Universidad Nacional Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

IMPLEMENTACIÓN DEL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO EN EL LABORATORIO DE PAR TORSIONAL DE LA EMPRESA JLI METROLOGY SAC

Línea de investigación:
Física Nuclear y Ambiental

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

Autor

Sánchez Soto, José Carlos

Asesora

Bruna Mercado, Rubén

ORCID: 0000-0002-2125-9615

Jurado

Guzmán Calcina, Carmen Sandra

Mejía Cordero, Bernabé Alonso

Velezvílla Velezvia, Twiggy Miosotty

Lima - Perú

2026

RECONOCIMIENTO - NO COMERCIAL - SIN OBRA DERIVADA
(CC BY-NC-ND)

IMPLEMENTACIÓN DEL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO EN EL LABORATORIO DE PAR TORSION EMPRESA JLI METROLOGY SAC

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	15%	5%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com	Fuente de Internet
2	Submitted to Universidad TecMilenio	Trabajo del estudiante
3	docplayer.es	Fuente de Internet
4	www.slideshare.net	Fuente de Internet
5	repositorio.itm.edu.co	Fuente de Internet
6	vdocumento.com	Fuente de Internet
7	repositorio.unfv.edu.pe	Fuente de Internet
8	Submitted to John F. Kennedy, The American School of Queretaro	Trabajo del estudiante
9	Submitted to Universidad San Marcos	Trabajo del estudiante
10	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	Trabajo del estudiante
11	anfei.mx	Fuente de Internet
12	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Virtual	Trabajo del estudiante
13	cacperu.com	Fuente de Internet
14	www.cevaldom.com	Fuente de Internet

Universidad Nacional Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

IMPLEMENTACIÓN DEL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO EN EL LABORATORIO DE PAR TORSIONAL DE LA EMPRESA JLI METROLOGY SAC

Línea de investigación:

Física nuclear y ambiental

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

Autor:

Sánchez Soto, José Carlos

Asesor:

Bruna Mercado, Rubén

ORCID: 0000-0002-2125-9615

Jurado:

Guzmán Calcina, Carmen Sandra

Mejía Cordero, Bernabé Alonso

Velesvilla Velezvia, Twiggy Miosotty

Lima – Perú

2026

Infinitamente agradecido con mi familia por apoyarme en todo aquello que necesité antes, durante y después de mi formación profesional.

Agradecer también a mis profesores que gracias sus enseñanzas pude adquirir conocimientos que hoy en día son el pilar de mi carrera profesional especialmente al profesor Ruben Bruna por su valiosa orientación y dedicación en mi formación académica.

Finalmente, gracias Miriam A. por apoyarme en todo momento durante la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN……09
ABSTRAC……10
I. INTRODUCCIÓN.....11
1.1. Trayectoria del autor 13
1.2. Descripción de la empresa 13
1.3. Organigrama de la empresa.....15
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....15
1.4.1. Áreas 15
1.4.2. Funciones 15
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA..... 19
2.1. Marco teórico 19
2.1.1. Error de medición 19
2.1.2. Incertidumbre de medida 19
2.1.3. ISO 17025 21
2.1.4. Interlaboratorio 23
2.1.5. Herramientas estadísticas empleadas.....25
2.2. Validación de hoja de cálculo de error e incertidumbre de medida 31
2.2.1. Determinación del error de medición 31
2.2.3. Cálculo del error relativo por cada valor de referencia tomada.....32
2.2.4. Estimación de la incertidumbre de medida..... 32
2.2.4.1. Contribución debido a la resolución 32
2.2.4.2. Contribución debido a la reproducibilidad 33
2.2.4.3. Contribución debido a los efectos geométricos del adaptador de salida 33
2.2.4.4. Contribución debido a los efectos geométricos del acoplamiento entre el adaptador de salida.....34
2.2.4.5. Contribución debido a la variación del punto de aplicación de fuerza.....34
2.2.4.6. Contribución debido a la repetibilidad 34
2.2.5. Cálculo de los coeficientes de sensibilidad......*35*
2.2.6. Estimación de las contribuyentes de incertidumbre.....36
2.2.6.1. Cálculo la incertidumbre por resolución wδr.....36

2.2.6.2. Cálculo la incertidumbre debida a la reproducibilidad..... wδrepro 36
2.2.6.3. Cálculo la incertidumbre debido a los efectos geométricos del adaptador de salida wδod. 37
2.2.6.4. Cálculo la incertidumbre debida a los efectos geométricos del acoplamiento entre el adaptador de salida de la herramienta dinamométrica y el sistema de calibración w(δ_{int}).....37
2.2.6.5. Cálculo la incertidumbre debida a la variación del punto de aplicación de la fuerza w(δ_l). 37
2.2.6.6. Cálculo la incertidumbre debida a la repetibilidad w(δ_{re})...37
2.2.6.7. Cálculo de la incertidumbre debido a la calibración del patrón w(δ_md).....38
2.2.6.9. Cálculo de la incertidumbre combinada 38
2.2.6.10. Calculo de la incertidumbre expandida 38
2.3. Aseguramiento de la validez de los resultados.....39
2.2.1. Comprobaciones funcionales del equipamiento de medición 39
2.2.2. Comprobaciones intermedias en los equipos de medición 40
2.2.3. Repetición del ensayo o calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes......54
2.2.4. Revisión de los resultados informados.....55
2.2.5. Comparaciones intralaboratorio 55
2.2.6. Participación en ensayos de aptitud 60
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA 69
3.1. Implementación de la norma ISO 6789 69
3.2. Caracterización del sistema de medición de torque 69
3.3. Implementación del procedimiento PC-031 (INACAL).....69
3.4. Resultados Satisfactorios en el ensayo de aptitud.....69
3.5. Acreditación ante el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) 70
3.6. Acreditación ante Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc.(PJLA).....70
IV. CONCLUSIONES..... 71
V. RECOMENDACIONES 72
VI. REFERENCIAS 73
VII. ANEXO A 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Organigrama de la empresa* 15

Figura 2 *Sistema de calibración – Brazos de calibración y Soporte 0.45 N·m a 339.0 N·m* 40

Figura 3 *Sistema de calibración – Brazos de calibración y Soporte 81.3 N·m a 2711.6 N·m* 41

Figura 4 *Brazo de calibración y pesas de referencia* 41

Figura 5 *Posicionamiento y nivelación del brazo de calibración* 42

Figura 6 *Sistema de calibración – Comprobación intermedia 813 N·m* 42

Figura 7 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4 N·m* 47

Figura 8 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4,4 N·m* 47

Figura 9 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4,8 N·m* 48

Figura 10 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 5,2 N·m* 49

Figura 11 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 5,65 N·m* ... 49

Figura 12 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 80 N·m* 50

Figura 13 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 200 N·m* 51

Figura 14 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 400 N·m* 51

Figura 15 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 600,0 N·m* . 52

Figura 16 *Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 813,0 N·m* . 53

Figura 17 *Intervalos de confianza al 95% asociados a la desviación estándar de cada grupo de datos* 58

Figura 18 *Intervalos de confianza al 95% para las promedios de los valores obtenidos para cada metrólogo* 60

Figura 19 *Oficio de participación* 62

Figura 20 *Carátula del Informe Final DM-LFP-014 Evaluación de Desempeño.* 62

Figura 21 *Tabla de error normalizado* 63

Figura 22 *Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 160 N·m*.....63

Figura 23 *Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 320 N·m*.....64

Figura 24 *Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 480 N·m*.....64

Figura 25 *Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 640 N·m*.....65

Figura 26 *Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 800 N·m*.....65

Figura 27 *Representación gráfica del error normalizado en el punto 160 N.m*.....66

Figura 28 *Representación gráfica del error normalizado en el punto 320 N.m*.....66

Figura 29 *Representación gráfica del error normalizado en el punto 480 N.m*.....67

Figura 30 *Representación gráfica del error normalizado en el punto 640 N.m*.....67

Figura 31 *Representación gráfica del error normalizado en el punto 800 N.m*.....68

Figura 32 *Capacidad de Medición y Calibración (CMC) / INACAL*.....70

Figura 33 *Capacidad de Medición y Calibración (CMC) / PJLA*.....70

Figura 34 *Tendencia de los torquimetros calibrados a lo largo del tiempo (2021 – 2024)*.....71

Figura 35 *Sistema de medición de torque automático SNAP-ON*.....75

Figura 36 *Control box del sistema de medición – empleado durante las pruebas*.....75

Figura 37 *Sistema de medición de torque manual SNAP-ON*.....76

Figura 38 *Certificado de acreditación internacional – PJLA (E.E U.U)*.....76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Pruebas funcionales de los patrones (Inspección visual)* 39

Tabla 2 *Pruebas funcionales de los sistemas de generación de carga (Manual)* 39

Tabla 3 *Pruebas funcionales de los sistemas de generación de carga (Automático)* 39

Tabla 4 *Pruebas funcionales de los patrones medidas (Mediciones)* 40

Tabla 5 *Estimación de las componentes de incertidumbres (Sistema de par torsional)* 45

Tabla 6 *Estimación de las componentes de incertidumbres (Sistema de par torsional)* 46

Tabla 7 Comprobacioens intermedias en el punto 4 N·m 46

Tabla 8 *Registro de calibraciones 4,4 N·m* 47

Tabla 9 *Comprobacioens intermedias en el punto 4,8 N·m* 48

Tabla 10 *Registro de calibraciones 5,2 N·m* 48

Tabla 11 *Comprobaciones intermedias en el punto 5,65 N·m* 49

Tabla 12 *Registro de calibraciones en el punto 80 N·m* 50

Tabla 13 *Comprobaciones intermedias en el punto 200,0 N·m* 50

Tabla 14 *Registro de calibraciones en el punto 400 N·m* 51

Tabla 15 *Comprobaciones intermedias en el punto 600,0 N·m* 52

Tabla 16 *Comprobaciones intermedias en el punto 813,0 N·m* 53

Tabla 17 *Registro de los resultados obtenidos en 2 calibraciones repetidas* 54

Tabla 18 Registro de resultados revisados 55

Tabla 19 *Metrólogos participantes y datos respecto a la prueba* 56

Tabla 20 *Valores obtenidos durante las pruebas* 56

Tabla 21 *Resultados de la prueba de normalidad para el punto 100 N.m* 56

Tabla 22 *Intervalos de confianza al 95% para cada desviación estándar de cada grupo* . 57

Tabla 23 *Prueba de Barlett, p-value* 57

Tabla 24 Factores para la prueba de ANOVA 59

Tabla 25 *Prueba de ANOVA p-value* 59

Tabla 26 *Intervalos de confianza al 95% para las medias de cada grupo* 59

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal implementar el aseguramiento metrológico en la magnitud de par torsional dentro de la empresa de calibraciones JLI METROLOGY SAC. Para ello, se aplicaron las actividades contempladas en el requisito 7.7 —"Aseguramiento de la validez de los resultados"— de la norma NTP ISO/IEC 17025:2017. La implementación se desarrolló bajo una metodología de tipo aplicada y descriptiva, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental.Las actividades desarrolladas incluyeron: comprobaciones funcionales del equipamiento de medición, comprobaciones intermedias de los equipos, repetición de ensayos o calibraciones (tanto con los mismos métodos como con métodos distintos), recalibración de instrumentos retenidos, revisión de resultados informados, comparaciones intralaboratorio, y participación en un ensayo interlaboratorio para evaluar el desempeño del laboratorio frente a otros. Cada una de estas acciones fue clave para asegurar la confiabilidad de los resultados de medición..Gracias a la implementación del aseguramiento metrológico, los resultados obtenidos fueron satisfactorios y permitieron alcanzar la acreditación ante INACAL..En conclusión, la puesta en marcha de este sistema de aseguramiento metrológico no solo aseguró la validez de los resultados emitidos, sino que también brindó a los usuarios mayor confianza en la precisión de sus instrumentos. Esto se traduce en una reducción de costos, una menor necesidad de fabricación de equipamiento y un impacto ambiental reducido, generando beneficios tanto para la empresa como para el medio ambiente.

Palabras claves: par torsional, aseguramiento, comprobaciones, confiable.

ABSTRACT

The main objective of this work was to implement metrological assurance for torsional torque magnitude within the calibration company JLI METROLOGY SAC. To this end, the activities contemplated in requirement 7.7—"Assuring the validity of results"—of the NTP ISO/IEC 17025:2017 standard were applied. The implementation was developed using an applied and descriptive methodology, with a quantitative approach and an experimental design.The activities developed included: functional checks of the measuring equipment, intermediate checks of the equipment, repetition of tests or calibrations (both with the same and different methods), recalibration of retained instruments, review of reported results, intra-laboratory comparisons, and participation in an inter-laboratory test to evaluate the laboratory's performance compared to others. Each of these actions was key to ensuring the reliability of the measurement results.Thanks to the implementation of metrological assurance, the results obtained were satisfactory and led to accreditation by INACAL.In conclusion, the implementation of this metrological assurance system not only guarantees the validity of the results issued, but also gives users greater confidence in the accuracy of their instruments. This translates into reduced costs, a reduced need for equipment manufacturing, and a reduced environmental impact, generating benefits for both the company and the environment.

Keywords: torque, assurance, testing, reliable

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos la ciencia de las mediciones ha llevado a la humanidad al desarrollo de nuevas tecnologías y las mediciones que cada vez son más exactas conllevan a la mejora de las tecnologías actuales.

El desconocimiento del par torsional en los procesos industriales tiene un impacto económico significativo. La falta de optimización en la producción se traduce en mayores costos de operación, mayor consumo de energía y una disminución en la vida útil de los equipos. A largo plazo, esto afecta la competitividad de las empresas y restringe el crecimiento económico de los países.

La aplicación de un ajuste adecuado en el ensamblaje de diversas maquinas trae beneficios importantes, por ejemplo en la industria automotriz se emplea el ajuste para el mantenimiento y fabricación de motores, si el par torsional que se le aplica a los pernos y accesorios, no está debidamente medido, podría ocasionar un desperfecto mecánico lo que terminaría en un accidente, por otro lado si la precisión con la que se ajustaron los pernos no es la especificada por el fabricante, el motor empezara a fallar en poco tiempo y sus procesos de combustión interna se verán afectados emitiendo gases nocivos para el medio ambiente.

En la industria de la salud se emplea el par torsional en el proceso de implantes dentales, los cuales requieren un torque específico para no ocasionar daños en el paciente, los torquímetros dentales, deben ser medidos con equipamiento de alta exactitud para garantizar que el torque suministrado por el personal de salud sea optimo.

En la industria de la aeronáutica el par de torsión es un factor determinante en la seguridad y el rendimiento de las aeronaves. Cada tornillo, tuerca y perno deben ajustarse con la fuerza precisa para garantizar la integridad estructural de la aeronave. Las llaves dinamométricas digitales, al permitir una medición exacta del par, son herramientas

indispensables en la fabricación y mantenimiento de los aviones. Su calibración periódica es fundamental para asegurar que cada conexión se realice de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Con el crecimiento de la industria y la creciente demanda especialmente en sectores de automotriz, náutica y en gas, se hizo necesario aplicar una intensificación y la mejora del control de calidad de productos y servicios ofrecidos en apoyo de estos sectores. Entre los diversos aspectos que contribuyen a la calidad e inocuidad del producto final en estos sectores se pueden destacar la exactitud de el par torsional (torque) aplicado a la Asamblea de los equipos y estructuras (Palmeira, 2007).

La calibración de torquímetros tiene como principal objetivo el cálculo del error de indicación, que evalúa en qué medida el valor del torquímetro está lejos de los valores verdaderos, y la incertidumbre de medición, que incluye principalmente los parámetros aleatorios del equipo (Inmetro, 2008; ABNT 2000).

1.1. Trayectoria del autor

El 22 de Diciembre del 2021 Obtuve el Grado de Bachiller en Física, realicé estudios de especialización en el INACAL (2020) “Calibración de torquímetros usando transductores”, Mientras tanto me desempeñaba como metrólogo del laboratorio de fuerza y torque, en el 2021 implemente el uso de la ISO 6789 en el laboratorio de fuerza y torque, a inicios del 2022 tuve un ascenso al puesto de responsable de laboratorio y empecé a especializarme en diversos cursos para mejorar mi competencia, algunos de los cursos fueron: INACAL (2022) el curso de “Aseguramiento metrológico, trazabilidad y vocabulario internacional de metrología” ; UNALM (2022) “Gestión y aseguramiento metrológico y calibración de equipos” ; UNALM (2022) Interpretación de la norma iso/iec 17025:2017 , (2024) “Estadística aplicada en el marco de la norma iso/iec 17025:2017” , haciendo uso de lo aprendido en los cursos, empecé a implementar el aseguramiento metrológico para la magnitud par torsional. Adicionalemente Realicé estudios de especialización en el Centro de metrología (CENAM) de México llevando el curso (2022) “Metrología de par torsional avanzada (para calibración de transductores)”

1.2. Descripción de la empresa

JLI METROLOGY S.A.C. es una empresa peruana dedicada a brindar servicios de calibración y verificación de instrumentos de medición con altos estándares de calidad. Fundada en el año 2005, la empresa ha logrado consolidarse como un referente en el campo de la metrología gracias a su compromiso con la precisión, la confiabilidad y la mejora continua.

Ubicada en el distrito de Breña, en Lima, JLI METROLOGY cuenta con un laboratorio que opera bajo los lineamientos de la norma internacional NTP ISO/IEC 17025:2017, lo que garantiza la competencia técnica del personal y la validez de los resultados que emite. Sus

procesos están respaldados por patrones trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), con referencias reconocidas como el NIST (National Institute of Standards and Technology) y el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) del Perú.

La empresa tiene como misión contribuir al desarrollo del sector industrial, tecnológico y aeronáutico del país, ofreciendo servicios confiables, oportunos y técnicamente sólidos. Su visión es convertirse en un laboratorio líder a nivel nacional, reconocido por su compromiso con la calidad y la excelencia técnica.

JLI METROLOGY también ha implementado una política de calidad orientada a garantizar la satisfacción del cliente, asegurar la competencia de su equipo humano, preservar la imparcialidad en todas sus actividades y mantener un proceso de mejora continua en sus operaciones.

Gracias a este enfoque integral, la empresa ha logrado obtener la acreditación de INACAL, lo que respalda oficialmente su competencia técnica y le permite ofrecer resultados confiables y reconocidos a nivel nacional.

Reconocimientos y Acreditaciones

La empresa ha obtenido la acreditación de INACAL (Perú) y Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc.(EEUU), lo que respalda su competencia técnica y la calidad de sus servicios de calibración.

Datos Generales

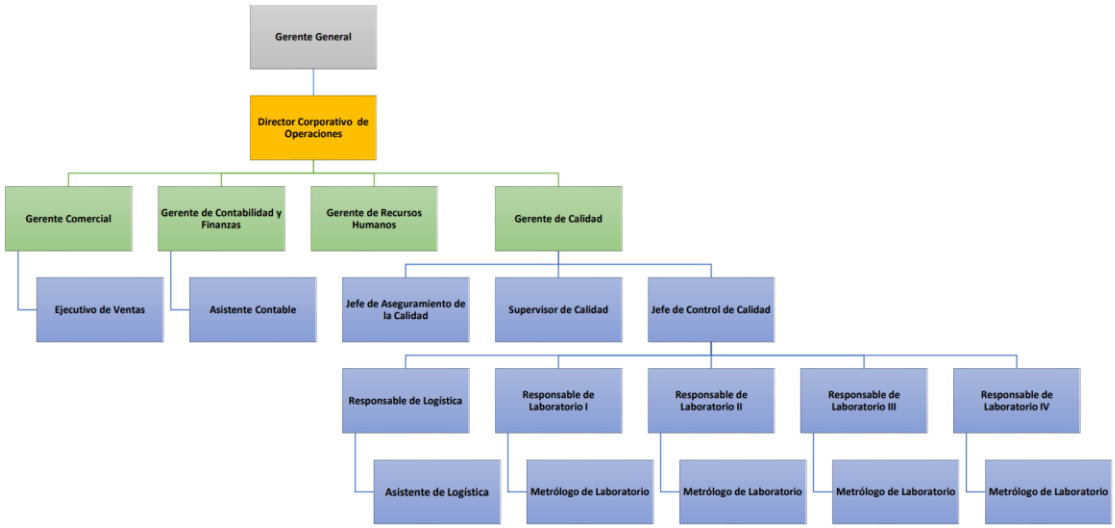
- **RUC**: 20510675097
- **Tipo de Sociedad**: Sociedad Anónima Cerrada
- **Estado**: Activo

- **Teléfono**: +51 1 636 0265
- **Sitio Web**: www.jli.com.pe

1.3. Organigrama de la empresa

Figura 1.

Organigrama de la empresa



1.4. Áreas y funciones desempeñadas

1.4.1. Áreas

El área en donde me desempeño actualmente es el área de Operaciones teniendo como cargo Responsable de laboratorio.

1.4.2. Funciones

Revisar los reportes de calibración y/o informes técnicos correspondientes a las órdenes de trabajo además elaborar certificados de calibración. Lo cual requiere el análisis tanto de los errores obtenidos, así como de las incertidumbres asociadas, determinando la incertidumbre que tuvo mayor impacto sobre los resultados, de manera que se puedan implementar controles y/o mejoras acerca de la técnica de medición.

Supervisar las calibraciones realizadas por el personal a su cargo dentro del área y laboratorio asignados. El responsable de laboratorio analiza el entorno de calibración supervisando tanto al personal, como las influencias externas que puedan afectar los resultados de medición durante la calibración.

Desarrollar, actualizar y mantener la documentación técnica y la documentación del sistema de gestión aplicable al laboratorio, lo cual engloba:

Procedimientos desarrollados por el laboratorio, para lo cual debe realizar un trabajo de investigación previo acerca del mensurando y la técnica de medición, estableciendo un modelo matemático para la determinación del error de medida y la posterior estimación de la incertidumbre.

Actualizar las hojas de cálculo, los documentos correspondientes al aseguramiento metrológico y los documentos que evidencian el seguimiento de los patrones de medición.

Mantener los documentos existentes que evidencian el cumplimiento de los requisitos establecidos en la ISO 17025.

Coordinar con las áreas involucradas en el proceso operativo para asegurar la calidad del servicio de calibración. Mediante la coordinación con las áreas involucradas el responsable se asegura que servicio de calibración ofrecido sea de calidad y no presente inconvenientes.

Tomar acciones para prevenir o minimizar desviaciones que puedan afectar la calidad y confiabilidad de los resultados. El responsable analiza todos los factores posibles en base a su conocimiento, experiencia y formación, previniendo las desviaciones que puedan suceder durante el proceso de calibración.

Planificar, elaborar y ejecutar validaciones, verificaciones y controles aplicables a los métodos de medición de los diferentes servicios de calibración. El responsable deberá tener amplio conocimiento acerca del mensurando, de manera que será capaz de detectar todos los factores que influyen y contribuyen al error de medida, estableciendo un modelo matemático tanto para el mensurando como para el error, además determina si las incertidumbres encontradas son significativas respecto al instrumento que se desea calibrar, y posteriormente evalúa los parámetros de desempeño que son claves para determinar la aplicabilidad del método desarrollado.

Analizar resultados de Intercomparaciones y otras actividades orientadas al aseguramiento de la validez de los resultados, Lo cual requiere el análisis de los resultados obtenidos en las Inter comparaciones, en donde el responsable investiga la causa del sesgo y propone controles para minimizarlo. Además, el responsable debe detectar tendencias de manera que pueda realizar acciones preventivas antes de que el equipo tenga un sesgo que produzca resultados poco confiables.

Revisar documentos técnicos y hojas de cálculo empleadas en el laboratorio, verificando su correcto uso y funcionalidad.

Dar seguimiento a los trabajos programados a fin de asegurar que las calibraciones se ejecuten dentro de los plazos establecidos.

Informar a la gerencia sobre aspectos relacionados con el desempeño del sistema de gestión y las necesidades de mejora del área bajo su responsabilidad.

Responsabilidades:

Asegurar el correcto uso de las hojas de cálculo utilizadas en sus laboratorios.

Revisar periódicamente los documentos realizados por los metrólogos de los laboratorios asignados a su cargo.

Controlar que las hojas de cálculo asignadas al laboratorio sean usadas de manera correcta.

Elaborar, verificar y asegurar la funcionalidad de las hojas de cálculo.

Planificar y asegurar que el cronograma de aseguramiento de la validez de los resultados se cumpla correctamente.

Realizar y dar seguimiento a las autorizaciones de los metrólogos.

Informar a la gerencia acerca del desempeño del sistema de gestión y de cualquier necesidad de mejora

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

2.1.Marco teórico

2.1.1. Error de medición

Según la GUM, el error de medición se define como: “El resultado de una medición menos el valor verdadero del mensurando.” (GUM, 1995).

En la práctica metrológica, como el valor verdadero del mensurando es generalmente desconocido, el error no puede determinarse con exactitud. Por ello, se diferencia entre:

El modelo matemático del error de medición se expresa como:

$$e = x - X$$

donde:

- e: error de medición

- x: resultado de la medición (valor medido)

- X: valor verdadero del mensurando (habitualmente desconocido)

Como el valor verdadero no puede conocerse exactamente, se utiliza un valor de referencia trazable (x_{ref}), como el de un patrón calibrado:

$$e = x - x_{ref}$$

2.1.2. Incertidumbre de medida

Según la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM), la incertidumbre de medición se define como: "Un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, basado en la información utilizada."

(GUM, 1995).La incertidumbre no representa un error, sino un rango en el cual se espera que se encuentre el valor verdadero del mensurando con un nivel de confianza determinado.

2.1.2.1. Tipos de Evaluación de la Incertidumbre

- Evaluación Tipo A: Basada en métodos estadísticos (repetición de mediciones).
- Evaluación Tipo B: Basada en otras fuentes de información (especificaciones, certificados de calibración, experiencia previa, etc.).

2.1.2.2. Cálculo de la Incertidumbre Combinada

La incertidumbre combinada se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres estándar individuales:

$$u_c^2(y) = \Sigma \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) \right]$$

$$u_c\ (y) = \sqrt{\Sigma\ [\ c_i{}^2 \cdot\ u^2(x_i)]}$$

La incertidumbre combinada se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres estándar individuales:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 c_1^2 + u_2^2 c_2^2 + \ \dots\ + u_n^2 c_n^2}$$

donde: $u_1, u_2, \dots, u_n$ son las incertidumbres estándar individuales de cada componente.

2.1.2.3. Cálculo de la incertidumbre expandida / Ecuación de Welch-Satterthwaite

Cuando los componentes tienen diferentes grados de libertad, se estima un valor efectivo veff:

$$veff = \frac{(uc^4)}{\sum\left[\frac{(ui^4)}{vi}\right]}$$

donde:

veff: grados de libertad efectivos

uc : incertidumbre combinada estándar

ui : incertidumbre estándar del componente i

vi : grados de libertad del componente i

c.2. Estimación del factor de cobertura

$$t(v_{e_{FF}}, \alpha) = k$$

$$t\left(\frac{(uc^4)}{\sum\left[\frac{(ui^4)}{vi}\right]}, \alpha\right) = k$$

De esta manera la expresión general del error de medición es :

$$\text{Error de medida} \pm \left[t\left(\frac{(uc^4)}{\sum\left[\frac{(ui^4)}{vi}\right]}, \alpha\right) \times \sqrt{\Sigma\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u^2(x_i)\right]}\right]$$

2.1.3. ISO 17025

La ISO/IEC 17025:2017 es una norma internacional que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Su propósito principal es garantizar que los laboratorios operen de manera técnicamente competente y sean

capaces de generar resultados técnicamente válidos y trazables (International Organization for Standardization. (2017)).

Esta norma cubre aspectos tanto técnicos como del sistema de gestión de calidad, incluyendo la imparcialidad, la competencia del personal, la validez de los métodos, la trazabilidad metrológica, la calibración y mantenimiento de equipos, y la gestión de los riesgos asociados a las actividades del laboratorio.

La adopción de la ISO/IEC 17025 permite a los laboratorios demostrar su conformidad técnica ante clientes, organismos reguladores y entes de acreditación, fomentando la confianza en los resultados que emiten.

Entre los requisitos expuestos en la norma, se encuentran los requisitos para el aseguramiento de la valides de los resultados ubicados en el punto 7.7 :

a. Uso de instrumentos alternativos que han sido calibrados para obtener resultados trazables. Permite verificar la coherencia de los resultados mediante la comparación con instrumentos distintos al habitual, siempre que cuenten con trazabilidad metrológica.

b. Comprobaciones funcionales del equipamiento de ensayo y de medición

c. Estas comprobaciones buscan asegurar que los instrumentos funcionen correctamente antes de ser utilizados en tareas críticas, minimizando riesgos por mal funcionamiento.

d. Uso de patrones de verificación o patrones de trabajo con gráficos de control, cuando sea aplicable. Esta práctica permite monitorear la estabilidad del sistema de medición a través de métodos estadísticos visuales, como los gráficos de control

e. Comprobaciones intermedias en los equipos de medición.

Consisten en evaluaciones periódicas entre calibraciones para asegurar que el equipo no ha sufrido desviaciones que comprometan la validez de los resultados.

f. Repetición del ensayo o calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes. Permite verificar la reproducibilidad o la robustez de los resultados frente a cambios en el método empleado.

g. Reensayo o recalibración de los ítems retenidos.Esta acción permite confirmar resultados pasados mediante una nueva medición del mismo ítem, siempre que se haya conservado adecuadamente.

h. Correlación de resultados para diferentes características de un ítem.

Consiste en evaluar la coherencia entre distintas variables medidas de un mismo objeto, para detectar posibles inconsistencias.

i. Revisión de los resultados informados.

Implica el análisis posterior de los informes emitidos para identificar errores, desviaciones o tendencias recurrentes.

j. Comparaciones intralaboratorio.

Consisten en la comparación de resultados entre diferentes personas, equipos o métodos dentro del mismo laboratorio, permitiendo evaluar su coherencia interna.

k. Ensayos de muestras ciegas.

Se refiere a la medición de muestras cuyo valor es desconocido para el operador, con el fin de verificar la objetividad del proceso y detectar errores sistemáticos o sesgos.

2.1.4. Interlaboratorio

Un ensayo interlaboratorio es una comparación organizada de mediciones o ensayos entre dos o más laboratorios, usando el mismo tipo de muestra o patrón, con el fin de evaluar y comparar la exactitud y consistencia de sus resultados.Son muy importantes por los siguientes motivos:

a. Demuestra competencia técnica

Permite evidenciar que el laboratorio puede obtener resultados correctos y comparables frente a otros laboratorios que usan el mismo método o uno equivalente.

Es una manera objetiva de probar que no solo se trabaja “según el procedimiento”, sino que los resultados realmente son confiables.

b. Cumplimiento de requisitos normativos y de acreditación

La **ISO/IEC 17025**, en el punto 7.7, pide monitorear la validez de los resultados, y una de las formas más sólidas es a través de ensayos interlaboratorio o comparaciones.

INACAL y otros organismos de acreditación los consideran como una evidencia clave durante auditorías.

c. Detecta problemas ocultos

Si el resultado de tu laboratorio se desvía del consenso o valor de referencia, eso puede revelar errores de método, instrumentos descalibrados, problemas de personal o incluso fallas en la preparación de muestras. Detectar esto a tiempo evita que esos errores lleguen al cliente.

d. Mejora continua

Al recibir un reporte con estadísticas de desempeño (por ejemplo, z-score, En value), el laboratorio puede implementar acciones correctivas y preventivas.Sirve para ajustar procedimientos, capacitar personal o mejorar mantenimiento de equipos.

e. Reconocimiento y confianza

Un buen desempeño en varios EIL refuerza la imagen del laboratorio ante clientes, auditores y autoridades.

Es un respaldo documental que demuestra que tus resultados son consistentes a nivel nacional o internacional.

f. Actualización técnica

Permite comparar métodos, técnicas y criterios de evaluación con otros laboratorios, lo que ayuda a mantenerse actualizado en la disciplina.

2.1.5. Herramientas estadísticas empleadas

2.1.5.1. Error Normalizado (En)

El Error Normalizado (En) es un estadístico que permite evaluar la compatibilidad metrológica entre dos resultados de medición —habitualmente el de un laboratorio evaluado y el de un laboratorio de referencia—, considerando sus respectivas incertidumbres expandidas. Su uso es común en ejercicios de intercomparación de laboratorios, ensayos de aptitud y evaluaciones de desempeño metrológico, particularmente bajo los requisitos de las normas ISO/IEC 17025 y ISO/IEC 17043.

Se define formalmente como:

$$En = \frac{(X_L - X_R)}{\sqrt{(U_L^2 + U_R^2)}}$$

donde:

i. X_L: Valor medido por el laboratorio bajo evaluación.

ii. X_R: Valor de referencia (por lo general proporcionado por el laboratorio organizador, un patrón nacional, o un valor consensuado).

iii. U_L: Incertidumbre expandida asociada a X_L, con un nivel de confianza típicamente del 95 %.

iv. U_R: Incertidumbre expandida asociada a X_R, con el mismo nivel de confianza.

Criterio de aceptación técnica:

v. Si |En| <1: el resultado del laboratorio se considera compatible con el valor de referencia dentro de las incertidumbres declaradas.

vi. Si |En| ≥ 1: se considera que existe una discrepancia significativa que puede comprometer la validez del resultado o requerir investigación adicional.

2.1.5.2. Prueba de Shapiro-Wilk

La prueba se basa en el cálculo de una estadística W que compara los valores ordenados de la muestra con los valores esperados bajo una distribución normal estándar. La estadística W se define como:

$$W = \frac{[(\sum a_i \, x_i)]^2}{[\sum (x_i - \bar{x})^2]}$$

Donde:

- x_i representa los valores ordenados de la muestra,

- $\bar{x}$ es la media muestral,

- a_i son coeficientes derivados de la matriz de varianza-covarianza de una muestra normal estándar.

La hipótesis nula H_0 establece que la muestra proviene de una distribución normal, mientras que la alternativa H_1 sostiene que no es así. Si el valor de p obtenido es menor al nivel de significancia predefinido (por ejemplo, $\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula.

2.1.5.3. Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Bartlett

La prueba de Bartlett es una herramienta estadística utilizada para verificar si varios grupos de datos presentan varianzas iguales, es decir, si tienen homogeneidad de varianzas. Esta condición es fundamental para el cumplimiento de los supuestos de pruebas paramétricas como el ANOVA (Análisis de Varianza).

Esta prueba contrasta la hipótesis nula:

- H_0: Todas las poblaciones tienen varianzas iguales.

- H_1: Al menos una de las poblaciones tiene una varianza diferente.

La estadística de prueba se calcula con base en las varianzas muestrales individuales y la varianza combinada. Se asume que los datos siguen una distribución normal, ya que la prueba es sensible a la desviación de la normalidad (Bartlett, M. S.,1937).

Fórmula de la estadística de Bartlett

Supongamos que hay k grupos con n_i observaciones cada uno, y s_i^2 es la varianza muestral del grupo i. Entonces la estadística de Bartlett se calcula como:

$$\chi^2 = \frac{\left[(N - k)\ln s_p^2 - \Sigma(n_i - 1)\ln {s_i}^2\right]}{C}$$

Donde:

- $N = \Sigma\, n_i$: total de observaciones

- s_p^2: varianza combinada (ponderada)

$$-C = 1 + \left[\frac{1}{3(k-1)}\right] \times \left[\Sigma\left(\frac{1}{n_i - 1}\right) - \left(\frac{1}{N - k}\right)\right]$$

La estadística χ^2 sigue aproximadamente una distribución chi-cuadrado con k - 1 grados de libertad (Montgomery, D. C., 2020)..

Interpretación

Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0: se asume homogeneidad de varianzas.

Si el valor $p \leq \alpha$, se rechaza H_0: no hay homogeneidad de varianzas[(2)].

2.1.5.4.Análisis de Varianza (ANOVA)

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una técnica estadística que permite comparar las medias de tres o más grupos para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas (Montgomery, 2020). La lógica subyacente del ANOVA es evaluar la variabilidad total observada en los datos y descomponerla en variabilidad entre grupos y variabilidad dentro de los grupos (Walpole et al., 2012).

Hipótesis y estructura general

En su forma más simple, el ANOVA de un factor plantea:

- H_0: $\mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_k$ (todas las medias poblacionales son iguales)

- H_1: Al menos una media poblacional es diferente

La prueba utiliza la estadística F, que compara la variabilidad entre grupos con la variabilidad dentro de los grupos. Esta estadística se distribuye según una distribución F de Fisher bajo la hipótesis nula (Montgomery, 2020).

Fórmula de la estadística F

La estadística F se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{MSB}{MSW}$$

Donde:

- MSB (Mean Square Between): varianza entre grupos = $\frac{SSB}{k-1}$)

- MSW (Mean Square Within): varianza dentro de los grupos = $\frac{SSW}{N-k}$

- SSB: suma de cuadrados entre grupos

- SSW: suma de cuadrados dentro de los grupos

- k: número de grupos

- N: número total de observaciones

F grandes indican evidencia contra H_0.

Supuestos del ANOVA

Para que los resultados del ANOVA sean válidos, deben cumplirse los siguientes supuestos:

- Independencia de las observaciones
- Normalidad de los residuos
- Homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) (Bartlett, 1937; ISO/IEC, 2017).

2.1.5.5. Prueba t de Student

Se utiliza para realizar inferencias sobre la media poblacional cuando la desviación estándar de la población es desconocida y el tamaño de la muestra es pequeño. Es ampliamente usada para construir intervalos de confianza y para realizar pruebas de hipótesis sobre una o dos medias (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012). Cuando una variable aleatoria X sigue una distribución normal y se tiene una muestra de tamaño n, la estadística t se define como:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

donde:

- $\bar{x}$: media muestral

- μ_0: valor hipotético de la media poblacional (hipótesis nula)

- s: desviación estándar de la muestra

- n: tamaño de la muestra

Esta estadística sigue una distribución t de Student con ν = n - 1 grados de libertad.

Para la comparación de dos medias (prueba t para muestras independientes con varianzas iguales), se usa:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left[s_p^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)\right]}}$$

donde:

- $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$: medias muestrales

- n_1, n_2: tamaños muestrales

- s_p^2: varianza combinada (pooled variance), calculada como:

$$s_p^2 = \frac{[(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_1^2]}{n_1 + n_2 - 2}$$

Estas pruebas permiten evaluar si existe una diferencia significativa entre medias de poblaciones normales bajo diferentes supuestos.

Para concluir acerca del valor de t se toma en cuenta lo siguiente:

Compara el valor calculado de t con el valor crítico t de la tabla t de Student (basado en el nivel de significancia α y los grados de libertad ν).

- Si: |t calculado| > t crítico ⇒ Rechazas H_0
- Si: |t calculado| ≤ t crítico ⇒ No rechazas H_0

Los valores de t critico se obtienen mediante las tablas

2.2. Validación de hoja de cálculo de error e incertidumbre de medida

2.2.1. Determinación del error de medición

Modelo matemático para el error de medida

$$\boldsymbol{a_{s,j} = \frac{(X_a - X_r + \delta_r + \delta_{der} + \delta_{rep} + \delta_{od} + \delta_{int} + \delta_l + \delta_{md}) \times 100}{X_r}}$$

$a_{\mathrm{S,j}}$	Error de medición relativo para el punto S y repetición j.
$\mathrm{X}a$	Indicación del instrumento bajo calibración.
X_r	Indicación del patrón de medición.
δ_r	Corrección debida a la resolución.
δ_{md}	Error por certificado de calibración del patrón de medición.
δ_{der}	Corrección debida a la deriva.
$\delta_{r\mathrm{ep}}$	Corrección debida a la reproducibilidad.
δ_{od}	Corrección debida a efectos generados por el adaptador de salida del instrumento bajo calibración.
δ_{int}	Corrección debida a efectos generados por el adaptador o interfaz colocado entre el instrumento bajo calibración y el patrón de medición.
δ_l	Corrección debida a alteración del punto de aplicación de fuerza.
$\overline{a_s}$	Promedio de las lecturas tomadas.

2.2.2. Cálculo de los errores

Se toma como referencia el 1er punto del Error relativo de medición sentido horario. Tal como se muestra a continuación:

Valor Objetivo: 68 N m

Valores de referencia tomados: 69,16 N m / 69,36 N m / 68,40 N m / 67,80 N m / 68,10 N m

Sensor empleado TTC 400 (20 lbf.ft – 250 lbf.ft)

Cálculo de Promedio

$$\overline{X_r} = \frac{(69.16 + 69.36 + 68.40 + 67.80 + 68.10)}{5}$$

$$= 68.564000000\ N\ m$$

2.2.3. Cálculo del error relativo por cada valor de referencia tomada

$$a_{1,1} = \frac{(68-69.16+0+0+0+0+0+0+0)\times 100}{69.16}$$

$$a_{1,1} = -1.677270098\ \%$$

$$a_{1,2} = \frac{(68 - 69.36 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) \times 100}{69.36}$$

$$a_{1,2} = -1.960784314\ \%$$

$$a_{1,3} = \frac{(68 - 68.40 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) \times 100}{68.40}$$

$$\boldsymbol{a_{1,3} = -0,584795322}\ \%$$

2.2.4. Estimación de la incertidumbre de medida

2.2.4.1. Contribución debido a la resolución

$$w_r = \frac{r \times 0.5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

w_r : Incertidumbre por resolución.

r : Resolución de la herramienta dinamométrica

2.2.4.2. Contribución debido a la reproducibilidad

$$\overline{X_{r.i}} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{i.j}\right)^2 \quad \ldots(3)$$

i=1,2,3.4 es el número de reiteraciones (serie)

j=1,2,3,4,5 es el número de mediciones para cada reiteración i siendo n=5

$\overline{X_{r.i}}$ Es el promedio de n repeticiones para la reiteracion i.

$$w_{repro} = \frac{b_{rep}}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

$$b_{rep} = Max(\overline{X_{r.i}}) - Min(\overline{X_{r.i}})$$

Donde w_{repro}: Incertidumbre por reproducibilidad.

b_{rep}: Diferencia entre máximo y mínimo valor de los 4 promedios obtenidos de las 4 reiteraciones.

2.2.4.3. Contribución debido a los efectos geométricos del adaptador de salida

$$w_{od} = \frac{b_{od} \times 0.5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

$$b_{od} = Max(\overline{X_{r.i}}) - Min(\overline{X_{r.i}})$$

Donde w_{od}: Incertidumbre debido a los efectos geométricos del adaptador de salida de la herramienta dinamométrica.

b_{od}: Diferencia entre máximo y mínimo valor de los 4 promedios obtenidos para cada ángulo.

2.2.4.4. Contribución debido a los efectos geométricos del acoplamiento entre el adaptador de salida

$$w_{int} = \frac{b_{int}}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

$$b_{int} = Max(\overline{X_{r.i}}) - Min(\overline{X_{r.i}})$$

Donde w_{int}: Incertidumbre debido a los efectos geométricos del acoplamiento entre el adaptador de salida de la herramienta dinamométrica y el sistema de calibración.

b_{int}: Diferencia entre máximo y mínimo valor de los 4 promedios obtenidos para cada ángulo.

2.2.4.5. Contribución debido a la variación del punto de aplicación de fuerza

$$w_l = \frac{b_l}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

$$b_l = Max(\overline{X_{r.i}}) - Min(\overline{X_{r.i}})$$

Donde w_l: Incertidumbre debido a la variación del punto de aplicación de fuerza

b_l: Diferencia entre máximo y mínimo valor de los 4 promedios obtenidos para cada posición.

2.2.4.6. Contribución debido a la repetibilidad

$$w_{re} = \frac{b_{re}}{\sqrt{5}} \times \frac{100}{\overline{X_r}}$$

$$b_{re} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{r.j} - \overline{X_{r.j}}\right)^2}$$

$$\overline{X_r} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_{r.j}$$

j=1,2..n es el número de mediciones individuales realizadas con n dependiendo del tipo

y la clase de la herramienta dinamométrica.

Donde w_{re}: Incertidumbre debido a la repetibilidad.

b_{re}: Desviación estándar de las medidas repetidas.

$\overline{X_r}$: Promedio de las repeticiones.

2.2.4.7. Contribución debido a la deriva.

$$w_{der} = \frac{\boldsymbol{\delta_{md}}}{\sqrt{3}} \; o \; \frac{e2 - e1}{\sqrt{3}}$$

Si se tiene 2 certificados se intercambia la incertidumbre expandida de la calibración del patrón por la diferencia de errores entre la última calibración y la penúltima calibración (relativo).

2.2.4.8. Contribución debido al certificado del patrón.

$$w_{md} = \frac{\boldsymbol{W_{(\delta_{md})}}}{2}$$

2.2.5. Cálculo de los coeficientes de sensibilidad.

$$\frac{\boldsymbol{\partial a_s}}{\boldsymbol{\partial \delta_r}} = \mathbf{1} \qquad \boldsymbol{Ci} = \mathbf{1}$$

$$\frac{\boldsymbol{\partial a_s}}{\boldsymbol{\partial \delta_{rep}}} = \mathbf{1} \qquad \boldsymbol{Ci} = \mathbf{1}$$

$$\frac{\boldsymbol{\partial a_s}}{\boldsymbol{\partial \delta_{od}}} = \mathbf{1} \qquad \boldsymbol{Ci} = \mathbf{1}$$

$$\frac{\boldsymbol{\partial a_s}}{\boldsymbol{\partial \delta_{int}}} = \mathbf{1} \qquad \boldsymbol{Ci} = \mathbf{1}$$

$$\frac{\partial a_s}{\partial \delta_l} = 1 \qquad Ci = 1$$

$$\frac{\partial a_s}{\partial \delta_{re}} = 1 \qquad Ci = 1$$

$$\frac{\partial a_s}{\partial \delta_{md}} = 1 \qquad Ci = 1$$

$$\frac{\partial a_s}{\partial \delta_{der}} = 1 \qquad Ci = 1$$

Reemplazar lo obtenido en las ecuaciones del 1 al 21 en la ecuación de incertidumbre combinada:

$$w_c = \sqrt{\left(\frac{w(\delta_{md})}{2}\right)^2 \times Ci + w(\delta_r) \times Ci + w(\delta_{rep}) \times Ci + w(\delta_{od}) \times Ci + w(\delta_{int}) \times Ci + w(\delta_l) \times Ci + w(\delta_{re}) \times Ci}$$

2.2.6. Estimación de las contribuyentes de incertidumbre

Realizar las pruebas para el cálculo de incertidumbre en el 20% del máximo valor de torque.

2.2.6.1. Cálculo la incertidumbre por resolución $w(\delta_r)$

$$w(\delta_r) = \frac{\frac{2}{2} \times 0.5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{68.564} = 0.4210301829\ \%$$

2.2.6.2. Cálculo la incertidumbre debida a la reproducibilidad $w(\delta_{repro})$

$$w(\delta_{repro}) = \frac{(68.504 - 68.360)}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{68.564}$$

$$= 0.1212566927\ \%$$

2.2.6.3. Cálculo la incertidumbre debido a los efectos geométricos del adaptador de salida $w(\delta_{od})$.

$$w(\delta_{od}) = \frac{(68.606 - 68.509)}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{68.564}$$

$$= \ 0.08167985548\ \%$$

2.2.6.4. Cálculo la incertidumbre debida a los efectos geométricos del acoplamiento entre el adaptador de salida de la herramienta dinamométrica y el sistema de calibración $w(\delta_{int})$.

$$(\delta_{int}) = \frac{(68.893 - 68.619)}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{68.564} = \ 0.2307245402\ \%$$

2.2.6.5. Cálculo la incertidumbre debida a la variación del punto de aplicación de la fuerza $w(\delta_l)$.

$$(\delta l) = \frac{(68.646 - 68.466)}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{68.564}$$

$$= \ 0.1515708658\ \%$$

2.2.6.6. Cálculo la incertidumbre debida a la repetibilidad $w(\delta_{re})$.

$$b_{re} = \sqrt{\frac{(68.564-69.16)^2+(68.564-69.36)^2+(68.564-68.40)^2+(68.564-67.80)^2+(68.564-68.100)^2}{4}}$$

$$= 0.673557718\ N\ m$$

$$w(\delta_{rep}) = \frac{(0.673557718\ )}{\sqrt{5}} \times \frac{100}{68.564}$$

$$= 0.4393328406\ \%$$

2.2.6.7. Cálculo de la incertidumbre debido a la calibración del patrón w(δ_md).

$$\frac{w(\delta_{md})}{2} = \frac{0.259}{2} = 0.1295\ \%$$

2.2.6.8. Cálculo de la incertidumbre debido a la deriva.

$$\frac{w(\delta_{der})}{2} = \frac{Max(incert)}{\sqrt{3}} = \frac{0.259}{\sqrt{3}} = 0.1495337197\ \%$$

2.2.6.9. Cálculo de la incertidumbre combinada

$$w_c = \sqrt{\begin{matrix}\left(\frac{w(\delta_{md})}{2}\right)^2 \times 1 + w(\delta_r) \times 1 + w(\delta_{rep}) \times 1 + w(\delta_{od}) \\ \times 1 + w(\delta_{int}) \times 1 + w(\delta_l) \times 1 + w(\delta_{re}) \times 1 + w(\delta_{der}) \times 1\end{matrix}}$$

Para el primer punto

$$w_c = \sqrt{\begin{matrix}(0.4210301829)^2 + 0.1212566927^2 + 0.08167985548^{\ 2} + \\ 0.2307245402^{\ 2} + 0.4393328406^{\ 2} + 0.1295^2 + 0.1495337197^2\end{matrix}}$$

$$w_c = 0{,}712034176$$

2.2.6.10. Calculo de la incertidumbre expandida

Considerar k=2 según el procedimiento de calibración.

Calcular la incertidumbre expandida según indica la siguiente ecuación:

$$W = k \times w_c$$

$$W = k \times w_C = 2 \times 0{,}712034176\ \% = 1{,}424068352\%$$

2.3. Aseguramiento de la validez de los resultados

2.2.1. Comprobaciones funcionales del equipamiento de medición

En las comprobaciones funcionales del equipamiento se verifica la funcionalidad de los patrones de medición en base a criterios establecidos por el fabricante.

Tabla 1 *Pruebas funcionales de los patrones (Inspección visual)*

N°	Característica de revisión	Estado
1	Estado del cuadradillo de salida (aristas)	Pasa
2	Estado del led indicador	Pasa
3	Estado de la billa de seguridad	Pasa
4	Estado del cable de conexión	Pasa
5	Estado del Indicador	Pasa

Tabla 2 *Pruebas funcionales de los sistemas de generación de carga (Manual)*

N°	Característica de revisión	Estado
1	Estado de los dientes del engranaje	Pasa
3	Barras de reacción y manivela	Pasa
4	Acrílico de protección	Pasa

Tabla 3 *Pruebas funcionales de los sistemas de generación de carga (Automático)*

N°	Característica de revisión	Estado
1	Estado de los dientes del engranaje	Pasa
3	Barras de reacción	Pasa
4	Acrílico de protección	Pasa
5	Motor y manivela de generación manual	Pasa

Tabla 4 *Pruebas funcionales de los patrones medidas (Mediciones)*

N°	Característica de revisión	Estado
1	Medición a full escala	Pasa
3	Verificación del cero (automático)	Pasa

2.2.2. Comprobaciones intermedias en los equipos de medición

Figura 2

Sistema de calibración – Brazos de calibración y Soporte 0.45 N·m a 339.0 N·m

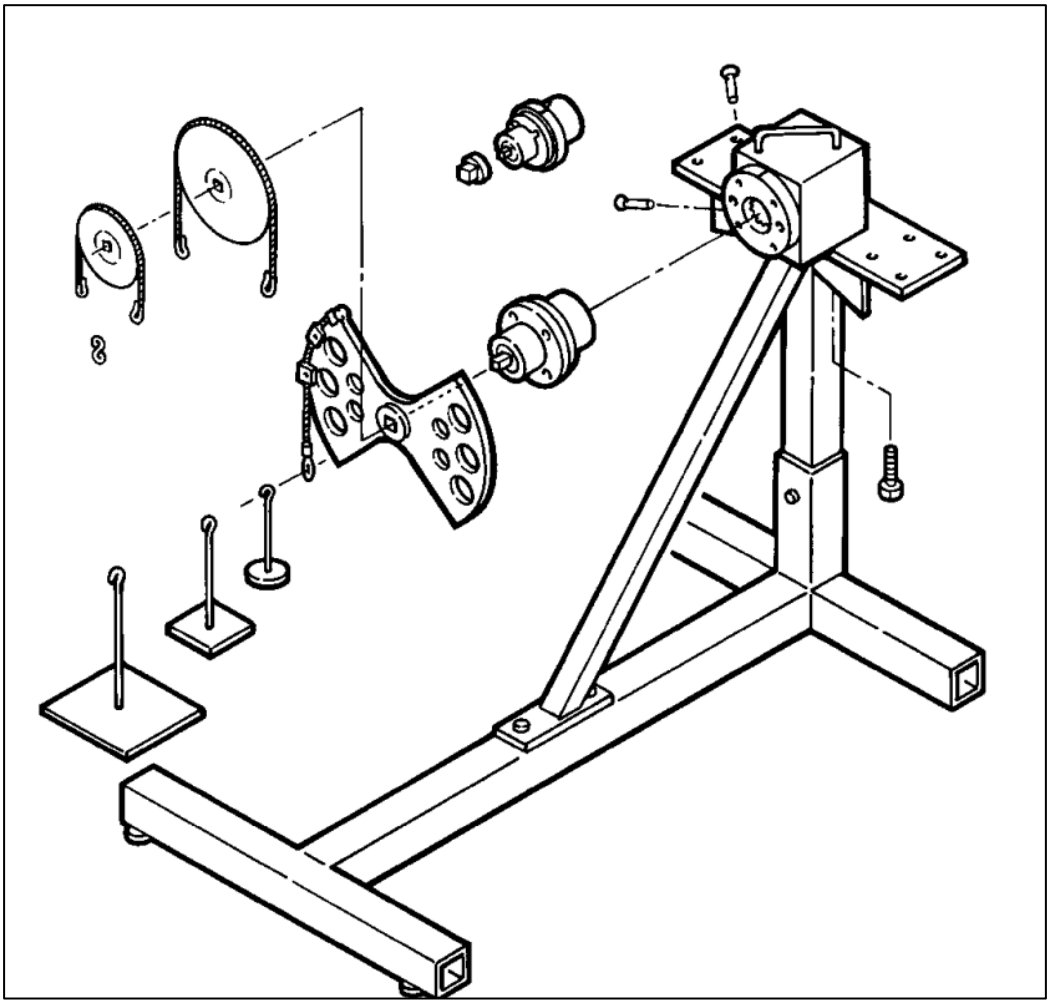


Figura 3

Sistema de calibración – Brazos de calibración y Soporte 81.3 N·m a 2711.6 N·m

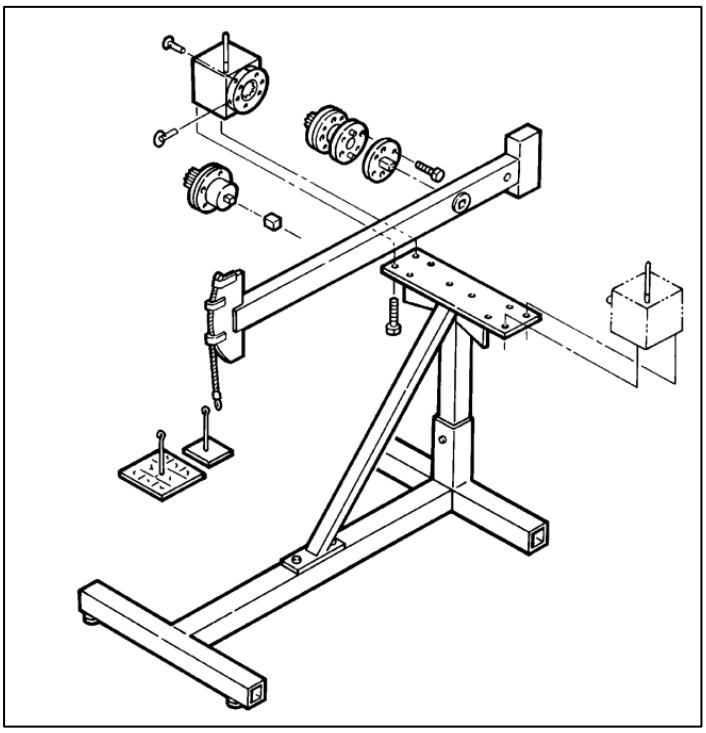


Figura 4

Brazo de calibración y pesas de referencia

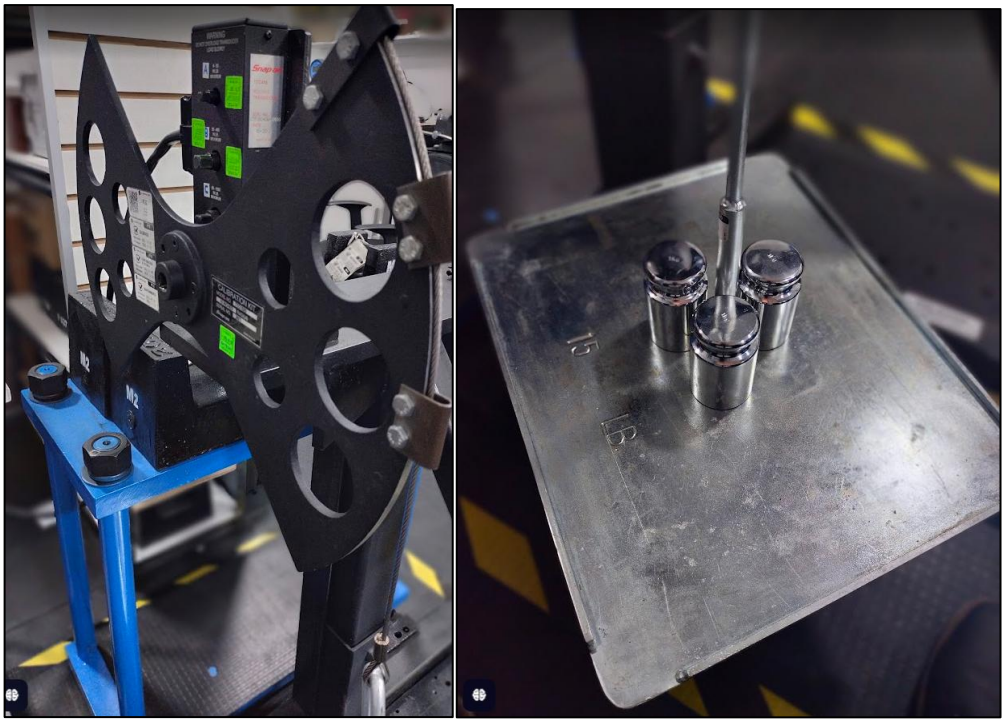


Figura 5

Posicionamiento y nivelación del brazo de calibración

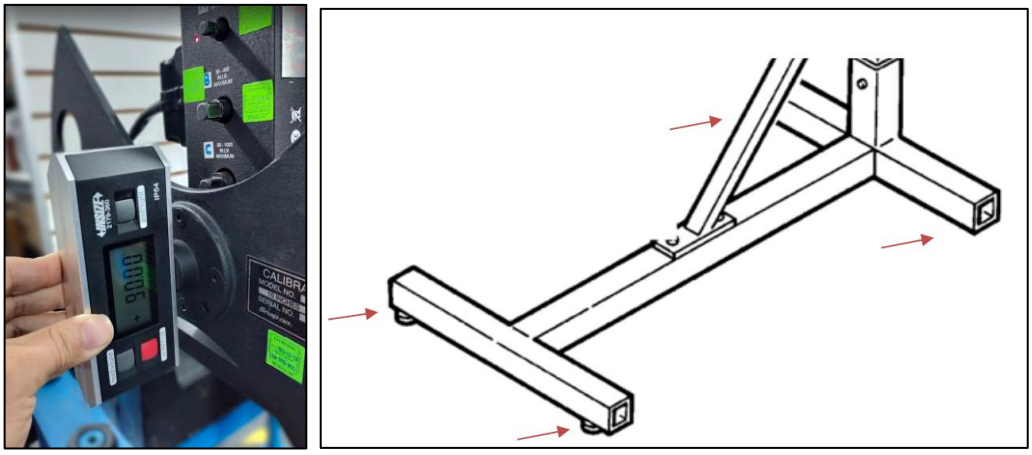


Figura 6

Sistema de calibración – Comprobación intermedia 813 N·m



2.2.2.1. Modelo matemático

$$X_{ref} = d \times cos\theta \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)$$

donde

Mc : Masa patrón corregida en kg

ρ_a : Densidad de aire kg/m^3

ρ_{masa} : Densidad de las masas kg/m^3

gl : Aceleración de la gravedad local.

d : Longitud efectiva del brazo o palanca usado durante la calibración.

θ : Ángulo entre la dirección del par torsional y la horizontal 0°

2.2.2.2. Cálculo de la incertidumbre de medición

g. Incertidumbre del sistema de calibración (w_{ref}): u_m , u_{gl} , u_{ρ_a} , $u_{\rho_{masa}}$, u_d , u_θ

Cálculo de los coeficientes de sensibilidad:

$$X_{ref} = d \times cos\theta \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)$$

$$C_{Mc} = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial Mc}\right)^2 = (d \times cos\theta)^2 \times \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)^2 (gl)^2$$

$$Cgl = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial gl}\right)^2 = (d \times cos\theta)^2 \times (Mc)^2 \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)^2$$

$$C_{\rho_a} = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial \rho_a}\right)^2 = (d \times cos\theta)^2 \times \left(\frac{Mc \times gl}{\rho_{masa}}\right)^2$$

$$C_{\rho_{masa}} = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial \rho_{masa}}\right)^2 = (d \times cos\theta)^2 \times \left(-\frac{\rho_a \times Mc \times gl}{\rho_{masa}^2}\right)^2$$

$$C_d = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial d}\right)^2 = \left(cos\theta \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)\right)^2$$

$$C_\theta = \left(\frac{\partial X_{ref}}{\partial \theta}\right)^2 = \left(-sen(\theta) \times d \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)\right)^2$$

$$w_{ref}^2 = u_m^2 \times C_{Mc} + u_{gl}^2 \times Cgl + u_{\rho_a}^2 \times C_{\rho_a} + u_{\rho_{masa}}^2 \times C_{\rho_{masa}} + u_d^2 \times C_d + u_\theta^2 \times C_\theta \dots\dots\dots (\varepsilon)$$

Reemplazamos los coeficientes de sensibilidad en (ε)

$$w_{ref}^2 = (u_m \times d \times sen(\theta) \times \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)\,)^2$$
$$+u_{gl}^2 \times \left(d \times sen(\theta)\right)^2 \times (Mc)^2\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)^2$$
$$+u_{\rho_a}^2 \times \left(d \times sen(\theta)\right)^2 \times \left(\frac{Mc \times gl}{\rho_{masa}}\right)^2$$
$$+u_{\rho_{masa}}^2 \times \left(d \times sen(\theta)\right)^2 \times \left(-\frac{\rho_a \times Mc \times gl}{\rho_{masa}^2}\right)^2$$
$$+u_d^2 \times \left(sen(\theta) \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)\right)^2$$
$$+u_\theta^2 \times \left(cos(\theta) \times d \times Mc\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{masa}}\right)(gl)\right)^2$$

Donde:

Mc : Masa patrón corregida en kg

ρ_a : Densidad de aire kg/m^3

ρ_{masa} : densidad de las masas kg/m^3

$u\rho_a$: Incertidumbre por la densidad de aire kg/m^3

$u\rho_{masa}$: Incertidumbre por la densidad de las masas kg/m^3

gl : Aceleración de la gravedad local

$\boldsymbol{u_m}$: Incertidumbre en vigor al certificado de calibración de las pesas

u_{gl}: Incertidumbre debido al cálculo de aceleración de la gravedad local

d : Longitud del brazo o palanca usado durante la calibración

θ: Ángulo entre la dirección de la fuerza aplicada y el radio del brazo

Comprobamos que la incertidumbre del sistema de medición sea la adecuada para llevar a cabo las comprobaciones intermedias.

Tabla 5 *Estimación de las componentes de incertidumbres (Sistema de par torsional)*

INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SISTEMA (BRAZO - PESAS)

Angle	u(angle)	ud(m)	d (m)	um(kg)	Mc	ug(m/s^2)	g	Efecto flot
rad	rad	m	m	kg	kg	m/s^2	m/s^2	-
1,5708	0,0012	3,43E-05	1,0162	0,0000	8,1650	0,0049	9,7822	0,9998
1,5708	0,0012	3,43E-05	1,0162	0,0002	16,3305	0,0049	9,7822	0,9998
1,5708	0,0012	3,43E-05	1,0162	0,0005	32,6629	0,0049	9,7822	0,9998
1,5708	0,0012	3,43E-05	1,0162	0,0008	48,9935	0,0049	9,7822	0,9998
1,5708	0,0012	3,43E-05	1,0162	0,0013	81,6548	0,0049	9,7822	0,9998

Tabla 6 *Estimación de las componentes de incertidumbres (Sistema de par torsional)*

INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SISTEMA (BRAZO - PESAS)

ρ air (kg/m³)	u (ρ air) (kg/m³)	ρ mass (kg/m³)	u (ρ mass) (kg/m³)	wτ N.m	wτ N.m	wτ %
1,2232	0,0006	7100	300,0000	0,0407	0,0407	0,050119
1,2232	0,0006	7100	300,0000	0,0814	0,0814	0,050132
1,2232	0,0006	7100	300,0000	0,1628	0,1628	0,050144
1,2232	0,0006	7100	300,0000	0,2442	0,2442	0,050148
1,2232	0,0006	7100	300,0000	0,4070	0,4070	0,050143

La incertidumbre combinada del sistema toma el valor de 0.05 % aproximadamente por lo tanto la incertidumbre expandida toma el valor de 0.1 %, valor suficiente dado que es 15 veces mejor que el Error máximo permitido del sistema a comprobar (1,5 %)

Empleamos el siguiente criterio de aceptación:

$|Error| + U_{cert} \leq |EMP|$ Conforme

$|Error| + U_{cert} > EMP|$ No Conforme

Tabla 7 *Comprobaciones intermedias en el punto 4 N·m*

Punto	4	**N m**				
Fecha de calibración	Corrección		Incertidumbre		Error máximo permitido		Estado
2022-09-13	0,33662	%	0,49565	%	1,5000	%	Conforme
2023-12-01	0,27567	%	0,49565	%	1,5000	%	Conforme
2024-05-29	0,27817	%	0,49565	%	1,5000	%	Conforme
2024-10-09	0,20676	%	0,44598	%	1,5000	%	Conforme
2025-04-03	0,15342	%	0,44598	%	1,5000	%	Conforme
2025-07-04	0,14095	%	0,44598	%	1,5000	%	Conforme

Figura 7

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4 N·m

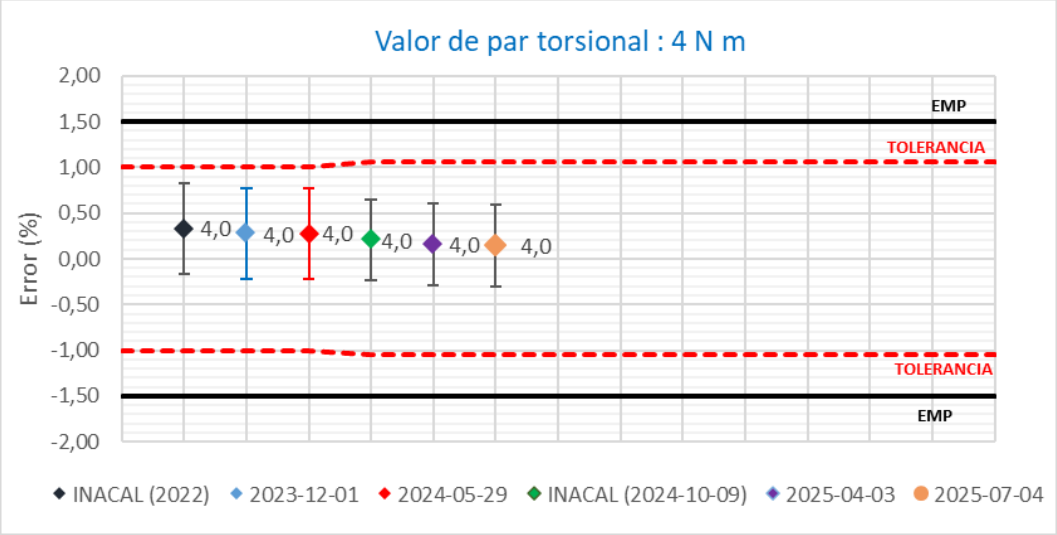


Tabla 8 *Registro de calibraciones 4,4 N·m*

Punto	4,4	N m					
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**	
2022-09-13		**-0,22839**	**%**	**0,41699**	**%**	**1,5000**	**%**
2024-10-09		**0,33145**	**%**	**0,40495**	**%**	**1,5000**	**%**

Figura 8

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4,4 N·m

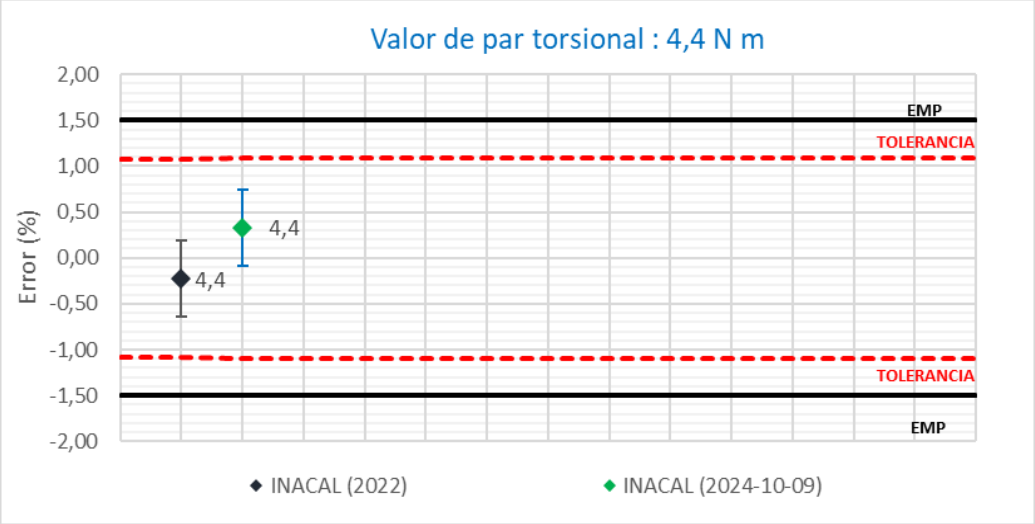


Tabla 9 *Comprobaciones intermedias en el punto 4,8 N·m*

Punto	4,8	N m						
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		**Estado**
2022-09-13		**0,42101**	**%**	**0,50862**	**%**	**1,50000**	**%**	**Conforme**
2023-12-01		**0,30565**	**%**	**0,50862**	**%**	**1,50000**	**%**	**Conforme**
2024-05-29		**0,30152**	**%**	**0,50862**	**%**	**1,50000**	**%**	**Conforme**
2024-10-09		**0,33171**	**%**	**0,37121**	**%**	**1,50000**	**%**	**Conforme**
2025-04-03		**0,35310**	**%**	**0,37121**	**%**	**1,50000**	**%**	**Conforme**
2025-07-04		**0,33659**	**%**	**0,37121**	**%**	**1,5000**	**%**	**Conforme**

Figura 9

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 4,8 N·m

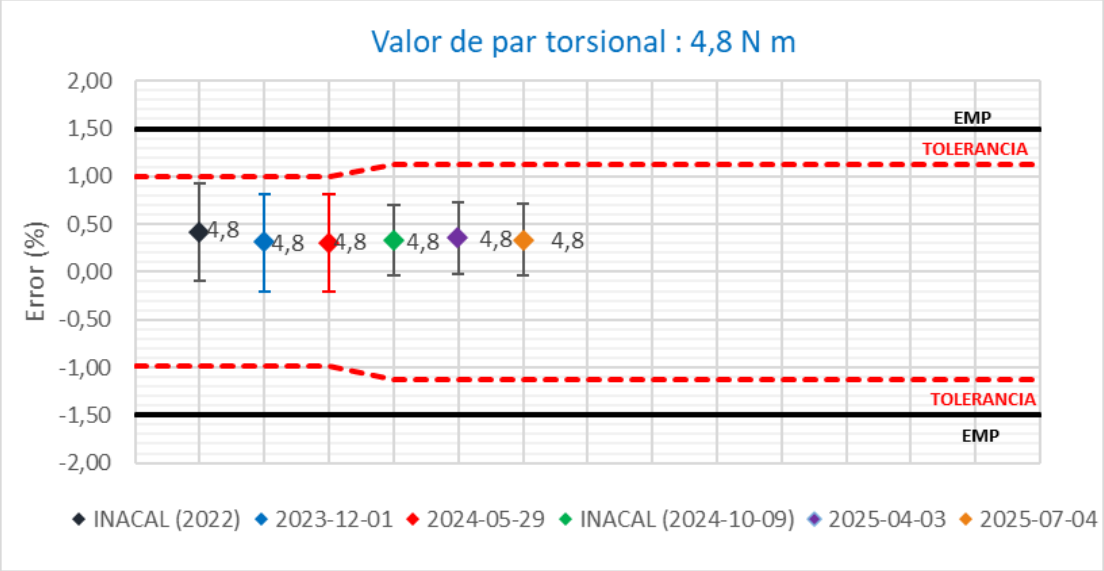


Tabla 10 *Registro de calibraciones 5,2 N·m*

Punto	5,2	N m						
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		Estado
2022-09-13		**0,25108**	**%**	**0,54524**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2024-10-09		**0,44972**	**%**	**0,34225**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme

Figura 10

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 5,2 N·m

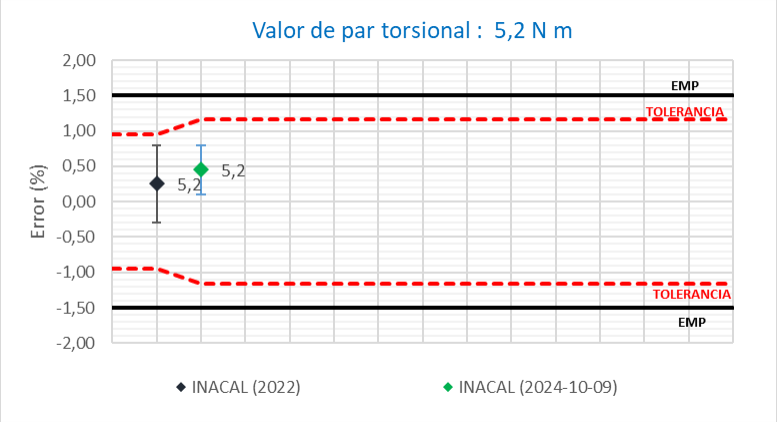


Tabla 11 *Comprobaciones intermedias en el punto 5,65 N·m*

Punto	5,65	N m						
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		Estado
2022-09-13		**0,70887**	**%**	**0,51882**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2023-12-01		**0,55191**	**%**	**0,51882**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2024-05-29		**0,54825**	**%**	**0,51882**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2024-10-09		**0,86781**	**%**	**0,31367**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2025-04-03		**0,91583**	**%**	**0,31367**	**%**	**1,50000**	**%**	Conforme
2025-07-04		**0,89206**	**%**	**0,31367**	**%**	**1,5000**	**%**	Conforme

Figura 11

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 5,65 N·m

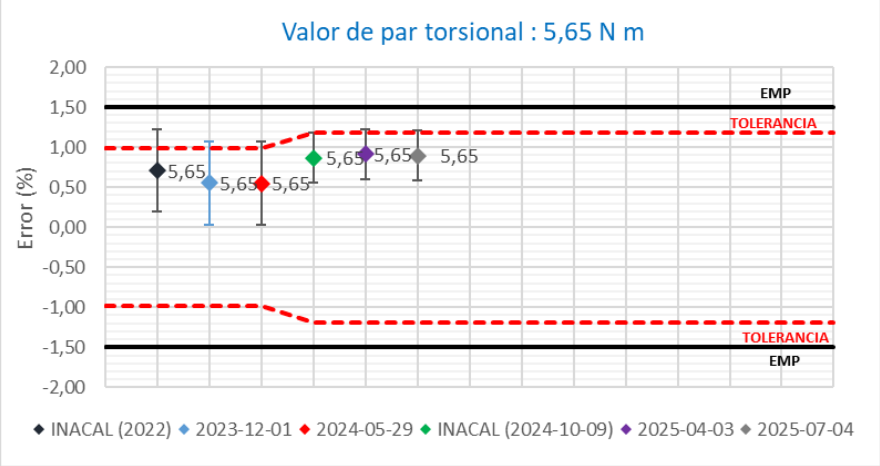


Tabla 12 *Registro de calibraciones en el punto 80 N·m*

Punto	80	N m							
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		**Estado**	
2022-05-23		**-0,739**	**%**	**0,328**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2024-12-17		**0,597**	**%**	**0,779**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	

Figura 12

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 80 N·m

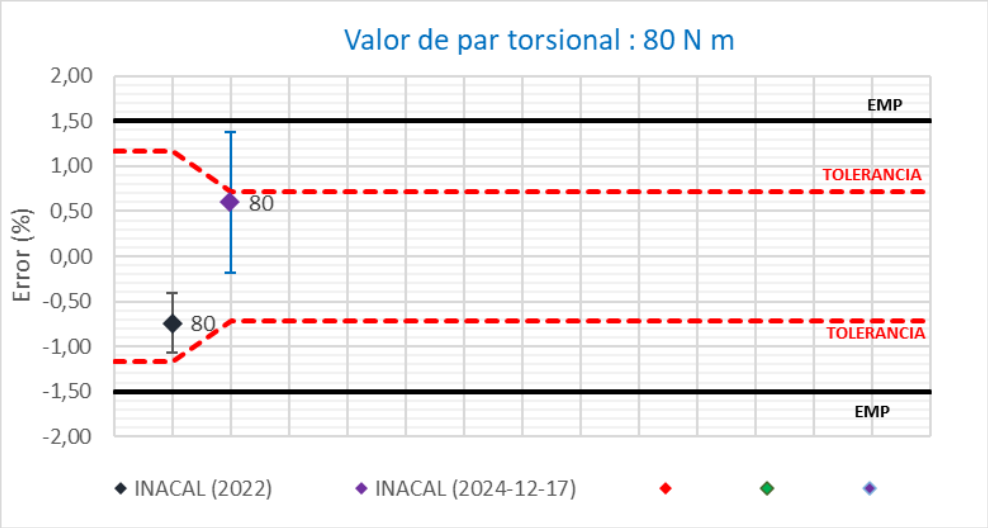


Tabla 13 *Comprobaciones intermedias en el punto 200,0 N·m*

Punto	200	N m							
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		**Estado**	
2022-05-23		**-0,688**	**%**	**0,221**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2023-12-01		**-0,601**	**%**	**0,221**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2024-05-29		**-0,334**	**%**	**0,221**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2024-07-05		**-0,319**	**%**	**0,221**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2024-12-17		**0,298**	**%**	**0,345**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2025-02-17		**0,270**	**%**	**0,345**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2025-04-16		**0,246**	**%**	**0,345**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	
2025-06-16		**0,226**	**%**	**0,345**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**	

Figura 13

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 200 N·m

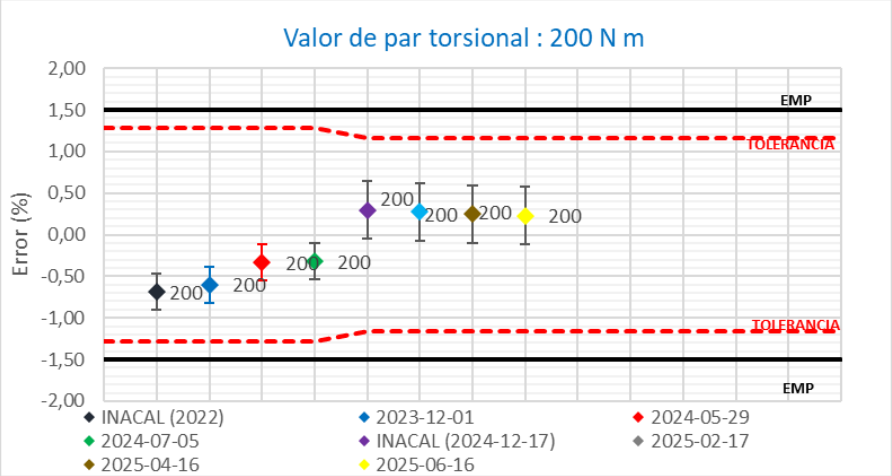


Tabla 14 *Registro de calibraciones en el punto 400 N·m*

Punto	400	N m						
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		**Estado**
2022-05-23		**-0,496**	**%**	**0,184**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2024-12-17		**0,041**	**%**	**0,212**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**

Figura 14

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 400 N·m

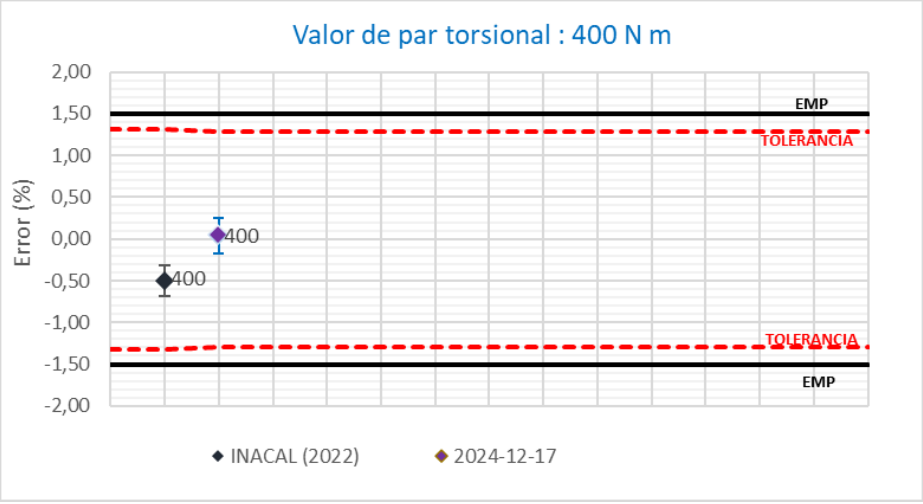


Tabla 15 *Comprobaciones intermedias en el punto 600,0 N·m*

Punto	600	N m						
Fecha de calibración		**Corrección**		**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**		**Estado**
2022-05-23		**-0,448**	**%**	**0,178**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2023-12-01		**-0,356**	**%**	**0,178**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2024-05-29		**-0,284**	**%**	**0,178**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2024-07-05		**-0,229**	**%**	**0,178**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2024-12-17		**-0,046**	**%**	**0,179**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2025-02-17		**-0,035**	**%**	**0,179**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2025-04-16		**-0,027**	**%**	**0,179**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**
2025-06-16		**-0,018**	**%**	**0,179**	**%**	**1,500**	**%**	**Conforme**

Figura 15

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 600,0 N·m

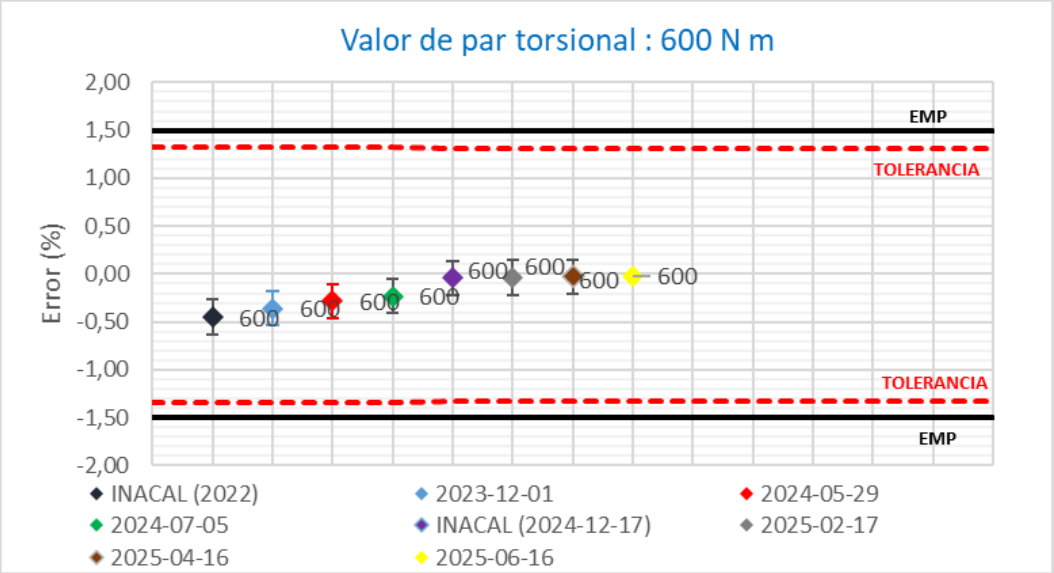
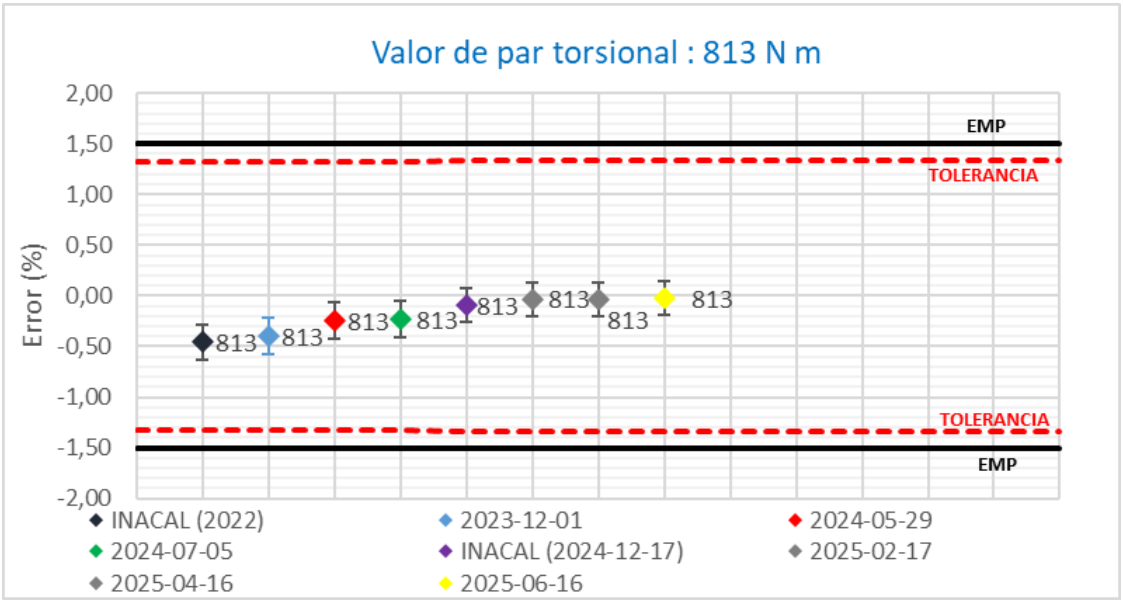


Tabla 16 *Comprobaciones intermedias en el punto 813,0 N·m*

Punto	813	N m			
Fecha de calibración	**Corrección**	**Incertidumbre**		**Error máximo permitido**	**Estado**
2022-05-23	**-0,458 %**	**0,178 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2023-12-01	**-0,399 %**	**0,178 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2024-05-29	**-0,248 %**	**0,178 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2024-07-05	**-0,229 %**	**0,178 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2024-12-17	**-0,090 %**	**0,164 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2025-02-17	**-0,029 %**	**0,164 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2025-04-16	**-0,033 %**	**0,164 %**		**1,500 %**	**Conforme**
2025-06-16	**-0,025 %**	**0,164 %**		**1,500 %**	**Conforme**

Figura 16

Grafica de control de los valores de torque obtenidos en el tiempo para 813,0 N·m



2.2.3. Repetición del ensayo o calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes.

La calibración será efectuada por el responsable de grupo o el metrólogo del laboratorio. Una vez finalizada, se realizará nuevamente la calibración del mismo instrumento. Las lecturas obtenidas en la primera y la segunda calibración no deberán presentar diferencias significativas.

Para la comparación, se tomará como referencia el error e incertidumbre determinados en la primera calibración. El error registrado en la segunda calibración deberá encontrarse dentro del intervalo de confianza correspondiente a la primera medición.

Se empleará el siguiente criterio de aceptación

Criterio de Aceptación	Resultado
$Error_1 - U_1 \leq Error_2 \leq Error_1 + U_1$	Conforme
$Error_2 > Error_1 + U_1$	No Conforme
$Error_2 < Error_1 - U_1$	No Conforme

Tabla 17 *Registro de los resultados obtenidos en 2 calibraciones repetidas*

	1ra Calibración							
Magnitud	Valor Nominal		Error de Medición	Incer. de Medición	$Error_1 - U_1$	Error de 2da Medición	$Error_1 + U_1$	Condición
Par de torsión	30,0	lbf.ft	0,4	1,6	-1,200	0,4	2,0	Conforme
	90,0	lbf.ft	3,0	0,6	2,400	3,2	3,6	Conforme
	150,0	lbf.ft	3,9	0,5	3,400	3,8	4,4	Conforme

Como se puede observar los resultados obtenidos son conformes dado que los valores de la segunda calibración se encuentran en dentro del intervalo de confianza de la primera calibración.

2.2.4. Revisión de los resultados informados

Cada tres meses se selecciona de forma aleatoria el 10% de los certificados de calibración emitidos para su revisión, con el fin de garantizar la calidad de los resultados. Esta verificación se registra para tener un control de las fallas u observaciones en los certificados emitidos

Tabla 18 *Registro de resultados revisados*

Documento	Falla	Descripción	Codigo	Fecha	Estado
369XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-01-29	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-11	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa
370XX	Ninguna	Torquímetro	FT	2025-02-07	Pasa

2.2.5. Comparaciones intralaboratorio

Se llevó a cabo una Prueba Intralaboratorio con el objetivo de demostrar la competencia técnica del personal del laboratorio en la aplicación del procedimiento de calibración.

La evaluación se realizó utilizando el mismo instrumento en calibración, intervenido por los metrólogos del laboratorio. En cada punto de calibración, cada metrólogo efectuó 10 repeticiones empleando el mismo equipo patrón.

Tabla 19 *Metrólogos participantes y datos respecto a la prueba*

Metrólogo 1	**ILAB-LARB 20240225**	***Luis Alfredo***
Metrólogo 2	ILAB-MEAJ 20240225	*Miriam E.*
Metrólogo 3	ILAB-JMCB 20240225	*José Manuel*
Metrólogo 4	ILAB-EMQ 20240225	*Enrique*
REF: Metrólogo 5	ILAB-JCSS 20240225	*José Carlos*
	Valor de referencia	*100 N m*
	Unidad de medida	*N m*

Tabla 20 *Valores obtenidos durante las pruebas*

Repetición	Metrólogo 1	Metrólogo 2	Metrólogo 3	Metrólogo 4	Metrólogo 5
1	98,7	98,7	98,8	98,5	98,5
2	98,9	98,8	98,7	98,8	98,8
3	99,2	98,8	98,8	98,9	98,7
4	98,8	98,6	99,0	98,8	98,8
5	99,0	99,1	99,2	98,7	98,5
6	98,9	99,1	99,0	98,9	98,6
7	99,0	98,8	98,9	98,6	98,8
8	98,5	98,9	98,6	98,9	98,7
9	98,6	98,7	98,5	98,8	98,9
10	98,7	98,9	98,4	98,7	98,8

Caracterizar la variable (Distribución normal de los datos). Prueba de shapiro wilk

*H*0: Los datos del metrólogo 1; 2; 3; 4;5 Presentan distribución normal

*H*1: Los datos del metrólogo 1; 2; 3; 4;5 no Presentan distribución normal

Tabla 21 *Resultados de la prueba de normalidad para el punto 100 N.m*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**	**Estadístico**	**gl**	**Sig.**
Metrologo1	0,131	9	0,200	0,977	9	0,950
Metrologo2	0,196	9	0,200	0,919	9	0,351
Metrologo3	0,219	9	0,191	0,933	9	0,482
Metrologo4	0,217	9	0,200	0,896	9	0,198
Metrologo5	0,244	9	0,093	0,888	9	0,160

Como p > 0,05, para cada metrólogo, podemos rechazar la hipótesis alterna, aceptando así la hipótesis nula. Cada metrólogo Presenta Distribución Normal (Distribución Paramétrica).

Evaluación de precisión (Igualdad de Varianzas): Prueba de Barlett

Prueba de igualdad de varianzas: Metrólogo 1; Metrólogo 2; Metrólogo 3; Metrólogo 4; Metrólogo 5

Método

Hipótesis nula :Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna :Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia :$\alpha = 0.05$

Se utiliza el método de Bartlett, este método es exacto sólo para datos normales.

Intervalos de confiana de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar.

Tabla 22 *Intervalos de confianza al 95% para cada desviación estándar de cada grupo*

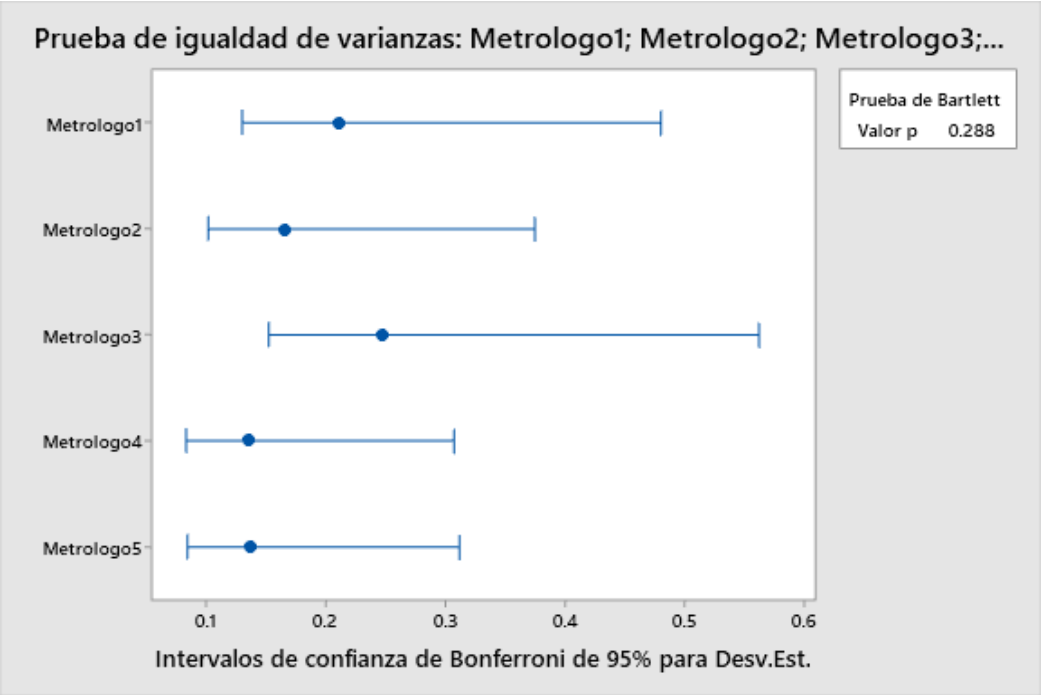
Muestra	N	Desv.Est.	IC
Metrologo1	10	0.211082	(0.130381; 0.480763)
Metrologo2	10	0.164655	(0.101704; 0.375019)
Metrologo3	10	0.246982	(0.152556; 0.562529)
Metrologo4	10	0.134990	(0.083380; 0.307454)
Metrologo5	10	0.137032	(0.084642; 0.312106)

Tabla 23 *Prueba de Barlett, p-value*

Método	Estadístico	Valor p
Bartlett	4.99	0.288

Figura 17

Intervalos de confianza al 95% asociados a la desviación estándar de cada grupo de datos



Como p(0,288) > 0,05, se acepta la hipótesis nula. Se demuestra que las varianzas entre metrólogos son compatibles. Por lo tanto, se demuestra la precisión entre metrólogos. Esta evaluación se realizó al 95% de confianza.

Prueba de Igualdad de resultados: Prueba de Anova de un solo factor

ANOVA de un solo factor: Metrólogo 1; Metrólogo 2; Metrólogo 3; Metrólogo 4;Metrólogo5

Método

Hipótesis nula : Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna : No todas las medias son iguales

Nivel de significancia : $\alpha = 0.05$

Tabla 24 *Factores para la prueba de ANOVA*

Factor	Niveles	Valores
Factor	5	Metrologo1; Metrologo2; Metrologo3; Metrologo4; Metrologo5

Tabla 25 *Prueba de ANOVA p-value*

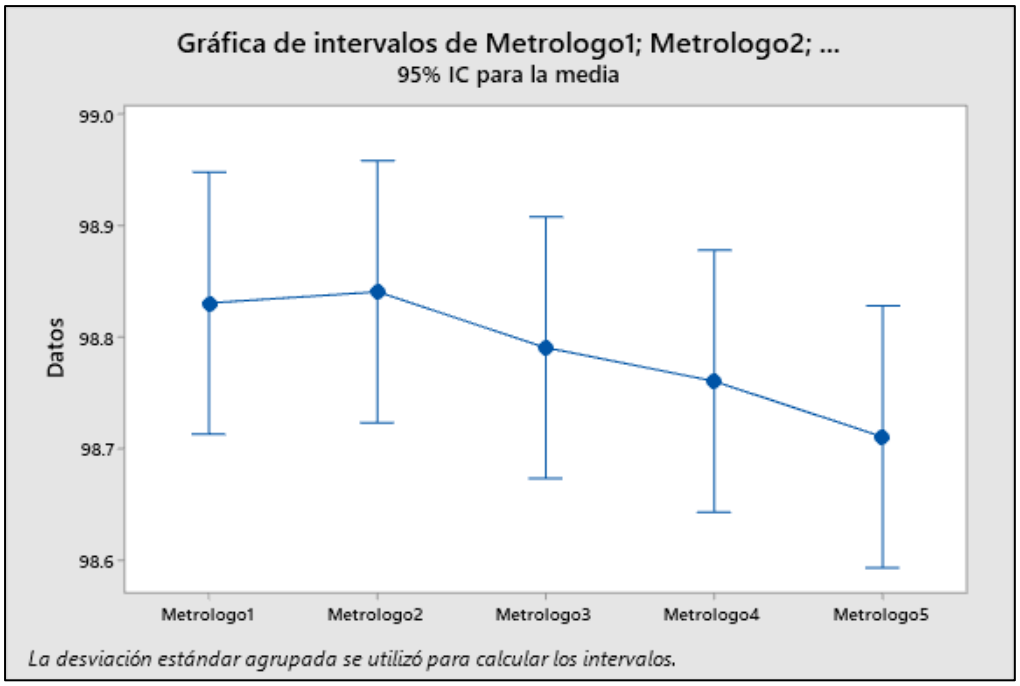
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	0.1132	0.02830	0.83	0.511
Error	45	1.5270	0.03393		
Total	49	1.6402			

Tabla 26 *Intervalos de confianza al 95% para las medias de cada grupo*

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Metrologo1	10	98.8300	0.2111	(98.7127; 98.9473)
Metrologo2	10	98.8400	0.1647	(98.7227; 98.9573)
Metrologo3	10	98.7900	0.2470	(98.6727; 98.9073)
Metrologo4	10	98.7600	0.1350	(98.6427; 98.8773)
Metrologo5	10	98.7100	0.1370	(98.5927; 98.8273)

Figura 18

Intervalos de confianza al 95% para las promedios de los valores obtenidos para cada metrólogo



Como el valor P(0,511) > 0,05, se acepta la hipótesis nula. Las medias de los 5 metrólogos son compatibles al 95% de confianza.

2.2.6. Participación en ensayos de aptitud

La participación en un ensayo de aptitud es importante para:

- Permite evidenciar que el laboratorio puede obtener resultados correctos y comparables frente a otros laboratorios que usan el mismo método o uno equivalente.
- Es una manera objetiva de probar que no solo se trabaja “según el procedimiento”, sino que los resultados realmente son confiables.
- Demostrar competencia técnica

A. Cumple requisitos normativos y de acreditación

La ISO/IEC 17025, en el punto 7.7, pide monitorear la validez de los resultados, y una de las formas más sólidas es a través de ensayos interlaboratorio o comparaciones.INACAL y otros organismos de acreditación los consideran como una evidencia clave durante auditorías.

B. Detecta problemas ocultos

Si el resultado de tu laboratorio se desvía del consenso, eso puede revelar errores de método, instrumentos descalibrados, problemas de personal o incluso fallas en la preparación de muestras.

Detectar esto a tiempo evita que esos errores lleguen al cliente.

C. Mejora continua

Al recibir un reporte con estadísticas de desempeño (por ejemplo, z-score, En value), el laboratorio puede implementar acciones correctivas y preventivas. Sirve para ajustar procedimientos, capacitar personal o mejorar mantenimiento de equipos.

D. Reconocimiento y confianza

Un buen desempeño en varios EIL refuerza la imagen del laboratorio ante clientes, auditores y autoridades. Es un respaldo documental que demuestra que tus resultados son consistentes a nivel nacional o internacional.

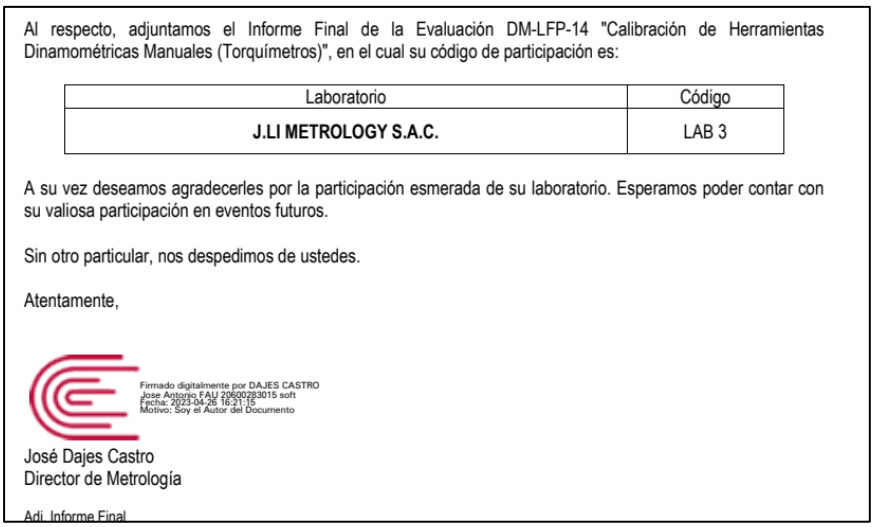
E. Actualización técnica

Permite comparar métodos, técnicas y criterios de evaluación con otros laboratorios, lo que ayuda a mantenerse actualizado en la disciplina.

Se participó en el ensayo de aptitud realizado por inacal bajo el código de LAB 3 obteniendo resultados satisfactorios.

Figura 19

Oficio de participación



Al respecto, adjuntamos el Informe Final de la Evaluación DM-LFP-14 "Calibración de Herramientas Dinamométricas Manuales (Torquímetros)", en el cual su código de participación es:

Laboratorio	Código
J.LI METROLOGY S.A.C.	LAB 3

A su vez deseamos agradecerles por la participación esmerada de su laboratorio. Esperamos poder contar con su valiosa participación en eventos futuros.

Sin otro particular, nos despedimos de ustedes.

Atentamente,

Firmado digitalmente por DAJES CASTRO Jose Antonio FAU 20600283015 soft
Fecha: 2023-04-26 16:21:15
Motivo: Soy el Autor del Documento

José Dajes Castro
Director de Metrología

Adj. Informe Final

Figura 20

Carátula del Informe Final DM-LFP-014 Evaluación de Desempeño.



INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Metrología

Informe Final de la

Evaluación de Desempeño

DM-LFP-014

Comparación Interlaboratorios

"Comparación en Calibración de Herramientas Dinamométricas Manuales

(Torquímetros)"

Abril 2023

Informe Final DM-LFP-014 20 de abril de 2023 Página 1 de 20

Calle De la Prosa N° 150 – San Borja, Lima

Figura 21

Tabla de error normalizado

Valores de torque Medidos	VALOR ABSOLUTO DEL ERROR NORMALIZADO							
(N m)	LAB 1	LAB 2	LAB 3	LAB 4	LAB 5	LAB 6	LAB 7	LAB 8
160	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	----	----
320	0,2	1,1	0,5	0,2	0,3	0,1	----	----
480	0,2	1,3	0,2	0,4	0,5	0,1	----	----
640	0,3	1,1	0,4	0,7	0,2	0,0	----	----
800	0,3	1,3	0,3	0,8	0,6	0,1	----	----

Figura 22

Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 160 N·m

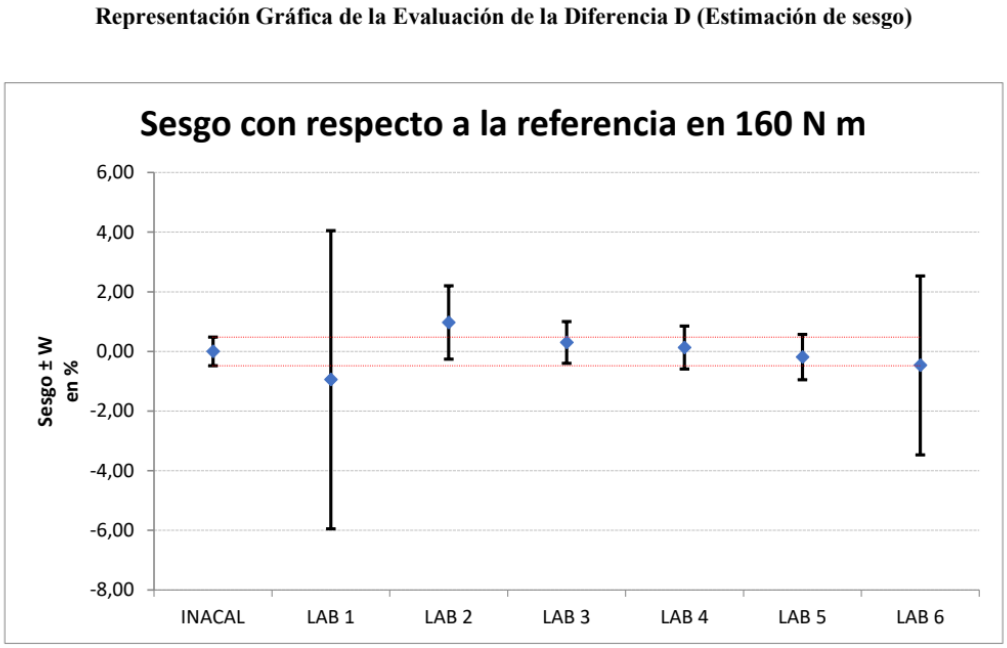


Figura 23

Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 320 N·m

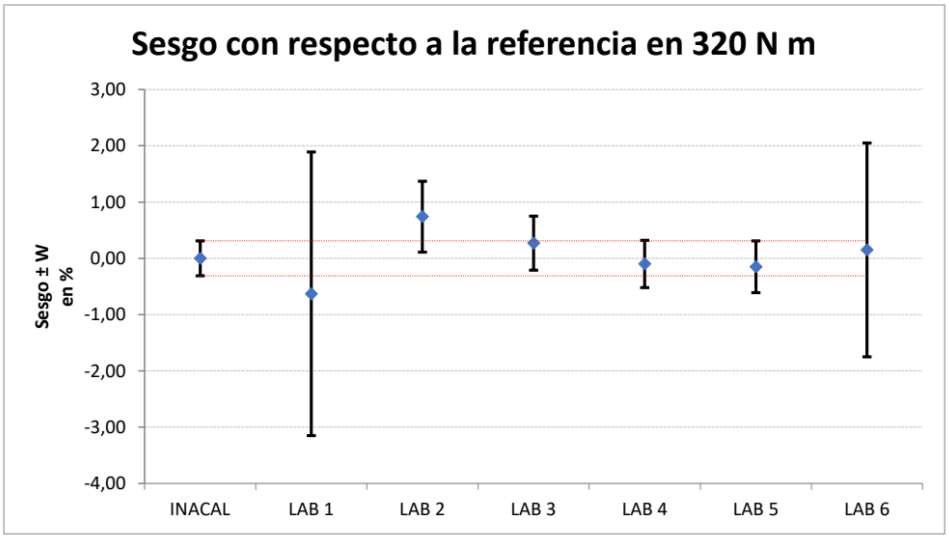


Figura 24

Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 480 N·m

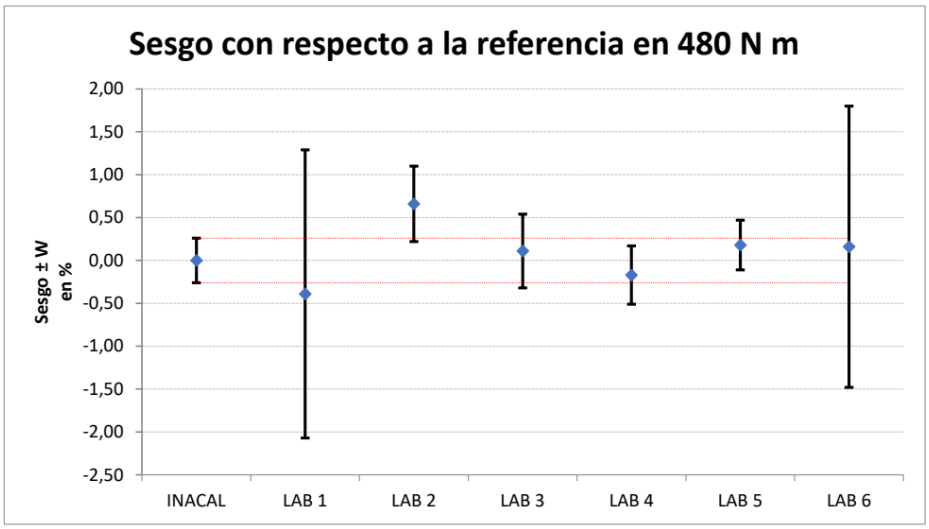


Figura 25

Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 640 N·m

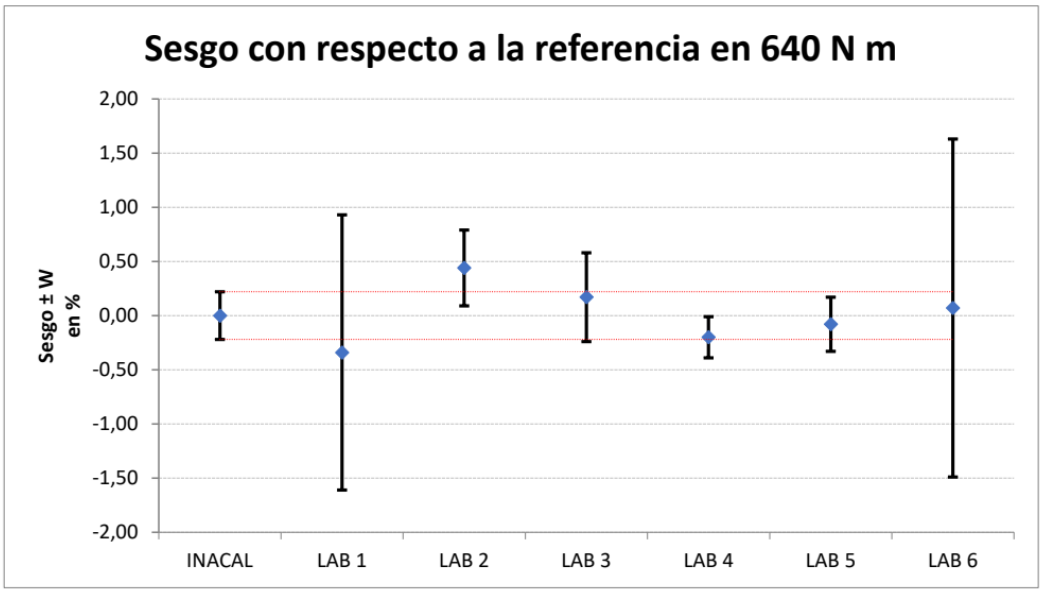


Figura 26

Representación gráfica de los errores respecto al Inacal (Sesgo) y su incertidumbre asociada en 800 N·m

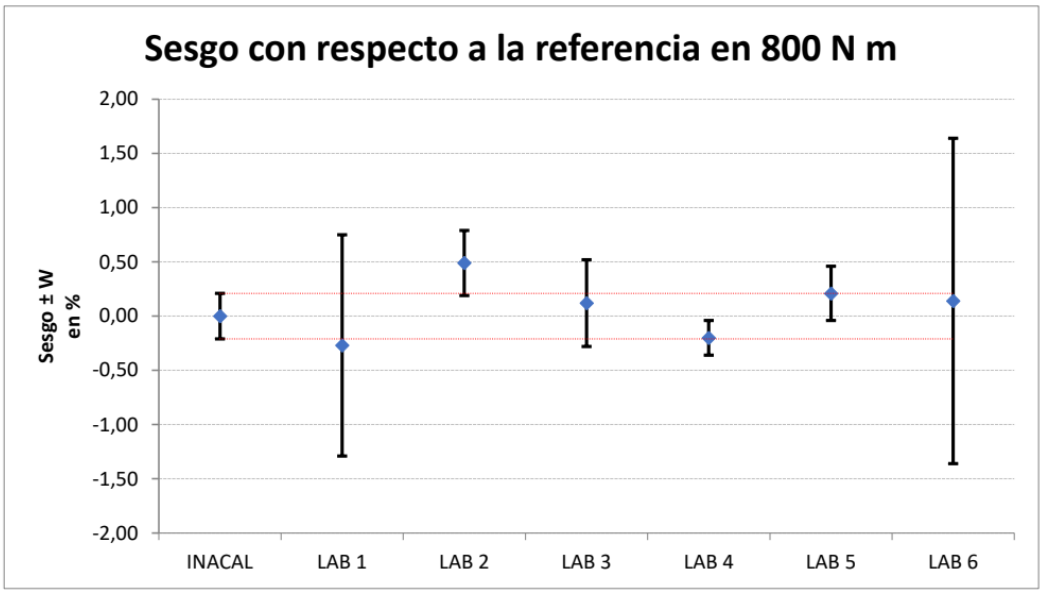


Figura 27

Representación gráfica del error normalizado en el punto 160 N.m

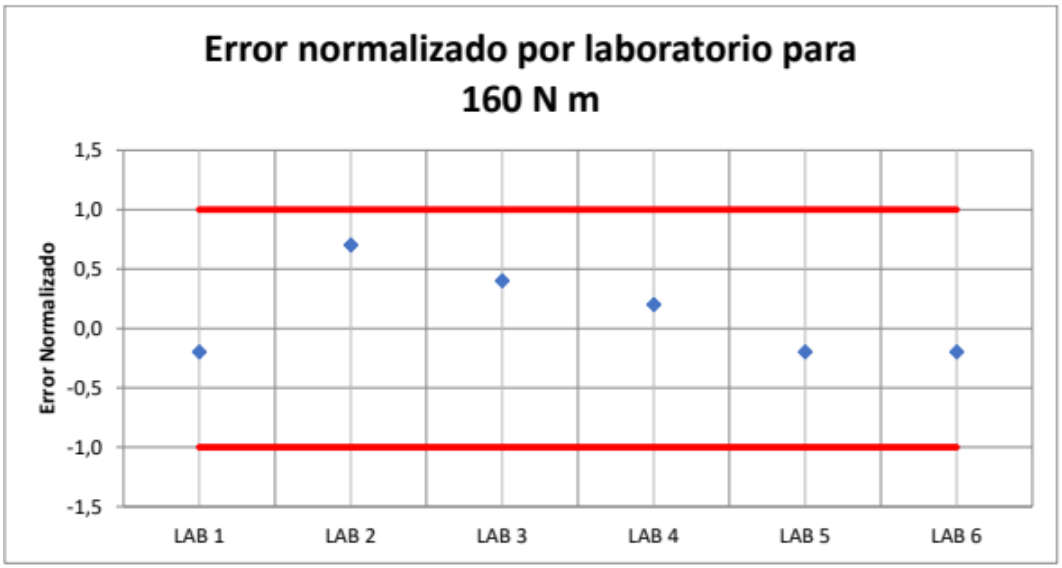


Figura 28

Representación gráfica del error normalizado en el punto 320 N.m

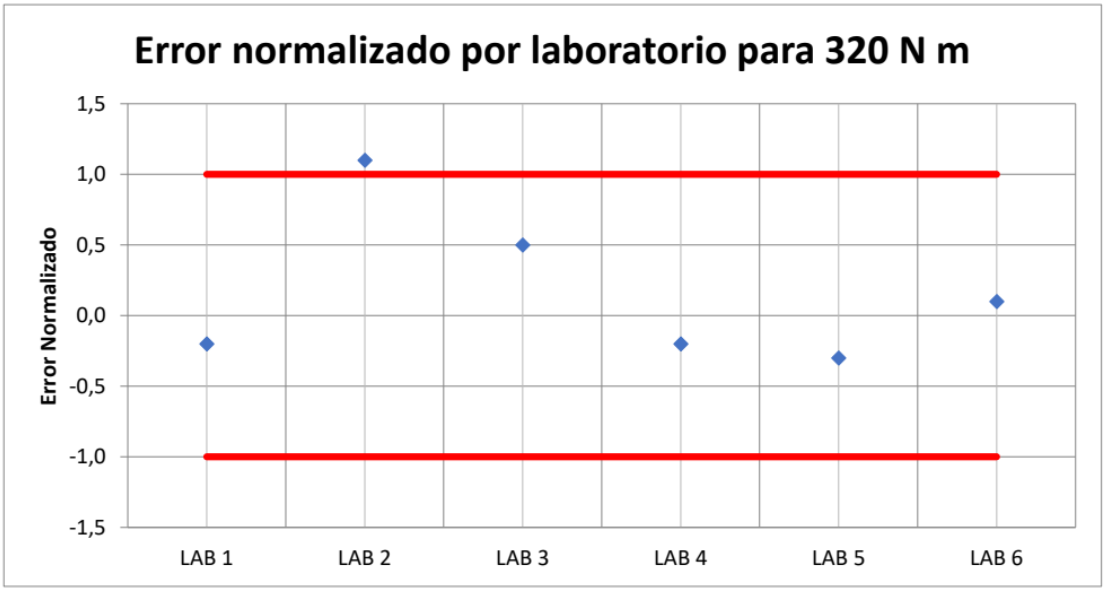


Figura 29

Representación gráfica del error normalizado en el punto 480 N.m

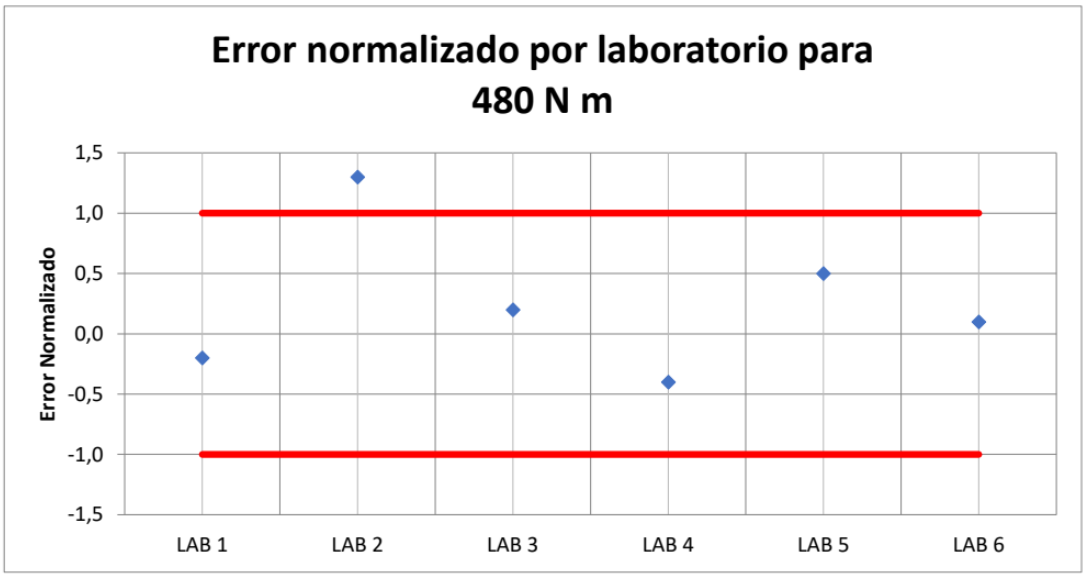


Figura 30

Representación gráfica del error normalizado en el punto 640 N.m

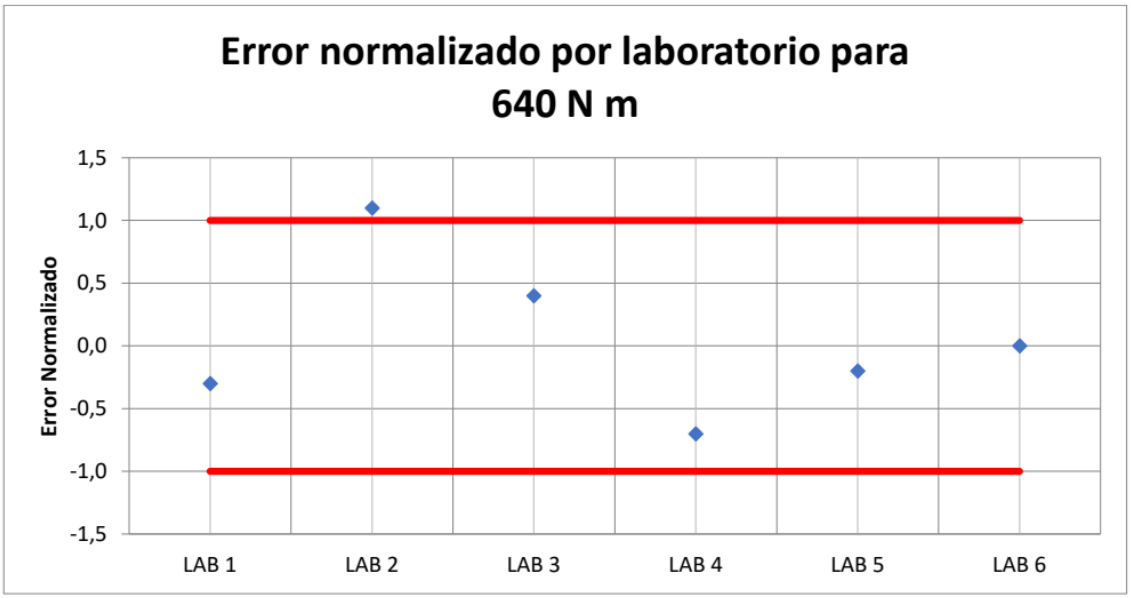
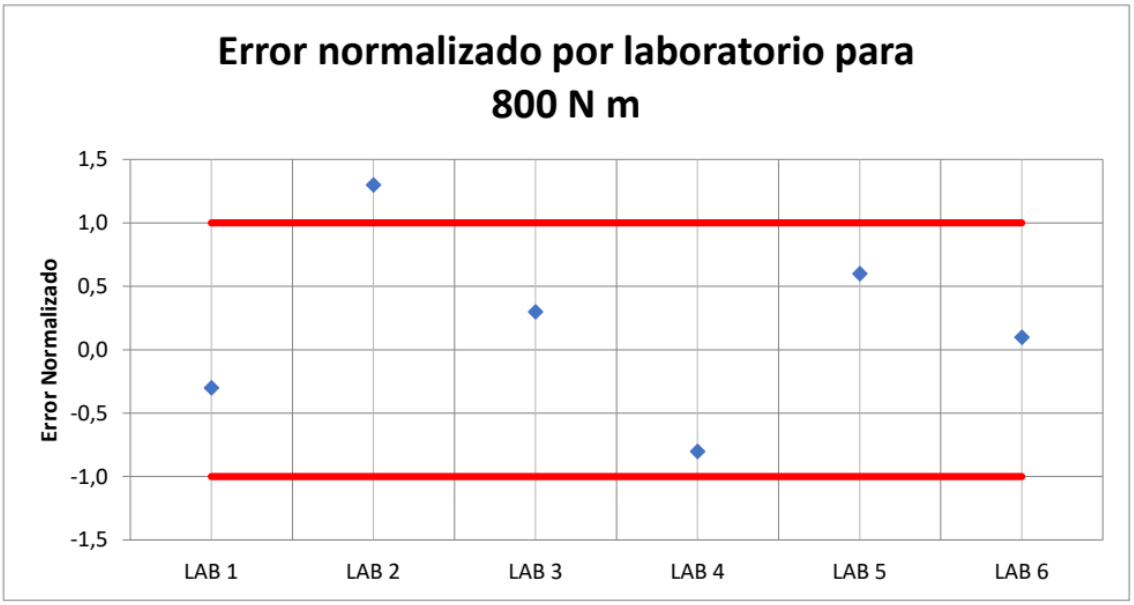


Figura 31

Representación gráfica del error normalizado en el punto 800 N.m



III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA

3.1.Implementación de la norma ISO 6789

La ISO 6789 “Herramientas de montaje para tornillos y tuercas — Herramientas dinamométricas manuales” aplicada a la calibración de herramientas dinamométricas manuales, constituyó el punto de partida para ejecutar las actividades de manera estructurada, bajo condiciones ambientales controladas y con un sistema de medición debidamente caracterizado.

3.2.Caracterización del sistema de medición de torque

La caracterización del sistema para efectuar las comprobaciones intermedias facilitó la identificación de las fuentes de incertidumbre asociadas a las mediciones, lo que permitió determinar la incertidumbre máxima del sistema y contrastarla con la exactitud especificada por el fabricante. Este análisis posibilita verificar si el sistema de medición es adecuado en relación con la exactitud requerida por los equipos del laboratorio para posteriormente emplearlo en el aseguramiento de la validez de los resultados.

3.3. Implementación del procedimiento PC-031 (INACAL)

Se implemento el uso del procedimiento PC-031 de manera que junto la ISO 6789 se pudo complementar el conocimiento acerca de la calibración de los equipos, desarrollando una base para la implementación de los documentos requeridos por la ISO 17025

3.4.Resultados Satisfactorios en el ensayo de aptitud

Se obtuvieron resultados satisfactorios y sin observaciones en el ensayo de aptitud DM-LFP-014 organizado por el INACAL. Con este resultado pudimos saber que el desempeño del laboratorio es óptimo, demostrando la competencia técnica requerida, lo cual proporciona evidencia cuantificable de que el laboratorio puede producir resultados correctos y confiables.

3.5. Acreditación ante el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL)

Se logro ampliar la acreditación de la empresa para la calibración de herramientas dinamométricas manuales ante el INACAL, lo cual certifica la capacidad técnica del laboratorio para generar resultados técnicamente válidos y trazables. Este hecho genera confianza para los clientes y una mayor competitividad en el mercado de las calibraciones.

Figura 32

Capacidad de Medición y Calibración (CMC) / INACAL

Disciplina/Magnitud : **Fuerza y Par**

Nro.	Calibración o Servicio de Medición				Intervalo de Medicion o Alcance de Medición			Condiciones de Medición/Variables Independientientes		Incertidumbre Expandida				
	Subdisciplina	Instrumento de medición o Artefacto	Método de Calibración	Procedimiento de Calibración	Valor Mínimo	Valor Máximo	Unidades	Parámetro	Especificaciones	Expresión	Unidades	Factor de Cobertura	Nivel de Confianza	¿La Incertidumbre Expandida es relativa?
1	Par de torsión	Herramientas dinamométricas manuales. (Torquímetros)	Comparación directa	PC-031 Procedimiento para la calibración de herramientas dinamométricas Manuales (torquímetros) Primera Edición – Octubre 2021	4,0 (35,4 lbf.in)	45,2 (400,0 lbf.in)	N·m	Temperatura Humedad Relativa Sentido de aplicación del Par	18 °C a 28 °C (Variación de temperatura no mayor a 1 °C). No mayor a 90% hr Sentido: Horario	0,9	%	2	Aprox. 95 %	Si
2	Par de torsión	Herramientas dinamométricas manuales. (Torquímetros)	Comparación directa	PC-031 Procedimiento para la calibración de herramientas dinamométricas Manuales (torquímetros) Primera Edición – Octubre 2021	45,3 (33,4 lbf.ft)	338,9 (249,9 lbf.ft)	N·m	Temperatura Humedad Relativa Sentido de aplicación del Par	18 °C a 28 °C (Variación de temperatura no mayor a 1 °C). No mayor a 90% hr Sentido: Horario	0.5	%	2	Aprox. 95 %	Si
3	Par de torsión	Herramientas dinamométricas manuales. (Torquímetros)	Comparación directa	PC-031 Procedimiento para la calibración de herramientas dinamométricas Manuales (torquímetros) Primera Edición – Octubre 2021	339 (250 lbf.ft)	813 (600 lbf.ft)	N·m	Temperatura Humedad Relativa Sentido de aplicación del Par	18 °C a 28 °C (Variación de temperatura no mayor a 1 °C). No mayor a 90% hr Sentido: Horario	0.6	%	2	Aprox. 95 %	Si

Nota: Variación de temperatura no mayor a 1 °C durante la calibración.

3.6.Acreditación ante Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc.(PJLA)

Se obtuvo la acreditación Internacional (EE. UU.), para la calibración de torquímetros y transductores de torque, de esta manera de complemento el alcance obtenido con el inacal de 813 N·m hasta 2711.6 N·m colocando a la empresa en una de las primeras en el Perú con mayor alcance en la magnitud par torsional.

Figura 33

Capacidad de Medición y Calibración (CMC) / PJLA

Mechanical	Torque Transducers	0.45 Nm to 2711.6 Nm	0.11 % of reading	Torque Arms and Class 6 Weights	ASTM E2624-17 ISO 6789-2	F
	Torque Tools	0.56 Nm to 2 711.6 Nm	0.4 % of reading	Torque Transducer	PC-031 INACAL	F

IV. CONCLUSIONES

4.1. El Resultado satisfactorio obtenido en el ensayo de aptitud se obtuvo principalmente por el análisis realizado en el cálculo de la incertidumbre del sistema de medición y el control de la deriva de los patrones en el tiempo, así como los demás puntos de aseguramiento mencionados anteriormente.

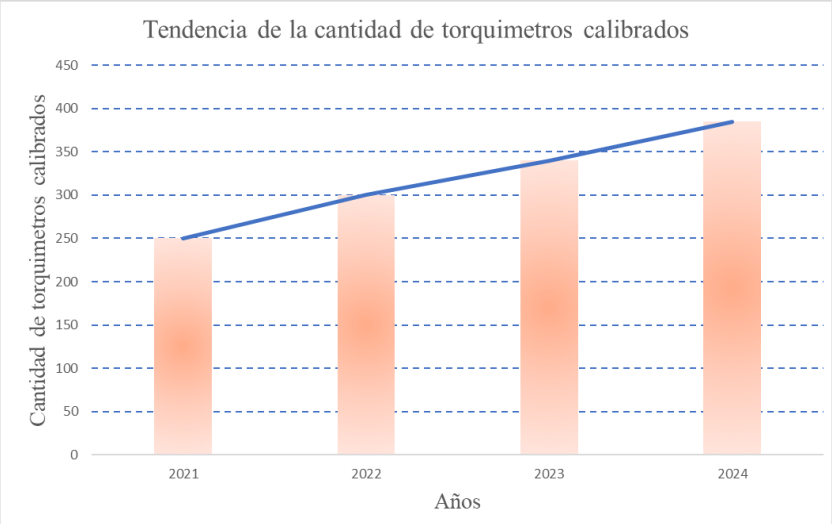
4.2. La implementación del aseguramiento metrológico en el laboratorio, permitió demostrar que tanto el sistema de medición, el personal involucrado y el método son adecuados, lo cual facilitó el proceso de ampliación de acreditación ante el INACAL.

4.3. Dado que el aseguramiento metrológico empleado es robusto, se pudo obtener la acreditación internacional con la casa acreditadora Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc.(PJLA) para torquímetros y transductores de torque.

4.4. Debido a las diversas mejoras en el área, actualmente se ofrece un servicio confiable con altos estándares de calidad, prueba de ello es el aumento de servicios a lo largo del tiempo con un incremento del 54% de los servicios desde el 2021.

Figura 34

Tendencia de los torquimetros calibrados a lo largo del tiempo (2021 – 2024)



V. RECOMENDACIONES

5.1. Pese a que los sistemas de medición son fabricados con una exactitud definida en la práctica se suelen emplear elementos externos, por este motivo, se recomienda caracterizarlos y a partir de ello realizar el cálculo de la incertidumbre máxima para así comprobar que los elementos empleados durante la medición no afecten a la exactitud del sistema.

5.2. Se recomienda mantener constantemente al personal capacitado en la actividad que realice, para así evitar resultados no conformes en los puntos de aseguramiento metrológico que involucren al personal.

5.3. A pesar de obtener resultados conformes en todos los puntos de aseguramiento de igual manera se recomienda realizar el análisis de riesgo y la implementación de las mejoras correspondientes a los procesos involucrados.

5.4. Se recomienda la participación en ensayos de aptitud para poder realizar la comparación de los resultados frente a un valor de referencia, y a partir de ello establecer un plan de acción adecuado.

VI. REFERENCIAS

Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 160*(901), 268–282. https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109

Devore, J. L. (2015). *Probability and statistics for engineering and the sciences* (9th ed.). Cengage Learning.

European co-operation for Accreditation. (2013). *Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration (EA-4/02 M:2013)*. https://european-accreditation.org

International Laboratory Accreditation Cooperation. (2021). *ILAC G17:01/2021 – Introducing the concept of uncertainty of measurement in testing*. https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-guidance-series/

International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. ISO.

International Organization for Standardization. (2023). *ISO/IEC 17043:2023 – Conformity assessment — General requirements for proficiency testing*. https://www.iso.org/standard/81884.html

Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008)*. BIPM. https://www.bipm.org/en/publications/guides

Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied statistics and probability for engineers* (6th ed.). Wiley.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika, 52*(3/4), 591–611. https://doi.org/10.2307/2333709

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability and statistics for engineers and scientists* (9th ed.). Pearson.

VII. ANEXO A

Figura 35

Sistema de medición de torque automático SNAP-ON



Figura 36

Control box del sistema de medición – empleado durante las pruebas



Figura 37

Sistema de medición de torque manual SNAP-ON



Figura 38

Certificado de acreditación internacional – PJLA (E.E U.U)



PERRY JOHNSON LABORATORY ACCREDITATION, INC.

PJLA

Certificate of Accreditation

Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc. has assessed the Organization of:

JLI Metrology S.A.C.
Jirón General Varela 1891 Breña
Lima, Perú. C.P. 15083

and hereby declares that the Organization is accredited in accordance with the recognized International Standard:

ISO/IEC 17025:2017

Whereby, technical competence has been confirmed for the associated scope supplement, in the fields of:

Dimensional, Mechanical, Mass, Force and Weighing Devices, Thermodynamic, Time and Frequency, Optical and Electrical Calibration
(As detailed in the supplement)

Accreditation claims for conformity assessment activities shall only be made from the addresses referenced within this certificate and shall apply solely to those activities identified in the related scope. This Accreditation is granted subject to the Accreditation Body rules governing the Accreditation referred to above, and the Organization hereby commits to observing and complying with those rules in their entirety.

For PJLA:

Tracy Szerszen
President

Perry Johnson Laboratory Accreditation, Inc. (PJLA)
755 W. Big Beaver, Suite 1325
Troy, Michigan 48084

Initial Accreditation Date:	*Issue Date:*	*Expiration Date:*
January 22, 2025	January 22, 2025	April 30, 2027
Revision Date:	*Accreditation No.:*	*Certificate No.:*
June 19, 2025	129326	L25-70-R1

The validity of this certificate is maintained through ongoing assessments based on a continuous accreditation cycle. The validity of this certificate should be confirmed through the PJLA website: www.pjlabs.com

Page 1 of 11