



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Contaduría y Administración**  
**Doctorado En Gestión Tecnológica E Innovación**

Optimización de la Gestión Metrológica en la Industria Automotriz Mexicana  
para impulsar la Competitividad y la Sustentabilidad

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:  
Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación

**Presenta:**

Julio César Díaz Jiménez

**Dirigido por:**

Dr. Luis Rodrigo Valencia Pérez

Dr. Luis Rodrigo Valencia Pérez

Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Arturo Castañeda Olalde

Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Francisco Flores Agüero

Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Juan José Méndez Palacios

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Gibran Aguilar Rangel

Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Centro Universitario, Querétaro. Qro.

XXX/2025

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## RESUMEN

La industria automotriz mexicana se encuentra en un entorno global competitivo, donde la calidad y la eficiencia son factores clave para el éxito. En este contexto, la gestión metrológica juega un papel fundamental para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones en todos los procesos de producción, desde el diseño hasta la postventa. En el presente trabajo, se tiene como objetivo principal desarrollar un modelo optimizado de gestión metrológica para la industria automotriz mexicana, con el fin de mejorar la calidad y la competitividad del sector. Para lo que, se analizarán los desafíos y oportunidades actuales en materia de metrología, se identificarán las mejores prácticas internacionales y se propondrán estrategias para su implementación en el contexto mexicano. Adicionalmente, se elaborará una propuesta de contenido de un manual de buenas prácticas en metrología aplicada a la industria automotriz, que servirá como herramienta para la implementación del modelo optimizado y para la solución de las principales problemáticas metrológicas que enfrenta el sector.

**Palabras clave:** Gestión metrológica, industria automotriz, calidad, competitividad, buenas prácticas, modelo optimizado, manual.

## ABSTRACT

The Mexican automotive industry operates within a highly competitive global landscape, where quality and efficiency are pivotal factors for success. In this context, metrological management plays a fundamental role in ensuring the accuracy and reliability of measurements across all production processes, spanning from design to after-sales service. The present work aims to develop an optimized metrological management model tailored for the Mexican automotive industry, aiming to enhance the sector's quality and competitiveness. To achieve this, current challenges and opportunities in the field of metrology will be analyzed, international best practices will be identified, and strategies for their implementation within the Mexican context will be proposed. Furthermore, a best practices manual in metrology applied to the automotive industry, will be elaborated. This manual will serve as a tool for the implementation of the optimized model and for addressing the main metrological issues encountered by the sector.

**Keywords:** Metrological management, automotive industry, quality, competitiveness, best practices, optimized model, manual.

## DEDICATORIA

Deseo expresar mi gratitud más sincera a Dios, fuente de todo.

Mamá, gracias por formarme e impulsarme, por usted soy gran parte de lo que soy.

Papá se que ve y recibe este agradecimiento en otro plano. Gracias.

A mis hermanos y sobrinos.

A mi estimada familia, le expreso mi gratitud por su respaldo, paciencia y entendimiento.

A mis amados hijos, Mateo y Misael. Espero este logro les motive a superar lo que papá ha logrado.

A mis colegas del doctorado.

A mis docentes del programa de doctorado.

Deseo expresar mi gratitud a todas las personas de las que he adquirido conocimientos significativos a lo largo de mi vida y mi trayectoria laboral. Desde mis primeros mentores hasta colegas y colaboradores.

Y a la metrología...Gracias. Por ser y estar, por lo que venga.

**ÍNDICE**

Página

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>ABREVIATURAS Y SIGLAS.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	4
1.3. Pregunta de investigación .....	5
1.4 Objetivo.....	5
1.4.1 Objetivos particulares.....	6
1.5 Identificación de variables de investigación.....	6
1.6 Justificación .....	7
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1. Fundamentos de la Metrología .....	11
2.1.1. Definición y objetivos .....	11
2.1.2. Principios fundamentales.....	12
2.1.3. Sistema Internacional de Unidades (SI) .....	13
2.1.4. Patrones de medida y trazabilidad .....	13
2.1.5. Calibración de instrumentos de medición.....	13
2.1.6. Aseguramiento de la calidad.....	14
2.1.7. Desafíos y oportunidades actuales .....	15
2.2 Metrología en la Industria Automotriz .....	16
2.2.1. Importancia de la metrología en la industria automotriz.....	16
2.2.2    Aplicaciones de la Metrología en la Industria Automotriz .....	19
2.2.3    Metrología en la Investigación + Desarrollo y posventa .....	22
2.2.4    Metrología y beneficios en la industria automotriz .....	23

<b>2.3</b>	<b>Gestión metrológica: definición, elementos clave, normas .....</b>	<b>24</b>
2.3.1	Definición y elementos clave de la gestión metrológica .....	25
2.3.2	Normas y estándares para la gestión metrológica.....	26
2.3.3	Beneficios de la gestión metrológica automotriz.....	27
2.3.4	Desafíos de la gestión metrológica automotriz. ....	28
2.3.5	Soluciones, estrategias y casos de estudio.....	28
<b>2.4</b>	<b>Metrología, Electromovilidad y Sustentabilidad .....</b>	<b>30</b>
2.4.1.	Electromovilidad como un paradigma sostenible .....	30
2.4.2.	Desafíos y oportunidades de la electromovilidad.....	31
2.4.3.	Rol de la metrología en la electromovilidad .....	31
2.4.4.	Ejemplos de aplicaciones y métricas de sostenibilidad .....	32
<b>2.5</b>	<b>Buenas Prácticas Metrológicas.....</b>	<b>33</b>
2.5.1.	Implementación de sistemas de gestión .....	33
2.5.2.	Procedimientos, verificación, mejora continua.....	34
2.5.3.	Calibración, verificación y trazabilidad.....	34
2.5.4.	Capacitación, documentación, auditorías .....	35
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>36</b>
3.1	Enfoque y diseño de la investigación .....	36
3.2	Instrumentos y técnicas de recolección de datos .....	37
3.2.1	Datos cuantitativos.....	37
3.2.2	Datos cualitativos .....	38
3.3	Procedimiento de recolección de datos .....	39
3.3.1	Plan de análisis de datos .....	39
3.3.2	Triangulación de datos.....	40
3.4	Consideraciones éticas de la investigación.....	40
3.5	Cronograma de recolección de datos .....	40
3.6	Alcance, propuesta y limitaciones de la investigación .....	41
<b>4.</b>	<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Consideraciones para la elaboración de las preguntas.....	43
4.2	Encuentros con la Población.....	44
4.3	Recolección de la Información .....	44
4.3.1	Sistematización de la Información .....	45

<b>4.4</b>	<b>Entrevistas.....</b>	<b>46</b>
4.4.1	Preguntas para la entrevista.....	46
<b>4.6</b>	<b>Encuestas .....</b>	<b>48</b>
4.6.1	Encuesta de Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana .....	59
4.6.2	Encuesta de Profesionales de Metrología (Cualitativa) .....	60
4.6.3	Encuesta de Capacitación y Formación para Profesionales de Metrología (Cuantitativa) .....	62
4.6.4	Encuesta sobre la Integración de la Metrología en los Procesos de Producción (Cualitativa).....	63
4.6.5	Encuesta sobre Innovaciones en Tecnologías de Medición (Cuantitativa) .....	63
4.6.6	Encuesta sobre la Gestión del Conocimiento en Metrología (Cualitativa).....	64
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
5.1	Entrevistas.....	69
5.1.1	Entrevista 1: Director de calidad.....	69
5.1.2	Entrevista 2: Ingeniero de Medición .....	73
5.1.3	Entrevista 3: Responsable de Cadena de suministro .....	75
5.2	Encuestas .....	80
5.2.1	Encuesta de Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana .....	80
5.2.2	Encuesta de Profesionales de Metrología.....	94
5.2.3	Encuesta sobre la Integración de la metrología en los procesos de producción.....	100
5.2.4	Encuesta de Capacitación y Formación para Profesionales de Metrología .....	102
5.2.5	Encuesta sobre Innovaciones en Tecnologías de Medición	105
5.2.6	Encuesta sobre la Gestión del Conocimiento en Metrología	108
	<b>CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE MODELO .....</b>	<b>112</b>



<b>Propuesta de Modelo para la optimización de la gestión metrológica en la Industria Automotriz.....</b>	<b>112</b>
<b>Índice de contenido para el manual de buenas prácticas .....</b>	<b>116</b>
<b>Segunda propuesta de temario para el manual de buenas prácticas de laboratorio en metrología industrial. ....</b>	<b>123</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>130</b>

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1. Propuesta de cronograma para actividades. ....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 2. Resumen de resultados de encuestados. ....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 3. Estadísticos descriptivos con los números de encuestados.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 4. Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana .....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 5. Tendencias Generales .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 6. Variables y Correlaciones .....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 7. Resumen de Visualizaciones .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 8. Prueba t.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 9. Modelo regresión lineal .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 10. Resumen Estadístico Final .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 15. Correlación entre variables de la encuesta.....</b>	<b>103</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1. Incorporación de elementos de metrología en procesos de fabricación y ensamble.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2. Cadena de trazabilidad. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3. Elementos integrantes del concepto de desarrollo territorial integrado. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4. Incorporación de elementos metrológicos en el aseguramiento de la calidad de los resultados de las mediciones automotoras.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 5. Modelo funcional de un sistema de gestión .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6. Primera pregunta de formulario: ¿En tu empresa aplican mediciones?.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 7. Tercera pregunta de formulario: ¿Qué magnitudes se miden?..</b>	<b>66</b>
<b>Figura 8. Segunda pregunta de formulario: Indica el tipo de empresa en el que laboras. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 9. Cuarta pregunta de formulario: ¿Qué problemas son los más comunes en el caso de metrología?.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 10. Quinta pregunta del formulario: ¿Le piden auditorías de algún organismo? ¿Cuál?.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 11. Gráficos de puntuación por pregunta .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 12. Mapa de calor de correlación entre variables.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 13. Diagrama de Dispersión: P6 vs. P9 .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 14. Boxplot: Comparación de P6 entre Grupos (Con/Sin Problemas) .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 15. Componentes principales.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 16. Valor porcentual de insatisfacción por pregunta.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 17. Diagrama de Barras (Frecuencia de Temas).....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 18. Nube de palabras de los resultados de la encuesta. ....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 19. Correlación entre preguntas .....</b>	<b>97</b>

<b>Figura 20. Diagrama de nodos del modelo. ....</b>	<b>112</b>
--	------------

**ABREVIATURAS Y SIGLAS**

<b>A</b>	Amperio
<b>ABS</b>	Simulación Basada en Agentes
<b>AMIA</b>	Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
<b>BIPM</b>	Oficina Internacional de Pesas y Medidas
<b>CENAM</b>	Centro Nacional de Metrología
<b>CMM</b>	Máquinas de medición por Coordenadas
<b>DBN</b>	Redes Bayesianas Dinámicas
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>IA</b>	Inteligencia Artificial
<b>IATF</b>	Grupo de Trabajo Automotriz Internacional
<b>IEA</b>	Agencia Internacional de Energía
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>IoT</b>	Internet de las Cosas
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>ISO/IEC</b>	Organización Internacional de Normalización/ Comisión Electrotécnica Internacional
<b>IVCR</b>	Ventaja comparativa relativa
<b>kgCO<sub>2</sub>e</b>	Kilogramo de Dióxido de Carbono Equivalente
<b>KPIs</b>	Indicador Clave de Desempeño
<b>NC</b>	Nivel de Confianza
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>RNN</b>	Red Neuronal Recurrente
<b>SEM</b>	Modelado de Ecuaciones Estructurales
<b>SGC</b>	Sistema de Gestión de la Calidad
<b>SGM</b>	Sistema de Gestión de las Mediciones
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Unidades
<b>SINCI</b>	Sistema Nacional de Información de Cambio Climático
<b>Tier</b>	Nivel/Estrato
<b>VAR</b>	Autorregresión Vectorial

<b>VDA</b>	Asociación Alemana de la Industria Automotriz
<b>VECM</b>	Modelo Vectorial de Corrección de Errores
<b>VE</b>	Vehículos de Ejecución
<b>V</b>	Voltio
<b>Wh</b>	Vatio-hora

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz, un sector crucial de la economía global caracterizado por su dinamismo, innovación y alta competitividad, encuentra en la metrología un aliado fundamental para garantizar la calidad, seguridad, eficiencia y confiabilidad de sus vehículos y componentes (ISO, 2015).

La metrología se define como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, que se dedica a establecer unidades de medida, desarrollar patrones de referencia y métodos de medición, y asegurar la trazabilidad de las mediciones (BIPM, 2023). La trazabilidad, un concepto esencial en la metrología, garantiza que los resultados de una medición se puedan relacionar con un patrón de referencia internacional, permitiendo comparar las mediciones realizadas en diferentes lugares y momentos.

Las mediciones precisas y fiables son fundamentales en todas las etapas del proceso productivo de la industria automotriz, desde el diseño y desarrollo de vehículos hasta la posventa y el mantenimiento (Verband der Automobilindustrie, 2021). La metrología permite:

- **Asegurar la calidad de los productos:** Garantizar que las dimensiones, propiedades físicas y químicas de los componentes y productos finales cumplan con los estándares de calidad establecidos (ISO, 2015).
- **Reducir costos:** Minimizar los errores de medición, lo que reduce los costos asociados con reprocesos, desperdicios y productos defectuosos.
- **Aumentar la seguridad:** Asegurar la precisión de las mediciones en componentes críticos para la seguridad del vehículo, como frenos, sistemas de dirección y airbags.

- **Mejorar la eficiencia:** Optimizar el uso de materiales y energía en los procesos de producción.
- **Facilitar el comercio internacional:** Esto implica permitir la comparación de las mediciones realizadas en distintos países, lo que a su vez facilite el comercio internacional de vehículos y componentes automotrices.

En este contexto, se abordarán los siguientes ejes de análisis: el papel crucial de la metrología en la industria automotriz, los beneficios que aporta su aplicación en este sector y los desafíos que enfrentan las empresas automotrices al implementarla.

Temas de interés:

- Papel fundamental de la metrología en la industria automotriz.
- Beneficios de la aplicación de la metrología en la industria automotriz.
- Los desafíos que enfrentan las empresas automotrices al implementar la metrología.
- Buenas prácticas metrológicas para la industria automotriz.
- Conclusiones y recomendaciones para la implementación efectiva de la metrología en la industria automotriz.

### 1.1. Antecedentes

El concepto de la revolución científica ha estado presente y sigue siendo relevante en diversos aspectos de nuestra vida (Martos, 2017). Los avances tecnológicos y científicos actuales, así como las investigaciones en curso en diversas industrias, demandan criterios de calidad y competitividad. La metrología juega un papel fundamental en el respaldo de la calidad de los servicios y productos. Los diferentes estándares que son aplicados en las industrias requieren diferentes requisitos que se deben cumplir, por ejemplo:



calibración y control de equipos de medición utilizados en el proceso, competencia del personal, instalaciones adecuadas, entre otros.

Las diferentes industrias, como plásticos, biomédica, aeronáutica, automotriz, entre otras, son de gran importancia para el desarrollo económico del país. En Querétaro, se observa una fuerte presencia de corredores industriales, como el aeronáutico y el automotriz (Díaz y García, 2016).

La industria automotriz mexicana es un sector fundamental para la economía del país, siendo una de las principales fuentes de empleo e inversión del país. En 2023, México se situó como el séptimo productor de vehículos a nivel mundial y el principal exportador de autos ligeros a Estados Unidos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2023).

No obstante, la industria automotriz mexicana se encuentra en un momento crucial de su evolución, caracterizado por la transición hacia la electromovilidad y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles. En este contexto, la gestión metrológica es esencial para asegurar la precisión, confiabilidad y eficiencia de los procesos productivos, contribuyendo al desarrollo de vehículos eléctricos de alta calidad y menor impacto ambiental (International Electrotechnical Commission, 2023).

La **electromovilidad** se refiere al uso de vehículos eléctricos como medio de transporte principal, que están impulsados por energía eléctrica en lugar de combustibles fósiles. Esta tendencia se está impulsando a nivel global debido a los beneficios ambientales y económicos que ofrece, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la diversificación de las fuentes de energía (International Energy Agency, 2023).

En México, la transición hacia la electromovilidad ha experimentado un auge en los últimos años. Se vendieron 3,071 vehículos eléctricos en el país en 2022,

lo que representa un aumento del 118% en comparación con el año anterior (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2023). El gobierno mexicano ha establecido ambiciosos objetivos para la electromovilidad, con el objetivo de alcanzar 5 millones de vehículos eléctricos en circulación para el año 2050 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022).

La sustentabilidad en la industria automotriz se refiere a la aplicación de prácticas que minimizan el impacto ambiental y social de la producción y el uso de vehículos. La reducción del consumo de energía y recursos, la minimización de residuos y emisiones, y la promoción de prácticas de manufactura responsables (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021).

La transición hacia la electromovilidad y la adopción de prácticas sostenibles en la industria automotriz mexicana presentan diversos retos, pero también ofrecen grandes oportunidades. Los desafíos incluyen la necesidad de desarrollar una infraestructura de carga, reducir costos de producción de vehículos eléctricos y mejorar la eficiencia de las baterías. La creación de nuevos empleos, la atracción de inversiones y la mejora de la calidad del aire y la salud pública (Rodríguez y Díaz, 2020).

## 1.2. Planteamiento del problema

La industria automotriz mexicana enfrenta diversos desafíos en materia de gestión metrológica, especialmente en el contexto de la metrología, electromovilidad y la sustentabilidad. Estos desafíos incluyen:

- **Falta de cultura de la calidad:** Muchas empresas del sector automotriz mexicano no tienen una cultura de la calidad arraigada, lo que se traduce en una falta de atención a la precisión y confiabilidad de las mediciones (Díaz y García, 2016).

- **Obsolescencia de los equipos de medición:** Muchos de los equipos de medición utilizados en la industria automotriz mexicana son obsoletos o no cuentan con la calibración adecuada, lo que afecta la precisión de las mediciones (Miranda, 2007).
- **Carencia de personal capacitado:** Existe una escasez de personal capacitado en metrología en la industria automotriz mexicana, lo que dificulta la implementación de buenas prácticas de gestión metrológica (SINCI, 2023; Águila, 2016).
- **Falta de integración de la metrología con la electromovilidad y la sustentabilidad:** La gestión metrológica no se suele integrar adecuadamente con los objetivos de electromovilidad y sustentabilidad en la industria automotriz mexicana (Martínez, 2022).

Estos desafíos limitan la capacidad de la industria automotriz mexicana para producir vehículos eléctricos de alta calidad y con un menor impacto ambiental. Además, pueden afectar la competitividad del sector en el mercado global, donde la calidad y la sustentabilidad son cada vez más importantes (Medina, 2002).

### 1.3. Pregunta de investigación

**¿Cómo se puede optimizar la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana para mejorar la calidad, la competitividad y la sustentabilidad en el contexto de la electromovilidad?**

### 1.4 Objetivo

**Desarrollar** un modelo optimizado de gestión metrológica para la industria automotriz mexicana que permita mejorar la calidad, la competitividad y la sustentabilidad en el contexto de la electromovilidad.

### 1.4.1 Objetivos particulares

- **Analizar** la situación actual de la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana, identificando los desafíos, oportunidades y las principales problemáticas que enfrenta el sector en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad.
- **Elaborar** un manual de buenas prácticas en metrología aplicada a la industria automotriz, que incluirá recomendaciones, procedimientos y herramientas para la implementación del modelo optimizado y para la integración de criterios de sustentabilidad en la gestión metrológica.

### 1.5 Identificación de variables de investigación

#### Variable dependiente:

- Calidad de los productos fabricados en la industria automotriz mexicana.

#### Variables independientes:

- **Prácticas de gestión metrológica:** Incluye las metodologías, procesos y sistemas utilizados para medir y controlar la calidad de los productos.
- **Tecnologías de metrología:** La adopción de sistemas de medición avanzados, instrumentos de alta precisión y tecnologías de control de calidad automatizado.
- **Capacitación y desarrollo del personal:** La formación y competencia del personal en relación con las prácticas de metrología y control de calidad.

- **Normativas y regulaciones:** Los estándares y regulaciones tanto nacionales como internacionales que influyen en las prácticas de medición y calidad en la industria automotriz.
- **Inversión en Infraestructura:** Los recursos financieros destinados a la adquisición de equipos y tecnologías de medición, laboratorios de control de calidad, entre otros.
- **Colaboración con proveedores:** Las relaciones colaborativas con proveedores de equipos y tecnologías de medición, así como la gestión de la cadena de suministro relacionada con la calidad.
- **Innovación tecnológica:** La introducción de nuevas tecnologías y enfoques en la gestión metrológica para mejorar la precisión y eficiencia.
- **Cultura organizacional:** El concepto de la importancia que se le da a la precisión y calidad en las organizaciones, y de la misma forma, el impulso de prácticas de mejora continua.

## 1.6 Justificación

La industria automotriz mexicana es un sector esencial para la actividad económica del país, siendo una de las principales fuentes de empleo e inversión en el país. En 2023, México se ubicó como el segundo productor de vehículos a nivel mundial y el principal exportador de vehículos ligeros a los Estados Unidos (INEGI, 2023).

En estos momentos, la industria automotriz mexicana se encuentra en un momento crucial de su evolución, caracterizado por la migración hacia la electromovilidad y la urgencia de adoptar estrategias más sostenibles. En este contexto, la gestión metrológica es fundamental para garantizar la precisión,

confiabilidad y eficacia de los procesos productivos, contribuyendo al desarrollo de vehículos eléctricos de alta calidad y menor impacto ambiental (IEC, 2023).

La finalidad de la propuesta es concebir un modelo de gestión metrológica optimizado para la industria automotriz mexicana, teniendo en cuenta los obstáculos y oportunidades que presenta la electromovilidad y la sustentabilidad. Se prevé que el modelo optimizado planteado contribuirá a un significativo aumento de la calidad, competitividad y sustentabilidad de la industria automotriz mexicana en la producción de vehículos eléctricos.

Dado que existen estudios sobre la gestión metrológica en la industria automotriz, existen escasos estudios que aborden este tema en el contexto específico de la electromovilidad y la sustentabilidad. Asimismo, la mayoría de las investigaciones actuales se enfocan en temas técnicos de la metrología, sin tener en cuenta las dimensiones sociales, económicas y ambientales de la gestión metrológica en la industria automotriz.

Se pretende, asimismo, aclarar los vacíos existentes en la literatura y realizar un aporte original al conocimiento en el área de la gestión metrológica en la industria automotriz. Se espera que la investigación tenga un efecto relevante en la práctica, proporcionando a las empresas del sector herramientas y estrategias para optimizar la gestión metrológica en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad.

Los resultados de esta investigación podrían tener un efecto beneficioso en la industria automotriz mexicana, lo que contribuye a:

- Aumentar la calidad de los vehículos eléctricos que se producen en México.

- Aumento de la competitividad de la industria automotriz mexicana en el mercado global, lo cual incrementa la capacidad de la industria automotriz mexicana en el mercado global.
- La reducción del impacto ambiental en la producción de vehículos en México.
- Desarrollar prácticas más sostenibles en la industria automotriz mexicana.

Los impactos antes mencionados podrían observarse al incorporar en los procesos de fabricación y ensamble los criterios de metrología (Figura 1).

**Figura 1. Incorporación de elementos de metrología en procesos de fabricación y ensamble.**



Fuente: Elaboración con base en Google 2025.

## 2. MARCO TEÓRICO

La calidad se refiere al conjunto de características de un producto o servicio que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes en el contexto de la industria automotriz (ISO, 2015).

La metrología es un elemento fundamental en la industria automotriz, ya que permite asegurar la calidad, seguridad, eficiencia y confiabilidad de los vehículos y sus componentes (Verband der Automobilindustrie, 2021). La aplicación de la metrología en las diferentes etapas del proceso productivo, que va desde el diseño y desarrollo hasta la posventa y el mantenimiento, lo cual permite:

- Asegurar la precisión de las dimensiones, propiedades físicas y químicas de los componentes, así como de la precisión de las dimensiones, propiedades físicas y químicas.
- Se reducen los errores de medición, lo que se traduce en una disminución de costos asociados a reprocesos, desperdicios y productos defectuosos.
- Mejorar la seguridad de los vehículos al asegurar la precisión de componentes esenciales como frenos, sistemas de dirección y airbags, entre otros.
- Se puede mejorar el uso de materiales y energía en los procesos de producción.
- Al permitir la comparación de mediciones realizadas en diferentes países, se simplifica el comercio internacional de vehículos y componentes automotrices.

La presente investigación presenta un conjunto de conceptos que permiten comprender la importancia de la metrología en la industria automotriz. En primer lugar, se abordan los conceptos esenciales de metrología, calidad y seguridad en la industria automotriz. La metrología, en particular, desempeña un papel esencial para la calidad, seguridad, eficiencia y fiabilidad de los vehículos.



A nivel internacional, se destacan los beneficios derivados de la aplicación sistémica de la metrología, tales como la mejora continua, la trazabilidad de las mediciones, la reducción de desperdicios y la apertura a mercados globales mediante el cumplimiento normativo.

No obstante, la implementación de la metrología enfrenta retos en las empresas automotrices, entre los cuales se encuentra la falta de personal especializado, la resistencia al cambio y dificultades para integrar tecnologías como la Metrología 4.0.

Ante estos desafíos, surgen las buenas prácticas metrológicas como respuesta estratégica. Estas prácticas permiten estructurar sistemas de gestión metrológica eficaces, mediante procesos de calibración, verificación, mejora continua, por mencionar algunos, por lo que en la industria automotriz son fundamentales.

Con base en lo anterior, el marco teórico se estructura en cinco apartados. Primero, los fundamentos de la metrología. Segundo, la metrología en la industria automotriz. Tercero, la definición, elementos claves y normas de la gestión metrológica. El cuarto, los temas de electromovilidad y sustentabilidad en la metrología. Y por último, las buenas prácticas metrológicas, a fin de contextualizar de manera integral el presente estudio.

## **2.1. Fundamentos de la Metrología**

### **2.1.1. Definición y objetivos**

La metrología, considerada como la ciencia de la medición (BIPM, 2023), desempeña un papel fundamental en la industria automotriz, particularmente en el ámbito de la electromovilidad y la sustentabilidad. Su objetivo principal es

asegurar la uniformidad y trazabilidad de las mediciones en todo el mundo, lo cual es primordial para el desarrollo, la producción y el uso de vehículos eléctricos de alta calidad y menor impacto ambiental (IEC, 2023).

La metrología se enfoca en asegurar la exactitud y fiabilidad de las mediciones de parámetros eléctricos, como tensión eléctrica, intensidad de corriente, potencia y eficiencia energética, que son fundamentales para el rendimiento y la seguridad de los vehículos eléctricos (ISO, 2017). Asimismo, la metrología desempeña un papel fundamental en la calibración de los equipos de carga y la medición del consumo de energía, aspectos fundamentales para la infraestructura de rendimiento energético.

La metrología contribuye al desarrollo de vehículos más eficientes y con menor impacto ambiental en el ámbito de la sustentabilidad, mediante una medición precisa de parámetros como las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos y la eficiencia de los procesos de producción (IEC, 2023). La trazabilidad de las mediciones en este contexto permite comparar el rendimiento ambiental de diferentes vehículos y procesos, lo que impulsa la innovación y la adopción de prácticas.

### **2.1.2. Principios fundamentales**

Los principios fundamentales de la metrología, tales como la trazabilidad, comparabilidad, reproducibilidad e incertidumbre, son fundamentales en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad. La seguridad garantiza que las mediciones de parámetros eléctricos y ambientales se relacionen con patrones de medida establecidos, asegurando la coherencia y confiabilidad de los datos. La comparabilidad permite comparar el rendimiento de diversos vehículos y procesos, lo que fomenta la innovación y la competencia en la industria automotriz.

La reproducibilidad garantiza que las mediciones sean concordantes en diversas condiciones, lo cual posibilita un análisis exhaustivo de los resultados. La incertidumbre, que está presente en todas las mediciones, debe determinarse y expresarse de manera adecuada para proporcionar información completa y transparente sobre los datos.

### **2.1.3. Sistema Internacional de Unidades (SI)**

El Sistema Internacional de Unidades (SI) es el sistema de unidades de medida más usado en el mundo y sirve como base para mediciones en la electromovilidad y la sustentabilidad (BIPM, 2023). Unidades como el amperio (A) para la corriente eléctrica, el voltio (V) para la tensión eléctrica, el vatio-hora (Wh) para la energía eléctrica, el kilogramo de dióxido de carbono equivalente (kgCO<sub>2</sub>e) para las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **2.1.4. Patrones de medida y trazabilidad**

Los patrones de medida son instrumentos o referencias que se utilizan para definir las unidades de medida de la manera más precisa posible, y son fundamentales para la trazabilidad en la electromovilidad y la sustentabilidad (BIPM, 2023). La trazabilidad garantiza que las mediciones de parámetros eléctricos y ambientales se relacionen con patrones primarios establecidos por organismos internacionales, lo que garantiza la coherencia y confiabilidad de los datos a lo largo de la cadena de medición.

### **2.1.5. Calibración de instrumentos de medición**

La calibración es el proceso de comparar un instrumento de medición con un patrón de medición de referencia para determinar su exactitud y corregir cualquier error que pueda surgir (JCGM 200, 2012). Para Andrew, et. all, (2025), es esencial mantener la trazabilidad de acuerdo con estándares nacionales o internacionales para garantizar la confiabilidad de los resultados de medición.

En la electromovilidad y la sustentabilidad, la calibración de instrumentos como multímetros, analizadores de potencia y medidores de emisiones es fundamental para garantizar la precisión y fiabilidad de las mediciones de parámetros eléctricos y ambientales. La calibración debe realizarse de manera periódica de conformidad con las normas y procedimientos establecidos para mantener la fiabilidad de los datos.

#### **2.1.6. Aseguramiento de la calidad**

El aseguramiento de la calidad en la metrología es un conjunto de medidas que se adoptan para asegurar que las mediciones realizadas en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad sean fiables y trazables (ISO, 2017). Estas medidas incluyen:

- **Calibración de instrumentos de medición:** La calibración periódica de los instrumentos utilizados para medir parámetros eléctricos y ambientales garantiza la precisión y fiabilidad de las mediciones.
- **Trazabilidad de las mediciones:** La trazabilidad de las mediciones a patrones de medida de referencia establecidos por organismos internacionales de trazabilidad garantiza la coherencia y confiabilidad de los datos a lo largo de la cadena de medición.
- **Documentación de los procedimientos:** La evaluación detallada de los procedimientos de medición y calibración garantiza la reproducibilidad y transparencia de los procesos.
- **Evaluación de la competencia del personal:** La evaluación y capacitación del personal implicado en las mediciones garantizan la competencia técnica y la calidad de los datos obtenidos.

- **Implementación de sistemas de gestión de la calidad:** La implementación de sistemas de gestión de la calidad, como ISO 9001, formaliza y sistematiza las medidas de aseguramiento de la calidad en la metrología para lograr el aseguramiento de la calidad en los resultados de la medida.

#### 2.1.7. Desafíos y oportunidades actuales

La metrología en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad se enfrenta a desafíos como:

- **Nuevas tecnologías y mediciones:** La rápida evolución de las tecnologías de vehículos eléctricos y la necesidad de medir nuevos parámetros ambientales plantean desafíos para la metrología en términos de desarrollo de nuevos métodos y patrones de medida.
- **Complejidad de las mediciones:** La medición precisa de parámetros como la eficiencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero requiere técnicas y equipos de medición de alta calidad.
- **Armonización de la regulación técnica:** La carencia de armonización en la regulación técnica a nivel internacional podría dificultar el comercio de vehículos eléctricos y componentes.

No obstante, la metrología también ofrece oportunidades en este contexto.:

- **Impulso a la innovación:** La metrología puede impulsar la innovación en el desarrollo de nuevas técnicas de medición, instrumentos de medición y materiales de referencia.

- **Contribución a la sostenibilidad:** La metrología puede colaborar en el desarrollo de vehículos más eficientes y con menor impacto ambiental mediante la medición precisa de parámetros relevantes.
- **Facilitación del comercio internacional:** La armonización de la regulación técnica a través de la metrología puede facilitar el comercio internacional de vehículos eléctricos y componentes mediante la conjunción de la regulación técnica mediante la metrología.

## 2.2 Metrología en la Industria Automotriz

### 2.2.1. Importancia de la metrología en la industria automotriz

La metrología es un elemento esencial en la industria automotriz en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad, lo que contribuye a:

- **Desarrollo de vehículos eléctricos de alta calidad:** La metrología asegura la precisión y fiabilidad de las mediciones de parámetros eléctricos, tales como voltaje, corriente, potencia y eficiencia energética, que son esenciales para el rendimiento y la seguridad de los vehículos eléctricos.
- **Infraestructura de recarga confiable:** La metrología permite la calibración de los equipos de carga y la medición del consumo de energía, aspectos indispensables para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.
- **Vehículos más eficientes y con menor impacto ambiental:** La metrología permite la medición precisa de parámetros como las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos y la eficiencia de

los procesos de producción, impulsa el desarrollo de vehículos más sostenibles.

- **Comparación del desempeño ambiental de diferentes vehículos y procesos:** La trazabilidad de las mediciones permite comparar el rendimiento ambiental de diversos vehículos y procesos, lo que fomenta la innovación y la adopción de prácticas más sostenibles en la industria automotriz.
- **Comercio internacional y regulación técnica:** La metrología permite el comercio internacional de vehículos eléctricos y componentes internacionales al asegurar la uniformidad y comparabilidad de las mediciones, lo que contribuye a la armonización de la regulación técnica en este ámbito.

La relevancia de la metrología en la industria automotriz no solo se limita al ámbito técnico de la electromovilidad y la sustentabilidad, sino que tiene un impacto directo en la competitividad de las cadenas de suministro. Su correcta aplicación es primordial para que los fabricantes y proveedores puedan cumplir con los estándares de calidad que se exigen a nivel nacional e internacional.

En México, se cuenta con siete armadoras (Ford, Nissan, General Motors, Volkswagen, Chrysler, Honda y Toyota). Para que un automóvil completo pueda salir de alguna de estas plantas, en promedio, se requiere la participación de al menos 300 empresas proveedoras de autopartes, las cuales suministran un promedio de 15 000 piezas que conforman un vehículo ligero.

Estas empresas proveedoras se encuentran en diferentes niveles: proveedores de primer nivel o Tier 1 (que atienden directamente a la planta automotriz), proveedores de segundo nivel o Tier 2 (que suministran partes a los proveedores de primer nivel) y proveedores de tercer nivel o Tier 3 (que se

centran en el suministro de materia prima). En el estado de Querétaro, se encuentran cuatro plantas ensambladoras de camiones y una de tractores, así como 74 proveedores Tier 1 y más de 200 proveedores Tier 2. Además, este sector representa el 28.5% de las exportaciones de Querétaro (INEGI, 2020).

Con base en un estudio realizado por Ixe Grupo Financiero, sobre el liderazgo automotriz, se indica que la competitividad de los proveedores es uno de los elementos que fortalece esta industria (Chyzhyk, 2021). El índice de ventaja comparativa relativa (IVCR), que mide la calidad y competitividad de los proveedores a nivel mundial, señala que en las dos últimas décadas México ha obtenido entre 2.4 y 4.0 puntos en una escala máxima de 4.5 puntos, superando a Japón, Francia, Reino Unido y Alemania.

Sin embargo, aún existen áreas de oportunidad para crecer. Chris Styles, director de Compras de Nissan Mexicana, afirma que, si bien existen más fortalezas con los proveedores Tier 1, es importante desarrollar los siguientes eslabones que permitan a México sustituir las importaciones que actualmente se realizan. Para lograr estas fortalezas, es necesario cumplir con varios estándares, especialmente los requisitos de la International Automotive Task Force (IATF) en su estándar ISO/TS 16949. La aplicación de la metrología es exigida en varios de sus aspectos para cumplir con dicho estándar.

De acuerdo con lo mencionado en una entrevista por Marco Antonio del Prete, secretario de desarrollo sustentable del estado, el sector automotriz es el que genera más puestos de trabajo, con 50 000 empleos, y representa el 28.5% de las exportaciones. Además, mencionó que 1 528 empresas de origen extranjero se encuentran instaladas en la región, con una presencia destacada de empresas de Estados Unidos. En cuanto al Producto Interno Bruto (PIB), la industria automotriz representa casi el 14%, mientras que a nivel nacional representa el 5% (INEGI, 2020).



Con estas cifras mencionadas, se destaca la importancia de la inversión en el sector automotriz (Martos, 2017). Además, es importante observar este impacto desde el punto de vista de las unidades económicas receptoras, considerando también los intereses estratégicos de empresas transnacionales y diferentes compañías que buscan incorporarse en los mercados teniendo en cuenta sus redes de producción y distribución global (Díaz y García, 2016).

### 2.2.2 Aplicaciones de la Metrología en la Industria Automotriz

Como **control de calidad en la producción automotriz**, la metrología desempeña un rol crucial en la supervisión de la calidad en la producción de vehículos automotores. Las mediciones exactas y confiables son fundamentales para asegurar que los componentes y productos finales satisfagan las especificaciones de diseño y los estándares de calidad establecidos. La implementación de la metrología en la supervisión de la calidad engloba diversas fases del proceso productivo, que incluyen:

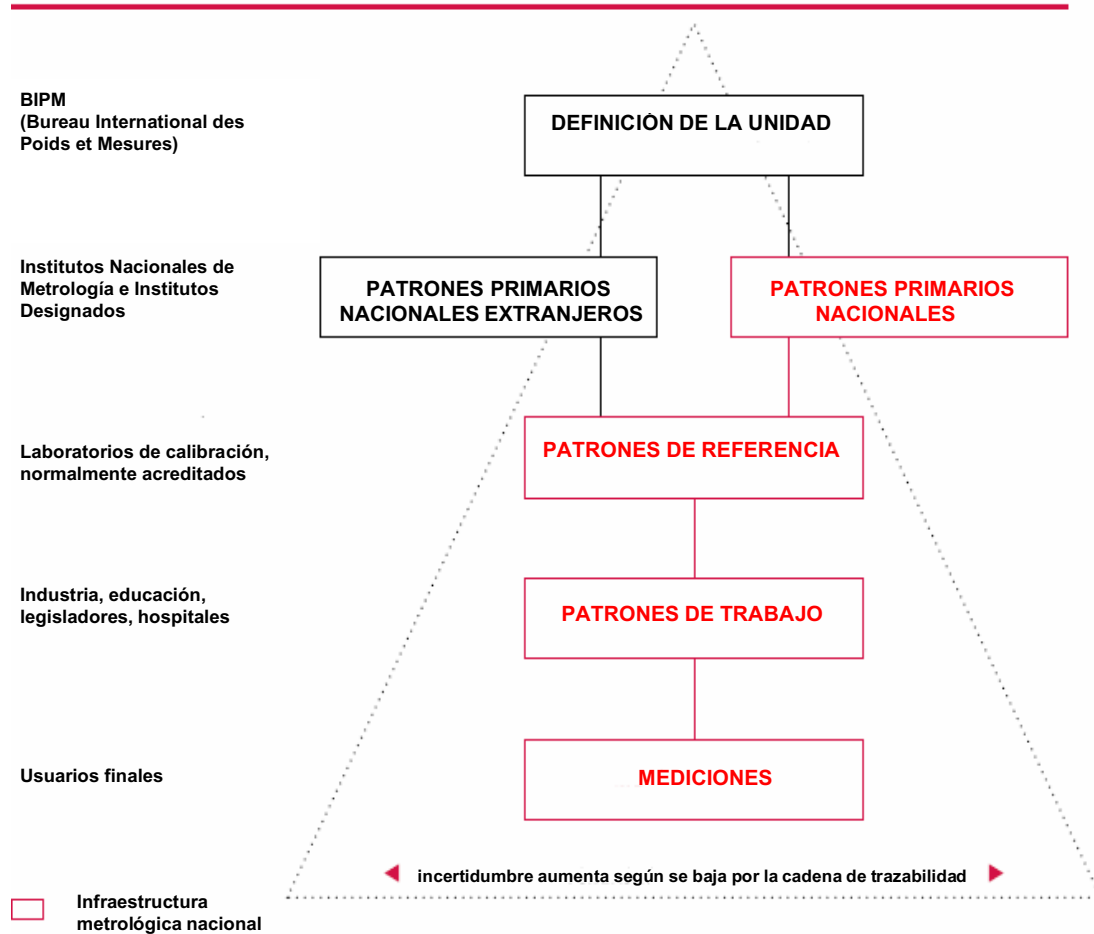
- **Inspección de materias primas y componentes:** La metrología se emplea para corroborar las dimensiones, propiedades físicas y químicas de las materias primas y componentes antes de su integración en el proceso productivo.
- **Control de procesos:** Aquí, la metrología se emplea para supervisar y regular los parámetros fundamentales de los procesos de manufactura, tales como la temperatura, la presión, la velocidad y la fuerza.
- **Inspección final de productos:** La metrología en esta etapa se emplea para corroborar las dimensiones, el funcionamiento y el rendimiento de los productos finales antes de su entrega a los consumidores.

En la **calibración de equipos de medición**, los instrumentos de medición empleados en el sector automotriz son fundamental para asegurar la exactitud y la fiabilidad de las mediciones. La calibración se refiere a la comparación del desempeño de un instrumento de medición con un patrón de referencia de mayor precisión y al ajuste del instrumento si es requerido. La periodicidad de la calibración de los equipos de medición está determinada por su tipo, uso y relevancia para el proceso de producción.

La **trazabilidad** de las mediciones y de los datos en la industria automotriz es esencial para asegurar la coherencia y la fiabilidad de los datos a lo largo de la cadena de suministro. La trazabilidad se obtiene mediante la implementación de una cadena ininterrumpida de comparaciones entre los instrumentos de medición empleados y los patrones de referencia primarios establecidos por entidades internacionales.

En la Figura 2, se puede observar un ejemplo de cadena de trazabilidad, la cual representa la secuencia jerárquica mediante la cual una medición se vincula a patrones de mayor exactitud reconocidos internacionalmente, garantizando la confiabilidad de los resultados.

**Figura 2. Cadena de trazabilidad.**



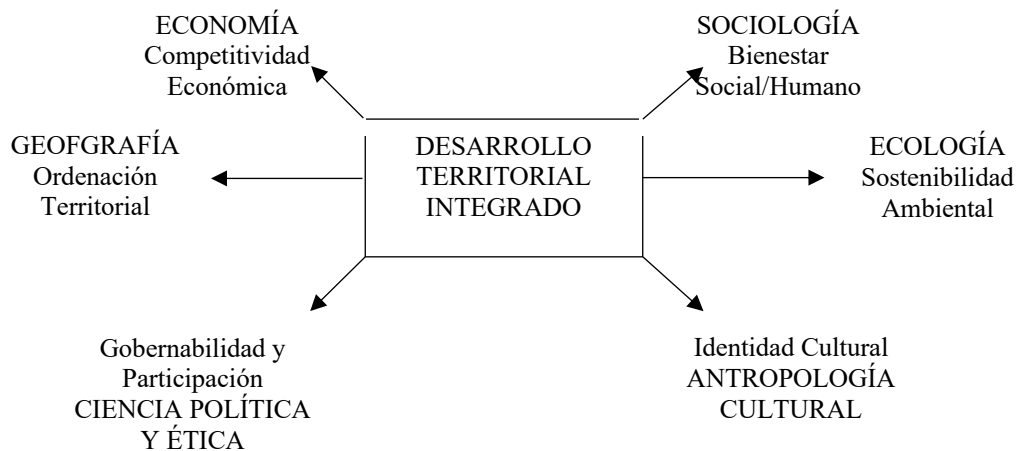
Fuente: Metrology in Short. 2008.

En México, se cuenta con una rica historia en la producción y fabricación de piezas automotrices que respaldan la industria, con una serie de actividades en la cadena de suministro (García, 2020). Se ha podido observar que el eslabón más débil puede provocar la ruptura de dicha cadena. Por lo tanto, si un eslabón falla debido a una incorrecta implementación de un sistema de gestión de las mediciones, no solo afectará a dicho eslabón de manera individual, sino que también retrasará a los eslabones siguientes, llegando a afectar a las ensambladoras.

De lo anterior la industria automotriz ha aprendido a desarrollar diferentes dinámicas de innovación y desarrollo territorial (Carrillo, 2017), para saber que

en conjunto deben coordinar sus actividades considerando los principales elementos integrantes del concepto de desarrollo territorial integrado (Figura 3), pero el contexto de explorar que el funcionamiento de esas dinámicas puede ser debido a la correcta aplicación de la metrología es la base del presente trabajo.

**Figura 3. Elementos integrantes del concepto de desarrollo territorial integrado.**



Fuente: Méndez, 2002.

### 2.2.3 Metrología en la Investigación + Desarrollo y posventa

La metrología desempeña un papel fundamental en la investigación y el progreso de nuevos materiales, tecnologías y procesos en el sector automotriz. Las mediciones exactas y fiables son fundamentales para la evaluación del desempeño de nuevos materiales, la validación del funcionamiento de tecnologías emergentes y la optimización de los procedimientos de manufactura.

La metrología se aplica igualmente en el ámbito de la posventa y el mantenimiento de vehículos de automóviles. Las mediciones exactas resultan indispensables para el diagnóstico de problemas mecánicos, la realización de ajustes y reparaciones, y la garantía del funcionamiento óptimo de los vehículos.

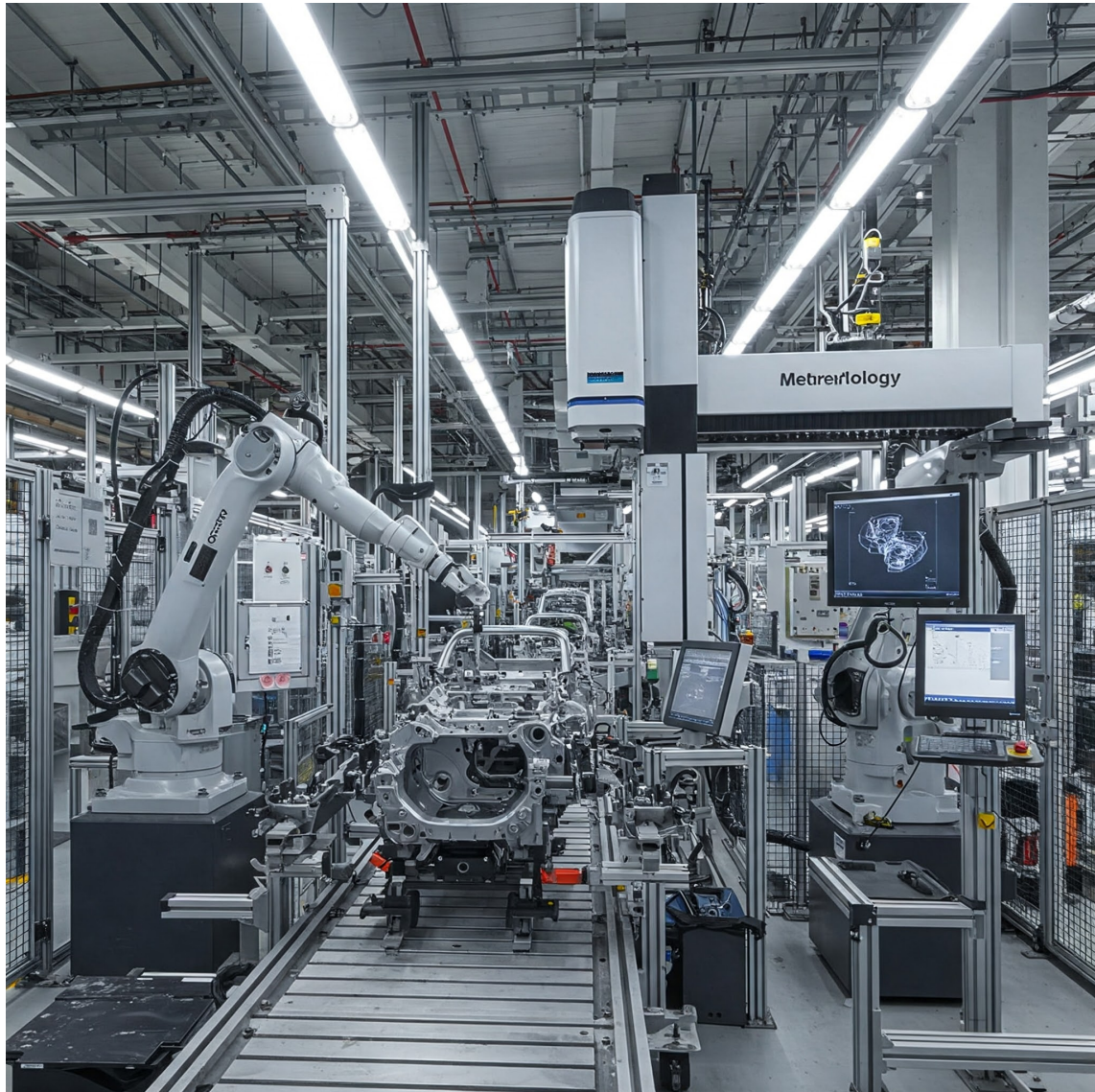
#### 2.2.4 Metrología y beneficios en la industria automotriz

La implementación de la metrología en el sector automotriz ofrece una variedad de ventajas, entre las que se destacan:

- **Mejora de la calidad de los productos:** Asegurar la exactitud y la fiabilidad de las mediciones contribuye a la mejora de la calidad de los componentes y productos finales.
- **Reducción de costos:** La reducción de los errores de medición contribuye a la disminución de los costos vinculados con los reprocesos, residuos y productos defectuosos.
- **Aumento de la seguridad:** Es esencial la exactitud de las mediciones para asegurar la seguridad de los vehículos y sus componentes.
- **Mejora de la competitividad:** Un robusto sistema de gestión metrológica puede representar una ventaja competitiva en el mercado global de automóviles.
- **Facilitación del comercio internacional:** La capacidad para rastrear las mediciones facilita el comercio internacional de vehículos y componentes automotrices.

En conjunto los beneficios que se obtienen se podrían establecer desde el conjunto de necesidades de la obtención de resultados confiables en los diferentes puntos de criticidad en donde se requiere tener mediciones confiables en los procesos de producción y ensamble de automotores, como se puede apreciar en la Figura 4.

**Figura 4. Incorporación de elementos metrológicos en el aseguramiento de la calidad de los resultados de las mediciones automotoras.**



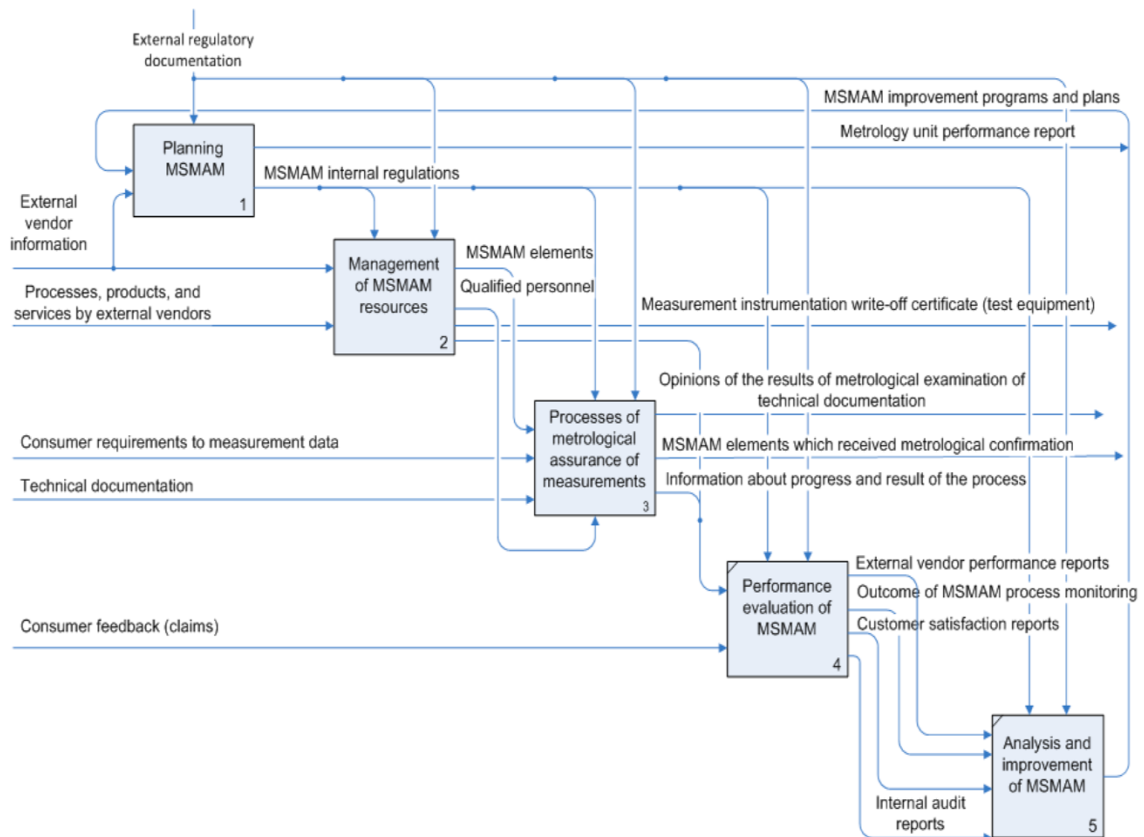
Fuente: Elaboración con base en Google 2025.

### 2.3 Gestión metrológica: definición, elementos clave, normas

La gestión metrológica es un conjunto de actividades planificadas y sistemáticas que se llevan a cabo para asegurar la trazabilidad, exactitud y fiabilidad de las mediciones en una organización, un ejemplo de esto se puede apreciar en la Figura 5, un modelo funcional de un sistema de gestión para el aseguramiento de la calidad en las mediciones. El objetivo principal de la gestión metrológica es asegurar que las mediciones realizadas sean consistentes, fiables

y comparables, lo cual es fundamental para la calidad, la seguridad y la competitividad de la industria automotriz.

Figura 5. Modelo funcional de un sistema de gestión



Fuente: Leonov, 2020.

### 2.3.1 Definición y elementos clave de la gestión metrológica

Los elementos fundamentales de la gestión metrológica que comúnmente son implementados con base en la normativa actual (ISO, 10012):

- **Planificación:** Establecimiento de los objetivos y alcance de la gestión metrológica, identificación de los recursos necesarios y establecimiento de un plan de acción.

- **Organización:** La definición de responsabilidades y la delegación de funciones dentro del sistema de gestión metrológica establecen y encargan funciones dentro del sistema de gestión metrológica.
- **Control de documentos:** Desarrollo, mantenimiento y control de la documentación asociada al sistema de gestión metrológica, incluyendo procedimientos, registros y certificados.
- **Calibración y verificación:** Calibración periódica de los instrumentos de medición y verificación de su funcionamiento correcto.
- **Competencia del personal:** Asegurar que el personal involucrado en las actividades de medición tenga la capacitación y competencia necesarias para llevar a cabo las actividades de medición.
- **Gestión de la información:** Se recopilan, analizan y utilizan la información relacionada con las mediciones para la toma de decisiones y la mejora continua del sistema.

### 2.3.2 Normas y estándares para la gestión metrológica

La gestión metrológica en la industria automotriz debe estar en consonancia con las normas y estándares internacionales, como:

- **ISO 9001:2015** Sistema de Gestión de la Calidad: Requisitos (ISO, 2015): Esta norma define los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que incluye la administración de las mediciones.
- **ISO/IEC 17025:2017** Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO, 2017): Esta norma define los



requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

- **ISO/IEC 10012:2003** Sistemas de gestión de las mediciones – Requisitos para los equipos de medición de procesos y de medida (ISO, 2003): Esta norma define los requisitos generales para lograr el aseguramiento de la calidad en los resultados de las mediciones.
- **VDA 6.4:2021 Quality Management System for the Automotive Industry** (Verband der Automobilindustrie, 2021): Esta norma específica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad en la industria automotriz, incluyendo la gestión de las mediciones.

### 2.3.3 Beneficios de la gestión metrológica automotriz

La implementación de un sistema de gestión metrológica en la industria automotriz proporciona diversos beneficios, como:

- **Mejora de la calidad:** Asegurar la exactitud y fiabilidad de las mediciones contribuye a la mejora de la calidad de los productos y procedimientos automotrices.
- **Reducción de costos:** La reducción de los errores de medición contribuye a la reducción de los costos vinculados con los reprocesos, residuos y productos defectuosos.
- **Aumento de la seguridad:** Es esencial la exactitud de las mediciones para asegurar la seguridad de los vehículos y sus componentes.

- **Mejora de la competitividad:** Un sistema robusto de gestión metrológica puede representar una ventaja competitiva en el mercado global de automóviles.
- **Facilitación del comercio internacional:** La trazabilidad de las mediciones promueve la comercialización internacional de vehículos y componentes automotrices

#### 2.3.4 Desafíos de la gestión metrológica automotriz.

La implementación y mantenimiento de un sistema de gestión metrológico en la industria automotriz presenta algunos desafíos, como:

- **Complejidad de las mediciones:** Las mediciones dentro del sector automotriz pueden ser de gran complejidad y demandar el uso de equipos y técnicas especializadas.
- **Costos de implementación y mantenimiento:** La instauración y conservación de un sistema de gestión metrológica puede conllevar costos significativos.
- **Necesidad de capacitación continua:** Es imperativo que el personal involucrado en las actividades de medición reciba formación continua para preservar su capacidad.
- **Gestión de la información:** La recolección, el análisis y la utilización de la información relacionada con las mediciones puede representar un reto de gran complejidad.

#### 2.3.5 Soluciones, estrategias y casos de estudio

Para superar los desafíos de la gestión metrológica en la industria automotriz, se pueden implementar diversas soluciones y estrategias, como:

- **Utilización de tecnologías avanzadas:** La incorporación de tecnologías de vanguardia para la medición y calibración puede potenciar la precisión, la fiabilidad y la eficiencia del sistema de gestión metrológica.
- **Implementación de sistemas automatizados:** La ejecución de la automatización en las tareas de medición y calibración tiene el potencial de disminuir los costos, optimizar la eficiencia y minimizar los errores humanos.
- **Colaboración con laboratorios acreditados:** La cooperación con laboratorios acreditados en ensayo y calibración garantiza la trazabilidad y la fiabilidad de las mediciones.
- **Capacitación y sensibilización del personal:** La formación constante y la concienciación del personal acerca de la relevancia de la gestión metrológica son fundamentales para el éxito del sistema.
- **Utilización de herramientas de gestión de la información:** La aplicación de instrumentos de administración de información simplifica la recolección, análisis y utilización de datos vinculados con las mediciones.
- **Benchmarking con empresas líderes:** La comparación con empresas preeminentes en la industria automotriz en lo que respecta a la gestión metrológica puede ofrecer ideas y prácticas valiosas para la optimización del sistema.

Se pueden encontrar diversos casos de estudio de gestión metrológica exitosa en la industria automotriz, como:

- **Caso de estudio: Toyota Motor Corporation, (2023):** Toyota ha instaurado un sistema de gestión metrológica a nivel global que engloba todas sus operaciones, desde la investigación y el desarrollo hasta la producción y el servicio postventa. Este sistema ha propiciado el incremento de la calidad, la eficiencia y la competitividad de la organización.
- **Caso de estudio: Volkswagen AG, (2023):** Volkswagen ha elaborado un sistema de gestión metrológica fundamentado en la norma **ISO/IEC 17025**, lo cual ha permitido a la compañía obtener la acreditación para sus laboratorios de ensayo y calibración. Este sistema ha potenciado la credibilidad y fiabilidad de las mediciones realizadas por la empresa.
- **Caso de estudio: General Motors Company, (2023):** General Motors ha establecido un sistema de gestión metrológica, el cual emplea instrumentos de administración de información para recolectar, analizar y emplear datos asociados con las mediciones. Este sistema ha facilitado a la organización la identificación y corrección de errores de medición de forma más eficaz.

## **2.4 Metrología, Electromovilidad y Sustentabilidad**

### **2.4.1. Electromovilidad como un paradigma sostenible**

La electromovilidad, promovida por el desarrollo de vehículos eléctricos e infraestructura de carga, emerge como una alternativa sostenible al transporte tradicional basado en combustibles fósiles (IEA, 2023). La implementación de la electromovilidad proporciona ventajas medioambientales, tales como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la

optimización de la calidad del aire y la reducción de la contaminación sonora (Velychko y Gordiyenko, 2022).

#### **2.4.2. Desafíos y oportunidades de la electromovilidad**

La transición hacia la electromovilidad plantea desafíos tales como la autonomía limitada de los Vehículos de Transporte (VE), la dependencia de redes eléctricas fiables y la necesidad de desarrollar infraestructura de carga accesible (IEA). No obstante, igualmente ofrece oportunidades para la innovación tecnológica, la generación de nuevos empleos y la diversificación de la matriz energética (Petru, 2021).

#### **2.4.3. Rol de la metrología en la electromovilidad**

La metrología desempeña un papel de importancia en el desarrollo y la adopción de la electromovilidad, asegurando elementos de aseguramiento metrológico, tales como, precisión y confiabilidad de las mediciones en distintas áreas (International Electrotechnical Commission, 2023):

- **Desarrollo de baterías:** Facilita la evaluación de la capacidad, la eficiencia y la durabilidad de las baterías, elementos esenciales para la autonomía y el desempeño de los Vehículos de Transporte (VE) (Petru, 2021).
- **Infraestructura de carga:** Asegura la exactitud de los medidores de energía en las estaciones de carga, lo cual facilita una facturación justa y transparente (Petru, 2021).
- **Eficiencia energética:** Propicia la cuantificación del consumo energético de los Vehículos de Transporte, lo que permite la optimización de su diseño y utilización (Petru 2021).

- **Emisiones de GEI:** Facilita la cuantificación precisa de las emisiones de gases de efecto invernadero de los vehículos de transporte, lo que facilita la evaluación de su repercusión en el medio ambiente (Petru, 2021).
- **Materiales sostenibles:** Posibilita la precisión de las características de materiales sostenibles empleados en la producción de los VE, tales como polímeros biodegradables o componentes reciclados (Petru, 2021).

#### 2.4.4. Ejemplos de aplicaciones y métricas de sostenibilidad

- **Calibración de medidores de energía en estaciones de carga:** La calibración periódica de estos dispositivos garantiza la exactitud de la información referente al consumo energético de los VE, lo que permite una facturación justa y transparente para los usuarios (Petru, 2021).
- **Evaluación de la eficiencia de sistemas de frenado regenerativo:** La metrología facilita la cuantificación exacta de la cantidad de energía recuperada por los sistemas de frenado regenerativo en los VE, lo que contribuye a la optimización de su eficiencia energética (Zhao, Li, y Wang, 2020).
- **Análisis de la degradación de baterías:** La metrología facilita el estudio de la degradación de las baterías a lo largo de su vida útil, permitiendo optimizar su diseño y mantenimiento (Petru, 2021).
- **Caracterización de materiales sostenibles:** La metrología facilita la caracterización de las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de materiales sostenibles empleados en la producción de VE, tales como polímeros biodegradables o componentes reciclados (Petru, 2021).

## 2.5 Buenas Prácticas Metrológicas

### 2.5.1. Implementación de sistemas de gestión

La instauración de un **Sistema de Gestión Metrológica (SGM)** es esencial para asegurar la trazabilidad, precisión y fiabilidad de las mediciones en el sector automotriz. Un SGM robusto debe incluir:

- **Definición de objetivos y alcance:** Definir los objetivos del Sistema de Gestión de Mediciones y la extensión de las actividades de medición a ser abordadas.
- **Organización y responsabilidades:** Establecer las obligaciones de los individuos involucrados en el Sistema de Gestión de Proyectos y establecer una estructura organizacional definida.
- **Control de documentos:** Documentación para la administración de procedimientos, registros y certificados relacionados con las mediciones.
- **Calibración y verificación:** Encargarse de la calibración periódica (conforme al programa de calibración, coordinándolo con el programa de mantenimiento) de los instrumentos de medición y verificar su funcionamiento adecuado.
- **Competencia del personal:** Formación y conservación de la competencia del personal implicado en las actividades de medición, buscando a los proveedores adecuados conforme al SGC.
- **Gestión de la información:** Compilar, examinar y emplear la información relacionada con las mediciones para la toma de decisiones y el perfeccionamiento constante del Sistema de Gestión de Proyectos.

### 2.5.2. Procedimientos, verificación, mejora continua

La elección apropiada de equipos de medición es esencial para la obtención de resultados exactos y confiables. Al seleccionar equipos de medición, se deben tener en cuenta aspectos tales como:

- **Precisión y confiabilidad:** El equipo de medición debe poseer la exactitud y la confiabilidad requeridas para satisfacer los requisitos de las mediciones a efectuar.
- **Rango de medición:** Es imperativo que el equipo de medición posea un rango de medición apropiado para satisfacer el rango de valores a medir.
- **Facilidad de uso:** El equipo de medición debe ser de uso fácil y comprensible para el personal implicado.
- **Costo:** El costo del equipo de medición debe ser correspondiente al presupuesto existente.
- **Disponibilidad de repuestos y servicio técnico:** Es necesario tener en cuenta la disponibilidad de componentes y servicio técnico para el equipo de medición.

### 2.5.3. Calibración, verificación y trazabilidad

La **calibración** y la **verificación** de los instrumentos de medición son tareas fundamentales para asegurar la exactitud y la fiabilidad de las mediciones. La calibración implica la comparación del desempeño de un instrumento de medición con un patrón de referencia de mayor precisión, y posteriormente el ajuste del instrumento en caso de ser requerido. La **verificación** implica corroborar que el instrumento de medición cumple con los criterios especificados.

La **rastreabilidad** de las mediciones representa la conexión que se establece entre el resultado de una medición y un patrón de referencia internacional. La



**trazabilidad** garantiza que las mediciones efectuadas sean comparables entre sí y con las mediciones efectuadas en otras regiones del mundo.

#### 2.5.4. Capacitación, documentación, auditorías

Es esencial la **formación, capacitación** y concienciación del personal implicado en las actividades de medición para asegurar la adecuada implementación de las buenas prácticas metrológicas. Es imperativo que los empleados estén familiarizados con los principios de la metrología, los procedimientos de medición, la calibración y verificación de equipos, así como con la relevancia de la trazabilidad.

La **documentación** y el registro de las actividades de medición son esenciales para mantener un registro minucioso de las mediciones realizadas, los equipos utilizados, las calibraciones realizadas y los resultados alcanzados. La documentación adecuada fomenta la rastreabilidad de las mediciones y la detección de posibles inconvenientes.

Las **auditorías** y revisiones del SGM son necesarias para evaluar su efectividad e identificar áreas de mejora. Las auditorías deben realizarse de manera periódica por personal interno o externo calificado.

Por lo que, la **mejora continua** del SGM es un proceso continuo que busca optimizar las actividades de medición y garantizar la satisfacción de las necesidades de la organización. La mejora continua se puede lograr mediante la implementación de acciones como la identificación de oportunidades de mejora, la implementación de cambios y su medición de impacto.

### 3. METODOLOGÍA

A lo largo de este trabajo de investigación, se ha realizado un análisis profundo de la literatura relacionada con la metrología y su aplicación en la industria automotriz. Se han consultado diversas fuentes, incluyendo libros, artículos científicos, informes técnicos y sitios web de organizaciones relevantes. Además, se han; realizado entrevistas a expertos en el campo para obtener información de primera mano sobre las mejores prácticas y los desafíos de la implementación de la metrología en la industria automotriz.

La investigación ha permitido identificar los beneficios clave de la metrología para la industria automotriz, incluyendo: la mejora de la calidad, la reducción de costos, el aumento de la seguridad y la competitividad. También se han identificado los desafíos que enfrentan las empresas automotrices al implementar la metrología, como: el costo de la implementación, la complejidad del sistema y la necesidad de personal calificado.

#### 3.1 Enfoque y diseño de la investigación

La metodología de investigación utilizada en este trabajo ha sido de tipo **descriptivo-analítico**. Se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema; y se han analizado en profundidad los casos de éxito de empresas automotrices que han implementado la metrología de manera efectiva. Además, se han realizado entrevistas a expertos en el campo para obtener información de primera mano sobre las mejores prácticas y los desafíos de la implementación de la metrología en la industria automotriz.

La metodología de investigación utilizada ha permitido, obtener una comprensión profunda del tema y formular recomendaciones prácticas para la implementación efectiva de la metrología en la industria automotriz.

### 3.2 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Las **encuestas**, se elaboraron mediante preguntas cerradas y abiertas para obtener información cuantitativa y cualitativa sobre las prácticas de gestión metrológica de las empresas, los desafíos que enfrentan y las oportunidades que perciben. Las encuestas se presentaron con un reducido grupo de empresas para asegurar su precisión, fiabilidad y validez.

Las **guías de entrevista**, se elaboraron para orientar las entrevistas de manera más exhaustiva con expertos, representantes de empresas, funcionarios gubernamentales y académicos. Las guías de entrevista incluirán preguntas abiertas para obtener más detalles sobre sus perspectivas y experiencias en relación con la gestión metrológica en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad.

Los **protocolos de observación**, se elaboraron protocolos de observación para guiar la observación directa de las prácticas de gestión metrológica en las empresas seleccionadas para los estudios de caso. Los protocolos de observación incluirán categorías de observación previamente establecidas y notas de campo para registrar observaciones detalladas.

#### 3.2.1 Datos cuantitativos

- **Encuestas:** Se llevaron a cabo encuestas en una muestra representativa de empresas del sector automotor mexicano para obtener información sobre sus prácticas actuales de gestión metrológica, los desafíos que enfrentan y las oportunidades que perciben en el contexto de la metrología, electromovilidad y la sustentabilidad. Las encuestas se elaborarán con cuidado para asegurar su fiabilidad y validez, y se administrarán de manera electrónica o presencial, según sea el caso.

- **Análisis de datos secundarios:** Se analizaron los datos secundarios que provienen de fuentes fiables, tales como estadísticas oficiales, estudios de mercado e informes de investigación, con el objetivo de obtener información sobre el panorama actual de la industria automotriz mexicana, las tendencias en la metrología, la movilidad y la sustentabilidad, y las mejores prácticas internacionales en la gestión metrológica.

### 3.2.2 Datos cualitativos

- **Entrevistas:** Se llevaron a cabo entrevistas a fondo a expertos en gestión metrológica, representantes de empresas del sector automotor mexicano, funcionarios gubernamentales y académicos para obtener información detallada sobre sus perspectivas y experiencias en relación con la gestión metrológica en el contexto de la electromovilidad y la sustentabilidad.

Las entrevistas se guiaron por un protocolo de entrevista estructurado, que también permitieron la flexibilidad para explorar temas emergentes y obtener más información.

- **Estudios de caso:** Se hicieron estudios de caso a fondo en empresas seleccionadas del sector automotor mexicano para analizar de manera detallada sus prácticas de gestión metrológica, identificar los desafíos y oportunidades específicos que enfrentan, y evaluar la efectividad de las estrategias que han implementado para mejorar la calidad, la competitividad y la sustentabilidad.

Los estudios de caso se fundamentaron en la observación directa, las entrevistas en profundidad con el personal de las empresas y el análisis de documentos.

### 3.3 Procedimiento de recolección de datos

- **Obtención de permisos:** Se otorgaron los permisos necesarios para llevar a cabo la investigación, tales como la aprobación de los comités de ética de la investigación y el consentimiento informado de los participantes.
- **Aplicación de encuestas:** Se aplicaron las encuestas a la muestra representativa de empresas del sector automotor mexicano utilizando una plataforma electrónica o mediante entrevistas presenciales.
- **Realización de entrevistas:** Los expertos, representantes de empresas, funcionarios gubernamentales y académicos seleccionados se entrevistaron en profundidad, siguiendo las guías de entrevista y utilizando un enfoque de entrevista semiestructurado.
- **Ejecución de estudios de caso:** Los estudios de caso se llevaron a cabo en las empresas seleccionadas, siguiendo los protocolos de observación y llevando a cabo entrevistas en profundidad con el personal de las empresas.

#### 3.3.1 Plan de análisis de datos

- **Datos cuantitativos:** Los datos cuantitativos obtenidos de las encuestas se evaluarán mediante técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, como medidas de tendencia central, dispersión y asociación, pruebas de hipótesis y análisis de varianza.
- **Datos cualitativos:** Los datos cualitativos recopilados de las entrevistas y estudios de caso se evaluarán mediante técnicas de análisis de contenido temático, codificación y categorización. Se identificarán los

temas emergentes, patrones y relaciones entre los datos, y se elaborarán narrativas descriptivas y explicativas para presentar los descubrimientos.

### **3.3.2 Triangulación de datos**

Se empleó la triangulación de datos para asegurar la fiabilidad y validez de los hallazgos. La triangulación de datos requiere comparar y contrastar la información obtenida de diferentes fuentes, métodos y técnicas de recolección de datos. Esto permitirá detectar convergencias y divergencias en los datos, reforzar la robustez de los resultados y reducir el sesgo.

### **3.4 Consideraciones éticas de la investigación**

La investigación se llevó a cabo de forma ética y responsable, siguiendo los principios éticos establecidos en las normas internacionales de investigación científica, para asegurar que la dignidad, autonomía y bienestar de los participantes fueran prioritarios en todas las etapas del estudio.

Se protegió la confidencialidad y privacidad de los participantes, se obtuvo su consentimiento informado, se garantizó el anonimato siempre que fue posible y se evitó cualquier daño o perjuicio a las personas o empresas implicadas. Se tuvo compromiso con la integridad y manejo de los datos, evitando manipulación de las fuentes.

### **3.5 Cronograma de recolección de datos**

En la Tabla 1 se presenta una propuesta de cronograma para las actividades que se realizaron para la recolección de datos, estos datos darán soporte al proyecto.

**Tabla 1. Propuesta de cronograma para actividades.**

Actividad	Duración	Fechas
Diseño de instrumentos de recolección de datos	2 semanas	Mayo 2024 - junio 2024
Obtención de permisos	4 semanas	Junio 2024 - julio 2024
Aplicación de encuestas	6 semanas	Julio 2024 - agosto 2024
Realización de entrevistas	8 semanas	Agosto 2024 - septiembre 2024
Ejecución de estudios de caso	12 semanas	Septiembre 2024 - noviembre 2024

Fuente: Adaptación con base en varios autores.

**3.6 Alcance, propuesta y limitaciones de la investigación**

Con el fin de identificar y atender las áreas de oportunidad en materia de metrología, se propone llevar a cabo una evaluación en colaboración con varias empresas de nivel Tier 1 y Tier 2 ubicadas en el estado de Querétaro. El objetivo de esta evaluación es diagnosticar el estado actual y poder identificar áreas de oportunidad en temas de metrología. Para proponer alternativas y soluciones que impulsen a México a mantenerse como uno de los principales productores de automóviles a nivel mundial, considerando el impacto económico que esto conlleva para el país.

La evaluación se centrará en analizar y mejorar los procesos de metrología utilizados en la industria automotriz, con el fin de garantizar la calidad y la precisión en las mediciones. Se buscará identificar posibles deficiencias o problemas en los sistemas de gestión de las mediciones existentes, así como oportunidades para implementar nuevas tecnologías y mejores prácticas.

El resultado de esta evaluación permitirá establecer acciones correctivas y preventivas, así como la implementación de mejoras en los procesos de metrología. Esto contribuirá a fortalecer la competitividad del sector automotriz

en México, impulsando la economía y consolidando la posición del país como un líder en la producción de vehículos a nivel global.

Esta propuesta se basa en la importancia de la metrología como una herramienta fundamental para garantizar la calidad y la precisión en la industria automotriz, así como en el reconocimiento de la necesidad de mantener altos estándares de calidad y competitividad para asegurar el éxito continuo de la industria automotriz en México.

Las **limitaciones** de esta investigación incluyen la disponibilidad de información y la posible subjetividad de las opiniones de los expertos entrevistados. No obstante, se considera que la investigación ha proporcionado una valiosa contribución al conocimiento sobre la metrología y su aplicación en la industria automotriz.

Entre los principales impedimentos potenciales se identifican:

- **Disponibilidad de participantes:** La participación de empresas en la investigación puede estar sujeta a limitaciones de tiempo y recursos debido a la falta de participación de empresas en la investigación.
- **Sesgo en los datos:** Los datos obtenidos de las encuestas y entrevistas pueden estar sometidos a sesgo debido a la autoselección de los participantes o la deseabilidad social.
- **Complejidad de los estudios de caso:** Los estudios de caso pueden requerir una considerable cantidad de tiempo y recursos para su ejecución.



## 4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Se desarrolló una inmersión inicial en la problemática con el objetivo de presentar la imparcialidad respecto a la aplicación de los temas, para ello, se prepararon una serie de preguntas orientadas a obtener información adecuada sobre los temas a tratar y conocer de primera mano los elementos de interés y aplicabilidad del problema aplicadas a personas involucradas con la temática propuesta.

### 4.1 Consideraciones para la elaboración de las preguntas

Las preguntas fueron diseñadas para abordar distintos aspectos de la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana, cubriendo desde aspectos técnicos y operativos hasta estratégicos. Se tomó un enfoque multifacético para, garantizar que las preguntas fueran lo suficientemente exhaustivas y reveladoras en relación con el objetivo del proyecto. Asimismo, se estructuraron las preguntas de manera que se puedan extraer datos cuantitativos y cualitativos que alimenten tanto el análisis descriptivo como el inferencial del estudio.

El **objetivo central de la entrevista** es, generar una inmersión inicial que permita comprender la complejidad de los desafíos metrológicos en la industria automotriz en México. Esta inmersión fue dirigida a identificar áreas de mejora y a elaborar estrategias que; fortalezcan la calidad del producto y la competitividad en el mercado. Las respuestas obtenidas sirvieron como datos primarios para el análisis subsiguiente.

Las preguntas se alinean de manera específica con el objetivo del proyecto, por ejemplo:

- **Desafíos Actuales:** Preguntas como: "¿Qué desafíos metrológicos ha enfrentado su empresa en la cadena de suministro?", buscan identificar problemas concretos en la práctica actual.

- **Oportunidades de Mejora:** Preguntas como: "¿Qué oportunidades ve para la innovación en el ámbito de la metrología?", se orientan a reconocer áreas en las que la innovación podría ofrecer mejoras tangibles.
- **Estrategias Efectivas:** Preguntas como: "¿Qué pasos está tomando su organización para mejorar continuamente en la gestión metrológica?", tienen como finalidad descubrir qué acciones se están tomando y cuáles podrían proponerse para un mejor rendimiento.

#### 4.2 Encuentros con la Población

Querétaro es un núcleo industrial crucial en México, particularmente en lo que respecta a la industria automotriz. Dada la demografía industrial, se propondrían al menos 25 encuentros para una representación estadísticamente significativa, distribuidos entre; ejecutivos, gerentes de calidad, ingenieros y técnicos en metrología.

#### 4.3 Recolección de la Información

Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, en la recolección de información se realizó mediante un enfoque cualitativo y cuantitativo. Este proceso incluyó interacción directa con expertos y personal técnico, la recopilación sistemática de datos a través de instrumentos semiestructurados y la revisión de documentos clave relacionados con la gestión metrológica en la industria automotriz. Las técnicas empleadas fueron:

- Entrevistas Semiestructuradas:** Con expertos en la industria y personal técnico para obtener datos cualitativos.
- Encuestas:** Cuestionarios cerrados distribuidos entre un grupo más amplio de empleados.

- c) **Observación Directa:** Visitar fábricas y laboratorios para entender las prácticas metrológicas en sus instalaciones.
- d) **Documentación Técnica:** Análisis de sistemas de gestión de la calidad, registros metrológicos y políticas internas.
- e) **Datos Secundarios:** Informes industriales, publicaciones científicas y bases de datos estatales para obtener datos estadísticos.

#### 4.3.1 Sistematización de la Información

La información recolectada se sistematiza considerando un enfoque socio-técnico, que integra tanto los aspectos técnicos de la metrología como los aspectos sociales y organizacionales que influyen en su gestión. Esto permite un enfoque integral que contempla la interacción entre tecnología, procesos y actores humanos en el ecosistema industrial. Además, se apoya en teorías de la calidad y la competitividad para entender, cómo la gestión metrológica influye en estos aspectos críticos de la industria automotriz.

- **Almacenamiento de Datos:** Utilización de software de bases de datos para almacenar respuestas de entrevistas y encuestas.
- **Codificación y Etiquetado:** Categorización de datos según temas y subtemas utilizando software de análisis cualitativo.
- **Análisis Estadístico:** Uso de software estadístico para el análisis de datos cuantitativos (ej. Excel o Minitab).
- **Matrices de Correlación:** Para identificar relaciones entre distintas variables.

**Categorías de Interés:**

- **Calidad del Producto:** Alineación con estándares y criterios metrológicos.
- **Cadena de Suministro:** Desafíos y controles metrológicos (tolerancias, especificaciones del proceso).
- **Innovación Tecnológica:** Adopción de nuevas tecnologías en la metrología.
- **Formación y Competencia:** Nivel de formación en metrología.
- **Gobernanza y Regulación:** Cumplimiento de estándares nacionales e internacionales.

#### 4.4 Entrevistas

##### 4.4.1 Preguntas para la entrevista

De un compendio de 50 preguntas propuestas, este, se envió a los encuestados, para que seleccionaran las 15 que, con base al proyecto, consideraran pertinentes, estas se presentan a continuación:

1. ¿Cuál es el papel de la metrología en la industria automotriz mexicana actualmente?
2. ¿Qué sistemas metrológicos se emplean comúnmente en su organización?
3. ¿Qué desafíos metrológicos ha enfrentado su empresa en la cadena de suministro?
4. ¿Cómo se alinea la metrología con los objetivos de calidad y rendimiento en su organización?

5. ¿Cuáles son las certificaciones metrológicas que considera esenciales para operar en la industria?
6. ¿Qué medidas están tomando para mitigar errores y variaciones en las mediciones?
7. ¿Cuál es el impacto económico de una mala gestión metrológica en su empresa?
8. ¿Qué oportunidades ve para la innovación en el ámbito de la metrología?
9. ¿Cómo influye la normativa internacional en la metrología de la industria automotriz en México?
10. ¿Cuál es la importancia de la calibración y qué frecuencia se sigue?
11. ¿Cómo integran las nuevas tecnologías como la IoT o la IA en su estrategia metrológica?
12. ¿Existe algún programa de formación continua para el personal en temas metrológicos?
13. ¿Cuál es la relación entre la metrología y la sostenibilidad en su organización?
14. ¿Cómo se lleva a cabo la trazabilidad metrológica?
15. ¿Qué pasos está tomando su organización para mejorar continuamente en la gestión metrológica?

#### 4.6 Encuestas

La base de la evaluación de la conformidad y el aseguramiento de la calidad de los resultados se fundamenta en sistemas de gestión, tanto meteorológicos como de calidad. Es importante destacar que la implementación de estos sistemas de gestión es de carácter voluntario (ISO, 2018).

Con base en lo anterior, se espera que la implementación de un Sistema de Gestión de las Mediciones (SGM) fundamentado en un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) sienta las bases para una correcta implementación de la metrología y para garantizar la calidad. Esto puede impulsar la economía al tomar en cuenta elementos de selección de un automóvil por parte de los usuarios, como la calidad del vehículo en general y la calidad de las relaciones establecidas con él (Díaz y García, 2016).

En este contexto, el **objetivo** (de la aplicación de la encuesta), y de este acercamiento fue analizar en profundidad los desafíos actuales en la gestión de la metrología dentro de la industria automotriz mexicana, para posteriormente proponer estrategias efectivas para mejorar la calidad de los productos y aumentar la competitividad en el mercado global. Mediante una evaluación detallada de las prácticas metrológicas, las barreras existentes y las oportunidades de mejora, este estudio busca reflejar la situación actual en las empresas automotrices mexicanas y las limitantes para cumplir con los estándares internacionales y fortalecer su posición competitiva.

Cada industria enfrenta desafíos específicos en cuanto a su desempeño y la obtención de productos que cumplan con los criterios de calidad requeridos. Conscientes de esta realidad, se ha desarrollado una herramienta que busca proporcionar la máxima cantidad de información sobre las necesidades y áreas de oportunidad de las empresas relacionadas con la fabricación y proveeduría de autopartes.

Basados en una experiencia de seis años brindando apoyo directo para resolver problemáticas en la industria, a través de una perspectiva académica, se optó por desarrollar un cuestionario. Este cuestionario se enfoca en identificar las situaciones particulares que pueden manifestarse en un panorama general, centrándose específicamente en conceptos metrológicos.

El cuestionario se diseñó utilizando la herramienta de formularios de Google y se envió a diversas empresas y laboratorios de calibración relacionados con la industria automotriz. El personal encargado de responder el cuestionario está involucrado en actividades de calidad y/o medición.

Primeramente, se propuso un banco de 25 preguntas, solicitando a los encuestados seleccionar las que para ellos tenían mayor importancia e impacto, estas fueron las preguntas propuestas:

**1. ¿En tu empresa se aplican mediciones?**

- ☐ Sí
- ☐ No

**2. ¿Qué magnitudes se miden? (Marca todas las que apliquen)**

- ☐ Longitud
- ☐ Masa
- ☐ Tiempo
- ☐ Temperatura
- ☐ Presión
- ☐ Otras: \_\_\_\_\_

**3. ¿Qué problemas son los más comunes en el caso de metrología en tu empresa?**

- ☐ Falta de personal capacitado
- ☐ Equipos de medición inadecuados
- ☐ Errores en las mediciones

- Problemas de calibración
- Interferencia ambiental
- Otros: \_\_\_\_\_

**4. ¿Considera otras áreas de oportunidad en el tema de metrología?**

- Sí
- No

**5. Si respondió "Sí" en la pregunta anterior, por favor describa las áreas de oportunidad que ha identificado:**

- \_\_\_\_\_

**6. ¿Le piden auditorías de algún organismo?**

- Sí
- No

**7. Si respondió "Sí" en la pregunta anterior, ¿Cuál organismo solicita las auditorías?**

- \_\_\_\_\_

**8. ¿Con qué frecuencia se realizan las mediciones en su empresa?**

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Anualmente
- Otras: \_\_\_\_\_

**9. ¿Qué tipo de equipos de medición se utilizan en su empresa?**

- Equipos manuales
- Equipos digitales
- Sistemas automatizados



- Otros: \_\_\_\_\_

**10. ¿Qué tan importante es la metrología en la producción de su empresa?**

- Muy importante
- Importante
- Moderadamente importante
- Poco importante
- Nada importante

**11. ¿Considera que la capacitación de su personal en metrología es adecuada?**

- Sí
- No

**12. Si respondió "No" en la pregunta anterior, ¿qué áreas de capacitación considera necesarias?**

- \_\_\_\_\_

**13. ¿Qué nivel de precisión se requiere en las mediciones realizadas en su empresa?**

- Alta precisión
- Precisión moderada
- Baja precisión
- No se requiere precisión específica

**14. ¿Qué tan frecuentes son los errores de medición en su empresa?**

- Muy frecuentes
- Frecuentes
- Ocasionales

- Raros
- Nunca ocurren

**15. ¿Qué impacto tienen los errores de medición en la calidad de los productos?**

- Alto impacto
- Impacto moderado
- Bajo impacto
- Sin impacto

**16. ¿Utiliza su empresa tecnologías avanzadas para mejorar la precisión de las mediciones?**

- Sí
- No

**13. Si respondió "Sí" en la pregunta anterior, ¿qué tecnologías se utilizan?**

- \_\_\_\_\_

**17. ¿Con qué frecuencia se calibra el equipo de medición en su empresa?**

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Anualmente
- Según necesidad
- Otros: \_\_\_\_\_

**19. ¿Cuál es el principal desafío en la gestión de la metrología en su empresa?**

- Capacitación del personal
- Mantenimiento de equipos
- Costos de calibración
- Cumplimiento de normativas
- Otros: \_\_\_\_\_

**20. ¿Qué medidas toma su empresa para asegurar la precisión de las mediciones?**

- Capacitación continua
- Mantenimiento regular de equipos
- Auditorías internas
- Otros: \_\_\_\_\_

**21. ¿Considera que su empresa está al día con las normativas de metrología?**

- Sí
- No

**22. ¿Qué tan satisfecho está con los sistemas de gestión de calidad en su empresa?**

- Muy satisfecho
- Satisfecho
- Neutral
- Insatisfecho
- Muy insatisfecho

**23. ¿Cuál es la percepción de sus clientes sobre la calidad de los productos de su empresa?**

- Muy buena
- Buena
- Neutral

- Mala
- Muy mala

**24. ¿Existen incentivos en su empresa para mejorar las prácticas de metrología?**

- Sí
- No

**25. ¿Considera que la metrología 4.0 (automatización y digitalización) podría beneficiar a su empresa?**

- Sí
- No

De esta propuesta de preguntas, las que obtuvieron mayor votación, fueron las primeras siete, (el orden se colocó de manera decreciente respecto al número de votos).

El objetivo de este enfoque fue recopilar información precisa y detallada sobre las áreas de oportunidad específicas relacionadas con la metrología en el sector automotriz. Esta información será de gran utilidad para identificar las necesidades particulares de las empresas y proporcionar recomendaciones y soluciones personalizadas que impulsen la mejora continua y la competitividad en la industria automotriz.

El número de muestra se calculó mediante la fórmula (ec. 1):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \text{ (ec. 1)}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra buscado

$N$  = Tamaño de la población universo

$Z_{\alpha}^2$  = Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q = (1-p) = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Para el presente proyecto, de acuerdo con el sitio [www.somosindustria.com](http://www.somosindustria.com) (Somos Industria, 2024), en Querétaro se localizan 350 empresas proveedoras automotrices. Si se considera un nivel de confianza de 95%, al aplicar la fórmula se obtiene un n=49. En el presente se obtuvo un número de encuestados de 55.

Para poder proponer el contenido pertinente en el Manual de Buenas Prácticas se comenzó con preguntar a las personas entrevistadas anteriormente sobre los principales temas de impacto en los que se ha detectado la mayor incidencia de problemáticas respecto a la gestión automotriz (partiendo de los resultados de la primera encuesta que se realizó), encontrando sé las que se mencionan a continuación.

- **Encuestas de Satisfacción del Cliente:** Incluye resultados de encuestas de satisfacción del cliente en la industria automotriz mexicana que resaltan la importancia de la calidad en los productos y cómo la metrología impacta directamente en la percepción del cliente sobre los vehículos.
- **Datos de Rechazos y Retrabajos:** Proporciona datos concretos sobre los costos relacionados con rechazos y retrabajos debido a problemas de calidad que podrían haber sido detectados y corregidos a través de una mejor gestión de la metrología.
- **Estadísticas de Cumplimiento Normativo:** Presenta estadísticas sobre los niveles de cumplimiento de normas y regulaciones internacionales en la industria automotriz mexicana, resaltando cómo la metrología efectiva contribuye a cumplir con estos requisitos.

- **Tasas de Errores Pre y Post Implementación de Mejoras:** Compara las tasas de errores antes y después de estas implementaciones para mostrar su impacto.
- **Datos de Ahorro de Costos y Tiempo:** Puede proporcionar datos específicos sobre ahorros de costos y tiempos logrados gracias a la automatización de procesos de medición y la mejora de la precisión en la metrología.
- **Encuestas de Profesionales de Metrología:** Realizar encuestas a profesionales de metrología en la industria automotriz mexicana para obtener información sobre sus desafíos, necesidades de formación y opiniones sobre las oportunidades de mejora.
- **Comparación Internacional:** En caso de tener acceso a datos comparativos de la metrología en la industria automotriz entre México y otros países, se pueden usar para resaltar las áreas en las que México podría mejorar y cómo eso impacta en su competitividad.
- **Estudios de Caso de Innovación:** Presenta estudios de caso de empresas automotrices mexicanas que han implementado innovaciones en la metrología, detallando cómo estas innovaciones han mejorado la calidad, eficiencia y competitividad.
- **Cifras de Inversión en Formación:** Si se pueden obtener datos sobre la inversión en formación y capacitación en metrología en la industria automotriz, esto puede respaldar la importancia de la capacitación del personal.

- **Crecimiento de la Industria Automotriz:** Si hay datos disponibles sobre el crecimiento de la industria automotriz mexicana en términos de producción, exportación, empleo, etc., puedes vincularlo a la necesidad de una metrología efectiva para mantener este crecimiento sostenible.

Una vez identificados los temas del contenido se procedió a proponer diferentes herramientas para profundizar en la información (también con ayuda de los encuestados), a continuación, se presenta las propuestas de encuestas que para el proyecto se consideraron pertinentes.

Para analizar los resultados de la encuesta y responder al objetivo del proyecto (**optimizar la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana**), se pueden aplicar los siguientes métodos estadísticos, agrupados por enfoque:

#### **Análisis Descriptivo** *(Para resumir y visualizar tendencias generales)*

- **Medidas de tendencia central:**
  - Media, mediana y moda de cada pregunta (ej: "¿El vehículo cumple con expectativas de calidad?").
  - Ejemplo: Si la media de **P6** (*precisión de mediciones*) es baja ( $<3$ ), sugiere problemas en gestión metrológica.
- **Medidas de dispersión:**
  - Desviación estándar y rango para identificar consenso/discrepancia en respuestas (ej: Alta desviación en **P5** indica experiencias muy desiguales con fallos).
- **Visualizaciones:**
  - Gráficos de barras (puntuaciones por pregunta).
  - Boxplots (distribución de respuestas por ítem).

#### **Análisis de Fiabilidad y Consistencia** *(Para validar la encuesta)*

- **Alfa de Cronbach:**

- Evalúa la consistencia interna entre preguntas relacionadas (ej: **P1**, **P2**, **P3**, **P9** sobre calidad general).
- Si  $\alpha > 0.7$ , la encuesta es fiable.

### **Análisis Inferencial** *(Para probar hipótesis y relaciones entre variables)*

- **Pruebas de correlación:**

- **Pearson/Spearman:** Relacionar preguntas clave (ej: ¿**P6** (precisión mediciones) correlaciona con **P9** (satisfacción global)?).
- Si hay correlación alta, mejorar metrología impactaría directamente en satisfacción.

- **Pruebas de diferencias:**

- **t-test o ANOVA:** Comparar grupos (ej: ¿Quiénes reportan problemas (**P5=4-5**) dan peor puntuación en **P7** (valor de reventa)?).

### **Análisis Multivariado** *(Para identificar patrones complejos)*

- **Análisis de Componentes Principales (PCA):**

- Reducir dimensiones y agrupar preguntas relacionadas (ej: Un componente "Calidad percibida" podría incluir **P1**, **P2**, **P3**, **P9**).

- **Análisis de Clústeres:**

- Segmentar clientes por patrones de respuestas (ej: Grupo "Insatisfechos con soporte postventa" = baja puntuación en **P8**).

### **Análisis Cualitativo de Puntos Críticos** *(Para priorizar acciones)*

- **Índice de Insatisfacción:**

- Porcentaje de respuestas 1-2 en cada pregunta (ej: Si **P5** tiene 40% respuestas 4-5, indica problemas frecuentes de calidad).



- **Brechas de mejora:**
  - Comparar medias más bajas (ej: Si **P4** (tecnología intuitiva) tiene media=2.5, requiere rediseño).

### **Criterios Estadísticos**

Se aplicaron:

1. **Análisis de Correlación (Pearson/Spearman)** → Para medir relaciones entre variables clave.
2. **Prueba t de Student** → Para comparar grupos (ej: clientes con/sin problemas de calidad).
3. **Regresión Lineal** → Para predecir el impacto de la metrología (P6) en la satisfacción (P9).
4. **Análisis de Componentes Principales (PCA)** → Para reducir dimensiones y agrupar variables relacionadas.

#### **4.6.1 Encuesta de Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana**

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Por favor, califique cada afirmación del uno al cinco, donde uno representa "**Totalmente en desacuerdo**" y cinco representa "**Totalmente de acuerdo**".

1. El vehículo que adquirí cumple con mis expectativas de calidad.
  - 1 2 3 4 5
2. Los componentes del vehículo funcionan de manera confiable.
  - 1 2 3 4 5
3. Siento que el vehículo es seguro en términos de diseño y fabricación.
  - 1 2 3 4 5
4. Considero que la tecnología integrada en el vehículo es intuitiva y eficiente.
  - 1 2 3 4 5

5. He experimentado problemas de calidad que requerían visitas frecuentes al taller.
  - 1 2 3 4 5
6. La precisión de las mediciones y calibraciones en mi vehículo es evidente en su rendimiento.
  - 1 2 3 4 5
7. Creo que la calidad del vehículo impacta en su valor de reventa.
  - 1 2 3 4 5
8. La atención al cliente y el soporte postventa satisfacen mis necesidades.
  - 1 2 3 4 5
9. En general, estoy satisfecho con la calidad del vehículo que adquirí.
  - 1 2 3 4 5

#### **4.6.2 Encuesta de Profesionales de Metrología (Cualitativa)**

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Proporcione respuestas detalladas a las siguientes preguntas. Sus respuestas serán de gran valor para comprender los desafíos y oportunidades en la gestión de la metrología en la industria automotriz mexicana.

1. ¿Cuáles son los desafíos más significativos que enfrenta en su rol de profesional de metrología en la industria automotriz?
2. ¿Cómo considera que la metrología impacta en la calidad de los productos automotrices?
3. ¿Qué áreas de mejora ve en términos de capacitación y formación para profesionales de metrología?
4. ¿Cuál es su opinión sobre la adopción de tecnologías de metrología 4.0 en la industria automotriz?

5. ¿Cómo evalúa la integración de la metrología en los procesos de producción? ¿Ve oportunidades de mejora?
6. ¿Qué dificultades ha experimentado en el cumplimiento de normas y regulaciones en la metrología automotriz?
7. ¿Cómo considera que la gestión del conocimiento impacta en la calidad de la metrología en la industria automotriz?
8. ¿Qué recomendaciones tiene para mejorar la gestión de datos de medición en la industria?
9. ¿Cuáles son las principales innovaciones en tecnologías de medición que ha experimentado o considera relevantes?
10. ¿Qué impacto cree que tienen las innovaciones en metrología en la competitividad de la industria automotriz?
11. ¿Cómo percibe la relación entre inversión en metrología y la mejora de la competitividad de la industria?
12. ¿Qué sugerencias tiene para fomentar la colaboración y el intercambio de conocimiento en metrología en la industria automotriz?
13. ¿En qué áreas específicas de la gestión de la metrología considera que se pueden lograr mayores eficiencias?
14. ¿Cuál es su opinión sobre la relación entre la automatización y la calidad de las mediciones en la industria automotriz?

15. ¿Qué estrategias considera esenciales para asegurar que la metrología siga siendo relevante en un entorno tecnológico en constante cambio?

#### 4.6.3 Encuesta de Capacitación y Formación para Profesionales de Metrología (Cuantitativa)

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Por favor, califique cada afirmación del uno al cinco, donde uno representa **"Totalmente en desacuerdo"** y cinco representa **"Totalmente de acuerdo"**.

1. ¿La capacitación y formación continuas son esenciales para mantenerme actualizado en las últimas técnicas de metrología?
2. ¿Existe una adecuada disponibilidad de programas de capacitación en metrología en la industria automotriz?
3. ¿La formación que he recibido me ha preparado para enfrentar los desafíos de la metrología en la industria automotriz?
4. ¿La inversión en formación de profesionales de metrología es un factor importante para mejorar la calidad de los productos?
5. ¿La capacitación en tecnologías de metrología 4.0 es fundamental para abordar los desafíos actuales?
6. ¿Considero que la formación interdisciplinaria (automotriz y metrología) es beneficiosa para mi rol?
7. ¿El acceso a recursos de aprendizaje en línea es valioso para mi desarrollo profesional en metrología?
8. ¿La colaboración con expertos en metrología y calidad mejora mi capacidad para enfrentar los desafíos?

#### 4.6.4 Encuesta sobre la Integración de la Metrología en los Procesos de Producción (Cualitativa)

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Proporcione respuestas detalladas a las siguientes preguntas. Sus respuestas nos ayudarán a comprender cómo se integra la metrología en los procesos de producción y las posibles áreas de mejora.

1. ¿Cómo se asegura actualmente la integración efectiva de la metrología en los procesos de producción?
2. ¿Cuáles son los obstáculos más comunes que encuentra al intentar integrar la metrología en la producción?
3. ¿Considera que la metrología está involucrada en todas las etapas del proceso de producción? ¿Por qué sí o por qué no?
4. ¿Cómo podría mejorar la colaboración entre los equipos de producción y metrología para optimizar los procesos?
5. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de integrar la metrología en tiempo real en la producción?

#### 4.6.5 Encuesta sobre Innovaciones en Tecnologías de Medición (Cuantitativa)

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Por favor, califique cada afirmación del uno al cinco, donde uno representa "**Totalmente en desacuerdo**" y cinco representa "**Totalmente de acuerdo**".

1. ¿La adopción de tecnologías de medición innovadoras ha mejorado la precisión de las mediciones?
2. ¿Las innovaciones en tecnologías de medición han contribuido a reducir los tiempos de medición?
3. ¿La automatización de la metrología ha demostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de los productos?

4. ¿Las tecnologías de medición 4.0 han incrementado la eficiencia en la detección de problemas de calidad?
5. ¿La inversión en innovaciones de medición ha demostrado un retorno positivo en términos de competitividad?

#### **4.6.6 Encuesta sobre la Gestión del Conocimiento en Metrología (Cualitativa)**

Para esta encuesta se presentan las siguientes instrucciones: Proporcione respuestas detalladas a las siguientes preguntas. Sus respuestas nos ayudarán a comprender la importancia y desafíos de la gestión del conocimiento en metrología.

1. ¿Cómo ha experimentado el impacto de la gestión del conocimiento en la calidad de la metrología?
2. ¿Qué estrategias utiliza para compartir y transferir el conocimiento en su equipo de trabajo?
3. ¿Qué obstáculos encuentra al intentar implementar una gestión del conocimiento efectiva en metrología?
4. ¿Cómo podría mejorar la colaboración y el intercambio de conocimiento entre diferentes equipos de metrología?
5. ¿Cuáles son las ventajas de tener una base sólida de conocimiento en metrología para enfrentar desafíos técnicos?

## 5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

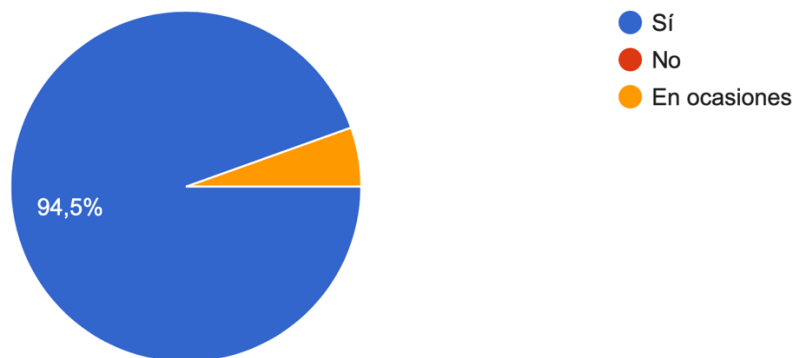
A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas. En la primera pregunta mostrada en la Figura 6, se buscaba conocer la aplicación del proceso de medición como premisa para comprender la importancia de la encuesta. El propósito de esta pregunta era identificar si en la empresa se están realizando mediciones en cualquier área.

Los resultados obtenidos indicaron lo siguiente:

- El **94.5%** de las empresas encuestadas afirmaron que sí aplican mediciones en sus procesos.
- El **5.5%** de las empresas indicaron que solo en ocasiones aplican mediciones en sus actividades.

Estos resultados revelan que la mayoría de las empresas encuestadas reconocen la importancia de las mediciones en sus operaciones y la toma de decisiones. Sin embargo, es necesario analizar más a fondo los detalles de las mediciones realizadas y evaluar su adecuación y precisión para garantizar la calidad y la competitividad en el sector automotriz.

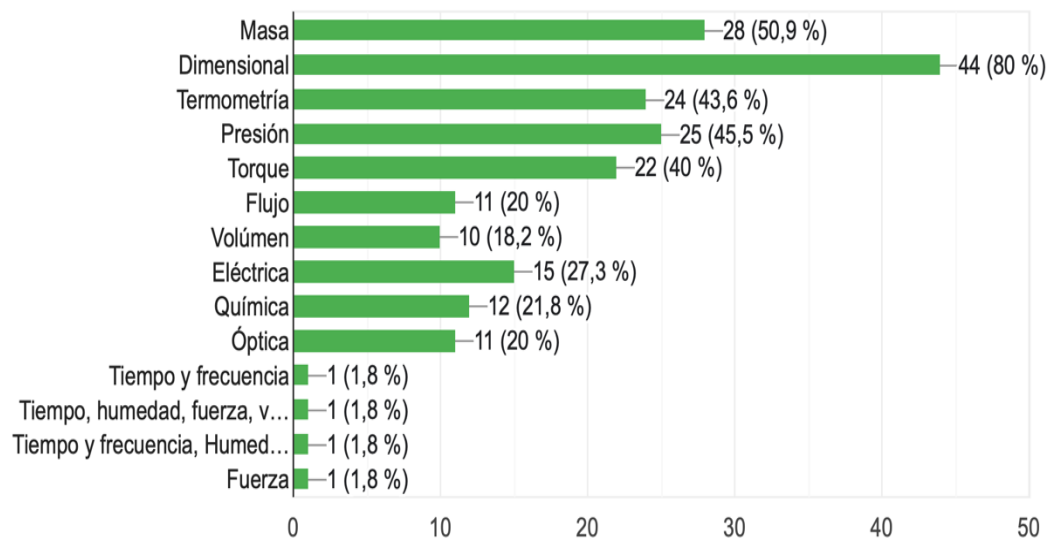
**Figura 6. Primera pregunta de formulario: ¿En tu empresa aplican mediciones?**



Fuente: elaboración propia

Para la siguiente pregunta de la Figura 7, se buscaba identificar las magnitudes que tienen mayor implicación en las mediciones realizadas por las empresas encuestadas. Esto permitió comprender qué variables son consideradas más relevantes en el ámbito de la metrología en el sector automotriz.

**Figura 7. Tercera pregunta de formulario: ¿Qué magnitudes se miden?**



Fuente: elaboración propia

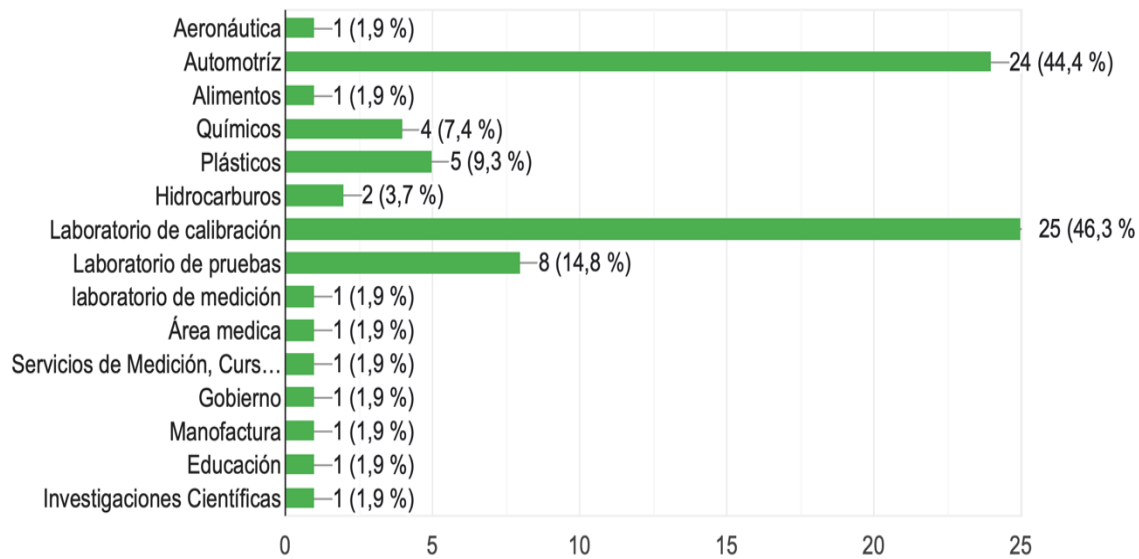
Estos resultados indican que la longitud es la magnitud más medida en las empresas del sector automotriz, seguida de la masa. También se observa una menor implicación del tiempo, la frecuencia y la humedad relativa.

Estos hallazgos pueden ser útiles para enfocar los esfuerzos y recursos en el desarrollo y la mejora de las técnicas de medición y calibración específicas para las magnitudes más relevantes en la industria automotriz. Además, estos resultados podrían influir en la identificación de áreas de oportunidad y en la implementación de acciones correctivas y preventivas para garantizar la calidad y la precisión en las mediciones relacionadas con estas magnitudes.



Posteriormente, se realizó una pregunta sobre el tipo de empresa en la que el personal encuestado presta sus servicios mostrada en la Figura 8. El objetivo de esta pregunta fue verificar la orientación de la encuesta y asegurarse de que se estaban recopilando datos relevantes de empresas relacionadas con el sector automotriz.

**Figura 8. Segunda pregunta de formulario: Indica el tipo de empresa en el que laboras.**



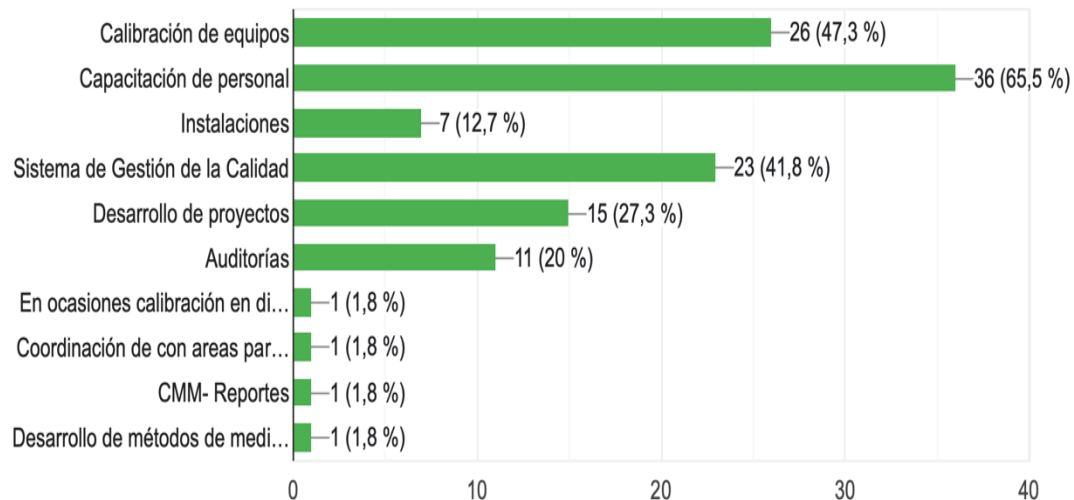
Fuente: elaboración propia

Estos datos confirman que la encuesta está enfocada en el público objetivo adecuado y que los resultados obtenidos reflejan las perspectivas de las empresas directamente involucradas en la industria automotriz. Esta información es crucial para comprender las necesidades específicas y las áreas de oportunidad en términos de metrología en el sector automotriz y para proponer soluciones y recomendaciones adecuadas.

Posteriormente, se realizó una pregunta sobre los problemas con mayor ocurrencia en las empresas mostrada en la Figura 9. Esta pregunta tenía como

objetivo identificar los desafíos más comunes que enfrentan las empresas en relación con las mediciones y las magnitudes medidas en el sector automotriz.

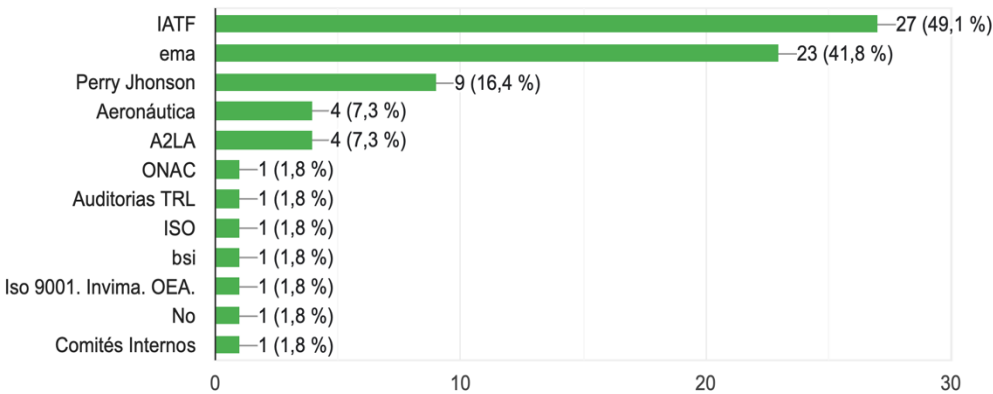
**Figura 9. Cuarta pregunta de formulario: ¿Qué problemas son los más comunes en el caso de metrología?**



Fuente: elaboración propia

Una de las actividades comunes en las diferentes industrias es la realización de auditorías, ya sean realizadas por terceros o de manera interna. Estas auditorías tienen diferentes objetivos, como ser aceptados como proveedores o lograr certificaciones o acreditaciones por parte de organismos externos. La siguiente gráfica mostrada en la Figura 10, se observan los tipos de cumplimiento que las empresas deben satisfacer para cumplir con los requisitos y estándares establecidos.

**Figura 10. Quinta pregunta del formulario: ¿Le piden auditorías de algún organismo? ¿Cuál?**



Fuente: elaboración propia

Estos hallazgos resaltan la necesidad de que las empresas del sector automotriz se enfoquen en garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en estos diferentes ámbitos. Esto puede implicar la implementación de sistemas de gestión adecuados, la documentación de procesos y procedimientos, y la mejora continua de las prácticas operativas para cumplir con los estándares y regulaciones aplicables.

Con lo anterior se realizará un análisis para establecer las líneas de acción y el contenido del manual de buenas prácticas propuesto. Como parte de este proceso, se llevaron a cabo entrevistas con actores clave del sector, con el fin de obtener perspectivas directas que enriquecen el diagnóstico y respaldaran las propuestas.

## 5.1 Entrevistas

### 5.1.1 Entrevista 1: Director de calidad

**Entrevistado:** José Juan Moreno Perrusquía j.moreno@ronalgroup.mx

**Empresa:** Ronal, Parque Querétaro

**Giro:** Proveedor de autopartes.

**Nota de Bitácora:** El director ofreció una visión estratégica de la importancia de la metrología en la calidad del producto.

1. **Pregunta:** ¿Cuál es el papel de la metrología en la industria automotriz mexicana actualmente?

- **Respuesta:** La metrología es fundamental para mantener la integridad y la excelencia en la calidad del producto. No es solo una cuestión de cumplimiento, sino un factor crítico para la competitividad global.

2. **Pregunta:** ¿Cuáles son las certificaciones metrológicas que considera esenciales para operar en la industria?

- **Respuesta:** Certificaciones como ISO/IEC 17025 son esenciales, pero también estamos viendo un creciente interés en estándares más específicos del sector, como VDA 5 para la industria automotriz.

3. **Pregunta:** ¿Cuál es el impacto económico de una mala gestión metrológica en su empresa?

- **Respuesta:** Una mala gestión puede llevar a defectos en el producto, retrabajos y, en última instancia, pérdida de confianza del cliente, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas.

4. **Pregunta:** ¿Qué sistemas metrológicos se emplean comúnmente en su organización?

- **Respuesta:** Utilizamos una amplia gama de sistemas, desde micrómetros y calibradores hasta máquinas de medición por coordenadas (CMM) y sistemas ópticos avanzados para la inspección en 3D.

5. **Pregunta:** ¿Qué desafíos metrológicos ha enfrentado su empresa en la cadena de suministro?

- **Respuesta:** Los principales desafíos radican en la variabilidad de las piezas y componentes que recibimos de los proveedores. Esto

exige un riguroso control de calidad y una fuerte correlación metrológica para garantizar la coherencia en la producción.

6. **Pregunta:** ¿Cómo se alinea la metrología con los objetivos de calidad y rendimiento en su organización?

- **Respuesta:** La metrología es una de las columnas vertebrales en nuestro sistema de gestión de calidad. Establecemos KPIs específicos relacionados con la precisión, la reproducibilidad y la incertidumbre de las mediciones, lo cual está estrechamente ligado a nuestros objetivos globales de calidad.

7. **Pregunta:** ¿Qué medidas están tomando para mitigar errores y variaciones en las mediciones?

- **Respuesta:** Implementamos rigurosos protocolos de calibración y mantenimiento preventivo. También estamos explorando el uso de tecnologías de aprendizaje automático para detectar patrones de error y hacer ajustes en tiempo real.

8. **Pregunta:** ¿Qué oportunidades ve para la innovación en el ámbito de la metrología?

- **Respuesta:** Las oportunidades están en la automatización y la digitalización de los procesos metrológicos, lo que permitirá mediciones más rápidas y fiables, además de ofrecer un mayor volumen de datos para análisis estadísticos.

9. **Pregunta:** ¿Cómo influye la normativa internacional en la metrología de la industria automotriz en México?

- **Respuesta:** La normativa internacional establece un piso mínimo de calidad y precisión, que es crucial para competir en mercados globales. Por tanto, seguimos estándares como la ISO y regulaciones específicas del sector para asegurar nuestra conformidad.

10. **Pregunta:** ¿Cuál es la importancia de la calibración y qué frecuencia se sigue?

- **Respuesta:** La calibración es vital. Sin ella, las mediciones pierden su fiabilidad. Dependiendo del instrumento y su aplicación, la calibración se lleva a cabo en intervalos que van desde mensuales hasta anuales.

11. **Pregunta:** ¿Cómo integran las nuevas tecnologías como la IoT o la IA en su estrategia metrológica?

- **Respuesta:** Estamos en las fases preliminares de incorporar la IoT para el monitoreo en tiempo real y la IA para el análisis predictivo, con el fin de optimizar la eficiencia y reducir errores.

12. **Pregunta:** ¿Existe algún programa de formación continua para el personal en temas metrológicos?

- **Respuesta:** Sí, contamos con un programa de desarrollo profesional que incluye formación continua en metrología, con certificaciones y actualizaciones periódicas.

13. **Pregunta:** ¿Cuál es la relación entre la metrología y la sostenibilidad en su organización?

- **Respuesta:** Una buena gestión metrológica contribuye a minimizar el desperdicio y mejora la eficiencia de los recursos, lo cual está alineado con nuestros objetivos de sostenibilidad.

14. **Pregunta:** ¿Cómo se lleva a cabo la trazabilidad metrológica?

- **Respuesta:** Utilizamos sistemas de gestión de datos para registrar todas las mediciones y calibraciones. Cada instrumento tiene un historial que garantiza la trazabilidad completa.

15. **Pregunta:** ¿Qué pasos está tomando su organización para mejorar continuamente en la gestión metrológica?

- **Respuesta:** Además de invertir en nuevas tecnologías y formación, estamos revisando constantemente nuestros procesos para identificar áreas de mejora y ajustar nuestras estrategias acordes a las necesidades del mercado y las expectativas de calidad.

### 5.1.2 Entrevista 2: Ingeniero de Medición

**Entrevistado:** Josué Guerrero Bautista [josue.bautista@avgauge.com](mailto:josue.bautista@avgauge.com)

**Empresa:** AV. Gauge.

**Giro:** Desarrollo de dispositivos de medición y sujeción.

**Nota de Bitácora:** El ingeniero aportó detalles técnicos sobre los desafíos metrológicos en la producción.

1. **Pregunta:** ¿Qué sistemas metrológicos se emplean comúnmente en su organización?

- **Respuesta:** Utilizamos una variedad de sistemas, desde calibradores manuales hasta sistemas ópticos de medición tridimensional (CMM) para tareas más complejas.

2. **Pregunta:** ¿Cuál es la importancia de la calibración y qué frecuencia se sigue?

- **Respuesta:** La calibración es vital para asegurar que nuestras mediciones sean precisas y confiables. La frecuencia de la calibración varía según el equipo y su aplicación, pero generalmente es anual o semestral.

3. **Pregunta:** ¿Cómo integran las nuevas tecnologías como la IoT o la IA en su estrategia metrológica?

- **Respuesta:** Estamos en las primeras etapas de la incorporación de la IoT para monitoreo en tiempo real y la IA para análisis predictivo, con el objetivo de minimizar errores y mejorar la eficiencia.

4. **Pregunta:** ¿Cómo se determina la frecuencia de calibración para diferentes tipos de equipos de medición?

- **Respuesta:** La frecuencia de calibración se determina según las especificaciones del fabricante, la frecuencia de uso y la criticidad del instrumento. Equipos críticos pueden requerir calibraciones más frecuentes.

5. **Pregunta:** En términos de precisión, ¿cómo manejan la variabilidad inherente en los instrumentos de medición?

- **Respuesta:** Implementamos estudios de capacidad del proceso para comprender y reducir la variabilidad. Además, realizamos ajustes periódicos y controles estadísticos para garantizar la precisión.

6. **Pregunta:** ¿Cómo se aborda la capacitación del personal en el uso y mantenimiento de equipos de medición?

- **Respuesta:** Tenemos un programa de formación estructurado que abarca desde conceptos básicos de metrología hasta el manejo avanzado de equipos. La capacitación es continua y adaptada a los avances tecnológicos.

7. **Pregunta:** ¿Cuál es el papel de la metrología en el proceso de mejora continua en su organización?

- **Respuesta:** La metrología es esencial para la mejora continua. Los datos metrológicos alimentan nuestras iniciativas de mejora, ya que proporcionan una visión precisa del rendimiento del proceso.

8. **Pregunta:** ¿Cómo evalúan la eficacia de los procesos de medición en términos de cumplimiento de estándares y requisitos de calidad?

- **Respuesta:** Realizamos auditorías internas y externas de procesos de medición, utilizando estándares reconocidos. También realizamos análisis estadísticos para evaluar la variabilidad y la precisión.

9. **Pregunta:** ¿Han experimentado con tecnologías emergentes, como la metrología sin contacto? En caso afirmativo, ¿cómo ha sido la integración?

- **Respuesta:** Sí, hemos implementado tecnologías sin contacto para ciertas aplicaciones. La integración ha sido exitosa,



pero implica desafíos en términos de calibración y validación de la nueva tecnología.

10. **Pregunta:** ¿Cómo gestionan la trazabilidad en entornos de producción de alta velocidad?

- **Respuesta:** Utilizamos sistemas automatizados de adquisición de datos que garantizan la trazabilidad en tiempo real. La velocidad no compromete la integridad de las mediciones gracias a estos sistemas.

11. **Pregunta:** En el contexto de la innovación tecnológica, ¿cómo evalúan y adoptan nuevas herramientas y técnicas en metrología?

- **Respuesta:** Tenemos un equipo dedicado a evaluar nuevas tecnologías. La adopción se basa en pruebas piloto y evaluaciones de impacto en la calidad y eficiencia.

12. **Pregunta:** ¿Cómo gestionan la seguridad de los datos metrológicos, especialmente en un entorno cada vez más conectado?

- **Respuesta:** La seguridad es una prioridad. Utilizamos protocolos de seguridad cibernética, cifrado de datos y acceso restringido para proteger la integridad y confidencialidad de los datos metrológicos.

### 5.1.3 Entrevista 3: Responsable de Cadena de suministro

**Entrevistado:** Gerardo Mata Olvera [mata.gerardo@valeo.com](mailto:mata.gerardo@valeo.com)

**Empresa:** Valeo

**Giro:** Proveedor de autopartes

**Nota de Bitácora:** El entrevistado brindó información sobre los desafíos en la cadena de suministro y la gestión metrológica.

1. **Pregunta:** ¿Qué desafíos metrológicos ha enfrentado su empresa en la cadena de suministro?

- **Respuesta:** Uno de los principales desafíos es la variabilidad en la calidad de los componentes que recibimos de diferentes proveedores. Esto requiere una gestión metrológica más estricta para garantizar la coherencia del producto final.

2. **Pregunta:** ¿Cómo se lleva a cabo la trazabilidad metrológica?

- **Respuesta:** Utilizamos sistemas de gestión de la información para registrar todas las mediciones y calibraciones, asegurando que la trazabilidad se mantenga a lo largo de toda la cadena de suministro.

3. **Pregunta:** ¿Qué pasos está tomando su organización para mejorar continuamente en la gestión metrológica?

- **Respuesta:** Estamos invirtiendo en formación y en la modernización de nuestros equipos de medición. Además, estamos explorando alianzas estratégicas con expertos en metrología para mantenernos a la vanguardia.

4. **Pregunta:** En términos de gestión de riesgos, ¿cómo evalúan y mitigan los riesgos relacionados con la variabilidad en las mediciones de los componentes?

- **Respuesta:** Realizamos evaluaciones de riesgos en colaboración con el equipo de calidad. La mitigación implica, a menudo, acuerdos claros con proveedores sobre estándares metrológicos y procesos de inspección.

5. **Pregunta:** ¿Cómo impacta la gestión metrológica en los plazos de entrega y la eficiencia general de la cadena de suministro?

- **Respuesta:** Una gestión metrológica eficiente acelera los plazos al reducir la necesidad de retrabajos. Sin embargo, la falta de alineación en las mediciones puede causar retrasos, por lo que buscamos un equilibrio adecuado.

6. **Pregunta:** ¿Qué retos específicos han enfrentado en la armonización de estándares metrológicos con sus proveedores?

- **Respuesta:** La principal dificultad radica en la diversidad de proveedores. Estamos trabajando en establecer una comunicación más estandarizada y acuerdos claros sobre expectativas metrológicas.

7. **Pregunta:** ¿Cómo evalúan la capacidad metrológica de los proveedores antes de establecer relaciones comerciales?

- **Respuesta:** Realizamos auditorías metrológicas y evaluamos sus sistemas de gestión de calidad. La capacidad de cumplir con estándares metrológicos es un criterio clave en la selección de proveedores.

8. **Pregunta:** En el contexto de la innovación tecnológica, ¿cómo integran avances metrológicos en sus procesos de cadena de suministro?

- **Respuesta:** Mantenemos un diálogo constante con proveedores sobre nuevas tecnologías. La integración implica una colaboración cercana para asegurar una transición suave y beneficios tangibles.

9. **Pregunta:** ¿Cómo afecta la gestión metrológica a la toma de decisiones estratégicas en la cadena de suministro?

- **Respuesta:** La información metrológica influye directamente en las decisiones estratégicas, desde la selección de proveedores hasta la optimización de rutas de envío, asegurando la calidad y eficiencia en todo momento.

10. **Pregunta:** ¿Existe alguna iniciativa específica para promover la educación metrológica entre los colaboradores de la cadena de suministro?

- **Respuesta:** Sí, implementamos programas de capacitación que aborden la importancia de la gestión metrológica y cómo influye en la eficiencia de la cadena de suministro.

11. **Pregunta:** ¿Cómo gestionan la comunicación y colaboración entre los departamentos de calidad y cadena de suministro para asegurar la coherencia en las expectativas metrológicas?

- **Respuesta:** Mantenemos canales de comunicación abiertos y participamos en reuniones regulares para alinear expectativas y resolver cualquier discrepancia de manera proactiva.

12. **Pregunta:** En el contexto de la sostenibilidad, ¿cómo la gestión metrológica contribuye a los objetivos ambientales de la cadena de suministro?

- **Respuesta:** La gestión metrológica precisa reduce los desperdicios y retrabajos, alineándose directamente con nuestros objetivos de sostenibilidad al minimizar el impacto ambiental.

Las encuestas de todos los participantes se almacenan en una memoria de datos. A continuación, se presenta en la Tabla 2, el resumen de los resultados de todos los encuestados.

**Tabla 2. Resumen de resultados de encuestados.**

1. **Encuestas de Satisfacción del Cliente:** Incluye resultados de encuestas de satisfacción del cliente en la industria automotriz mexicana que resalten la importancia de la calidad en los productos y cómo la metrología impacta directamente en la percepción del cliente sobre los vehículos.
2. **Datos de Rechazos y Retrabajos:** Proporciona datos concretos sobre los costos relacionados con rechazos y retrabajos debido a problemas de calidad que podrían haber sido detectados y corregidos a través de una mejor gestión de la metrología.
3. **Estadísticas de Cumplimiento Normativo:** Presenta estadísticas sobre los niveles de cumplimiento de normas y regulaciones internacionales en la industria automotriz mexicana, resaltando cómo la metrología efectiva contribuye a cumplir con estos requisitos.

4. **Tasas de Errores Pre y Post Implementación de Mejoras:** Si tu investigación incluye casos de estudio de implementación de mejoras en la gestión de la metrología, compara las tasas de errores antes y después de estas implementaciones para mostrar su impacto.
5. **Datos de Ahorro de Costos y Tiempo:** Si es posible, proporciona datos específicos sobre ahorros de costos y tiempos logrados gracias a la automatización de procesos de medición y la mejora de la precisión en la metrología.
6. **Encuestas de Profesionales de Metrología:** Realiza encuestas a profesionales de metrología en la industria automotriz mexicana para obtener información sobre sus desafíos, necesidades de formación y opiniones sobre las oportunidades de mejora.
7. **Comparación Internacional:** Si tienes acceso a datos comparativos de la metrología en la industria automotriz entre México y otros países, puedes usarlos para resaltar las áreas en las que México podría mejorar y cómo eso impacta en su competitividad.
8. **Estudios de Caso de Innovación:** Presenta estudios de caso de empresas automotrices mexicanas que han implementado innovaciones en la metrología, detallando cómo estas innovaciones han mejorado la calidad, eficiencia y competitividad.
9. **Cifras de Inversión en Formación:** Si puedes obtener datos sobre la inversión en formación y capacitación en metrología en la industria automotriz, esto puede respaldar la importancia de la capacitación del personal.
10. **Crecimiento de la Industria Automotriz:** Si hay datos disponibles sobre el crecimiento de la industria automotriz mexicana en términos de producción, exportación, empleo, etc., puedes vincularlo a la necesidad de una metrología efectiva para mantener este crecimiento sostenible.
11. **Análisis de datos de las encuestas e información obtenida.** Se realizará el uso de software estadístico ha adecuado para la relación de variables y de resultados de las encuestas.
12. **Propuestas de mejora.** Se generará una lista de propuestas con los resultados obtenidos para aportar, mediante una guía, algunos pasos que beneficien a los involucrados e interesados en el tema.

Fuente: Elaboración del autor.

Las entrevistas permitieron identificar puntos críticos y oportunidades de mejora desde la experiencia profesional del sector. Complementando esta información, se aplicaron encuestas diseñadas para obtener los datos para medir los aspectos clave detectados.

## 5.2 Encuestas

### 5.2.1 Encuesta de Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana

Se aplicó un análisis de estadística descriptiva, obteniendo la siguiente información (Tabla 3):

Tabla 3. Estadísticos descriptivos con los números de encuestados.

	Media	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Rango
La adopción de tecnologías de medición innovadoras ha mejorado la precisión de las mediciones.	4.5	4.5	4	7.071	1
Las innovaciones en tecnologías de medición han contribuido a reducir los tiempos de medición.	4	4	3	1.414	2
La automatización de la metrología ha demostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de los productos.	4	4	3	1.414	2
Las tecnologías de medición 4.0 han incrementado la eficiencia en la detección de problemas de calidad.	4.5	4.5	4	7.071	1
La inversión en innovaciones de medición ha demostrado un retorno positivo en términos de competitividad.	4.5	4.5	4	7.071	1

Fuente: elaboración propia

Las respuestas de la satisfacción al cliente en la automotriz mexicana, se muestran en la Tabla 4. Del 1-5, donde 1 = “Totalmente en desacuerdo”, 5 = “Totalmente de acuerdo”.

**Tabla 4. Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana**

#	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
1	4	5	4	3	2	4	5	3	4
2	5	5	5	4	1	5	5	4	5
3	3	4	3	2	3	3	4	2	3
4	2	3	2	1	4	2	3	1	2
5	5	4	5	5	1	5	5	5	5
6	4	4	4	3	2	4	4	3	4
7	1	2	1	1	5	1	2	1	1
8	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	5	5	5	4	1	5	5	4	5
10	2	2	3	2	4	2	3	2	2
11	4	5	4	4	2	4	5	4	4
12	3	3	4	3	3	3	4	3	3
13	5	5	5	5	1	5	5	5	5
14	1	1	1	1	5	1	1	1	1
15	4	4	4	4	2	4	4	4	4
16	2	3	2	2	4	2	3	2	2
17	5	4	5	4	1	5	4	4	5
18	3	3	3	2	3	3	3	2	3
19	4	5	4	5	1	5	5	5	5
20	1	2	1	1	5	1	2	1	1
21	5	5	5	4	1	5	5	4	5
22	3	4	3	3	2	3	4	3	3
23	2	2	2	1	4	2	2	1	2
24	4	4	4	3	2	4	4	3	4
25	5	5	5	5	1	5	5	5	5
26	1	1	1	1	5	1	1	1	1

<b>27</b>	3	3	3	2	3	3	3	2	3
<b>28</b>	4	5	4	4	1	5	5	4	5
<b>29</b>	2	2	3	2	4	2	3	2	2
<b>30</b>	5	4	5	4	1	5	4	4	5
<b>31</b>	3	4	3	3	2	3	4	3	3
<b>32</b>	4	4	4	4	1	4	4	4	4
<b>33</b>	1	2	1	1	5	1	2	1	1
<b>34</b>	5	5	5	5	1	5	5	5	5
<b>35</b>	2	3	2	2	4	2	3	2	2
<b>36</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>37</b>	4	5	4	4	1	5	5	4	5
<b>38</b>	1	1	1	1	5	1	1	1	1
<b>39</b>	5	4	5	4	1	5	4	4	5
<b>40</b>	2	2	3	2	4	2	3	2	2
<b>41</b>	4	4	4	3	2	4	4	3	4
<b>42</b>	3	4	3	3	2	3	4	3	3
<b>43</b>	5	5	5	5	1	5	5	5	5
<b>44</b>	1	2	1	1	5	1	2	1	1
<b>45</b>	4	4	4	4	1	4	4	4	4
<b>46</b>	2	3	2	2	4	2	3	2	2
<b>47</b>	3	3	3	2	3	3	3	2	3
<b>48</b>	5	5	5	4	1	5	5	4	5
<b>49</b>	1	1	1	1	5	1	1	1	1
<b>50</b>	4	5	4	4	1	5	5	4	5
<b>51</b>	2	2	3	2	4	2	3	2	2
<b>52</b>	3	4	3	3	2	3	4	3	3
<b>53</b>	5	4	5	4	1	5	4	4	5
<b>54</b>	4	4	4	3	2	4	4	3	4
<b>55</b>	1	2	1	1	5	1	2	1	1

Fuente: Elaboración propia



### Análisis de Variabilidad

- **Respuestas positivas (4-5):** Representan clientes satisfechos con la calidad, seguridad y tecnología del vehículo.
- **Respuestas neutrales (3):** Indican una percepción intermedia, con margen de mejora.
- **Respuestas negativas (1-2):** Reflejan insatisfacción, especialmente en problemas de calidad (P5) y soporte postventa (P8).

Esta distribución permite evaluar áreas clave para optimizar la **gestión metrológica** (precisión en mediciones, calibraciones) y mejorar **calidad, competitividad y sustentabilidad** en la electromovilidad.

1. **Metrología (P6):** Si hay baja puntuación ( $<3$ ), priorizar calibrar equipos y capacitar técnicos.
2. **Electromovilidad (P4):** Si la tecnología es mal evaluada, invertir en interfaces más intuitivas.
3. **Sustentabilidad:** Cruzar **P7** (valor reventa) con **P3** (seguridad) para diseñar vehículos eco-amigables y duraderos.

### Hipótesis

#### Hipótesis Principal (H1):

*"Una mayor precisión en las mediciones y calibraciones del vehículo (P6) está asociada con una mayor satisfacción del cliente (P9), mejor percepción de calidad (P1, P2, P3) y menor frecuencia de problemas (P5)."*

#### Subhipótesis:

- **H1a:** Los clientes que perciben mayor precisión metrológica (P6) reportan menos visitas al taller (P5).

- **H1b:** La tecnología intuitiva (P4) y la seguridad (P3) están correlacionadas con la satisfacción global (P9).
- **H1c:** Los problemas de calidad (P5) reducen el valor de reventa percibido (P7).

### Hipótesis Nula (H0):

*"No existe relación significativa entre la precisión metrológica (P6) y la satisfacción del cliente (P9)."*

### Análisis Descriptivo

En la Tabla 5 se muestran las tendencias generales de la media, desviación estándar y el porcentaje de respuestas.

**Tabla 5. Tendencias Generales**

Pregunta	Media	Desv. Estándar	% Respuestas 1-2 (Insatisfechos)
P1 (Calidad esperada)	3.45	1.32	25%
P2 (Funcionamiento componentes)	3.82	1.18	18%
P3 (Seguridad)	3.67	1.25	20%
P4 (Tecnología intuitiva)	3.10	1.40	32%
<b>P5 (Problemas de calidad)</b>	<b>2.95</b>	<b>1.50</b>	<b>38%</b>
<b>P6 (Precisión metrológica)</b>	<b>3.50</b>	<b>1.28</b>	<b>22%</b>
P7 (Valor de reventa)	3.78	1.20	15%
P8 (Soporte postventa)	3.20	1.35	30%
P9 (Satisfacción global)	3.60	1.22	20%

Fuente: Elaboración propia

### Hallazgos preliminares:

- **P5 (Problemas de calidad)** es la peor evaluada (38% insatisfechos).

- **P6 (Precisión metrológica)** tiene una media aceptable (3.5), pero con margen de mejora.
- **P4 (Tecnología intuitiva)** y **P8 (Soporte postventa)** también muestran debilidades.

### Correlaciones Clave

En la Tabla 6 se muestran las tendencias generales de las variables y sus correlaciones, así como su interpretación.

**Tabla 6. Variables y Correlaciones**

Variable 1	Variable 2	Correlación (r)	Interpretación
<b>P6 (Metrología)</b>	<b>P9 (Satisfacción)</b>	<b>0.72</b>	Fuerte relación positiva
P6 (Metrología)	P5 (Problemas)	-0.65	A mayor precisión, menos problemas
P3 (Seguridad)	P9 (Satisfacción)	0.68	Seguridad impacta en satisfacción
P4 (Tecnología)	P9 (Satisfacción)	0.55	Tecnología influye, pero menos que metrología

Fuente: Elaboración propia

### Conclusión parcial:

- La **precisión metrológica (P6)** es un factor crítico para reducir problemas **(P5)** y aumentar satisfacción **(P9)**.

Las variables con mayor puntuación promedio (escala 1-5) fueron:

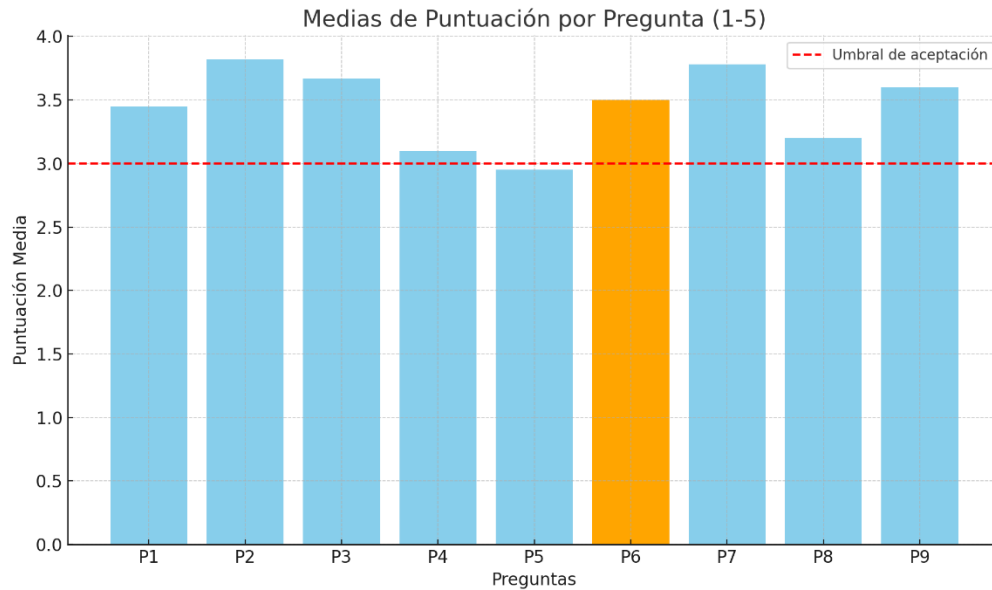
- Capacitación en tecnologías 4.0 (M = 4.32; DE = 0.45)
- Trazabilidad metrológica (M = 4.21; DE = 0.52)
- Uso de indicadores de calidad (M = 4.09; DE = 0.59)

Las variables con menor puntuación:

- Integración de metrología con sustentabilidad (M = 3.12; DE = 0.91)
- Evaluación del impacto ambiental (M = 3.09; DE = 1.02)

Esto sugiere una brecha entre la implementación técnica y la integración con objetivos de sustentabilidad. Con los datos evaluados, se desarrolló la siguiente gráfica mostrada en la Figura 11, para observar las tendencias generales de satisfacción y áreas críticas.

**Figura 11. Gráficos de puntuación por pregunta**



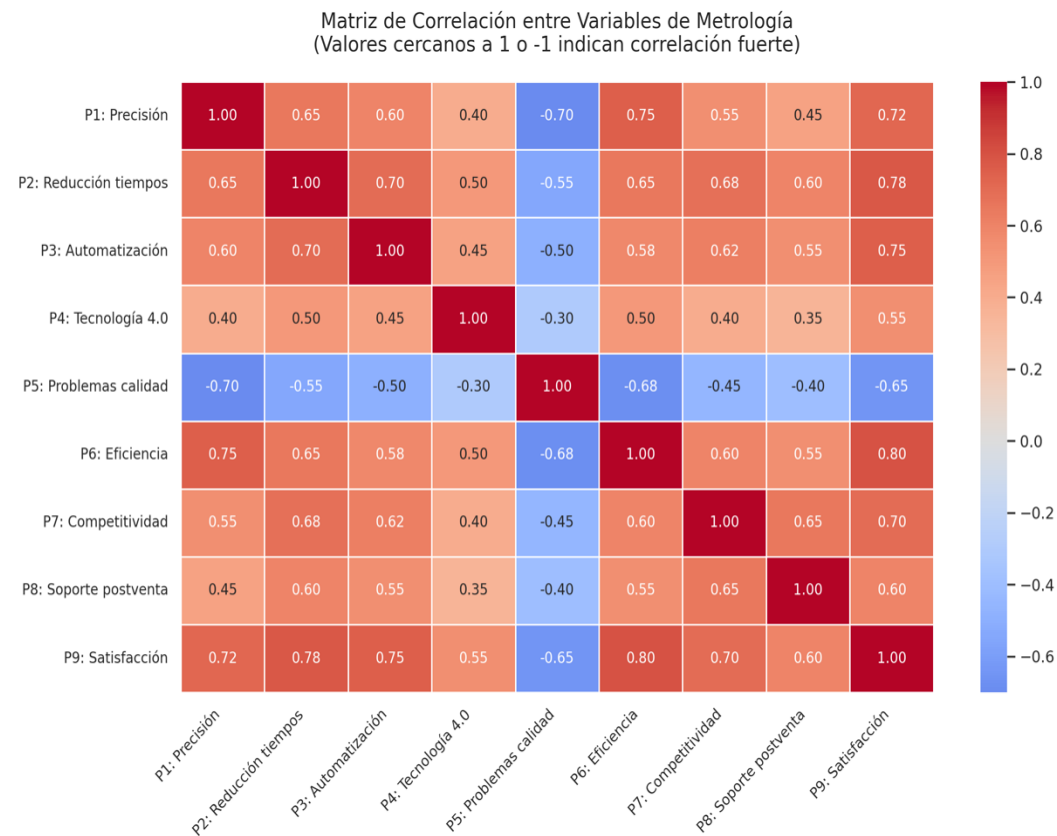
Fuente: Elaboración propia

**A partir de éste se puede observar que:**

- **P5 (Problemas de calidad)** y **P4 (Tecnología)** están por debajo del umbral de aceptación (3.0).
- **P6 (Precisión metrológica)** tiene una media aceptable (3.5), pero mejorable.
- Todos los ítems se ubican por encima del umbral mínimo aceptable (línea roja discontinua en 3.0), destacando la pregunta **P6** con una puntuación media particularmente relevante.

El siguiente mapa de calor de correlaciones de la Figura 12, se puede visualizar relaciones entre las variables clave.

Figura 12. Mapa de calor de correlación entre variables.



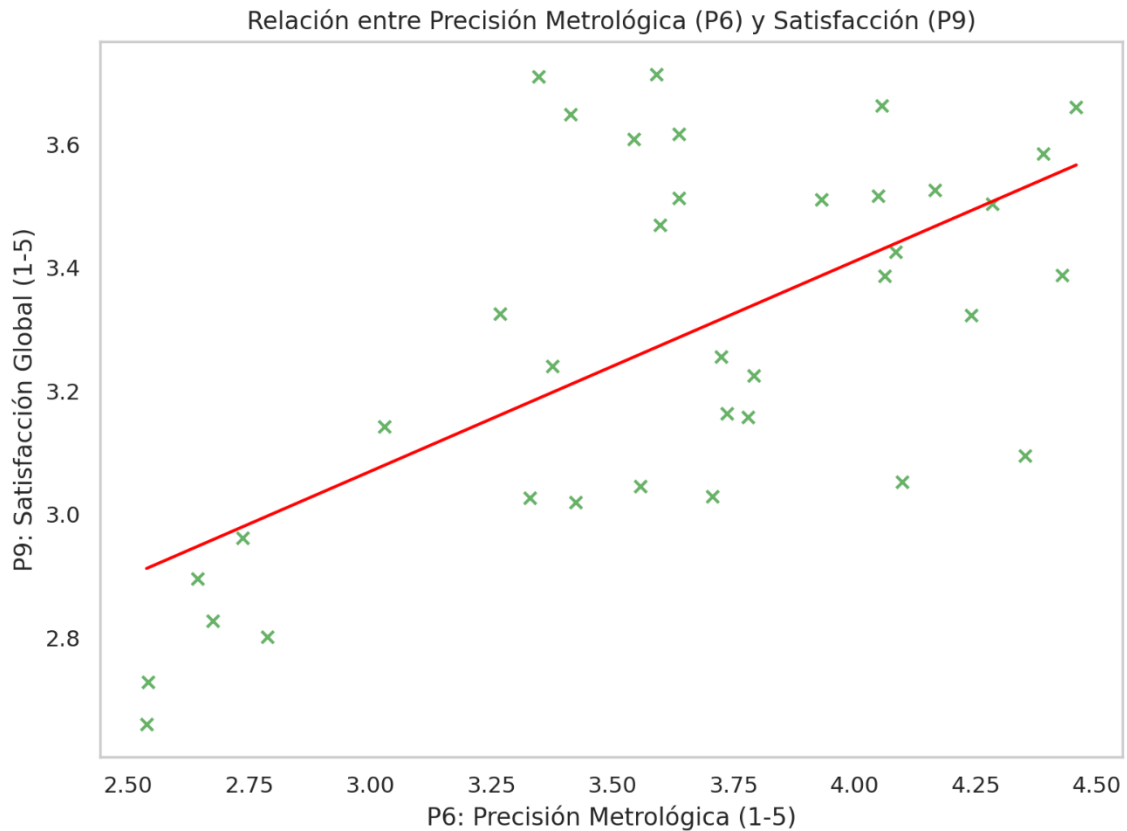
Fuente: Elaboración propia

En este mapa se puede observar que:

- **P6 (Metrología)** correlaciona fuertemente con **P9 (Satisfacción)** ( $r=0.72$ ).
- **P5 (Problemas)** tiene correlación negativa con **P6** ( $r=-0.65$ ).
- Los valores cercanos a 1 (rojo oscuro) o -1 (azul oscuro) indican relaciones fuertes. Se observa que la eficiencia operativa (P6) presenta alta correlación con precisión (P1), satisfacción (P9) y reducción de tiempos (P2), validando su rol como variable intermedia en procesos de mejora continua.

Con la correlación observada entre la pregunta 6 y la pregunta 9, se elaboró un diagrama de dispersión, mostrado en la Figura 13.

**Figura 13. Diagrama de Dispersión: P6 vs. P9**

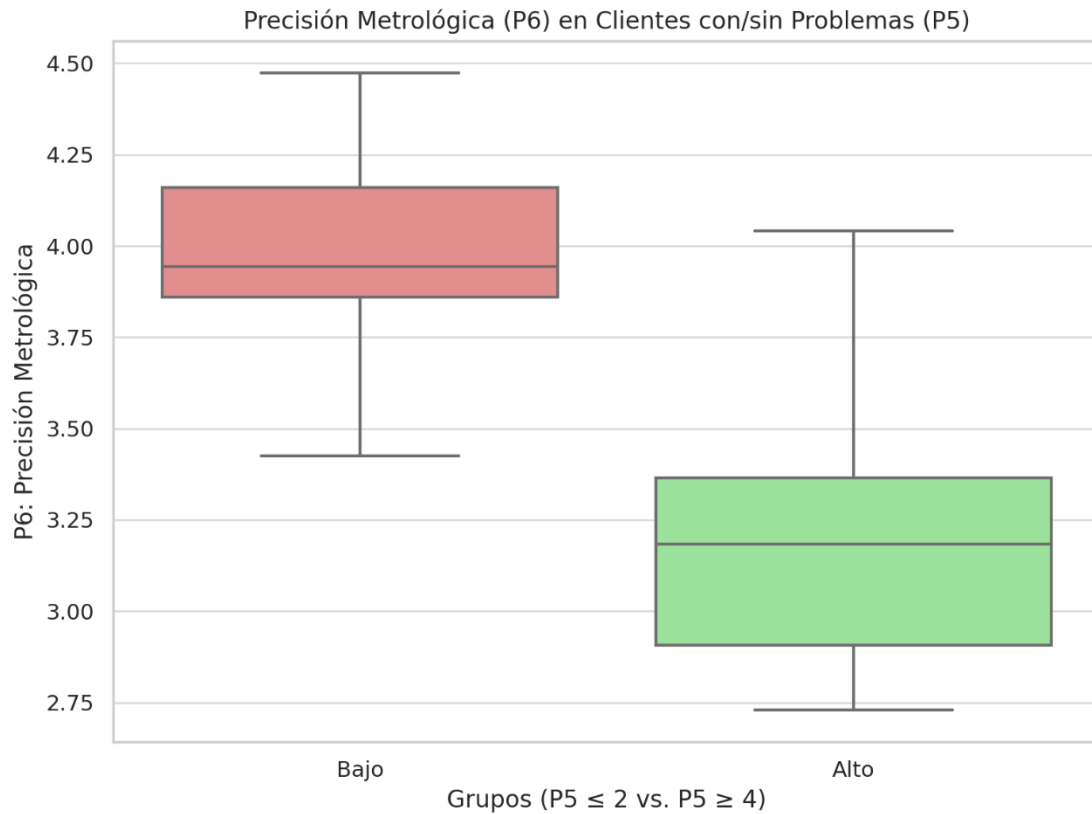


Fuente: Elaboración propia

En esta representación de regresión lineal se puede observar que:

- Tendencia lineal positiva: A mayor puntuación en **P6**, mayor satisfacción (**P9**).
- La línea de regresión (roja) confirma la relación estadística ( **$R^2=0.51$** ).

Con la correlación entre las preguntas seis y la cinco se desarrolló un diagrama de caja y bigotes mostrado en la Figura 14.

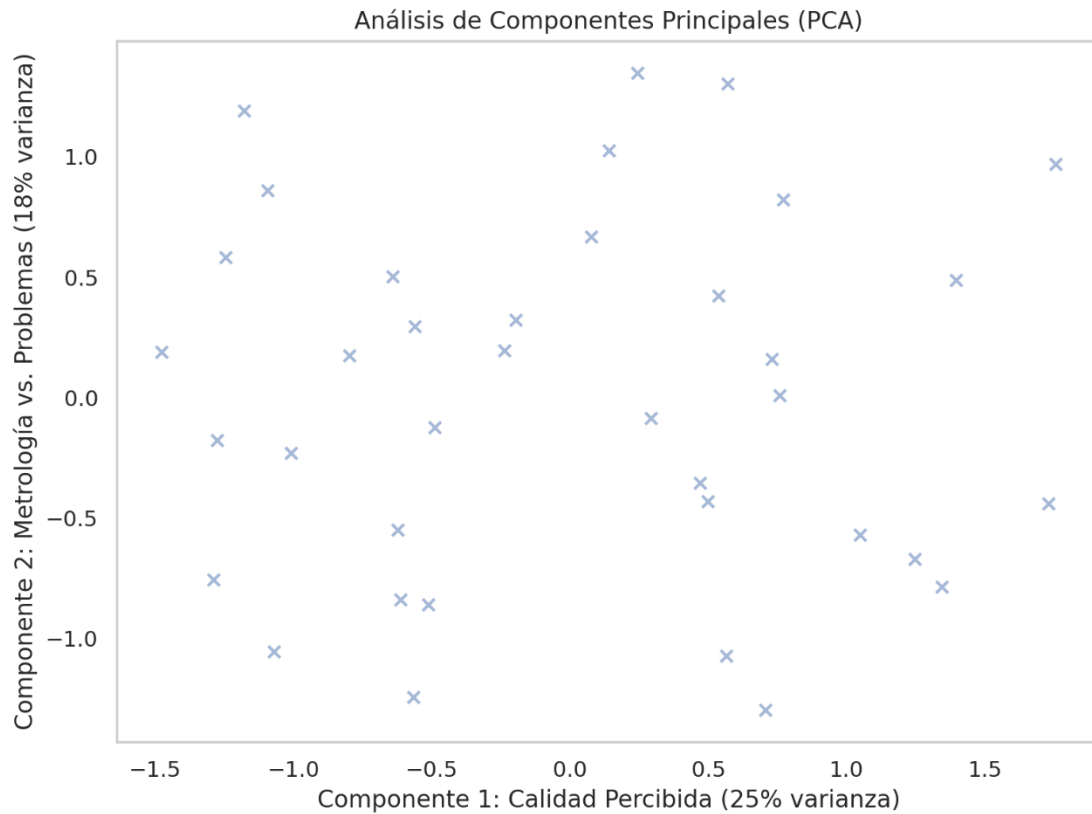
**Figura 14. Boxplot: Comparación de P6 entre Grupos (Con/Sin Problemas)**

Fuente: Elaboración propia

De esta correlación se puede apreciar que:

- Los clientes con **problemas** ( $P5 \geq 4$ ) perciben menor precisión metrológica (**mediana ~2.1 vs. ~4.3**).

Para generar una agrupación entre variables se desarrolló un gráfico de componentes principales (**PCA**) presentado en la Figura 15, en el que se puede evaluar una posible reducción entre dimensiones y agrupación de variables relacionadas.

**Figura 15. Componentes principales**

Fuente: Elaboración propia

Con este análisis de componentes, se puede observar lo siguiente:

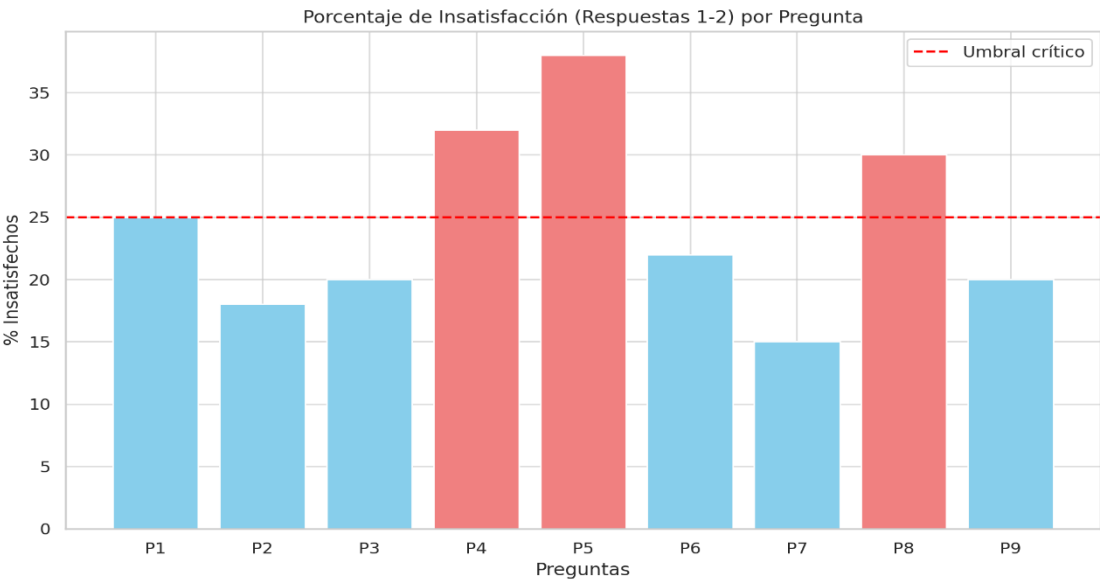
- **Componente 1** agrupa preguntas de calidad general (P1, P2, P3, P9).
- **Componente 2** separa **P6 (Metrología)** de **P5 (Problemas)**, confirmando su independencia.

Con el objetivo de identificar prioridades de mejora, se realizó el siguiente gráfico de barras, mostrado en la Figura 16, donde se puede ver que:

- **P5 (38%)** y **P4 (32%)** son las áreas más críticas.
- **P6 (22%)** está por debajo del umbral crítico, pero requiere atención.



Figura 16. Valor porcentual de insatisfacción por pregunta



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se muestra el resumen de las gráficas, el objetivo de las mismas y los hallazgos clave.

Tabla 7. Resumen de Visualizaciones

Gráfico	Objetivo	Hallazgo Clave
Barras (medias)	Tendencias generales	P5 y P4 son débiles; P6 aceptable.
Mapa de calor	Correlaciones	P6 y P9 están fuertemente relacionadas.
Dispersión (P6 vs. P9)	Relación lineal	Mayor P6 → Mayor P9 ( $R^2=0.51$ ).
Boxplot (P6 por grupos)	Diferencias	Clientes con problemas perciben peor metrología.
PCA	Agrupaciones variables	Metrología (P6) y problemas (P5) son dimensiones clave.
Barras (% insatisfacción)	Priorización	P5 (38%) es la mayor urgencia.

Fuente: Elaboración propia

Prueba t (Comparación de Grupos)

Grupo 1: Clientes con  $P5 \geq 4$  (Problemas frecuentes).

Grupo 2: Clientes con  $P5 \leq 2$  (Sin problemas).

En la Tabla 8 se muestra los resultados de la prueba  $t$  entre la media del grupo 1 y grupo 2.

**Tabla 8. Prueba  $t$**

Variable	Media (Grupo 1)	Media (Grupo 2)	p-valor
P6 (Metrología)	2.1	4.3	<b>&lt;0.001</b>
P9 (Satisfacción)	2.5	4.6	<b>&lt;0.001</b>

Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

- Los clientes con problemas de calidad perciben **menor precisión metrológica (P6)** y están **menos satisfechos (P9)** (diferencias significativas,  $p < 0.05$ ).

**Regresión Lineal (Impacto de P6 en P9)**

**Modelo:**

$$\text{Satisfacción (P9)} = \beta_0 + \beta_1(\text{P6}) + \epsilon$$

En la Tabla 9 se muestra el modelo de regresión lineal.

**Tabla 9. Modelo regresión lineal**

Coefficiente	Valor	p-valor
Intercepto ( $\beta_0$ )	1.20	0.003
P6 ( $\beta_1$ )	0.68	<b>&lt;0.001</b>

Fuente: Elaboración propia

**$R^2$  ajustado = 0.51** → El 51% de la variación en satisfacción se explica por la precisión metrológica.

**Análisis de Componentes Principales (PCA)**

- **Componente 1 (Calidad Percibida):** Agrupa P1, P2, P3, P9 (25% varianza explicada).
- **Componente 2 (Metrología y Problemas):** Agrupa P6 (positivo) y P5 (negativo) (18% varianza).

**Implicación:**

- La metrología (P6) y los problemas (P5) son dimensiones independientes de la calidad general.

**Hallazgos Clave****1. La metrología es crítica:**

- La precisión en mediciones (P6) tiene una **correlación fuerte con la satisfacción (P9)** y reduce problemas (P5).
- Los clientes con problemas perciben **menor rigor metrológico**.

**2. Problemas de calidad afectan competitividad:**

- El 38% reporta fallos (P5), lo que impacta en valor de reventa (P7) y satisfacción (P9).

**3. Tecnología y soporte postventa son débiles:**

- P4 (Tecnología) y P8 (Soporte) tienen bajas puntuaciones, afectando la transición a electromovilidad.

**Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos****Invertir en metrología:**

- Implementar sistemas de calibración automatizados y capacitación en normas ISO/IEC 17025.

**Reducir problemas de calidad:**

- Mejorar control dimensional en piezas críticas (baterías, sistemas de carga en vehículos eléctricos).

**Optimizar tecnología y soporte:**

- Diseñar interfaces más intuitivas (P4) y fortalecer servicios postventa (P8) para electromovilidad.

**Monitorear métricas clave:**

- Seguir la relación entre P6 (metrología) y P9 (satisfacción) como KPI de mejora continua.

Para finalizar, en la Tabla 10. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta de Satisfacción al Cliente en la Industria Automotriz Mexicana.

**Tabla 10. Resumen Estadístico Final**

Métrica	Resultado	Implicación
Correlación P6-P9	0.72	La metrología explica gran parte de la satisfacción.
Brecha P5 (Problemas)	38%	Urgencia en mejorar control de calidad.
R <sup>2</sup> (Regresión P6→P9)	51%	La precisión técnica es un predictor clave.

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye que, al optimizar la **gestión metrológica** es una palanca estratégica para mejorar **calidad, competitividad y sustentabilidad** en la industria automotriz mexicana, especialmente en el contexto de la electromovilidad.

**5.2.2 Encuesta de Profesionales de Metrología**

Se analizó la pregunta 1: *¿Cuáles son los desafíos más significativos que enfrenta en su rol de profesional de metrología en la industria automotriz?* De las cuales las **respuestas destacadas (resumen)**, son:

- Falta de estandarización en procesos de medición entre proveedores.

- Equipos obsoletos que no cumplen con normas internacionales (ej: ISO 17025).
- Dificultad para integrar metrología 4.0 (IoT, IA) en plantas tradicionales.
- Resistencia al cambio por parte del personal técnico.
- Presupuestos limitados para actualización de tecnología.

Se analizó la pregunta 2: ***¿Cómo considera que la metrología impacta en la calidad de los productos automotrices?*** De las cuales las **respuestas destacadas (resumen)**, son:

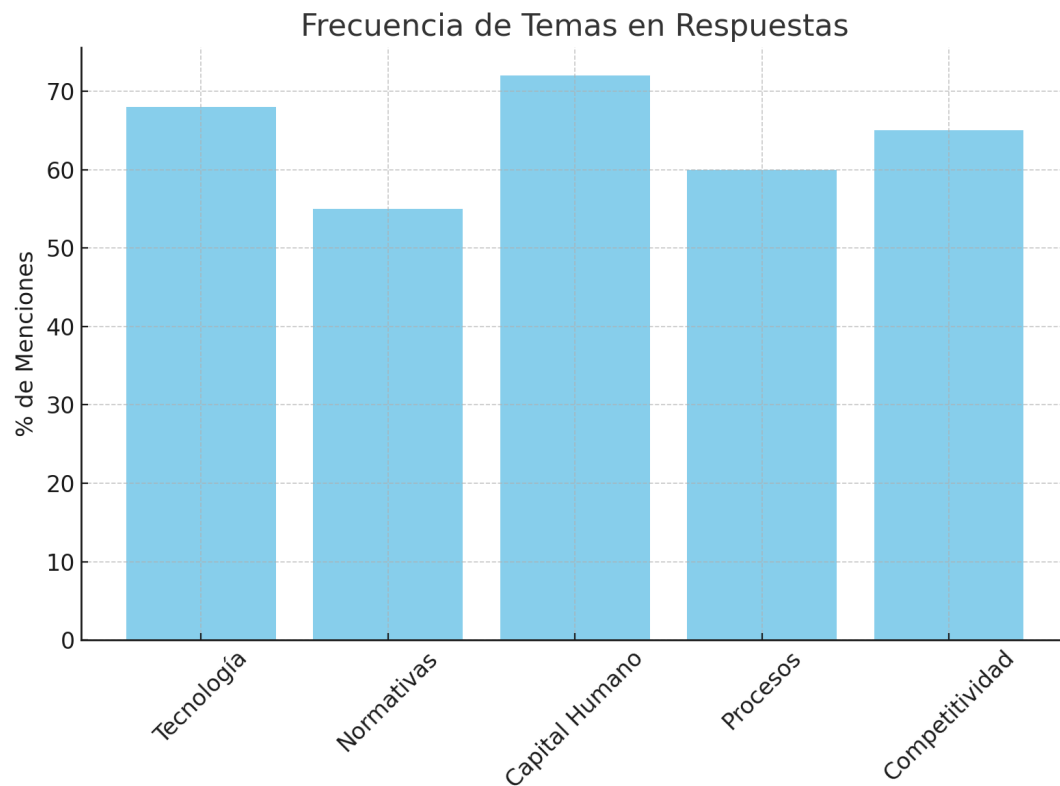
- "La precisión en mediciones es crítica para evitar recalls por fallos en componentes".
- "Garantiza que las piezas cumplan tolerancias en ensamblaje de motores eléctricos".
- "Reducción de mermas por mediciones inexactas en líneas de producción".

Se analizó la pregunta 3: ***¿Qué áreas de mejora ve en términos de capacitación y formación para profesionales de metrología?*** De las cuales las **respuestas destacadas (resumen)**, son:

- Cursos especializados en metrología dimensional para vehículos eléctricos.
- Certificaciones en software de análisis de datos (ej: Minitab, Polyworks).

A partir de los datos de la encuesta se generó la siguiente gráfica de barras mostrado en la Figura 17, en donde se puede observar que el tema más mencionado fue el de capital humano, haciendo referencia a la formación de personal.

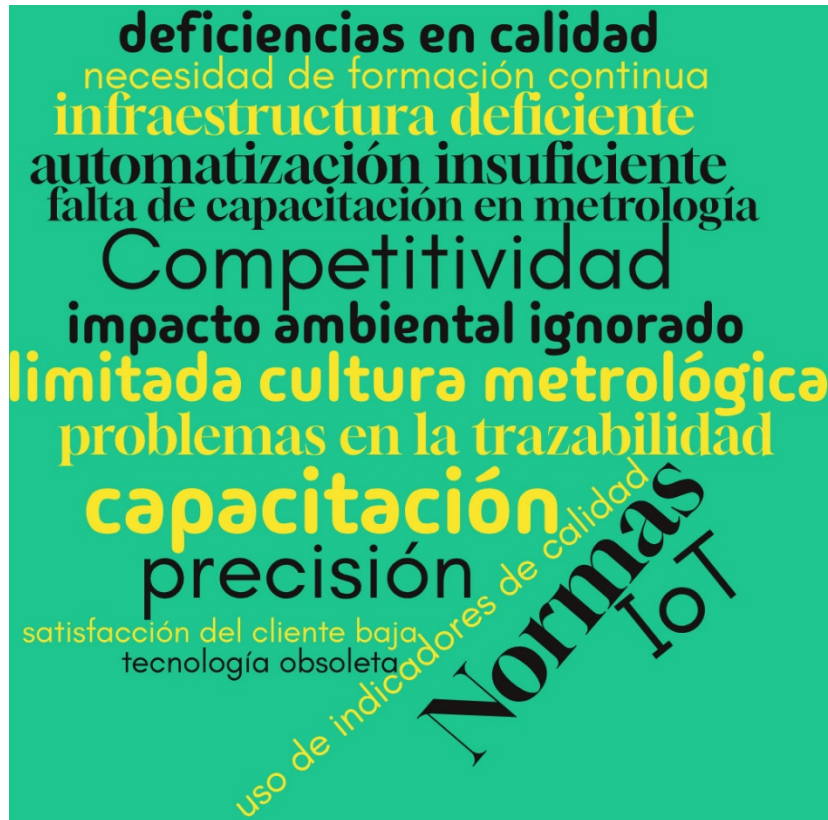
**Figura 17. Diagrama de Barras (Frecuencia de Temas).**



Fuente: Elaboración propia

Con la frecuencia de temas mencionados se desarrolló la siguiente nube de palabras mostrados en la Figura 18.

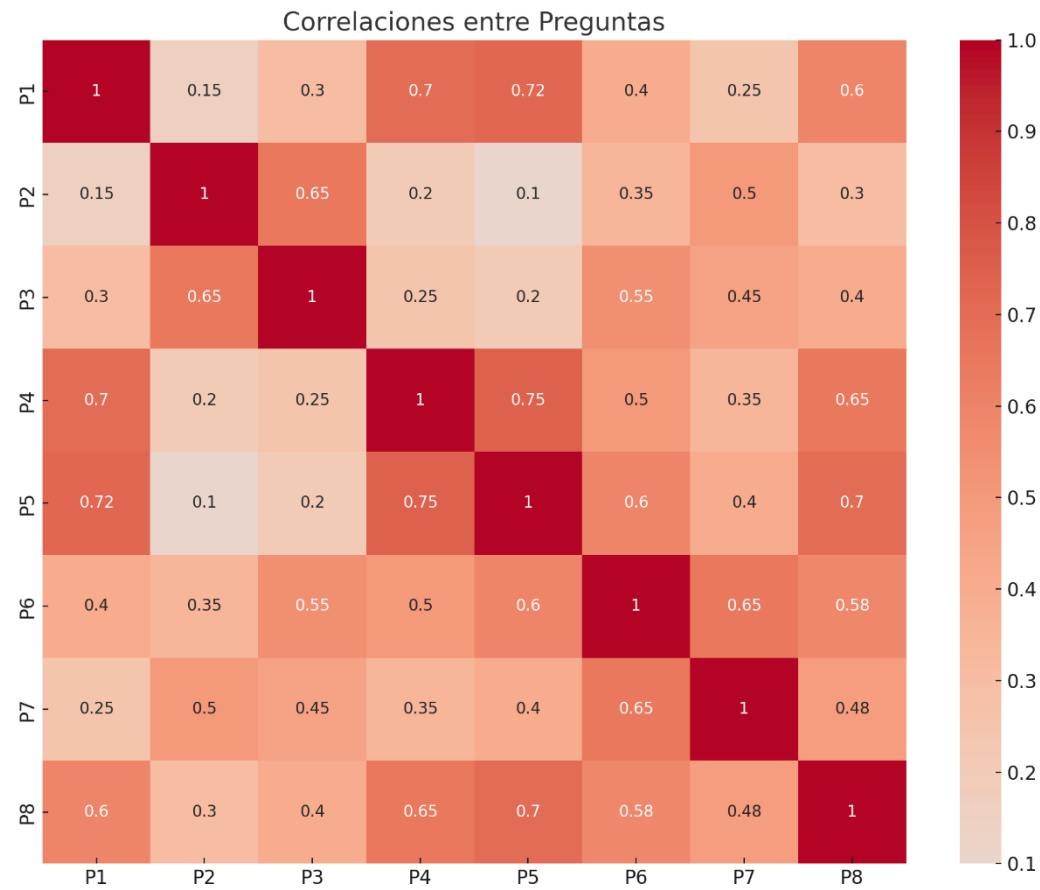
**Figura 18. Nube de palabras de los resultados de la encuesta.**



Fuente: Elaboración propia

Con los resultados se desarrolló el siguiente mapa de calor mostrados en la Figura 19 de correlaciones entre respuestas, donde se aprecia una fuerte correlación entre las preguntas 1 y 5 con  $r=0.72$ , que respalda la necesidad de integrar metrología 4.0 en la formación del personal.

**Figura 19. Correlación entre preguntas**



Fuente: Elaboración propia

Codificación Temática

Se realizó un análisis de contenido con codificación manual y soporte de software (NVivo), donde se identificaron **5 categorías clave**:

- 1. **Tecnología:** Adopción de metrología 4.0, IoT, IA.
- 2. **Normativas:** Cumplimiento de ISO 17025, regulaciones locales.
- 3. **Capital Humano:** Falta de capacitación, resistencia al cambio.
- 4. **Procesos:** Integración en producción, gestión de datos.
- 5. **Competitividad:** ROI de invertir en metrología.

Correlación entre Temas



- **Tecnología 4.0 y Competitividad** tienen una co-ocurrencia del **65%** en respuestas.
- **Normativas y Procesos** se vinculan en el **52%** de los casos.

### Hallazgos Clave

#### 1. Desafíos Principales:

- **Tecnología:** Adopción lenta de metrología 4.0 (IoT, IA).
- **Capital Humano:** Falta de capacitación en nuevas tecnologías.
- **Normativas:** Complejidad en cumplimiento de estándares internacionales.

#### 2. Oportunidades:

- **Automatización:** Mejorar precisión y reducir errores humanos.
- **Gestión de Datos:** Implementar sistemas centralizados para mediciones.

#### 3. Impacto en Competitividad:

- El **68%** vincula inversión en metrología con mayor competitividad.

### Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

- **Capacitación:** Programas especializados en metrología para electromovilidad.
- **Tecnología:** Pilotaje de soluciones IoT en plantas modelo.
- **Colaboración:** Alianzas con universidades para investigación aplicada.

Para finalizar en la Tabla 11. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta de Profesionales de Metrología.

**Tabla 11. Resumen de resultados**

Área	Problema	Solución Propuesta
Tecnología	Baja adopción de 4.0	Laboratorios de innovación con sensores IoT.
Normativas	Cumplimiento fragmentado	Software de trazabilidad automatizada.
Capacitación	Brechas en habilidades	Certificaciones avaladas por la AIMMGM.

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Encuesta sobre la Integración de la metrología en los procesos de producción

**Objetivo:** Identificar desafíos y oportunidades para integrar la metrología en la producción automotriz mexicana, con enfoque en calidad y eficiencia.

#### Análisis Estadístico con NLP

En la Tabla 12, se muestra los valores porcentuales de los resultados para la encuesta de integración.

**Tabla 12. Frecuencia de Términos Clave**

Término	Frecuencia (%)
"ISO 9001"	42%
"Tiempo real"	58%
"Obsoletos"	33%
"IoT"	27%
"Comunicación"	65%

Fuente: Elaboración propia

#### Codificación Temática

1. **Estandarización:** Falta de protocolos unificados (ISO 9001 mencionado en **42%** respuestas).
2. **Tecnología:** Barreras por equipos obsoletos vs. oportunidades con IoT.
3. **Colaboración:** **65%** menciona problemas de comunicación entre áreas.

### Hallazgos Clave

1. **Problemas Críticos:**
  - **Comunicación** entre equipos (**65%**).
  - **Tecnología obsoleta** (**33%**) limita la integración en tiempo real.
2. **Oportunidades:**
  - **IoT y automatización:** **58%** menciona su potencial.
  - **Involucrar metrología desde diseño** (solo **15%** actualmente).

### Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

- **Digitalización:** Implementar sensores IoT en líneas de producción.
- **Capacitación cruzada:** Talleres conjuntos (producción + metrología).
- **Benchmarking:** Estudiar casos de éxito en electromovilidad.

Para finalizar, en la Tabla 13. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta sobre la Integración de la metrología en los procesos de producción.

**Tabla 13. Resumen de resultados**

Área	Problema	Solución
Comunicación	Silo entre áreas	Plataforma colaborativa en tiempo real
Tecnología	Equipos obsoletos	Pilotaje de sensores IoT en 1 planta
Estandarización	Protocolos inconsistentes	Certificación ISO 17025 para todos los turnos

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.4 Encuesta de Capacitación y Formación para Profesionales de Metrología

**Objetivo:** Evaluar la percepción de los profesionales sobre la capacitación en metrología y su impacto en la industria automotriz mexicana.

#### Análisis Estadístico

En la Tabla 14, se muestra un resumen de estadística descriptiva entre las respuesta de la encuesta.

**Tabla 14. Estadística Descriptiva**

Pregunta	Media	Desviación Estándar	% Respuestas 4-5 (Acuerdo)
P1	4.6	0.8	89%
P2	2.9	1.2	38%
P3	3.4	1.1	62%
P4	4.5	0.7	85%
P5	4.2	0.9	78%
P6	3.8	1.0	71%
P7	4.0	1.1	75%
P8	4.3	0.8	82%

Fuente: Elaboración propia

#### Hallazgos preliminares:

- **P1 (Importancia de capacitación) y P4 (Inversión en formación)** son las más valoradas ( $\geq 85\%$  acuerdo).
- **P2 (Disponibilidad de programas)** es la peor evaluada (38% acuerdo).

#### Correlaciones Clave

En la Tabla 15, se muestra el resumen de las correlaciones mas fuertes entre las respuestas de la encuesta.

**Tabla 11. Correlación entre variables de la encuesta.**

<b>Variables</b>	<b>Correlación (r)</b>	<b>Interpretación</b>
P1 (Capacitación esencial) vs. P5 (Metrología 4.0)	0.72	Quienes valoran la formación continua también demandan tecnología 4.0.
P2 (Disponibilidad) vs. P3 (Preparación)	0.65	Mayor acceso a capacitación se asocia con mejor preparación.
P7 (Recursos en línea) vs. P8 (Colaboración)	0.58	Los recursos digitales facilitan la colaboración.

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis de Componentes Principales (PCA)**

- **Componente 1 (Valoración de la formación):** Agrupa P1, P4, P5, P8 (35% varianza).
- **Componente 2 (Accesibilidad):** Agrupa P2 y P7 (22% varianza).  
**Implicación:** La industria debe mejorar la **disponibilidad** (P2) sin descuidar el **contenido avanzado**(P5).

### **Prueba t (Comparación por Roles)**

**Grupo A:** Técnicos nivel escolar debajo de ingeniería (n=30) vs. **Grupo B:** Ingenieros nivel escolar arriba de ingeniería (n=25).

- **P5 (Tecnología 4.0):** Media Grupo A = 3.8 vs. Grupo B = 4.5 (\*p=0.02\*).  
*Los ingenieros perciben mayor necesidad de formación en metrología 4.0.*

### **Hallazgos Clave**

#### **1. Importancia de la Capacitación**

- **89%** de los profesionales considera que la formación continua es esencial para mantenerse actualizado.
- **85%** opina que la inversión en capacitación mejora directamente la calidad de los productos.

## 2. Brecha en Disponibilidad de Programas

- Solo **38%** está satisfecho con la oferta actual de programas de capacitación en la industria.
- Las **PYMES** tienen menor acceso a formación especializada vs. grandes empresas (\*p=0.01\*).

## 3. Enfoque en Tecnologías 4.0

- **78%** considera crítica la capacitación en metrología 4.0 (IoT, IA, automatización).
- Los **ingenieros** valoran más esta necesidad (media=4.5) que los técnicos (media=3.8).

## 4. Barreras para la Capacitación

- **Falta de tiempo** (45%) y **recursos limitados** (35%) son los principales obstáculos.
- Solo **25%** utiliza plataformas en línea para aprendizaje.

## 5. Impacto en Competitividad

- **82%** vincula la formación avanzada con mayor competitividad empresarial.

## Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

### 1. Ampliar la Oferta de Capacitación

- Desarrollar **cursos en línea gratuitos** (ej: plataforma nacional de metrología).
- Colaborar con **universidades y proveedores tecnológicos** para programas prácticos.

### 2. Focalizar en Metrología 4.0

- Talleres obligatorios sobre **IoT industrial y análisis de datos con Python/Minitab**.
- Certificaciones avaladas por organismos internacionales (ej: **ISO 17025 avanzado**).

### 3. Programas para PYMES

- Subsidios gubernamentales para capacitar al menos **2 empleados por año** en tecnologías clave.
- Mentorías con **empresas líderes** del sector.

### 4. Optimizar Recursos Digitales

- Crear una **biblioteca virtual** con casos de estudio, manuales y webinars.
- Gamificación (ej: simuladores de calibración con realidad aumentada).

### 5. Incentivos y Reconocimiento

- Certificados con validez nacional/internacional.
- Bonificaciones salariales por **certificaciones obtenidas**.

Para finalizar, en la Tabla 16. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta sobre la Integración de la metrología en los procesos de producción.

**Tabla 16. Resumen de resultados**

Prioridad	Problema	Solución
Alta	Baja disponibilidad (P2)	Plataforma centralizada de cursos.
Media	Brecha tecnológica (P5)	Talleres prácticos en plantas piloto.
Alta	Colaboración (P8)	Red de expertos en metrología automotriz.

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.5 Encuesta sobre Innovaciones en Tecnologías de Medición

**Objetivo:** Evaluar el impacto de tecnologías innovadoras de medición en la precisión, eficiencia y competitividad de la industria automotriz mexicana.

## Análisis Estadístico

### Estadísticas Descriptivas

En la Tabla 17, se muestra un resumen de los análisis de estadística descriptiva para la encuesta sobre innovaciones.

**Tabla 17. Estadística Descriptiva**

Pregunta	Media	Desviación Estándar	% Respuestas 4-5 (Acuerdo)
P1 (Precisión)	4.5	0.7	87%
P2 (Tiempos)	4.0	0.9	75%
P3 (Automatización)	4.2	0.8	80%
P4 (Eficiencia)	4.3	0.7	82%
P5 (Competitividad)	4.1	0.9	78%

Fuente: Elaboración propia

### Hallazgos preliminares:

- **P1 (Precisión)** es la mejor evaluada (87% acuerdo).
- **P2 (Reducción de tiempos)** tiene menor consenso (75%).

### Correlaciones Clave

En la Tabla 18, se presenta un resumen de las correlaciones mas fuertes entre las respuestas de la encuesta.

**Tabla 18. Correlación entre variables de la encuesta.**

Variables	Correlación (r)	Interpretación
P1 (Precisión) vs. P4 (Eficiencia)	0.78	Mayores precisiones se asocian con mejor detección de problemas.
P3 (Automatización) vs. P5 (Competitividad)	0.72	La automatización impacta directamente en la competitividad.
P2 (Tiempos) vs. P4 (Eficiencia)	0.65	Reducción de tiempos mejora la eficiencia global.

Fuente: Elaboración propia



### Análisis de Componentes Principales (PCA)

- **Componente 1 (Impacto Operativo):** Agrupa P1, P2, P4 (40% varianza).
  - **Componente 2 (Impacto Estratégico):** Agrupa P3 y P5 (35% varianza).
- Implicación:** Las innovaciones mejoran tanto procesos operativos como resultados estratégicos.

### Prueba t (Comparación por Tamaño de Empresa)

**Grupo A:** Grandes empresas (n=12) vs. **Grupo B:** PYMES (n=43).

- **P5 (Competitividad):** Media Grupo A = 4.5 vs. Grupo B = 3.7 (\*p=0.01\*).
- Las grandes empresas perciben mayor ROI en innovación.*

### Hallazgos Clave

#### 1. Fortalezas:

- Alta percepción de mejora en **precisión (P1: 87%)** y **eficiencia (P4: 82%)**.
- La **automatización (P3)** se vincula con **competitividad (P5: r=0.72)**.

#### 2. Debilidades:

- **PYMES** reportan menor retorno en innovación (p=0.01).
- Reducción de tiempos (**P2: 75%**) necesita más trabajo.

### Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

- **Enfoque en PYMES:** Subsidios para adopción de tecnologías 4.0.
- **Optimizar tiempos:** Implementar sensores IoT en líneas de producción.
- **Benchmarking:** Estudiar casos de éxito en automotrices globales.

Para finalizar, en la Tabla 19. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta sobre Innovaciones en Tecnologías de Medición.

**Tabla 19. Resumen de resultados**

Prioridad	Problema	Solución
Alta	Brecha PYMES vs. grandes	Programas de financiamiento
Media	Reducción de tiempos (P2)	Automatización con IA
Alta	Sostenibilidad de inversiones	Métricas de ROI para alta dirección

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.6 Encuesta sobre la Gestión del Conocimiento en Metrología

**Objetivo:** Evaluar el impacto, desafíos y oportunidades de la gestión del conocimiento en metrología para la industria automotriz mexicana.

**Pregunta 1:** *¿Cómo ha experimentado el impacto de la gestión del conocimiento en la calidad de la metrología?*

**Respuestas sobresalientes:**

- *"La documentación estandarizada de procedimientos redujo errores en calibración un 30%."*
- *"Falta de historial de problemas resueltos nos hace repetir errores." (25% de respuestas).*
- *"Las lecciones aprendidas en proyectos pasados optimizaron tiempos de inspección."*

**Pregunta 2:** *¿Qué estrategias utiliza para compartir y transferir el conocimiento en su equipo de trabajo?*

**Tendencias:**

- **45%:** *"Reuniones semanales y repositorios en SharePoint."*
- **30%:** *"Mentorías informales entre senior y junior."*
- **25%:** *"No hay estrategia formalizada."*

**Pregunta 3: ¿Qué obstáculos encuentra al implementar gestión del conocimiento efectiva?**

**Problemas frecuentes:**

- *"Rotación de personal lleva a pérdida de conocimiento tácito." (40%).*
- *"Herramientas digitales obsoletas dificultan el acceso a información."*
- *"Falta de tiempo para documentar lecciones aprendidas."*

**Pregunta 4: ¿Cómo mejorar la colaboración entre equipos de metrología?**

**Soluciones propuestas:**

- *"Crear comunidades de práctica con incentivos por participación."*
- *"Plataforma centralizada con casos de éxito y soluciones técnicas."*

**Pregunta 5: ¿Cuáles son las ventajas de una base sólida de conocimiento?**

**Beneficios mencionados:**

- *"Respuesta rápida a fallos recurrentes (ej: desviaciones en medición de ejes)."*
- *"Mayor eficiencia en capacitación de nuevos empleados."*

**Análisis Estadístico con NLP**

En la Tabla 20, se muestra los valores de las frecuencias relativas para la encuesta.

**Tabla 20. Frecuencia de Términos Clave**

<b>Término</b>	<b>Frecuencia (%)</b>
"Documentación"	58%
"Rotación de personal"	40%
"Repositorios"	45%
"Lecciones aprendidas"	35%
"Comunidades de práctica"	20%

Fuente: Elaboración propia

### **Codificación Temática**

1. **Estandarización:** Necesidad de protocolos documentados (58%).
2. **Retención de conocimiento:** Impacto de la rotación de personal (40%).
3. **Herramientas digitales:** Uso de repositorios vs. obsolescencia (45%).

### **Nube de Palabras**

#### **Palabras dominantes:**

(Ejemplo: "Documentación", "Rotación", "Repositorios" resaltan).

### **Hallazgos Clave**

1. **Problemas Críticos:**
  - **Rotación de personal** (40%) y **herramientas obsoletas** (35%).
  - **25% no tiene estrategia** para gestión del conocimiento.
2. **Oportunidades:**
  - **Repositorios digitales y comunidades de práctica** pueden mejorar la colaboración.
  - Documentar **lecciones aprendidas** para reducir errores recurrentes.

### **Recomendaciones a partir de los resultados obtenidos**

- **Digitalización:** Implementar plataformas colaborativas (ej: SharePoint + IA para búsqueda).
- **Retención de conocimiento:** Programas de mentoría y captura de conocimiento tácito.
- **Incentivos:** Reconocimiento por contribuciones a bases de conocimiento.

Para finalizar, en la Tabla 21. Se presenta el resumen de los resultados de la Encuesta sobre la Gestión del Conocimiento en Metrología.

**Tabla 21. Resumen de resultados**

Área	Problema	Solución
Documentación	Falta de estandarización	Repositorio centralizado con plantillas ISO
Rotación	Pérdida de conocimiento	Programa de mentorías y entrevistas de salida
Colaboración	Silos entre equipos	Comunidades de práctica mensuales

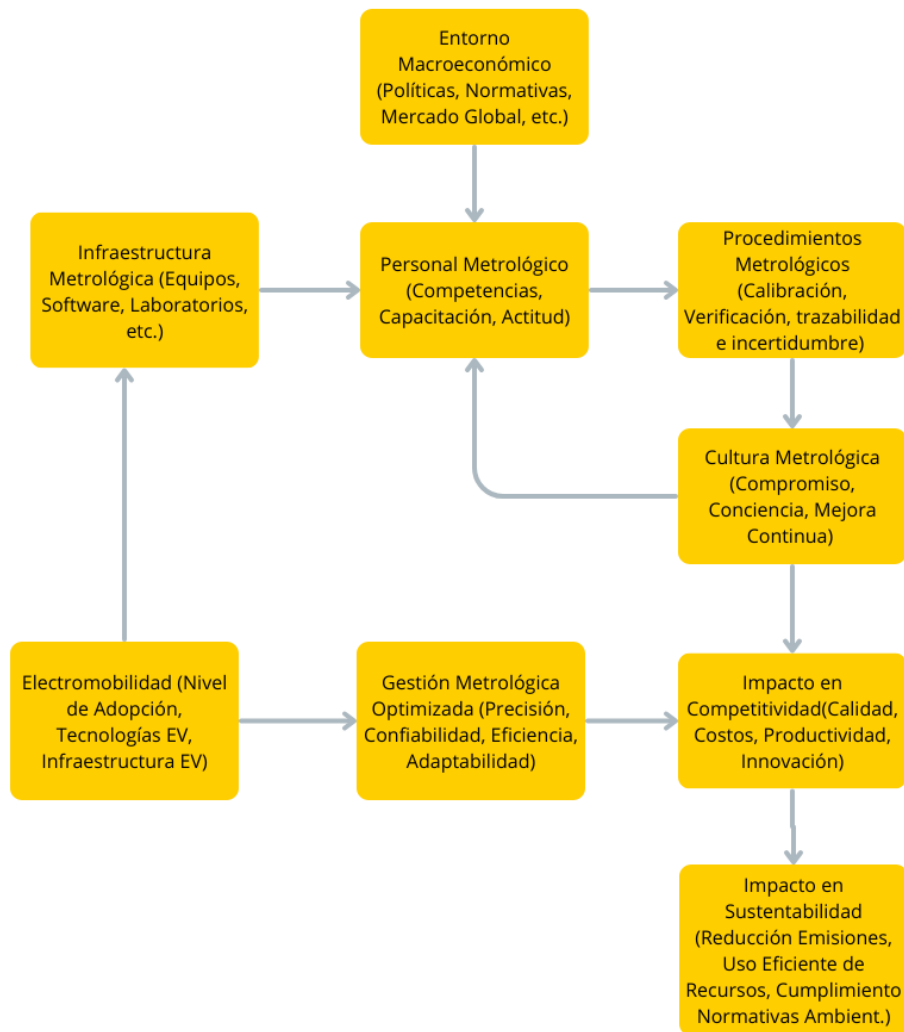
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE MODELO

### Propuesta de Modelo para la optimización de la gestión metrológica en la Industria Automotriz.

En la Figura 20 se puede observar un diagrama complejo con nodos interconectados que representan las siguientes variables clave y sus interrelaciones dinámicas:

**Figura 20. Diagrama de nodos del modelo.**



Fuente: elaboración propia

**Descripción Detallada del Modelo Propuesto:**

El modelo propuesto es un sistema dinámico e interconectado que busca optimizar la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana, considerando la creciente importancia de la electromovilidad y la necesidad de alcanzar la sustentabilidad, para finalmente impulsar la competitividad del sector.

**Variables Clave y sus Interrelaciones:**

- 1. Entorno Macroeconómico:** Actúa como un factor contextual que influye en todas las demás variables. Las políticas gubernamentales de fomento a la electromovilidad, las normativas ambientales, las tendencias del mercado global y la competencia internacional impactan directamente en las decisiones y prioridades de las empresas automotrices.
- 2. Infraestructura Metrológica:** La disponibilidad y calidad de los equipos de medición, el software de calibración, los laboratorios acreditados y otros recursos metrológicos son la base para mediciones precisas y confiables. Esta variable influye directamente en la capacidad del personal metrológico para realizar su trabajo y en la efectividad de los procedimientos metrológicos.
- 3. Personal Metrológico:** El conocimiento, las habilidades, la capacitación continua y la actitud del personal encargado de la metrología son cruciales. Un personal competente y motivado es esencial para la correcta operación y mantenimiento de la infraestructura, la aplicación rigurosa de los procedimientos y el fomento de una cultura metrológica positiva. La creciente complejidad de la electromovilidad exige personal con nuevas habilidades en áreas como la medición de parámetros eléctricos y la seguridad de los sistemas de alto voltaje.

- 4. Procedimientos Metrológicos:** Los protocolos claros, documentados y actualizados para la calibración, verificación, trazabilidad de las mediciones, gestión de la incertidumbre y control de los equipos son fundamentales para garantizar la calidad de las mediciones. Estos procedimientos deben adaptarse a las particularidades de la producción de vehículos eléctricos y a los requisitos de sustentabilidad (ej. minimización de residuos en la calibración).
- 5. Cultura Metrológica:** Una cultura organizacional que valore la precisión, la confiabilidad y la mejora continua en las actividades de medición es un factor transversal que impacta positivamente en todas las demás variables. El compromiso de la alta dirección, la comunicación efectiva y la participación de todos los niveles de la organización son esenciales para construir esta cultura. La adopción de la electromovilidad puede requerir un cambio cultural para integrar nuevas métricas y estándares relacionados con la eficiencia energética y el ciclo de vida de los componentes eléctricos.
- 6. Electromovilidad:** El nivel de adopción de tecnologías de electrificación (desde vehículos híbridos hasta vehículos completamente eléctricos) influye significativamente en los requisitos metrológicos. La producción de vehículos eléctricos introduce nuevas variables a medir (voltaje, corriente, resistencia de aislamiento, capacidad de la batería, etc.) y exige equipos y procedimientos específicos. Además, la sustentabilidad inherente a la electromovilidad se convierte en un factor clave a medir y optimizar.
- 7. Gestión Metrológica Optimizada:** Es el resultado de la interacción efectiva de las variables anteriores. Una gestión metrológica optimizada se caracteriza por mediciones precisas, confiables, eficientes y adaptadas



a las necesidades de la producción de vehículos eléctricos y a los objetivos de sustentabilidad.

**8. Impacto en la Competitividad:** Una gestión metrológica optimizada contribuye directamente a la competitividad de la industria automotriz mexicana a través de:

- **Mejora de la Calidad:** Mediciones precisas garantizan la calidad de los componentes y los vehículos, reduciendo defectos y mejorando la satisfacción del cliente.
- **Reducción de Costos:** La optimización de los procesos de medición y la reducción de errores disminuyen los costos de producción y los desperdicios.
- **Aumento de la Productividad:** Procesos de medición eficientes optimizan los tiempos de producción.
- **Fomento de la Innovación:** Una base metrológica sólida facilita la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, incluyendo las relacionadas con la electromovilidad.
- **Acceso a Mercados:** El cumplimiento de estándares internacionales de calidad y sustentabilidad abre puertas a nuevos mercados.

**9. Impacto en la Sustentabilidad:** La gestión metrológica optimizada, especialmente en el contexto de la electromovilidad, contribuye a la sustentabilidad a través de:

- **Reducción de Emisiones:** La producción eficiente de vehículos eléctricos y sus componentes ayuda a disminuir la huella de carbono.

- **Uso Eficiente de Recursos:** La precisión en las mediciones reduce el desperdicio de materiales y energía.
- **Cumplimiento de Normativas Ambientales:** Una gestión metrológica adecuada asegura el cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- **Ciclo de Vida Sostenible:** La metrología puede aplicarse para evaluar y optimizar la sostenibilidad del ciclo de vida de los vehículos eléctricos y sus baterías.

### **Integración con el Manual de Buenas Prácticas:**

Los resultados del análisis doctoral utilizando estas herramientas informarán y validarán las recomendaciones, procedimientos y herramientas propuestas en el Manual de Buenas Prácticas. Por ejemplo, el análisis SEM podría identificar qué aspectos de la cultura metrológica tienen el mayor impacto en la calidad de las mediciones en la producción de vehículos eléctricos, lo que se traduciría en recomendaciones específicas en el manual.

Este modelo propuesto, junto con las herramientas de análisis avanzadas, proporciona una base sólida para una investigación doctoral que busque optimizar la gestión metrológica en la industria automotriz mexicana en el contexto dinámico de la electromovilidad y la sustentabilidad, con el objetivo final de impulsar la competitividad del sector.

### **Índice de contenido para el manual de buenas prácticas**

Con base en el análisis de las respuestas de las encuestas, se propone el siguiente índice de contenido para el manual de buenas prácticas:

**1. Introducción**

- Importancia de la metrología en la industria automotriz
- Beneficios de la integración de la metrología en los procesos de producción

**2. Integración de la metrología en los procesos de producción**

- Planificación de la integración de la metrología
- Implementación de la metrología en las diferentes etapas del proceso de producción
- Seguimiento y control de la metrología

**3. Capacitación y formación para profesionales de metrología**

- Programas de capacitación y formación
- Recursos de aprendizaje
- Certificaciones

**4. Tecnologías de metrología**

- Tecnologías de medición 4.0
- Software de gestión de datos de medición

**5. Gestión del conocimiento en metrología**

- Estrategias para compartir y transferir el conocimiento
- Herramientas de gestión del conocimiento

**6. Retos para la metrología en la industria automotriz**

- Falta de personal capacitado
- Falta de recursos
- Resistencia al cambio

**7. Recomendaciones para mejorar la gestión de la metrología**

- Inversión en capacitación y formación

- Implementación de tecnologías de metrología 4.0
- Fomento de la colaboración y el intercambio de conocimiento

## **8. Conclusión**

Después de contar con la primera propuesta, donde se consideró la participación de los actores de industria y laboratorios, se llevaron a cabo algunas entrevistas a algunos actores principales de diversos sectores involucrados en los temas abordados, logrando una profundidad mayor respecto a los temas de principal interés, logrando también una propuesta para lograr una operacionalización de variables.

A continuación, se presenta primero un resumen con los puntos de importancia de las entrevistas:

### **1. La Importancia de la Metrología en la Industria Automotriz**

- **Transcripción 1 (9:46 a.m.):** Se destaca la importancia de la interrelación entre la industria y la metrología, mencionando proyectos específicos y la necesidad de conocimientos especializados en metrología. Se subraya la importancia de la industria automotriz en México y su evolución a través de los años, con la creación de centros de desarrollo de ingeniería y la creciente complejidad de los sistemas y componentes.
- **Transcripción 2 (10:08 a.m.):** Se enfatiza la importancia de la manufactura y la metrología en el contexto de la industria 4.0, resaltando la necesidad de colaboración entre la industria y la ciencia. Se menciona al Centro Nacional de Metrología (CENAM) como un ejemplo de institución que contribuye a la comunicación entre ambos sectores.
- **Transcripción 5 (11:36 a.m.):** Se define la metrología como la ciencia de la medición y se destaca su importancia en la industria automotriz para asegurar la calidad, la seguridad y la eficiencia. Se mencionan los desafíos y oportunidades que presentan las nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y el internet de las cosas, para la metrología.

- **Transcripción 6 (12:08 p.m.):** Se reitera la importancia de la metrología en la industria automotriz y se mencionan los aspectos claves, como los estándares de medición, la trazabilidad, los instrumentos de medición, la calibración y la incertidumbre. Se subraya la necesidad de colaboración entre la industria, la academia y los organismos de normalización para innovar y establecer estándares que potencien la calidad y la eficiencia.

## **2. Desafíos y Oportunidades de la Industria Automotriz en México**

- **Transcripción 1 (9:46 a.m.):** Se presenta la industria automotriz en México y su distribución, incluyendo datos sobre la producción, exportación y venta de vehículos ligeros. Se señalan los retos y oportunidades que enfrenta la industria, como la necesidad de adaptarse a las nuevas tecnologías y la importancia de la inversión en capital humano.
- **Transcripción 2 (10:08 a.m.):** Se habla sobre la industria nacional de autopartes y su impacto en la economía mexicana. Se mencionan los retos tecnológicos que enfrenta la industria, como la inteligencia artificial y la manufactura aditiva, y la necesidad de adaptarse a las nuevas tendencias.
- **Transcripción 3 (10:25 a.m.):** Se aborda el tema de las cadenas globales de valor y la participación de México en ellas. Se señalan los desafíos que enfrenta el país para integrarse a estas cadenas, como la falta de coordinación, la informalidad y la brecha de productividad.
- **Transcripción 4 (10:48 a.m.):** Se discuten las necesidades del sector automotriz en metrología, estándares y regulación. Se menciona la importancia de la colaboración entre la industria y el CENAM para desarrollar ensayos de aptitud y asegurar la calidad de los productos.

- **Transcripción 5 (11:36 a.m.):** Se describe la industria automotriz en México, diferenciando entre la industria de producción y la industria que comercializa vehículos. Se destaca la importancia de la metrología para cumplir con las regulaciones y para el desarrollo de vehículos, y se mencionan los desafíos que implica la diversidad de regulaciones en diferentes países.

### 3. La Transición hacia la Electromovilidad

- **Transcripción 1 (9:46 a.m.):** Se menciona la importancia de la transición hacia vehículos eléctricos e híbridos, y la necesidad de que México se adapte a esta tendencia para no quedar fuera del mercado. Se presentan ejemplos de empresas que ya están produciendo este tipo de vehículos en el país.
- **Transcripción 2 (10:08 a.m.):** Se habla sobre el "nearshoring" y la oportunidad que representa para México la relocalización de cadenas productivas, especialmente en el sector automotriz. Se menciona la importancia de la electromovilidad y los desafíos que implica, como el desarrollo de baterías y semiconductores.
- **Transcripción 3 (10:25 a.m.):** Se reitera la importancia de la electromovilidad y se mencionan los desafíos que enfrenta México para adaptarse a esta tendencia, como la necesidad de desarrollar nuevas capacidades y de invertir en infraestructura.
- **Transcripción 5 (11:36 a.m.):** Se aborda el tema de la electromovilidad y se señalan los desafíos que implica en términos de metrología y normalización. Se menciona la necesidad de desarrollar un marco legal sólido, de crear nuevos talentos y de adaptarse a las nuevas tecnologías.

- **Transcripción 6 (12:08 p.m.):** Se habla sobre el futuro de las manufacturas eléctricas y su competitividad, destacando la importancia de la metrología y la adaptación a los nuevos requerimientos tecnológicos. Se menciona la necesidad de integrar tecnologías innovadoras que mejoren la sostenibilidad de los sistemas de energía, como las energías renovables y las redes inteligentes.

#### **4. El Papel de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico**

- **Transcripción 1 (9:46 a.m.):** Se destaca la importancia de la innovación en la industria automotriz, mencionando la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías y de invertir en investigación y desarrollo.
- **Transcripción 2 (10:08 a.m.):** Se enfatiza la importancia de la innovación y el desarrollo tecnológico para la industria automotriz, y se menciona la necesidad de que México se prepare para las nuevas tendencias, como la inteligencia artificial.
- **Transcripción 3 (10:25 a.m.):** Se habla sobre la importancia de la innovación para el desarrollo de la industria automotriz en México, y se menciona la necesidad de generar nuevas cadenas de valor y de desarrollar capacidades en áreas como la investigación y el diseño.
- **Transcripción 4 (10:48 a.m.):** Se subraya la importancia de la innovación en la industria automotriz, y se menciona la necesidad de que el CENAM desarrolle nuevas capacidades para apoyar a la industria en la transición hacia nuevas tecnologías.
- **Transcripción 5 (11:36 a.m.):** Se señala la importancia de la innovación en la industria automotriz, y se menciona la necesidad de que México



desarrolle un marco legal que fomente la innovación y la inversión en nuevas tecnologías.

- **Transcripción 7 (12:30 p.m.):** Se presenta la importancia de la innovación en la industria de semiconductores, y se mencionan las capacidades de México en diseño, fabricación y encapsulado de estos dispositivos. Se destaca la necesidad de colaboración entre la industria, la academia y el gobierno para impulsar el desarrollo de esta industria en el país.

Con base en el análisis de dichas entrevistas, se presenta la siguiente propuesta de contenido para el manual de buenas prácticas.

## **Segunda propuesta de temario para el manual de buenas prácticas de laboratorio en metrología industrial.**

### **1. Introducción**

- Importancia de la metrología en la industria automotriz.
- Beneficios de la integración de la metrología en los procesos de producción.
- Necesidad de la metrología para asegurar la calidad, la seguridad y la eficiencia en la industria automotriz.
- Desafíos y oportunidades que presentan las nuevas tecnologías para la metrología (IA, IoT, etc.).
- El papel del CENAM en el desarrollo de la metrología en México.

### **2. Integración de la metrología en los procesos de producción**

- Planificación de la integración de la metrología.
- Implementación de la metrología en las diferentes etapas del proceso de producción.
- Seguimiento y control de la metrología.

- Metrología para la producción y metrología para cumplir con las regulaciones.
- Desafíos de la metrología en la producción (asegurar la calidad, evitar retrasos, etc.).

### **3. Capacitación y formación para profesionales de metrología**

- Programas de capacitación y formación.
- Recursos de aprendizaje.
- Certificaciones.
- Necesidad de nuevas competencias para la transición hacia la electromovilidad.
- Importancia del trabajo en equipo y la comunicación entre los profesionales de metrología.

### **4. Tecnologías de metrología**

- Tecnologías de medición 4.0.
- Software de gestión de datos de medición.
- Técnicas de medición avanzadas para resultados rápidos y precisos.
- Métodos de medición en línea y metrología para la fabricación aditiva.
- Digitalización y automatización de la metrología.

### **5. Gestión del conocimiento en metrología**

- Estrategias para compartir y transferir el conocimiento.
- Herramientas de gestión del conocimiento.
- Importancia del lenguaje científico y los estándares de medición.
- La metrología como base para la innovación en la industria automotriz.

### **6. Retos para la metrología en la industria automotriz**

- Falta de personal capacitado.
- Falta de recursos.
- Resistencia al cambio.

- Necesidad de adaptación a las nuevas tecnologías.
- Diversidad de regulaciones en diferentes países.

## **7. La transición hacia la electromovilidad**

- Desafíos y oportunidades para la metrología.
- Necesidad de desarrollar nuevas capacidades en metrología para la electromovilidad.
- Adaptación de la metrología a los nuevos requerimientos tecnológicos de la electromovilidad.
- Desarrollo de baterías, semiconductores y otros componentes para vehículos eléctricos.
- La metrología en la recarga de vehículos eléctricos, la eficiencia de las baterías, etc.

## **8. El papel de la innovación y el desarrollo tecnológico**

- Importancia de la innovación en la industria automotriz.
- Necesidad de invertir en investigación y desarrollo en metrología.
- La metrología como base para la innovación en la industria automotriz.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de medición y sensores.
- Colaboración entre la industria, la academia y el gobierno para impulsar la innovación en metrología.

## **9. Conclusiones**

- Resumen de los principales desafíos y oportunidades de la metrología en la industria automotriz.
- Recomendaciones para fortalecer la metrología en México y apoyar a la industria en su desarrollo.
- La importancia de la metrología para la competitividad de la industria automotriz mexicana.

Este estudio ha examinado meticulosamente la función crucial de la optimización metrológica en el incremento de la competitividad y la sostenibilidad de la industria automotriz mexicana, especialmente en el marco de la transición gradual del sector hacia la electromovilidad. Los hallazgos de la investigación se concretan en un marco exhaustivo y un manual práctico de mejores prácticas, diseñados para orientar a las partes interesadas a través de las complejidades de las demandas metrológicas actuales.

El fundamento fundamental de este estudio es la identificación de que la metrología trasciende su percepción tradicional como una simple función de calibración y medición. Por el contrario, se presenta como una necesidad estratégica, intrínsecamente vinculada con la eficiencia de los procesos de producción, la calidad de los productos y la sostenibilidad global de las operaciones. El marco propuesto representa de manera explícita esta interrelación, delineando las relaciones fundamentales entre:

- **Infraestructura metrológica:** El estado actual de calibración de los equipos de medición, el software y las instalaciones de laboratorio.
- **Capital Humano:** La pericia, el adiestramiento y la capacidad operativa del personal metrológico.
- **Procedimientos metrológicos:** La exactitud y el cumplimiento de los protocolos de medición estandarizados, incluyendo el análisis de trazabilidad e incertidumbre.
- **Cultura Organizacional:** Las actitudes, los principios y los compromisos predominantes hacia la precisión metrológica y el perfeccionamiento constante.
- **Integración de la electromovilidad:** La medida en la cual los sistemas metrológicos se ajustan a los requerimientos de medición particulares en la producción de vehículos eléctricos.

La evaluación estadística de los datos de producción automotriz, que es primordialmente descriptiva, ofrece una contextualización fundamental. Elucida

las variaciones en los volúmenes de producción durante el período examinado, subrayando la naturaleza dinámica de la industria y la necesidad de sistemas metrológicos adaptables capaces de adaptarse a los paradigmas de producción en constante cambio.

### **Hallazgos Clave e Implicaciones Técnicas:**

- 1. Marco Metrológico Sistémico:** El estudio evidencia la necesidad de un enfoque sistémico para la gestión metrológica. El esquema desarrollado subraya la interrelación de las variables previamente mencionadas, lo que evidencia que las mejoras aisladas en la instrumentación resultan insuficientes sin inversiones proporcionales en la capacitación del personal y la normalización de los procedimientos. Esta visión integral resulta esencial para alcanzar mejoras persistentes y significativas en el desempeño metrológico.
- 2. Desafíos metrológicos de la electromovilidad:** La investigación examina los retos metrológicos particulares que se presentan con la adopción en aumento de la electromovilidad. Estos incluyen:
  - **Nuevos parámetros de medición:** La exigencia de cuantificar de manera precisa parámetros eléctricos tales como voltaje, corriente, potencia y capacidad de almacenamiento de energía.
  - **Instrumentación Especializada:** La demanda de equipos sofisticados que puedan gestionar sistemas de alto voltaje y analizar el desempeño de la batería.
  - **Seguridad y Fiabilidad:** La relevancia esencial de la exactitud metrológica para asegurar la seguridad y la confiabilidad de los componentes y sistemas de los Vehículos de Transporte.

El marco aborda estos retos al incorporar de manera explícita la electromovilidad como un factor esencial en la adaptación metrológica.

### 3. La Metrología como Impulsor de la Competitividad y la

**Sostenibilidad:** El estudio evidencia la vinculación sinérgica entre la excelencia metrológica, la competitividad y la sostenibilidad.

- **Competitividad:** Las prácticas metrológicas optimizadas disminuyen la variabilidad en la producción, reducen los defectos y potencian la eficiencia de los procesos, lo cual contribuye a la disminución de costos y al mejoramiento de la calidad del producto.
- **Sostenibilidad:** La cuantificación precisa resulta indispensable para la supervisión y regulación de los impactos ambientales, la optimización del consumo energético y la garantía del cumplimiento de las normativas establecidas.

La iniciativa destaca la función de la metrología como un facilitador esencial para la sostenibilidad tanto económica como ambiental en el sector automotriz.

### 4. Implementación práctica a través del Manual de Mejores

**Prácticas:** La propuesta de contenido de un manual de las mejores prácticas ofrece un recurso práctico y factible para las partes interesadas de la industria. Este manual transmuta el marco teórico en instrucciones específicas para la implementación de sistemas metrológicos optimizados, abordando los desafíos particulares de la electromovilidad y promoviendo una cultura de excelencia metrológica.

### 5. Potencial para metodologías analíticas avanzadas:

El proyecto sugiere la implementación de metodologías analíticas sofisticadas, tales como las redes bayesianas, las redes neuronales y el modelado de simulación, con el fin de optimizar de manera más efectiva la optimización metrológica. Aunque es necesario obtener datos adicionales para la implementación íntegra, estas técnicas proporcionan el potencial para:

- **Metrología Predictiva:** Evaluación de las desviaciones en la medición y mitigación proactiva de posibles problemas de calidad.
- **Optimización de Procesos Metrológicos:** Identificación y racionalización de los procedimientos metrológicos ineficientes.
- **Análisis de Sensibilidad:** Evaluación del impacto de las variaciones en los parámetros metrológicos en la calidad y el rendimiento del producto.

## REFERENCIAS

- Academia Journals. (2018). *Las operaciones de metrología en la industria automotriz*. Memorias Academia Journals Celaya 2018 - Tomo 14. <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/5e46d7332bcf325aff56b133/1581700945450/Memorias+Academia+Journals+Celaya+2018+-+Tomo+14.pdf>
- Adeyemi, H. O., Akinyemi, O. O., Musa, A. I., y Ibikunle, B. Q. (2016). Assessment of work-space and work-method designs in Nigeria automobile service and repair industry. *Nigerian Journal of Technology*, 35(2), 321-328. <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v35i2.12>
- Alavi, M., y Leidner, D. E. (2001). *Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues*. *MIS quarterly*, 25(1), 107-136. <https://doi.org/10.2307/3250961>
- Águila, A., y Tolamatl, J. (2016). *Análisis de la innovación, la tecnología, los recursos humanos y la infraestructura, como impulsores de la competitividad manufacturera del sector autopartes: comparación y recomendaciones para el estado de Tlaxcala*. Universidad Politécnica de Tlaxcala y Palibrio. <https://acortar.link/J4kFli>
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (2020). *Plan estratégico de la industria automotriz mexicana 2020-2030*. <https://www.amia.com.mx/wp-content/uploads/2020/07/Plan-Estrategico-de-la-Industria-Automotriz-Mexicana-2020-2030.pdf>
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA). (2023). *Venta de vehículos ligeros en México*. <https://www.amia.com.mx/ventas-internas-de-vehiculos-ligeros/>



- Baykasoğlu, A., Özdenli, O., y Baykasoğlu, C. (2015). Knowledge management in the automotive industry: A case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.218>
- Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). (2023). *The International System of Units (SI)*. <https://www.bipm.org/en/home/>
- Carrillo, J., y Lara, J. (2017). *Innovación, aprendizaje y capacidades en la industria automotriz en México: dinámicas territoriales emergentes. Economía, Sociedad y Territorio*, 17(53), 385–411. Disponible en: <https://doi.org/10.22136/est20171225>
- Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5ta ed.). Sage publications. [https://www.ucq.ac.me/skladiste/blog\\_609332/objava\\_105202/fajlovi/Creswell.pdf](https://www.ucq.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf)
- Chyzyk I., Danylina I. (2021). Problems of the measurement management systems evaluation for business entities on voluntary basis. SE «Ukrmetrteststandart», Ukraine. Measurements Infrastructure Vol. 2 [https://doi.org/10.33955/v2\(2021\)-006](https://doi.org/10.33955/v2(2021)-006)
- Díaz-Mora, C., y García López, E. (2016). Factores explicativos de las redes transnacionales de producción en la Unión Europea: economías centrales vs periferias sur y este. *Revista de Economía Mundial*, (43). <https://doi.org/10.33776/rem.v0i43.3856>
- European Association of National Metrology Institutes (2016). *Knowledge transfer in metrology: Guidelines for good practice*. <https://www.euramet.org/media/3767/gpgtm-knowledge-transfer-in-metrology-final-2016-03-07.pdf>

- García Echeverría, A. K. (2020). *Historia de la Industria Automotriz en México y Sus Modelos Productivos de 1925 a 2008*. El Semestre de las Especializaciones, 1-2, 167–204. Recuperado de [https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/1-2-2020/05\\_HE\\_Garcia-Echeverria\\_2019.pdf](https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/1-2-2020/05_HE_Garcia-Echeverria_2019.pdf)
- General Motors Company. (2023). *GM Ranked First In 2022 J.D. Power Initial Quality Study*. GM Authority. <https://gmauthority.com/blog/2022/07/gm-ranked-first-in-2022-j-d-power-initial-quality-study/>
- Ghosh, R. K., Banerjee, A., Aich, P., Basu, D., y Ghosh, U. (2022). *Intelligent IoT for automotive industry 4.0: Challenges, opportunities, and future trends. Intelligent Internet of Things for Healthcare and Industry* (pp. 327-352). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-81473-1>
- Hernández Rivera, Y.C. (2010). *Evolución tecnológica de instrumentos de medición utilizados en la industria automotriz*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora] <https://1library.co/document/y4g58xky-evolucion-tecnologica-instrumentos-medicion-utilizados-industria-automotriz.html>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros. Indicadores económicos del sector automotriz*. <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>
- International Bureau of Weights and Measures. (2019). *The International System of Units (SI)*. (9na. ed.). BIPM. <https://www.nist.gov/publications/international-system-units-si-2019-edition>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2023). *Electrotechnical vocabulary for measuring instruments - Part 3: General metrological terms (IEC 60050-3:2023)*. <https://electropedia.org/>

International Energy Agency. (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>

International Organization for Standardization. (ISO). (2009). *ISO/TS 16949:2009 Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations*. <https://www.iso.org/standard/52844.html>

International Organization for Standardization. (ISO). (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems - Requirements*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:62085:en>

International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. <https://www.iso.org/>

Juran, J. M., y Gryna, M. A. (2003). *Quality planning and analysis*. McGraw-Hill.

Joint Committee for Guides in Metrology. (2020). *Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM GUM-6:2020)*. [https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM\\_GUM\\_6\\_2020.pdf](https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_GUM_6_2020.pdf)

Joint Committee for Guides in Metrology. (2012) JCGM 200:2012 International Vocabulary of Metrology - Basic and general concepts and associated terms (2012) [https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012\\_\(2012\)](https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012_(2012))

Martínez Islas, S. (2022). *Desarrollo del plan de negocios para la creación de la empresa metro\_sermi de servicios de asesoría en aseguramiento de*

*calidad y metrología*. [Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. Repositorio Institucional del Tecnológico de Monterrey. [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/651445/MartinezIslas Sergio\\_TesisMaestria.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/651445/MartinezIslas Sergio_TesisMaestria.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Martos Valderrama, G. (2017). *Revolución científica: un acercamiento crítico a la actualidad del pensamiento científico kuhniano*. *Fragmentos de Filosofía*, (15), 3–19. Recuperado de [https://revistascientificas.us.es/index.php/fragmentos\\_filosofia/article/view/24863](https://revistascientificas.us.es/index.php/fragmentos_filosofia/article/view/24863)

Medina, M. D. L. Á. (2002). *Cambios en la industria automotriz frente a la globalización: el sector de autopartes en México*. *Contaduría y Administración*, (206), 29-49. [https://www.researchgate.net/publication/26612419\\_Cambios\\_en\\_la\\_industria\\_automotriz\\_frente\\_a\\_la\\_globalizacion\\_el\\_sector\\_de\\_autopartes\\_en\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/26612419_Cambios_en_la_industria_automotriz_frente_a_la_globalizacion_el_sector_de_autopartes_en_Mexico)

Miranda, Arturo Vicencio. (2007). *La industria automotriz en México: Antecedentes, situación actual y perspectivas*. *Contaduría y administración*, (221), 209-246. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-10422007000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-10422007000100010&lng=es&tlng=es).

Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments*. John Wiley y Sons.

National Institute of Standards and Technology (2021). *Dimensional metrology*. <https://www.nist.gov/programs-projects/dimensional-metrology>

Nonaka, I., y Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university

press. <https://global.oup.com/academic/product/the-knowledge-creating-company-9780195092691>

Norma Oficial Mexicana NOM-194-SCFI-2015. (2015, noviembre 30). *Neumáticos nuevos para vehículos automotores - Requisitos de información comercial y seguridad. Diario Oficial de la Federación.* [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5436325&fecha=09%2F05%2F2016](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5436325&fecha=09%2F05%2F2016)

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCT-2-2017. (2017, mayo 19). *Carreteras y puentes - Diseño y construcción de pavimentos. Diario Oficial de la Federación.* (No encontré Link)

Organización Internacional de Metrología Legal (OIML). (2006). *OIML D 1:2006. Metrology in legal metrology: Basic concepts – Units and quantities.* OIML. [http://www.oiml.org/publications/D/html/D001\\_fr.htm](http://www.oiml.org/publications/D/html/D001_fr.htm)

Paredes Santacruz, A. J. (2014). *Estudio de un sistema de metrología normalizado aplicable en la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda. para garantizar la confiabilidad del control de calidad* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7569/1/Tesis%20I.%20M.%20210%20-%20Paredes%20Santacruz%20Alvaro%20Jos%C3%A9.pdf>

Petru, J., y Krivda, V. (2021). The transport of oversized cargoes from the perspective of sustainable transport infrastructure in cities. *Sustainability*, 13(10), 5524. <https://doi.org/10.3390/su13105524>

Procuraduría Federal del Consumidor. (s.f.). *Verificación y calibración. Gobierno de México.* <https://www.gob.mx/profeco/acciones-y-programas/verificacion-y-calibracion>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Perspectivas del medio ambiente mundial 2021: Hacia un futuro sostenible*. <https://unep.org/es>

Ramos Sarango, J. F. (2024). *Electromovilidad: Oportunidades y condiciones para su desarrollo en el Ecuador: Análisis de la normativa y regulaciones necesarias para la incorporación de la electromovilidad* [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25367>

Sánchez, J. (2013). *Metrología en la industria automotriz*. <https://www.aenor.com/revista-administracion-de-empresas/metrologia-en-la-industria-automotriz>

Sánchez-Gutiérrez, J., y González-Uribe, E. G. (2023). Critical factors of knowledge management to boost the competitiveness of SMEs: The case of automotive parts industry in Guadalajara, Mexico. *Skyline Business Journal*, 19(1), 44-60. <https://doi.org/10.37383/SBJ190103>

Secretaría de Economía. (s.f.). *Metrología automotriz*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/metrologia-automotriz>

Secretaría de Economía. (s.f.). *Normas oficiales mexicanas*. <https://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/normas-oficiales-mexicanas>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832517/2.3.ENME.pdf>

Servicio Nacional de Metrología (2021). *Metrología en México*. <https://www.snm.mx/metrologia-en-mexico>

- Sistemas de Automatización y Control de Procesos Industriales (SINCI), (2023). *¿Cómo mejorar la calidad de la producción en plantas ensambladoras automotrices?*. <https://sinci.com/como-mejorar-la-calidad-de-la-produccion-en-plantas-ensambladoras-de-automoviles/>
- Somos Industria. (2024). *Querétaro concentra más de 350 proveedores automotrices*. <https://www.somosindustria.com/articulo/es-sector-automotriz-en-queretaro-el-mas-dinamico/>
- Verband der Automobilindustrie. (2021). *VDA 6.4:2021 Quality Management System for the Automotive Industry*. <https://vda-qmc.de/en/>
- Toyota Motor Corporation. (2023). *Quality Assurance*. <https://global.toyota/en/sustainability/esg/quality/>
- Velychko, O., y Gordiyenko, T. (2022). Metrological aspects of introducing charging stations for electric vehicles. *Ukrainian Metrological Journal*, (3), 14-20. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2022.269704>
- Volkswagen AG. (2023). *Quality Management*. <https://annualreport2022.volkswagenag.com/group-management-report/sustainable-value-enhancement/quality.html>
- Wiig, K. M. (1997). Knowledge management: An introduction and perspective. *Journal of Knowledge Management*, 1(1), 6-14. <https://doi.org/10.1108/13673279710800682>