*Exposición a vibraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Evitar contacto con sustancias químicas [solventes, lubricantes]</li> <li>*Pilas en buen estado</li> <li>*Remover baterías si no se usara el equipo por más de 30 días</li> <li>*Guardar en lugar fresco y seco</li> <li>*Guardar en estuche original</li> <li>*Estibar de forma individual, no poner objetos pesados encima</li> </ul>
	Sistema Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Baterías usadas</li> <li>*Método correcto para sujetar y medir</li> <li>*Presencia de Humedad [agua, sudor]</li> <li>*Exposición a vibraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Evitar contacto con sustancias químicas [solventes, lubricantes]</li> <li>*Pilas en buen estado</li> <li>*Remover baterías si no se usara el equipo por más de 30 días</li> <li>*Guardar en lugar fresco y seco</li> <li>*Guardar en estuche original</li> <li>*Estibar de forma individual, no poner objetos pesados encima</li> </ul>

## 4.2 Tamaño de la Muestra

La determinación del tamaño de la muestra fue definida mediante el uso de la ecuación 1, dado el conocimiento de la población total de los equipos de tipo longitudinal, utilizando un error del 5%.

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (\text{Ecuación 1}) \quad (\text{Kubiak-Benbow,2015})$$

Donde:

N = población total

n = tamaño de la muestra

e = margen de error

Sustituyendo los valores dentro de la ecuación 1, el tamaño de muestra resultante es de 246.6, para efectos de tener números enteros la cifra fue redondeada a 246.

$$n = \frac{624}{1 + (624)(0.05)^2} = 246.6 \approx 246$$

La muestra fue dividida equitativamente en dos grupos de 123 equipos, todos correspondientes al grupo de instrumentos de medición longitudinal. El grupo A fue revisado y calibrado bajo los lineamientos actuales de la empresa respecto a su verificación/calibración, mientras el grupo B fue sometido bajo los lineamientos y recomendaciones identificados de las normas, junto con estudios de estadística Gage R&R.

## **Capítulo 5. Resultados**

---

Tomando los puntos de la tabla 3, una encuesta fue estructurada en formato digital, con el objetivo de ver del número de recomendaciones enlistadas, cuantas son empleadas en la industria de la región. La encuesta fue respondida por un total de 41 representantes de las industrias locales. La Figura 7 muestra los resultados de mas interés, la encuesta consto de 10 preguntas.

### 5.1 Encuesta

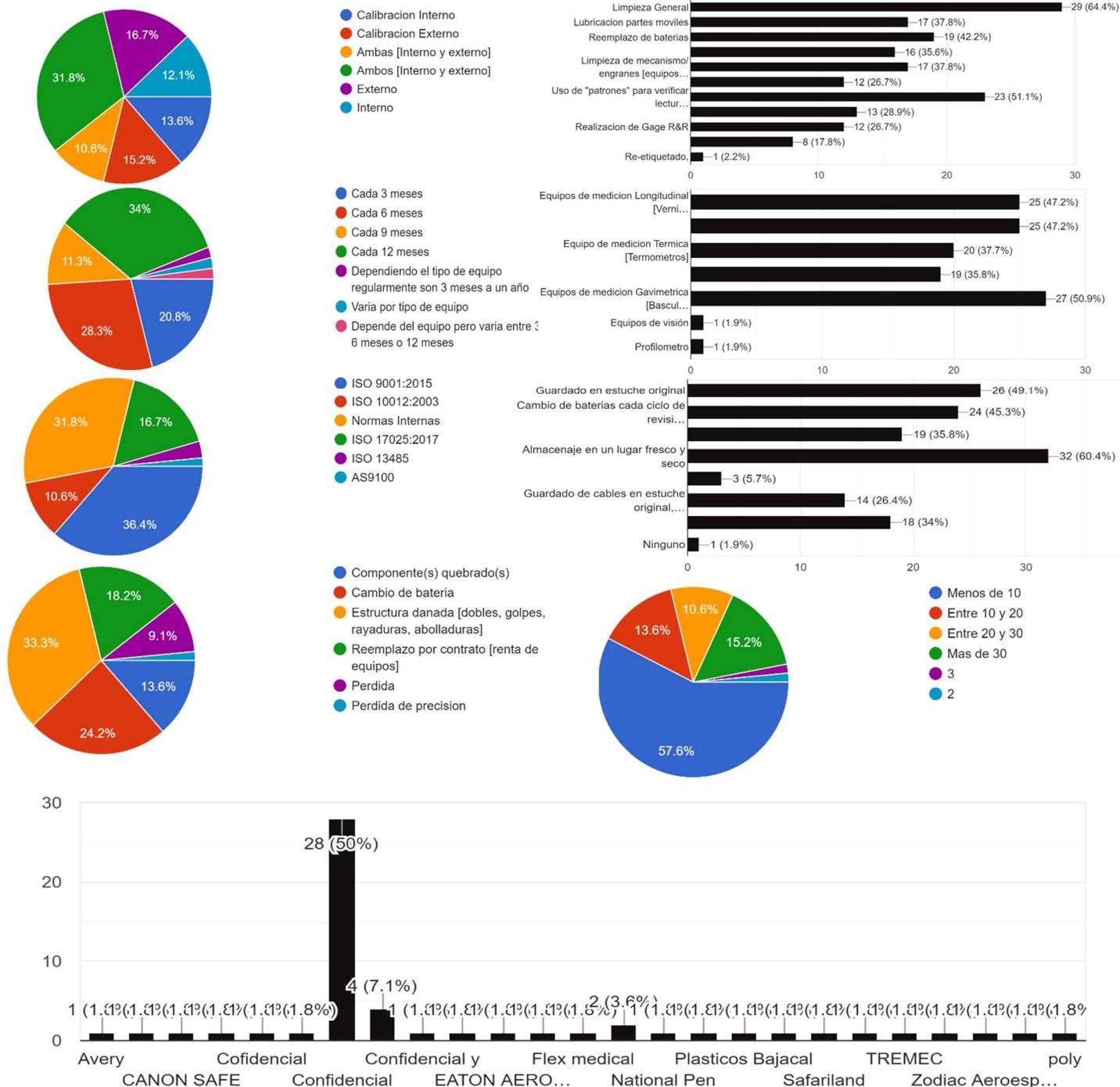


Figura 5. Respuesta de encuesta. Fuente. Elaboración propia

## 5.2 Equipos de muestra

A los equipos de la muestra A [control], las figuras 8 y 9 muestran los daños de los equipos, provocando la falla después de 2 meses desde su última revisión/calibración.



Figura 6. Daños mecánicos en equipos longitudinales. Fuente. Elaboración Propia

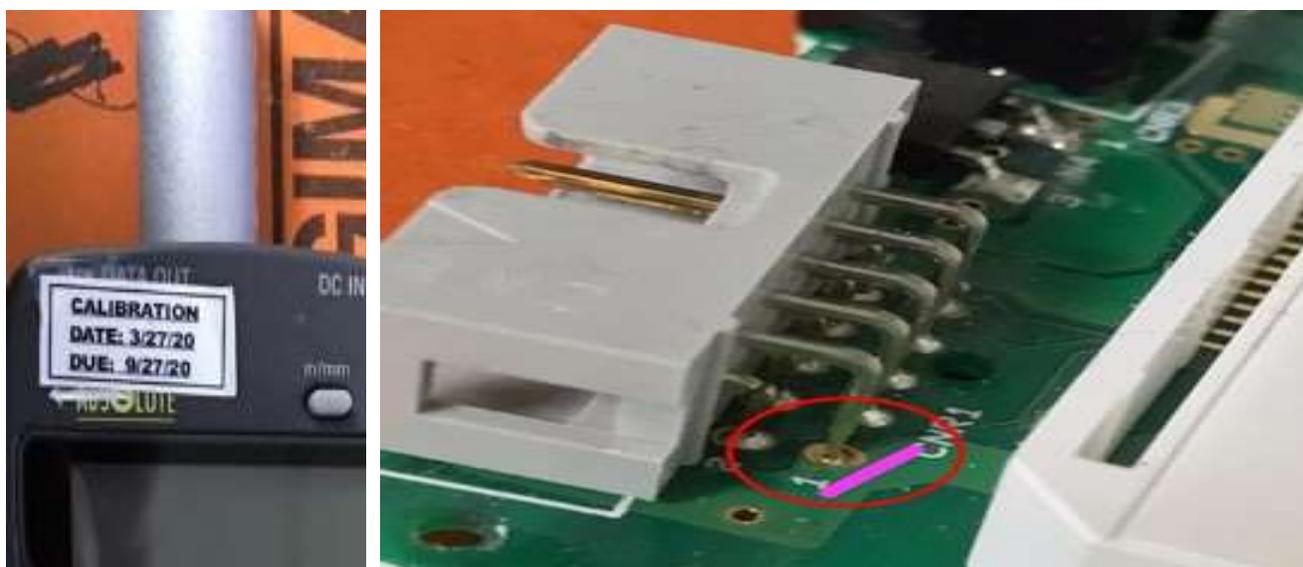


Figura 7. Daño en placa electrónica en equipo longitudinal. Fuente. Elaboración propia

### 5.3 Gage R&R

Los equipos del grupo B fueron sometidos a un estudio estadístico Gage R&R, la figura 10 muestra los resultados de 5 de estos equipos como referencia, del total del grupo B, 8 equipos fueron descartados por fallar el estudio Gage R&R. Mediante el uso del programa de Minitab 19, fue realizado el análisis de los datos.

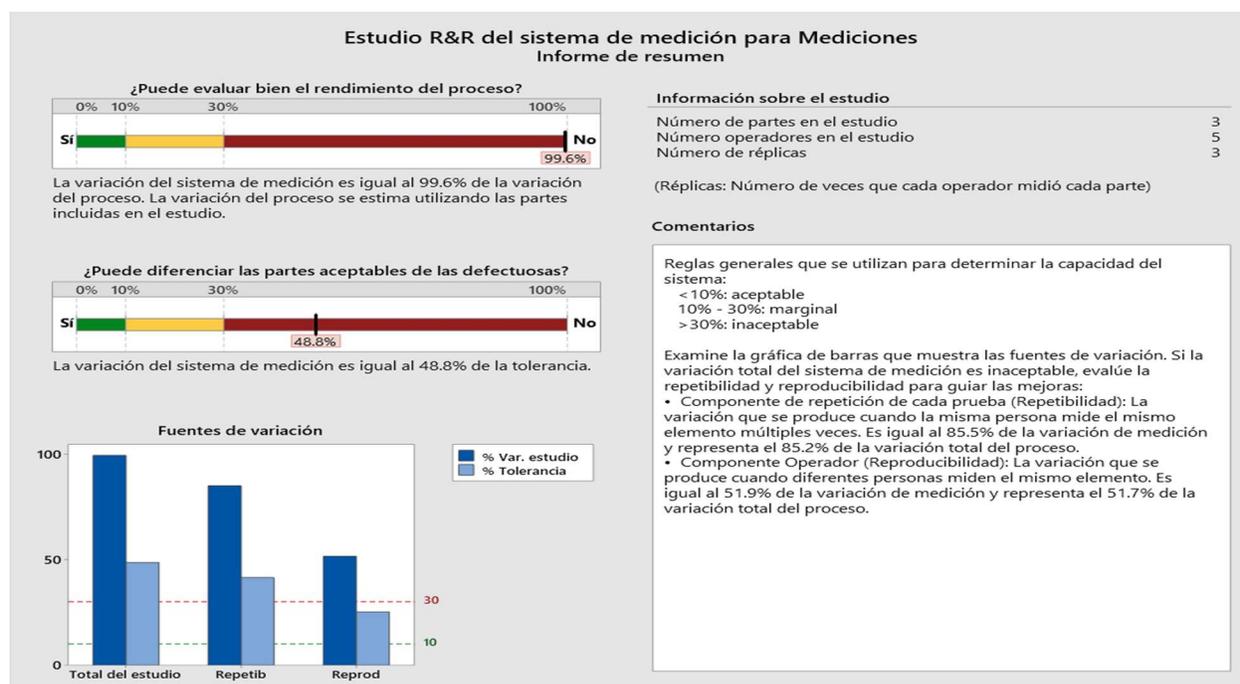
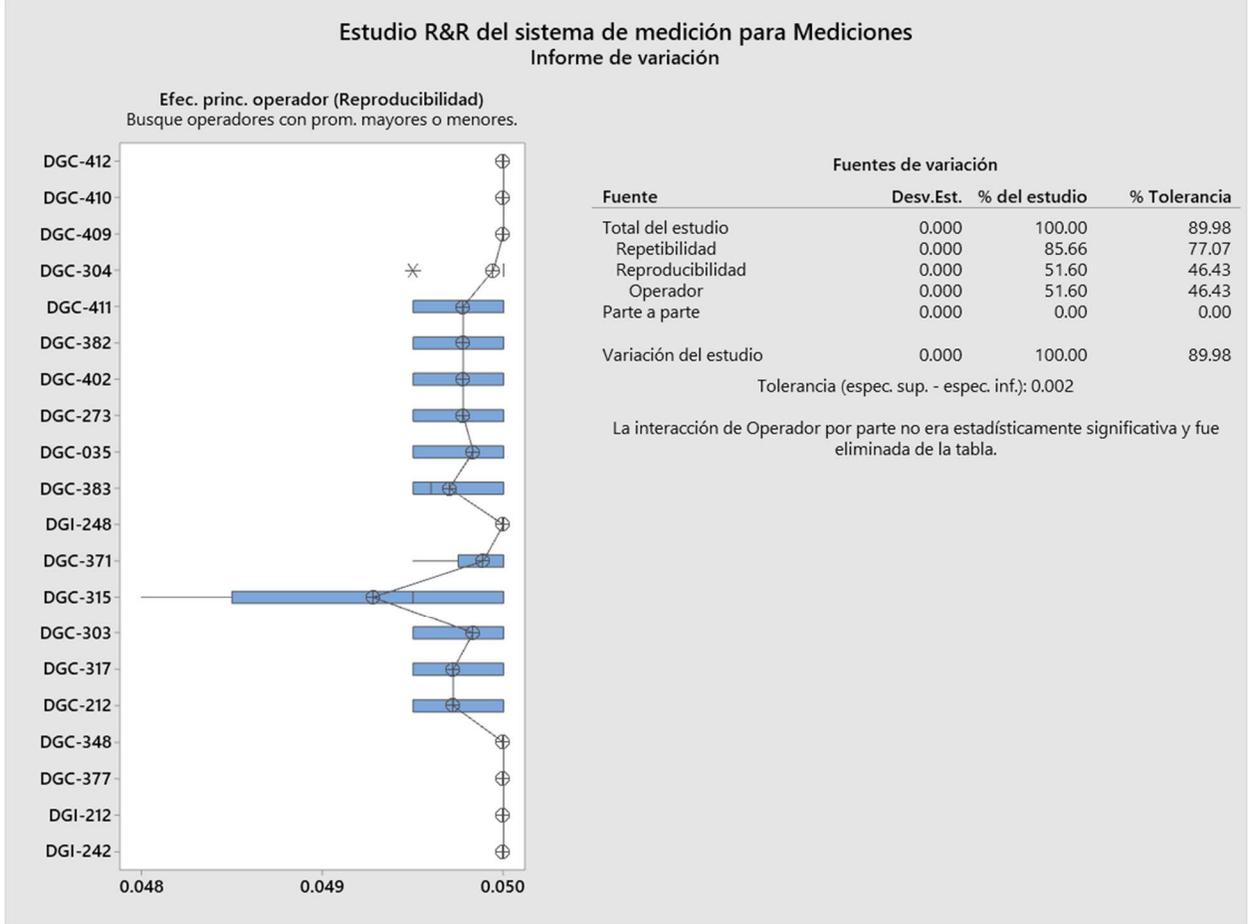
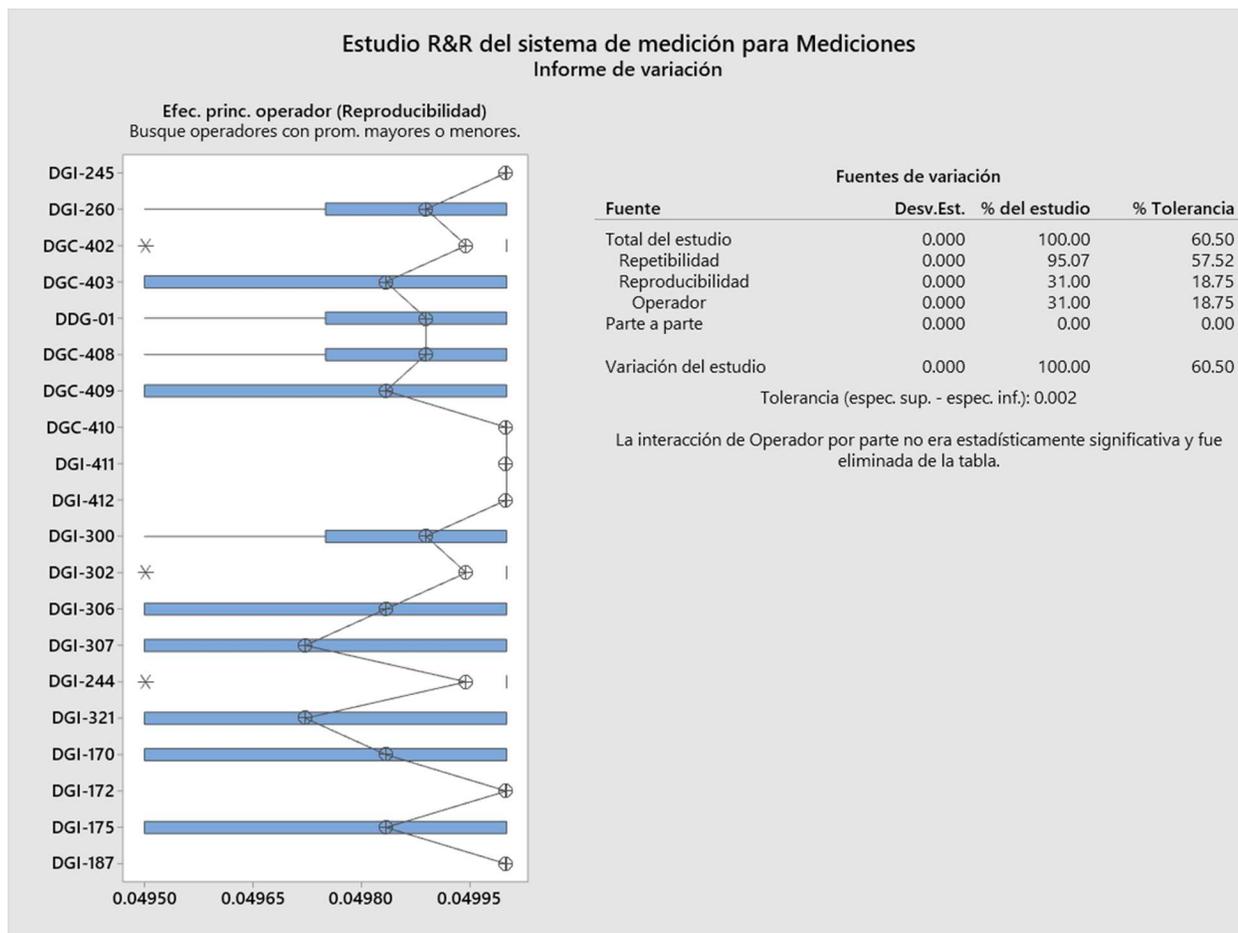


Figura 8. Resultado general de estudio Gage R&R. Fuente. Minitab19.

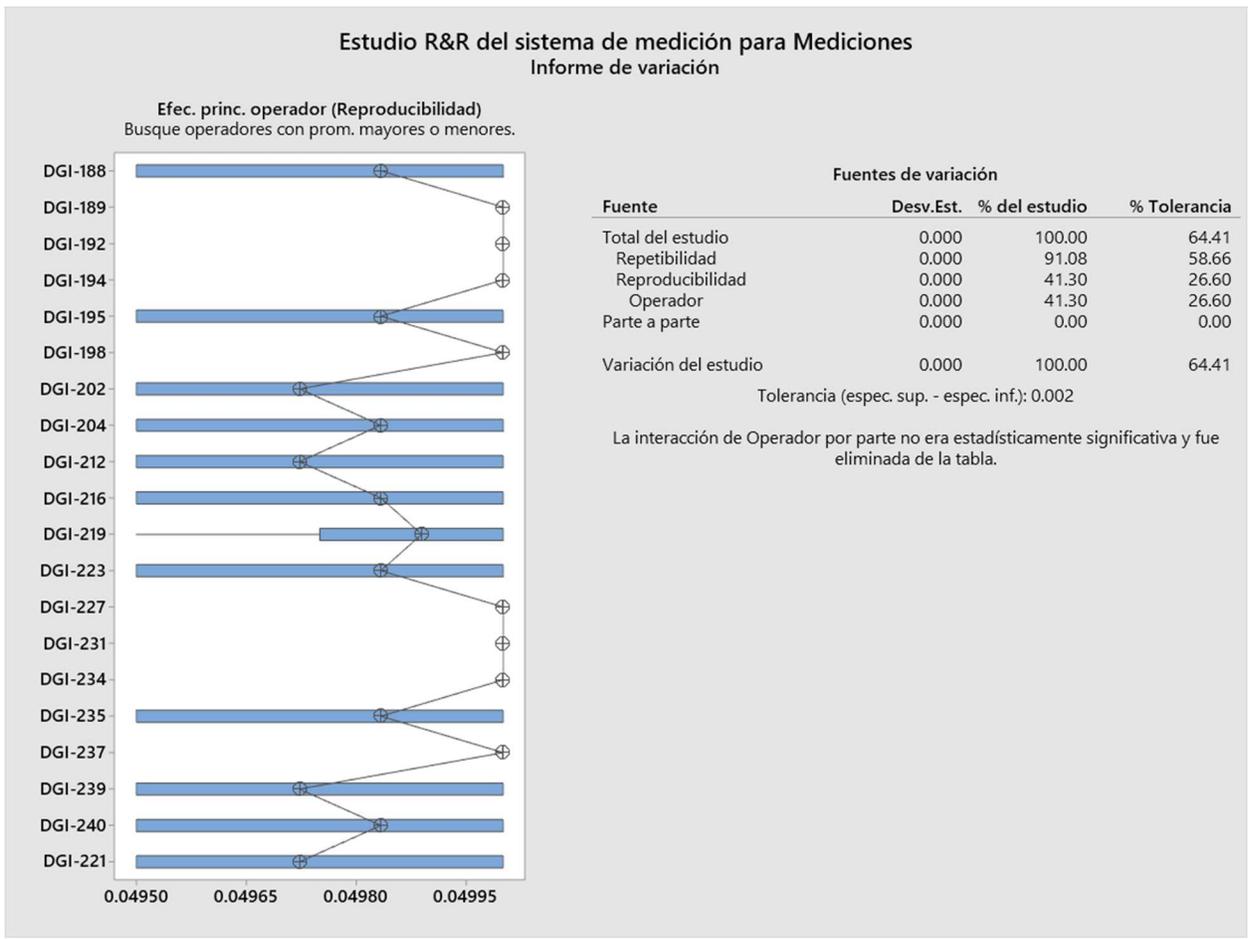
La figura 11 muestra los detalles del estudio Gage R&R, donde indica una mayor variabilidad en los equipos de medición, con un 25% de la tolerancia total.



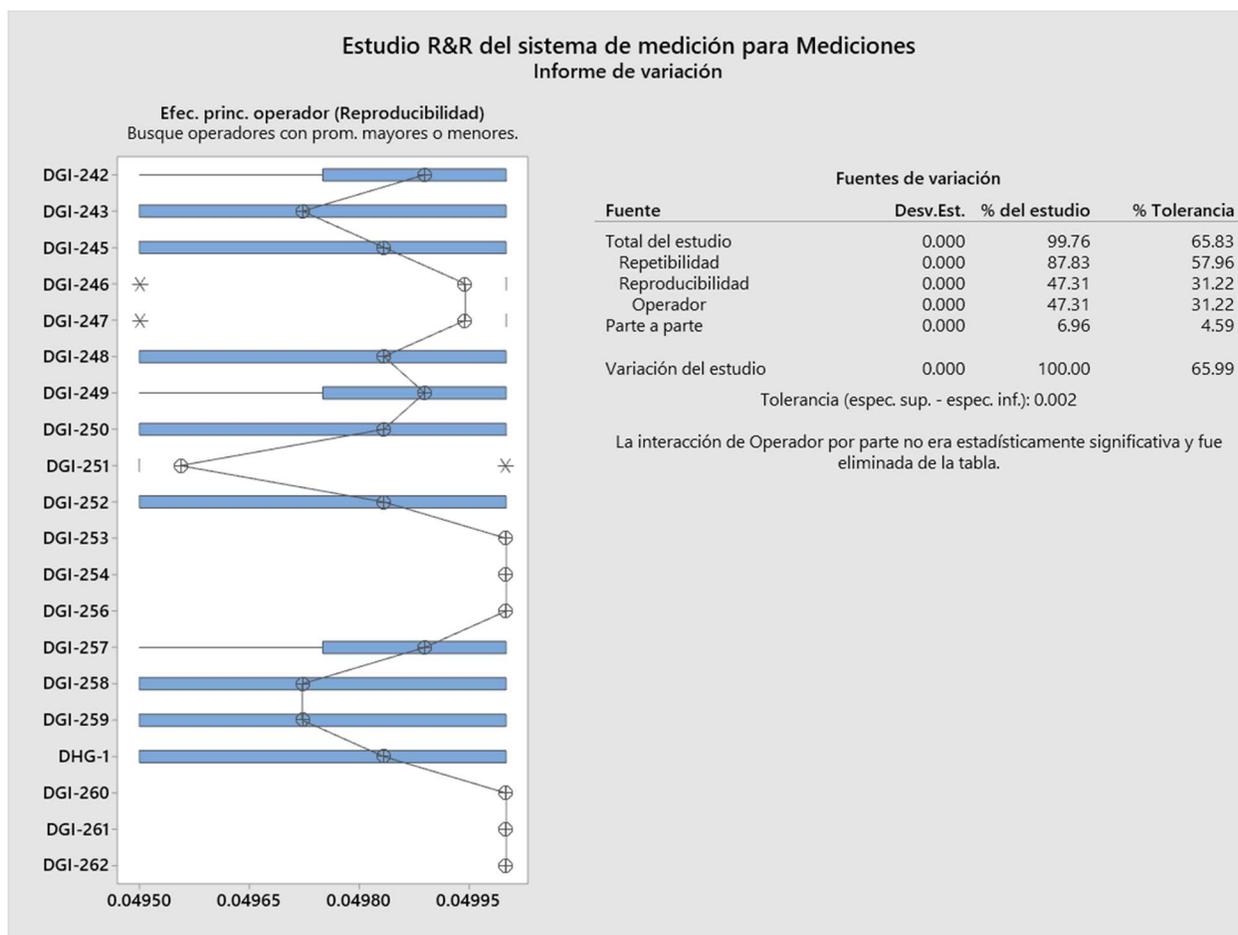
**Figura 9. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



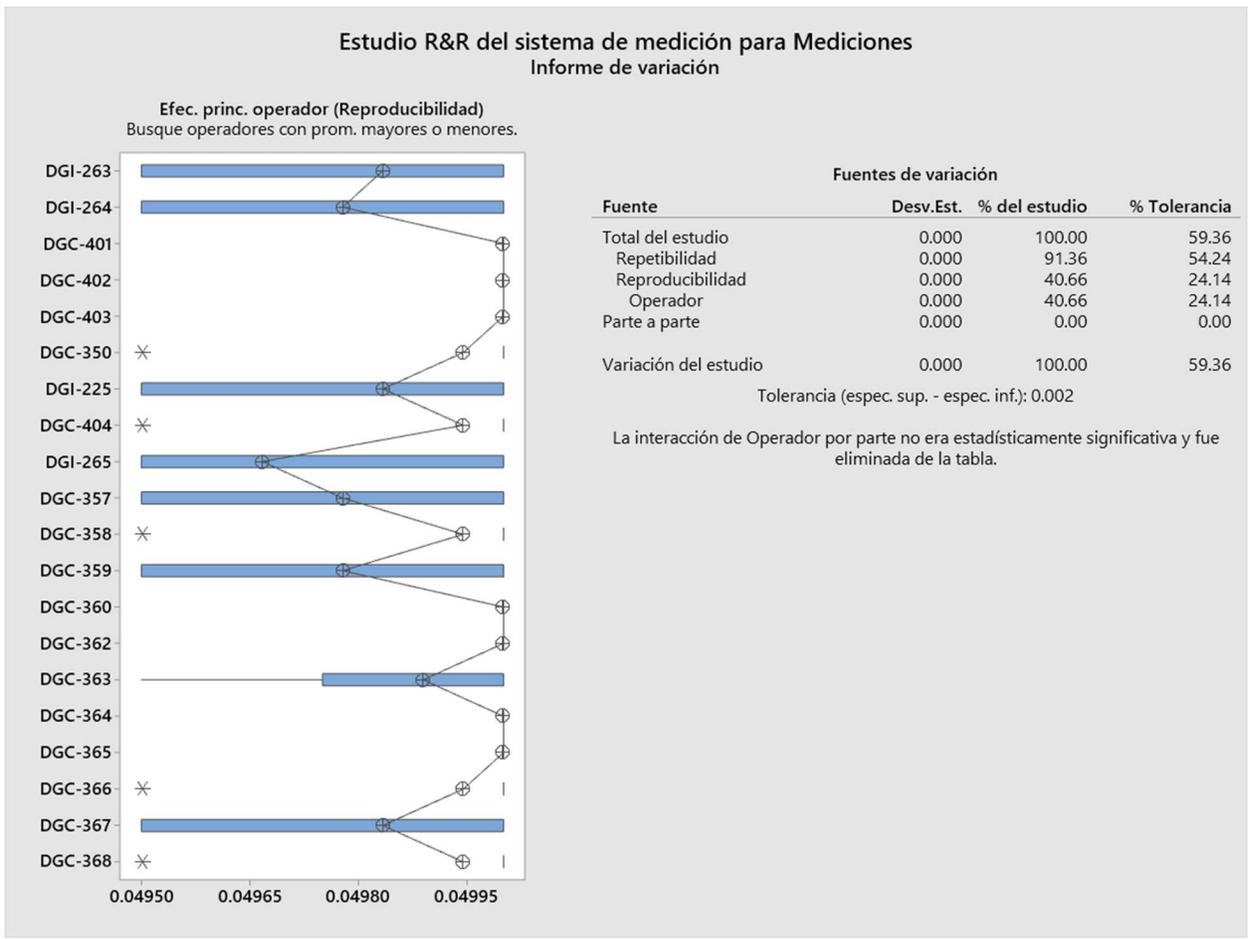
**Figura 10. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



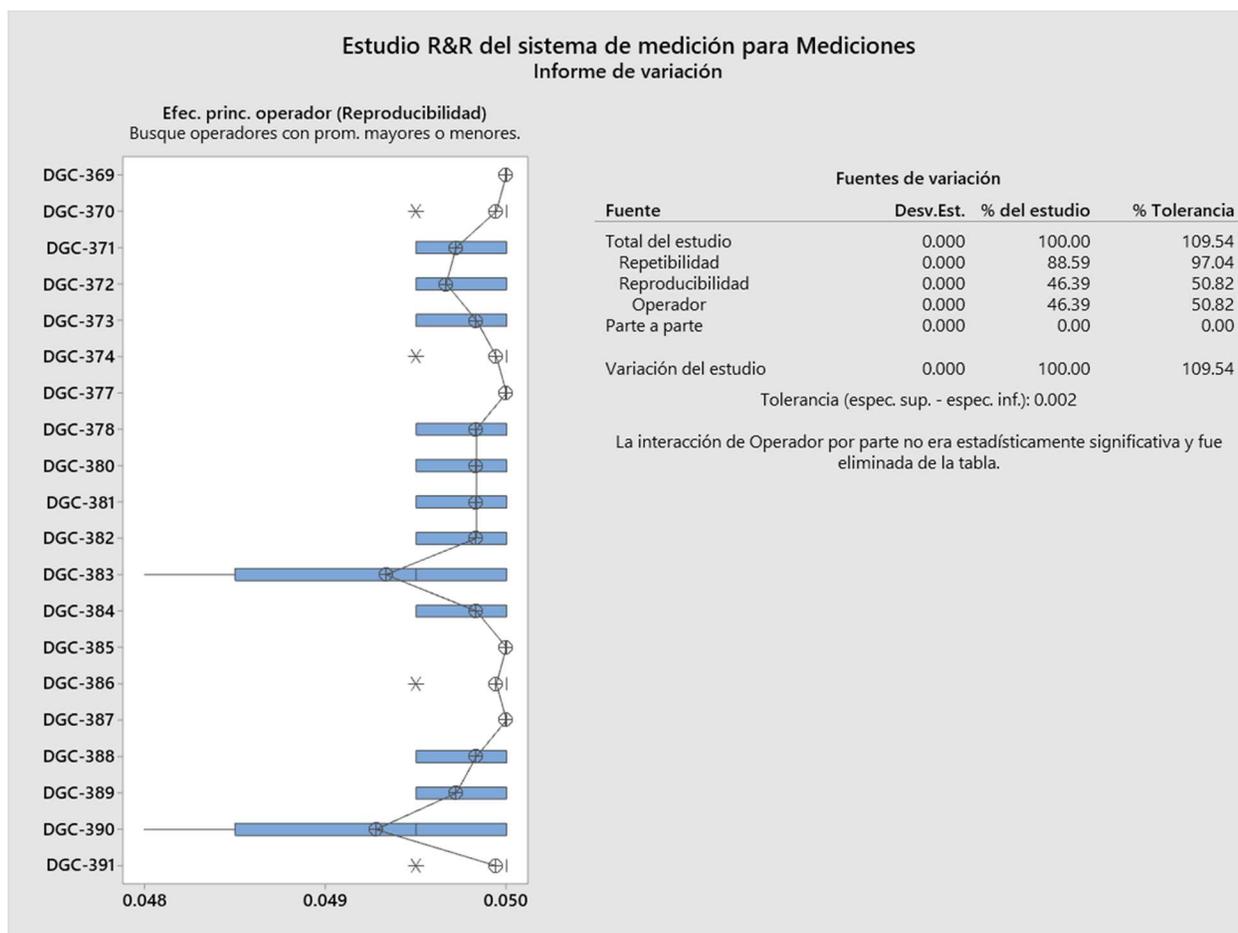
**Figura 11. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



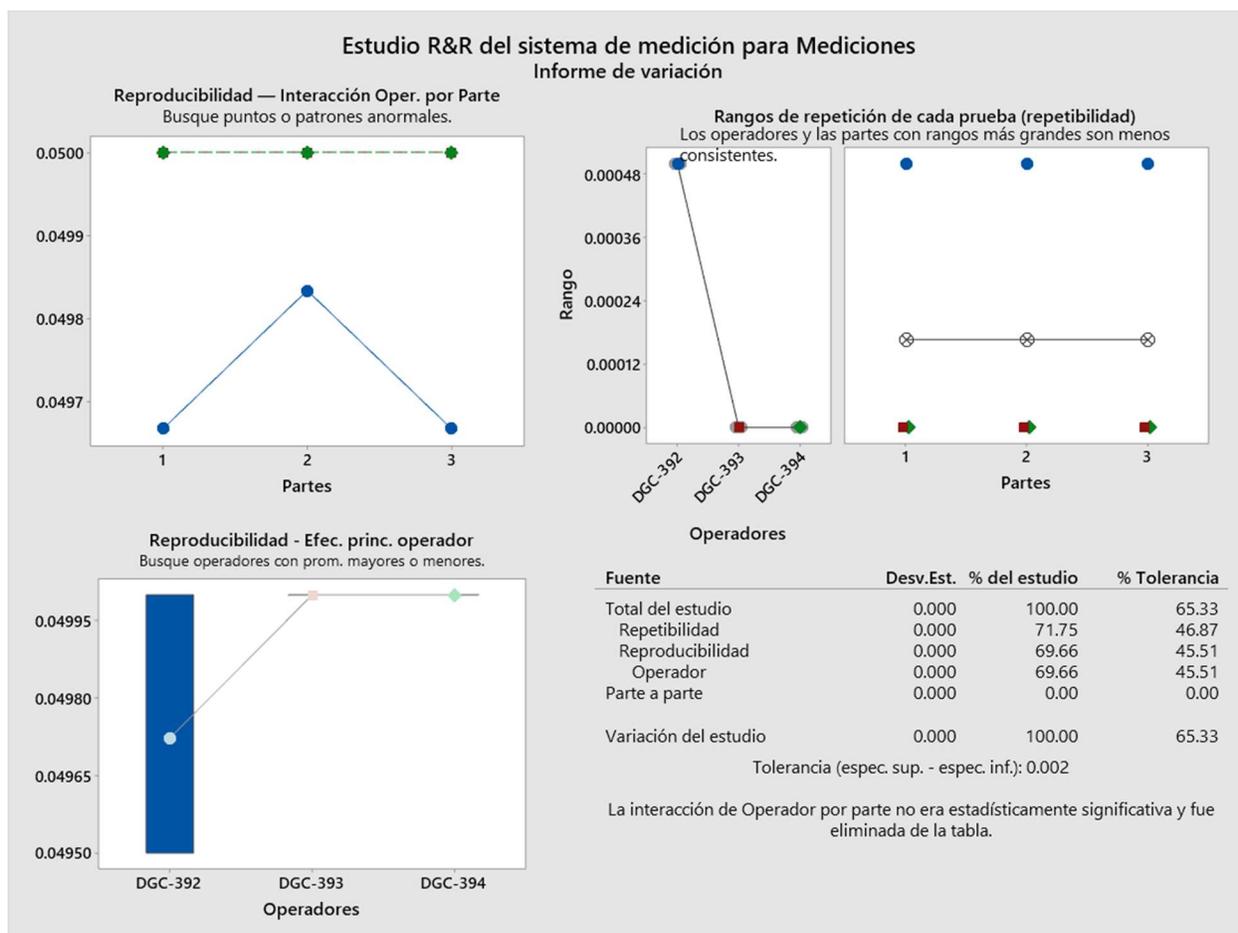
**Figura 12. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



**Figura 13. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



**Figura 14. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente. Minitab19.**



**Figura 15. Resultados del estudio Gage R&R mostrando los porcentajes de tolerancia. Fuente: Minitab19.**

## Capítulo 6. Discusión de Resultados

Basado en las respuestas obtenidas de la encuesta, de las 66 respuestas registradas, la siguiente información general:

- 42% de los encuestados manejan calibraciones internas y externas
- 34% de los encuestados manejan una periodicidad de 12 meses entre sus verificaciones/calibraciones a los equipos.
- 36% de los encuestados siguen la norma ISO 9001.

Las respuestas de la parte de interés, referente a los equipos de medición, arroja lo siguiente:

- 64% de los encuestados limpian de forma general los equipos y usan patrones para verificar las lecturas de estos.
- 40% usa los estuches originales para guardar los equipos.
- 45% hace reemplazo de baterías.
- 60% de los encuestados asegura guardar los equipos en lugar fresco y seco.

En la muestra de los 123 equipos, cinco equipos presentaron fallas en el campo, las figuras 6 y 7 muestran daños internos, por el abuso en su uso, los equipos siguieron los métodos ordinarios de verificación, fallando con dos meses después de su verificación, como lo muestra la etiqueta de la figura 7.

En el otro grupo de 123 equipos, expuestos a las buenas prácticas y verificados con estudios Gage R&R e inspección mecánica, fueron detectados 8 equipos defectuosos (6.5%), estos equipos fueron descartados, los 115 equipos restantes no han presentado fallos en el campo.

Con la evidencia de los fallos encontrados en ambos grupos, de los 246 equipos monitoreados, confirma el echo del uso de unas buenas prácticas para su verificación disminuyeron el número de fallos en el campo a cero en el tiempo de monitoreo.

El tiempo de monitoreo es un factor débil en la investigación, pues la contingencia de salud mundial COVID-19 ajena a la investigación entorpeció la investigación, limitando el tiempo de monitoreo de los equipos.

## **Capítulo 7. Conclusiones**

---

Los fallos en los equipos disminuyeron con el uso de las buenas prácticas, al realizar estudios Gage R&R, inspección mecánica profunda, manejo adecuado de los mismos, detectándose 8 equipos defectuosos durante la verificación/calibración, y regresando al campo 115 equipos, sin presentar fallas en los dos meses de monitoreo. Mientras el grupo de control presentó en el mismo periodo cinco fallas en el campo.

Al ser identificados equipos defectuosos con la guía propuesta, ayuda a usar los servicios externos solamente en aquellos equipos requeridos, disminuyendo el costo por estos servicios.

## **Lista de referencias bibliográficas**

- Horst Czichos, Tetsuya Saito, Leslie Smith (Eds.). (2006). Handbook of Materials Measurement. In T. S. Horst Czichos, *Handbook of Materials Measurement* (pp. 3-5). Stürtz AG, Würzburg: Springer Science+Business Media, Inc.
- Carbonell, P. J. (n.d.). *Introducción a la calibración de equipos de medida para monitorización y control de procesos industriales según la familia de normas ISO 9000* (pp. 10-50).
- Filipe, E. (2011). *Evaluation of Calibration Laboratories Performance*. (November), 2477–2484. <https://doi.org/10.1007/s10765-011-1126-4>
- Ijima, H. (1997). *The Japanese traceability system and the role of uncertainty evaluation in measurement*. (pp. 150–153).
- Lahiri, A. K. (2017). Applied Metallurgy and Corrosion Control. In *Applied Metallurgy and Corrosion Control*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4684-1>
- Lea, R., & Lea, R. (2017). *Organisation of proficiency schemes by testing and calibration laboratories*. 119–123. <https://doi.org/10.1007/s00769-017-1260-1>
- Marschal, A. (1995). *The Slovak National Accreditation System The need for quality assurance in analytical research and development* (pp. 261–262). *Metrology engineers for chemical*. (n.d.). (pp. 75–77)
- Of, C., Models, S., Analyzing, I. N., Of, C., & Laboratories, C. (2005). *GENERAL PROBLEMS OF METROLOGY AND MEASUREMENT TECHNIQUE CLASSIFICATION OF STATISTICAL MODELS USED IN ANALYZING COMPARISONS OF TEST, CHECKING, AND CALIBRATION LABORATORIES*. 48(5), (pp. 3–8).
- Paper, G. (2000). *Practical considerations on the traceability to conventional scales*. (pp. 142–150).
- Paper, R. (1997). *How to achieve world-wide mutual recognition of calibration and test results – or : Who accredits the accreditor ?* (pp. 224–233).
- Shirono, K., & Shiro, M. (2014). *Evaluation of “ method uncertainty ” in the calibration of piston pipettes ( micropipettes ) using the gravimetric method in accordance with the procedure of ISO 8655-6*. (pp. 377–389). <https://doi.org/10.1007/s00769-014-1075-2>
- St, H., Habonim, B., & Gan, R. (2004). *Accreditation of calibration laboratories to normative documents : diversity or standardization*. (pp. 427–428). <https://doi.org/10.1007/s00769-004-0809-y>
- Gao, W. (n.d.). *Metrology*. (pp. 10 - 50)
- Ischi, H. & Radvila, P. *Accred Qual Assur* (1997) (pp. 2 - 36). <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s007690050092>
- Mianes, R.L. & ten Caten, C.S. *Accred Qual Assur* (2017) (pp. 22 - 119). <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s00769-017-1260-1>
- Brinkmann, K. *Accred Qual Assur* (1997) (pp. 2 - 224). <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s007690050138>
- Efremova, N.Y. *Meas Tech* (2005) (pp. 48 - 419). <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s11018-005-0159-0>
- ISO 5725-1/6 (1994-1998) *Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results*. (pp. 5 - 20)  
International Organization for Standardization, Geneva
- Heydorn, K. & Hansen, E. *Accred Qual Assur* (2001) 6: 75. <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/PL00010442>

Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017). *Certified Six Sigma Black Belt Handbook (3rd Edition)* –

15.3.4 *What Makes a Good Sampling Design?* (pp. 237). American Society for Quality (ASQ).

Retrieved from

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FCNL2/certified-six-sigma-black/what-makes-good-sampling>

Pat Fernández, L. A. (2013). *Introducción a los modelos de regresión* (pp. 27). Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

<https://elibro.net/es/ereader/cetys/39173?page=27>

Taylor, J. R. (2014). *Introducción al análisis de errores: el estudio de las incertidumbres en las mediciones físicas* (pp. 27). Editorial Reverté.

<https://elibro.net/es/ereader/cetys/46792?page=27>