



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

TEMA:

**REVALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA
TRANSMISOR DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA EN EL
LABORATORIO DE LA EMPRESA MINGA S.A. UBICADA EN QUITO.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y Procesos.

Autor

Ing. Columba Morocho Edison Columba.

Tutora

Mgr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra.

AMBATO – ECUADOR

2025

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Columba Morocho Edison Geovanny, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “REVALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA TRANSMISOR DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE LA EMPRESA MINGA S.A. UBICADA EN QUITO”, como requisito para optar al grado de Magister en Diseño Industrial y Procesos. y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato a los 24 días del mes de julio de 2025, firmo conforme:

Autor: Columba Morocho Edison Geovanny

Firma:

Número de Cédula: 1721880951

Dirección: Pichincha, Quito, Tumbaco, Barrio Tola Chica #3.

Correo Electrónico: edy_geovanny@hotmail.com

Teléfono:0983307460

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación “REVALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA TRANSMISOR DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE LA EMPRESA MINGA S.A. UBICADA EN QUITO” presentado por Columba Morocho Edison Columba, para optar por el Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Examinadores que se designe.

Ambato, 24 de julio del 2025

.....
Mgtr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 24 de julio de 2025

.....
Ing. Columba Morocho Edison Columba

1721880951

APROBACIÓN DE EXAMINADORES

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: REVALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA TRANSMISOR DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE LA EMPRESA MINGA S.A. UBICADA EN QUITO, previo a la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Ambato, 24 de julio de 2025

.....

Mg. AYALA CHAUVIN MANUEL IGNACIO
PRESIDENTE

.....

Mg. TOPÓN VISARREA BLANCA LILIANA
EXAMINADOR

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón a mi pareja de vida Jimena Sangacha,
por su incansable impulso de verme crecer profesionalmente
y su apoyo incondicional.

Edison C.

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios por brindarme
fortaleza para seguir adelante, a mi madre Rosita Morocho
por sus palabras que motivan a no dejar el esfuerzo de alcanzar
nuevas metas y por ser parte de este proceso.
Gracias por todo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE EXAMINADORES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción	1
Antecedentes	3
Justificación	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	7
Área De Estudio	15
Modelo operativo:.....	15
Desarrollo del modelo operativo:.....	16

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta:	19
-------------------------------------	----

Resultados esperados:	29
Cronograma de actividades:.....	30
Análisis de costos:.....	31

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución.....	32
Desarrollo y seguimiento	35
Resultados obtenidos.....	44
Análisis estadístico.....	51
Evaluación de la ejecución.....	65
Análisis comparativo.....	65
Evaluación Económica.....	67

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	69
Recomendaciones:	70
ANEXOS	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de Organismos de Acreditación.	2
Tabla 2. Requisitos de validación Magnitudes y Formatos.	7
Tabla 3. Condiciones ambientales para el ensayo del método.	7
Tabla 4. Requisitos para la toma de datos en la validación.	7
Tabla 5. Rangos de aplicación del método.	8
Tabla 6. Descripción del mejor instrumento bajo prueba.	8
Tabla 7. Información de los patrones de referencia.	8
Tabla 8. Resultados de Repetibilidad y Precisión intermedia ANOVA 2021.	9
Tabla 9. Resultados del estudio de veracidad 2021.	9
Tabla 10. Incertidumbre de calibración declarado para el año 2021	9
Tabla 11. Resultados del estudio de robustez 2021.	10
Tabla 12. Datos de aseguramiento con Error Normalizado entre técnicos.	11
Tabla 13. Manómetro Digital (0-500) psi _ “MIN-LC-MD-02”.	11
Tabla 14. Cálculo de periodo de calibración para el patrón de 500 psi.	12
Tabla 15. Manómetro Digital (0-500) psi _ “MIN-LC-MD-02”.	13
Tabla 16. No Conformidades reiterativas de validación.	14
Tabla 17. Área de Estudio.	15
Tabla 18. Diagrama de flujo operativo.	16
Tabla 19. Matriz de identificación de cambios.	19
Tabla 20. Recursos requeridos.	19
Tabla 21. Equipos para revalidación.	20
Tabla 22. Planificación de trabajo.	30
Tabla 23. Análisis de costo	31
Tabla 24. Exactitud del mejor IBC.	32
Tabla 25. Matriz de identificación de cambios.	35
Tabla 26. Datos recolectados en el punto 0 psi.	44
Tabla 27. Suma de cuadrados en el punto 0 psi	44
Tabla 28. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 0 psi.	45
Tabla 29. Datos recolectados en el punto 100 psi.	45
Tabla 30. Suma de cuadrados en el punto 0 psi.	46
Tabla 31. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 100 psi.	46

Tabla 32. Datos recolectados en el punto 500 psi.....	47
Tabla 33 Suma de cuadrados 500 psi.....	47
Tabla 34. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 500 psi....	48
Tabla 35. Datos recolectados en el punto 1000 psi.....	48
Tabla 36. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi..	49
Tabla 37. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi..	49
Tabla 38. Datos recolectados en el punto 3000 psi.....	50
Tabla 39. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi..	50
Tabla 40. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 3000 psi..	51
Tabla 41. Suma de cuadrados Entre Grupo.....	51
Tabla 42 Suma de cuadrados Dentro de Grupo.	52
Tabla 43. Analisis de F calculado y F Tabulado.....	52
Tabla 44. Estudio de precisión intermedia.....	53
Tabla 45. Análisis de precisión (Repetibilidad y precisión intermedia).	53
Tabla 46. Aporte de incertidumbre del patrón.	54
Tabla 47. Aporte de incertidumbre por Deriva.....	54
Tabla 48. Aporte por resolución del IBC, Amperímetro y Patrón.....	54
Tabla 49. Aporte de temperatura del patrón.....	55
Tabla 50. Aporte de temperatura del IBC.....	55
Tabla 51. Datos de histéresis para 100 psi.....	56
Tabla 52. Datos de histéresis para 500 psi.....	56
Tabla 53. Datos de histéresis para 1000 psi.....	57
Tabla 54. Datos de histéresis para 1000 psi.....	57
Tabla 55. Aporte de histéresis el equipo bajo prueba IBC.....	57
Tabla 56. Repetibilidad en el punto 100 psi.....	58
Tabla 57. Repetibilidad en el punto 500 psi.....	58
Tabla 58. Repetibilidad en el punto 1000 psi.....	58
Tabla 59. Repetibilidad en el punto 1000 psi.....	59
Tabla 60. Aporte de incertidumbre de repetibilidad.	59
Tabla 61. Desarrollo del cálculo de variables para la diferencia de altura.	60
Tabla 62. Aporte por diferencia de altura.	60
Tabla 63. Datos de los valores iniciales del cero.	61

Tabla 64. Aporte de desviación del cero.....	61
Tabla 65. Incertidumbre combinada.	62
Tabla 66. cálculo de grados de libertad.....	62
Tabla 67. Cálculo del factor k con los grados de libertad a los 95% de confiabilidad.	63
Tabla 68. Resultados de la calibración interna.....	63
Tabla 69. Resultados de un laboratorio externo No Cer. MIN-LAB-TP-016-24 .	64
Tabla 70. Formato PL-DI-20 A1 Evaluación de Veracidad 2025.	64
Tabla 71. Parámetro de desempeño de Repetibilidad y Reproducibilidad	65
Tabla 72. Evaluación de Incertidumbre 2021.	66
Tabla 73. Evaluación de veracidad inicial y la actualizada.	66
Tabla 74. Declaración del método para calibrar transmisores de presión.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carta de control de Tendencia para transmisores de presión.	10
Figura 2. Carta de Control-Calibración 2021.....	13
Figura 3. Carta de Control-Calibración 2024.....	14
Figura 4. Formato de “Registro de Datos” PLC-DI-29-A1.	21
Figura 5. Identificación legible del equipo bajo prueba IBC.	37
Figura 6. Alimentación al transmisor de presión con el calibrador de procesos... 37	
Figura 7. Puesta a cero al transmisor de presión.	38
Figura 8. Manómetro patrón de 0 psi a 500 psi.....	38
Figura 9. Etiqueta de calibración de calibrador de procesos.....	39
Figura 10. Comprobación hermeticidad del sistema.....	40
Figura 11. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 1.....	41
Figura 12. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 2.....	41
Figura 13. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 3.....	42
Figura 14. Evaluación económica de Revalidación del método.	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de deriva.....	12
Ecuación 2. Periodo de calibración.....	12
Ecuación 3. Suma de cuadrados entre grupos.....	22
Ecuación 4. Suma de cuadrados dentro de grupos.....	22
Ecuación 5. Varianza (entre grupos).....	22
Ecuación 6. Varianza dentro de grupos.....	23
Ecuación 7. Repetibilidad (Sr).....	23
Ecuación 8. Varianza Total.....	23
Ecuación 9. Desviación estándar de precisión intermedia.....	23
Ecuación 10. F calculado.....	23
Ecuación 11. Modelo matemático.....	24
Ecuación 12. Incertidumbre combinada.....	24
Ecuación 13. Incertidumbre del patrón.....	25
Ecuación 14. Incertidumbre de deriva del patrón.....	25
Ecuación 15. Incertidumbre por resolución del equipo patrón.....	25
Ecuación 16. Aporte de Condición ambiental.....	25
Ecuación 17. Aporte de Repetibilidad del instrumento (IBC).....	25
Ecuación 18 Aporte por resolución del IBC.....	26
Ecuación 19. Aporte del amperímetro.....	26
Ecuación 20. Aporte por deriva del amperímetro.....	27
Ecuación 21. Incertidumbre por histéresis del patrón.....	27
Ecuación 22. Aporte de Condición ambiental IBC.....	27
Ecuación 23. Aporte por diferencia de altura.....	28
Ecuación 24. Aporte de la desviación del cero.....	28
Ecuación 25. Grados efectivos de libertad.....	28
Ecuación 26. Incertidumbre expandida.....	29
Ecuación 27. Ecuación de Error Normalizado.....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de Repetibilidad y Precisión intermedia PLC-DI-20-A1.-hoja ANOVA	71
Anexo 2. Formato para estimación de incertidumbre “PLC-DI-21 A1”.	72
Anexo 3. Formato para estudio de Veracidad “PLC-DI-20 A1”, Hoja Veracidad.	73
Anexo 4 Certificado de calibración del equipo patrón MET-2024-05-28-03.....	74
Anexo 5 Certificado de calibración No. MET-2024-05-28-02.....	75
Anexo 6. Certificado de equipo auxiliar “Calibrador de Procesos”.....	76
Anexo 7. Hoja de vida de bomba hidráulica.	77
Anexo 8. Calibración supervisada realizada por el Técnico 1	78
Anexo 9. Calibración supervisada realizada por el Técnico 2.	79
Anexo 10. Calibración supervisada realizada por el Técnico 3.	80
Anexo 11. Día 1- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.....	81
Anexo 12. Día 2- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.....	82
Anexo 13. Día 3- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.....	83
Anexo 14. Calibración interna para muestra de veracidad.	84
Anexo 15. Calibración externa para veracidad 2025.	85
Anexo 16. Resultados iniciales de veracidad 2021.....	86
Anexo 17. resultado inicial de precisión y reproducibilidad por ANOVA.....	87
Anexo 18. Toma de datos del ensayo de calibración para veracidad 2025.....	88
Anexo 19. Distribución T.....	89
Anexo 20. Tabla F-Fisher para 0.05 de confianza	90

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

**TEMA: REVALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA
TRANSMISOR DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA EN EL
LABORATORIO DE LA EMPRESA MINGA S.A. UBICADA EN QUITO**

AUTOR: Ing. Columba Morocho Edison Columba.

TUTORA: Mgtr. Cáceres Miranda Marcela Alexandra

RESUMEN EJECUTIVO

La siguiente propuesta metodológica se enfoca en revalidar el método de calibración para transmisores de presión, dado que se identificó desviaciones en el método. Se partió de una matriz de identificación de cambios, mostrando a tres parámetros de desempeño siendo afectado. Teniendo así la veracidad, la precisión (Repetibilidad y Precisión intermedia) y la incertidumbre de medición. El diseño experimental para la precisión fue el estudio de varianza ANOVA con objetivo de validación a 0.22% del SPAN. Para evaluar la incertidumbre se determinó mediante aportes tipo A y tipo B con su objetivo establecido a $U \cdot k=2$: 2.2 psi (15.16 kPa) y para la veracidad se analizó mediante error normalizado (E_n) con el objetivo de: $E_n \leq 1$. Se prepararon los equipos patrón verificando su certificado de calibración vigente, el instrumento bajo prueba operativamente funcional y a los nuevos técnicos se los evaluó para emitirles una autorización de ejecución. Los datos se recolectaron de las muestras realizadas por 3 técnicos durante 3 días, obteniendo así la precisión intermedia máxima de $1,04 \text{ psi} \leq 8,7 \text{ psi}$ ($7,03 \text{ kPa} \leq 60 \text{ kPa}$). Al no superar el objetivo de (8,7 psi/ 60 kPa) nos dice que el método sigue siendo preciso. La veracidad se evaluó con las incertidumbres y valores de referencia proporcionados por el certificado interno y externo, avaluando con el Error normalizado en el rango de (0 a 3000) psi/ (0 a 20,68) MPa, obteniendo un $|E_n|$ máximo de 0,8 indicando que no es mayor a 1, con lo cual se concluye que el método es veraz. Para la incertidumbre de medición, se evaluó a partir de los aportes de incertidumbre detallados en el modelo matemático obteniendo un resultado con un factor de cobertura del 95% de confianza máxima de 1,1 psi (7,58 kPa), el cual no supera al objetivo que es 2,2 psi/ (15,16 kPa). Como conclusión, pese a los cambios detectados en el método con respecto a la validación inicial, los parámetros de desempeño están dentro de los objetivos de calibración y por ende, el método fue declarado como validado, recomendando realizar los seguimientos periódicos, mantener los registros y control en los intervalos de calibración a patrones previniendo desviaciones que puedan afectar la confiabilidad del servicio.

DESCRIPTORES: Instrumento Bajo Calibración (I.B.C.), Parámetros de desempeño, Precisión, Revalidación de método, Veracidad.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Master's Degree in Industrial and Process Design

AUTHOR: COLUMBA MOROCHO EDISON

TUTOR: MG. CACERES MIRANDA MARCELA

ABSTRACT

REVALIDATION OF THE CALIBRATION METHOD FOR PRESSURE TRANSMITTERS WITH ELECTRICAL OUTPUT IN THE LABORATORY OF MINGA S.A. LOCATED IN QUITO.

The following methodological proposal focuses on revalidating the calibration method for pressure transmitters, as deviations were identified in the method. The process started with a change identification matrix, showing that three performance parameters were affected: trueness, precision (repeatability and intermediate precision), and measurement uncertainty. The experimental design for precision involved an ANOVA variance study with a validation target of 0.22% of the SPAN. To evaluate uncertainty, contributions of type A and type B were determined, with an established objective of $U^*k=2$: 2.2 psi (15.16 kPa). Trueness was analyzed using the normalized error (E_n) with the target: $E_n = 1$. The standard equipment was prepared by verifying their current calibration certificates, the instrument under test was confirmed operationally functional, and the new technicians were evaluated to authorize the execution of the calibration tasks. Data were collected from samples taken by three technicians over three days, resulting in a maximum intermediate precision of 1.04 psi (8.7 psi (7.03 kPa /60 kPa)). Since this did not exceed the objective of (8.7 psi /60 kPa), it indicates the method remains precise. Trueness was evaluated using uncertainties and reference values provided by both internal and external certificates, assessing the normalized error over the range of 0 to 3000 psi (0 to 20.68 MPa), obtaining a maximum $|E_n|$ of 0.8, which is less than 1. This leads to the conclusion that the method is accurate. For measurement uncertainty, evaluation was based on uncertainty contributions detailed in the

KEYWORDS: accuracy, instrument under calibration (I.U.C.), method revalidation, performance parameters, precision.



mathematical model, yielding a result with a coverage factor of 95% confidence of 1.1 psi (7.58 kPa), which does not exceed the objective of 2.2 psi (15.16 kPa). In conclusion, despite the changes detected in the method compared to the initial validation, the performance parameters are within the calibration objectives; therefore, the method was declared validated. It is recommended to carry out periodic follow-ups, maintain records, and control calibration intervals for standards to prevent deviations that could affect the reliability of the service.

KEYWORDS: accuracy, instrument under calibration (I.U.C.), method revalidation, performance parameters, precision.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

(Jiangsu, 2025) indica que la revalidación de métodos de calibración en la magnitud de presión es muy importante y clave dentro de los estándares internacionales de metrología y aseguramiento de calidad. Según (Jiangsu, 2025) a nivel global, la adopción de normas como ISO/IEC 17025 se ha generalizado: aproximadamente 70 % de las industrias ya implementan este estándar para asegurar la confiabilidad y uniformidad en sus procesos de calibración. (Margetts, 2021), menciona que los primeros términos de validación se dieron en 1979 en EE.UU., esto con el objetivo de mejorar la calidad en los productos farmacéuticos. (Margetts, 2021) también señala que las primeras actividades de validación se aplicaron a los procesos de manufactura, pero inmediatamente se extendió a procesos industriales que se derivó de aplicaciones para ingeniería que generaban grandes equipos y los liberaban bajo parámetros establecidos en un contrato.

De acuerdo con (Milizia, 2024) la validación y verificación de métodos no sólo se centran en la evaluación inicial de los métodos, sino que también implican una mejora continua a través de la reevaluación periódica y la incorporación de nuevas tecnologías y metodologías. Por ejemplo, las verificaciones y validaciones generan documentación como parte del proceso en sí mismo, siendo este punto la piedra angular.

(Volonté , 2023) asegura además que con las validaciones se consigue un aseguramiento de la validez de los resultados con calidad, reducción de costos, aumento de la productividad, cumplimiento de las regulaciones y optimización de los procesos.

(Volonté , 2023) indica que la revalidación se realiza cuando procedimientos o métodos ya validados han sufrido alguna modificación o cambios en la droga, cambio de patrón o en la composición del producto y por lo tanto se deben volver a validar. Además (Volonté , 2023) define que las validaciones pueden ser retrospectivas cuando combinan nuevos criterios con la experiencia adquirida anteriormente o prospectivas cuando se inicia desde un comienzo una validación.

Según (PW Consulting Automotive & Machinery Research Cene, 2024) las normas regulatorias regionales actúan como factores impulsores y barreras para los mercados de equipos de calibración a presión, configurando los patrones de demanda, la adopción tecnológica y los paisajes competitivos.

En Latinoamérica, cuentan con una Entidad Nacional de Acreditación y una infraestructura de alta calidad compuesta por un ente nacional de normalización. En la Tabla 1, (Inter American Accreditation Cooperation, 2023) enlista por cada país los organismos de acreditación de cada país que están alineados a la normativa ISO 17025.

Tabla 1. Lista de Organismos de Acreditación.

País	Organismo de Acreditación	ID
Colombia	Organismo Nacional de Acreditación Colombiano	ONAC
Ecuador	Servicio de Acreditación Ecuatoriano	SAE
Chile	Instituto Nacional de Normalización	INN
Argentina	Organismo Argentino de Acreditación	OAA
Uruguay	Organismo Uruguayo de Acreditación	OUA

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir de la IAAC.org.mx.

(LGM, 2022) menciona que la validación de métodos, es un tema, requisito, donde todo laboratorio tiene “áreas de oportunidad”, haciendo referencia al término político que utilizan los grupos evaluadores de auditores o expertos técnicos. También (Baránda Gómez , 2020) nos menciona que llevar a cabo el proceso de revalidación permite demostrar y documentar el diseño, desarrollo y resultados de nuestros servicios. Finalmente (Baránda Gómez , 2020) señala que los estándares de validación entre cada organismo de acreditación son muy similares sin embargo existen ciertas diferencias conceptuales, metodológicas y de criterios de aceptación.

En Ecuador, (SAE, Organismo de Evaluación de la Conformidad, 2023) definen los requisitos de validación que deben cumplir los Organismos Evaluadores de la Conformidad, y los procedimientos de acreditación y evaluación para que las acreditaciones concedidas sean válidas y confiables, tanto en Ecuador como en el ámbito internacional. Por eso (Paredes, Ahumada, Abella, & González, 2023), indica que el concepto de validación puede aplicarse considerando variables propias del método de medición y también otras variables, como el personal de laboratorio, el tipo de instrumentación, el tipo de reactivos y las condiciones ambientales, entre otros. La revalidación es volver a comprobar con evidencia objetiva los parámetros de desempeño.

(SAE E. , 2025) enlista los parámetros de desempeño como Precisión (Repetibilidad y Reproducibilidad), Veracidad, Linealidad y Robustez.

Según (Ahumada, Christian , Johanna , & Ivonne , 2023) señala que la precisión se expresa en términos de dispersión, generalmente en desviación estándar y depende de las condiciones que se ejecute el estudio, teniendo así la repetibilidad (Sr) y reproducibilidad (SR).

El parámetro de desempeño de la veracidad según (Delgado, SGC LAB, 2024) se refiere a la cercanía de los resultados de un valor de referencia, la medida cuantitativa para evaluar la veracidad es el sesgo. En la robustez (SENAVE, 2023) explica que se aplica el Test de Youden Steiner, el cual permite evaluar los posibles factores del método que posiblemente afectaría al resultado de un ensayo.

Al evaluar la incertidumbre (Akcadag, y otros, 2025) define que una estimación debe tener en cuenta todos los efectos reconocidos que operan sobre el resultado, la incertidumbre asociada en cada efecto se combina de acuerdo con procedimientos establecidos. Para el siguiente parámetro (Soto, Yáñez, Castro, & Pellegrini, 2024) aclara que la linealidad o rango reportable es la capacidad de un método para proporcionales a la concentración del analito en una muestra.

Por consecuencia, Minga S.A. al estar acreditado bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025, debe mantener su sistema de gestión en consonancia con los requisitos técnicos de la norma y evidenciar el cumplimiento en la supervisión que lleva a cabo SAE, de acuerdo a un plan de evaluación de 5 años. (GA01, 2021) detalla las exigencias técnicas de la norma, señala que los laboratorios deben verificar los procedimientos para garantizar el rendimiento y proporcionar un servicio de confianza. El mantenimiento de los métodos controlados por el aseguramiento de calidad, que indicaran si el método necesita una revalidación.

Antecedentes

Minga S.A. es una empresa hidrocarburífera, pionera en ofrecer sus servicios especializados en fabricación, rehabilitación de partes y/o equipos de perforación. También mantiene el área de válvulas donde brinda el servicio de reparación de cabezales y pruebas hidrostáticas. Otro servicio es el de laboratorio y organismos de inspección bajo Norma 17020 y Norma 17025 respectivamente. Este servicio se los da en las instalaciones

y en Situ. La empresa se encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos (El Proyecto Km ½ vía Shushufindi) y en la provincia de Pichincha (sector de Calderón).

El laboratorio de calibración tiene su alcance de acreditación la magnitud de presión y temperatura, en los cuales puede calibrar los manómetros analógicos y digitales, transmisores de presión con salida de 4 mA a 20 mA, sensores de temperatura, termómetros digitales y analógicos, registradores de presión y temperatura. Todos estos procedimientos para proporcionar el servicio tanto en el laboratorio situado en Shushufindi como en las instalaciones del cliente, bajo el sistema de contratos bajo llamado, donde se orienta a los patrones a proporcionar el servicio en las estaciones de custodia de crudo o en los Taladros de Perforación "RIG's" de los distintos campos de la Amazonía de Ecuador.

El laboratorio ha enfrentado cambios en el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica desde el año 2020 que ha sido validado. Los cambios son los técnicos que participaron en el ensayo ya no forman parte del laboratorio, adicional a este cambio, al realizar la vigilancia realizadas por SAE en el informe de evaluación del año 2023 y 2024 se detectó una recurrencia de incumpliendo en la validación de método para la magnitud de presión, aportes de incertidumbres adicionales y cambios en la metodología al calibrar el equipo. Esto lanza las alarmas que no se está llevando de manera adecuada el control del aseguramiento de los resultados, donde se detectan mediante tendencias el comportamiento de método de calibración para transmisores de presión.

Este trabajo planteará la revalidación del método de calibración de trasmisor de presión bajo las condiciones actuales de técnicos, patrones y método estándar actualizado su vigencia, esto ayudará a darle cumplimiento al punto de norma y dejar los respaldos de la revalidación, evitando así la recurrencia de las no conformidades en futuras vigilancias solventar esta problemática se plantea revalidar el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica bajo las nuevas condiciones que presenta el laboratorio y detectar si no han afectado estos cambios como son la incorporación de nuevos técnicos a los resultados de la validación inicial.

Justificación

El trabajo planteado pretende revalidar el método de calibración para transmisores de presión mediante una revalidación al cual no se le ha dado un control de calidad a través

del tiempo. Esta revalidación es **importante** para dar un control constante que garantice que factores como la inserción de dos nuevos técnicos al método de calibración, patrones de trabajo con incremento de incertidumbre en su calibración o desvíos en el método no cambien los resultados de la validación inicial.

Su **utilidad** de revalidar el método radica en asegurarse que el método PLC-DI-29 “Calibración de Transmisores con Salida Eléctrica” se mantenga fiable con las condiciones actuales del laboratorio.

Esto **beneficiará** al cumplimiento de norma y garantizar que los resultados obtenidos son totalmente confiables durante el uso del método. Su **impacto** será positivo el eliminar la recurrencia no incumplimiento y mantener la información primaria para futuras auditorias.

La ejecución de la revalidación es **factible** porque se tiene acceso a la gestión del personal, acceso a las instalaciones para los fines previstos, a los patrones que se encuentran calibrados.

Objetivo General

Revalidar el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica mediante un diseño experimental para cálculo de los parámetros de desempeño en el periodo del mes enero del 2025.

Objetivos Específicos

- Identificar la influencia de los cambios presentados en los parámetros de desempeño del método validado de calibración para transmisores de presión inicial, mediante una matriz que indique cómo estos los están afectando.
- Confirmar la competencia técnica de los nuevos técnicos que participarán en la revalidación del método de calibración.
- Definir el diseño experimental de revalidación del método para los parámetros de desempeño seleccionados.
- Ejecutar el diseño experimental definido acorde a lo indicado en el método interno de validación PLC-DI-20, con el fin de calcular los parámetros de desempeño.
- Registrar los resultados obtenidos para evidenciar el cumplimiento de las actividades ejecutadas.

- Comparar los resultados de los parámetros de desempeño calculados con los objetivos de validación definidos inicialmente para determinar la factibilidad de declarar el método como validado o tomar las acciones pertinentes en el caso de incumplimiento.
- Declarar el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica validado.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Minga S.A. ha realizado la validación del método inicial de calibración para transmisores y ha declarado el método como válido en el año 2021. En la Tabla 2, el laboratorio ha establecido los requisitos de magnitud y formatos a usar para la validación.

Tabla 2. Requisitos de validación Magnitudes y Formatos.

MAGNITUDES Y FORMATOS	
MAGNITUD:	PRESIÓN
FORMATO 1:	PLC-DI-29 PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACION DE TRANSMISORES DE PRESION
FORMATO 2:	PLC-DI-29-A1 REGISTRO DE CALIBRACIÓN

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 3, se ha definido las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) que se deben cumplir al ejecutar el método.

Tabla 3. Condiciones ambientales para el ensayo del método.

CONDICIONES AMBIENTALES DE LABORATORIO	
TEMPERATURA:	18°C a 28 °C Estabilidad $\pm 1^{\circ}\text{C}$
HUMEDAD RELATIVA:	20%RH a 80%RH

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

También se ha determinado en la Tabla 4, el número de días y cuantos técnicos deben participar en la recolección de datos.

Tabla 4. Requisitos para la toma de datos en la validación.

CALIBRACIÓN	
N° Días:	3 días
N° Técnicos:	3 técnicos

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

Partiendo del rango que se deseaba acreditar en la Tabla 5, se ha definido los puntos de calibración que se deben ensayar, las cuales están expresadas en unidades de psi.

Tabla 5. Rangos de aplicación del método

RANGO DE CALIBRACION			
DESDE:	0 psi	HASTA:	10000 psi
Puntos de cal.			
DESDE:	0 psi	HASTA:	100 psi
DESDE:	100 psi	HASTA:	500 psi
DESDE:	500 psi	HASTA:	1000 psi
DESDE:	1000 psi	HASTA:	3000 psi

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 6, se describe las características del mejor instrumento bajo prueba que puede calibrar el laboratorio.

Tabla 6. Descripción del mejor instrumento bajo prueba.

INSTRUMENTO BAJO PRUEBA	
CARÁCTERISTICAS	IBP
MARCA:	ENDRESS HAUESER
MODELO:	PMP51-42PE5
No SERIE:	N201BA01129
RANGO:	(0 a 5000) Psi
RESOLUCIÓN:	0,1 psi

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

Finalmente, en la Tabla 7 nos muestra información de los equipos patrón y los auxiliares a ser usados para la ejecución del método de calibración de transmisores de presión.

Tabla 7. Información de los patrones de referencia.

EQUIPOS PATRONES		
	PATRÓN N°1	PATRÓN N°2
MARCA:	FLUKE	FLUKE
MODELO:	754	2700G-G35M
N° SERIE:	3819009	4774049
TAG:	MIN-LC-CP-03	MIN-LC-MD-05
RANGO:	(4 a 20) mA	(0 a 5000) psi
RESOLUCIÓN:	0,0001mA	0,1 psi
EXACTITUD:	0,02%Lec+0,003mA	0,02% de FS

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de requisitos de validación PLC-DI-20-A3 de la empresa Minga S.A.

Para el estudio de Repetibilidad y Precisión intermedia declaran por medio de ANOVA los siguientes resultados detalla dos en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de Repetibilidad y Precisión intermedia ANOVA 2021.

MÉTODO ANOVA			
PUNTO DE CALIBRACIÓN	F(CALCULADO)	F(TABULADO)	F(CALC)<F(TABUL)
psi			
0	1,93	3,68	CUMPLE
100	0,21	3,68	CUMPLE
500	1,43	3,68	CUMPLE
1000	1,77	3,68	CUMPLE
3000	2,18	3,68	CUMPLE
5000	2,56	3,68	CUMPLE
10000	2,34	3,68	CUMPLE

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de declaración de método validado PLC-DI-20-A2 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 9, se describe el resultado para el estudio de veracidad, utilizando la técnica estadística de Error normalizado. Comparándose con un laboratorio externo.

Tabla 9. Resultados del estudio de veracidad 2021.

Valor nominal	MINGA LCM-2021-0009		FUJISAN FSPR-CCPT-22745/20		EN < 1	
	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U		
0	23,13	4,4	22,0	1,6	0,24	CUMPLE
100	23,40	4,5	21,9	2,2	0,30	CUMPLE
500	22,89	4,7	21,1	2,4	0,34	CUMPLE
1000	22,95	4,7	20,3	2,8	0,48	CUMPLE
3000	21,59	5,0	18,8	4,2	0,43	CUMPLE
5000	12,08	5,9	10,7	5,5	0,17	CUMPLE
10000	-25,25	7,7	-25,7	8,1	0,04	CUMPLE

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir de la declaración de método validado PLC-DI-20-A2 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 10, se muestra la incertidumbre de calibración por cada punto declarada en el 2021 dentro del método de validación.

Tabla 10. Incertidumbre de calibración declarado para el año 2021

REGISTRO DE INCERTIDUMBRE DE MEDIDA 2021			
MAGNITUD	RANGO psi	U k=2 (psi)	U k=2 (kPa)
PRESIÓN	0 A 100	0,1	0,68
	100 A 500	0,13	0,87
	500 A 1000	0,34	2,3
	1000 A 3000	0,88	6,1

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir de la declaración de método validado PLC-DI-21-A1 registro CMC de la empresa Minga S.A.

Seguidamente se expone en el Tabla 11 los resultados del estudio de robustez, usando la técnica estadística de error normalizado. Comparando las calibraciones en diferentes lugares, cambiando las condiciones de ambientales.

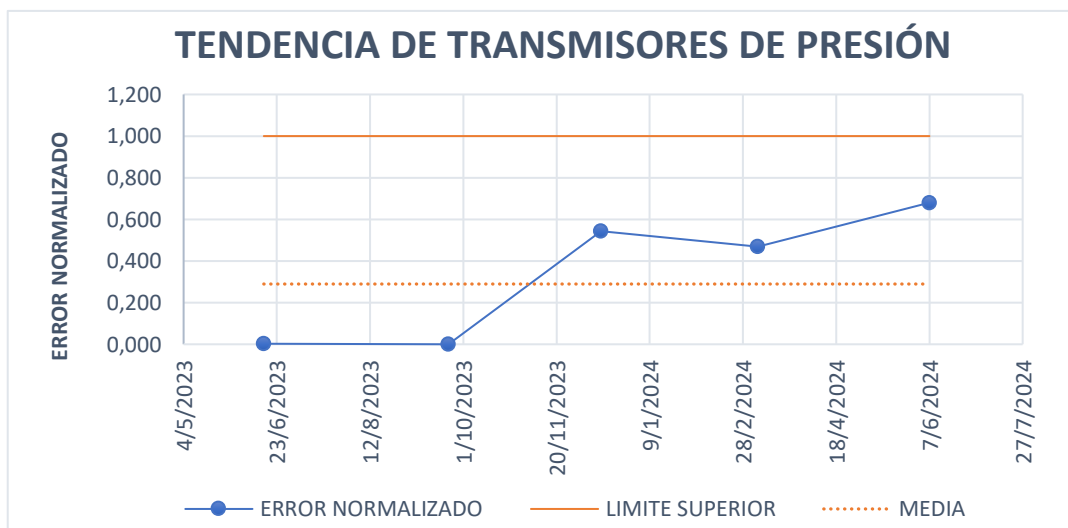
Tabla 11. Resultados del estudio de robustez 2021.

Valor nominal	LABORATORIO MINGA LCM-2021-0009 (BASE MINGA)		LABORATORIO MINGA LCM-2021-0003 (QUITO)		LABORATORIO MINGA LCM-2021-0004 (GUAYAQUIL)		EN < 1		CUMPLE
	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U			
0	23,13	4,4	20,00	3,8	21,25	3,7	0,54	0,33	CUMPLE
100	23,40	4,5	20,27	3,8	19,96	3,8	0,53	0,58	CUMPLE
500	22,89	4,7	21,95	4,1	21,64	4,0	0,15	0,20	CUMPLE
1000	22,95	4,7	21,39	4,1	21,07	4,1	0,25	0,30	CUMPLE
3000	21,59	5,0	19,71	4,4	18,46	4,3	0,28	0,47	CUMPLE
5000	12,08	5,9	10,21	5,3	9,89	5,3	0,24	0,28	CUMPLE
10000	-25,25	7,7	-20,88	6,9	-20,56	6,8	0,42	0,46	CUMPLE

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir de la declaración de método validado PLC-DI-20-A2 de la empresa Minga S.A.

Durante el seguimiento de aseguramiento de la calidad se ha revisado el comportamiento de la tendencia de aseguramiento de calidad mostrada en la Figura 1 para el método de transmisores de presión.

Figura 1. Carta de control de Tendencia para transmisores de presión.



Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del aseguramiento de validez de resultados PLC-DI-11 de la empresa Minga S.A.

La tendencia observada en la Figura 1, muestra una desviación hacia el límite superior debido a que en los dos últimos años se han incorporado 3 nuevos técnicos.

En la Tabla 12 se muestra los errores normalizados realizados en los años 2023 y 2024, se puede apreciar cómo ha incrementado en el año 2024.

Tabla 12. Datos de aseguramiento con Error Normalizado entre técnicos.

TRANSMISORES DE PRESIÓN			
AÑO	MES	ERROR NORMALIZADO (En)	LIMITE DE CONTROL
2023	2023-03-07	0,040	En ≤ 1
	2023-06-16	0,003	
	2023-09-23	0,000	
	2023-12-14	0,544	
2024	2024-03-07	0,470	
	2024-06-07	0,680	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de registros de Aseguramiento de validez de resultados PLC-DI-11 de la empresa Minga S.A.

Desvió de incertidumbre en los patrones: Los parámetros de incertidumbre y corrección del patrón usado en la validación inicial para el método de calibración de transmisores han sido usados del certificado del 2021. En la Tabla 13, podemos apreciar los resultados de calibración con un rango de 0 psi a 500 psi del año 2021 correspondiente al equipo patrón.

Tabla 13. Manómetro Digital (0-500) psi_ “MIN-LC-MD-02”.

IBC (psi)	Corre. (psi)	± U k=2 (psi)	C+U k=2 (psi)	C - U k=2 (psi)	E. M. P (psi)
0,00	0,00	0,01	0,01	-0,01	0,25
61,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,25
99,89	-0,06	0,01	0,01	-0,07	0,25
149,86	-0,15	0,01	0,01	-0,16	0,25
199,87	-0,17	0,01	0,01	-0,18	0,25
249,80	-0,14	0,01	0,01	-0,16	0,25
299,79	-0,19	0,01	0,01	-0,20	0,25
399,68	-0,17	0,02	0,02	-0,19	0,25
499,72	-0,19	0,02	0,02	-0,21	0,25

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del certificado de Calibración 2021 de la empresa Minga S.A.

El plan de calibración interno del laboratorio ha calculado que el intervalo de calibración por deriva da para cada tres años. Usando la ecuación 1 de Deriva se calculó de la siguiente manera:

Ecuación 1. Cálculo de deriva

$$Deriva = \frac{Desviación}{T_o - T_f} \frac{[u]}{(mes)} \quad (1)$$

Dónde:

Dif = Desviación

Tf = Tiempo final

To = Tiempo inicial

Ecuación 2. Periodo de calibración

$$Período de Calibración = \left| \frac{\pm \text{Clase de exactitud o Tolerancia}}{Deriva} \right| \frac{\left[\frac{u}{T} \right]}{\left[\frac{u}{mes} \right]} \quad (2)$$

El valor de deriva obtenido de la ecuación 1, se reemplaza en la ecuación 2 para dividir la tolerancia por la deriva, el cual nos da como resultado el periodo de calibración a 3 años para su próxima intervención. La tolerancia es dada por fabricante.

En la Tabla 14, se nos muestra el cálculo para determinar la frecuencia de calibración del manómetro digital de 500 psi.

Tabla 14. Cálculo de periodo de calibración para el patrón de 500 psi.

Puto de Calibración	CORRECCIÓN (psi)		Desviación	Tiempo (años)	Deriva	EMP	Período de calibración (años)	Período de calibración (meses)
	29/07/2019	09/03/2021						
0	0,00	0,00	0,00	2	0,0000	0,25	0	0
50	0,10	0,01	0,09	2	0,0554	0,25	5	54
100	0,12	0,06	0,06	2	0,0378	0,25	7	79
150	0,14	0,15	0,00	2	0,0031	0,25	81	968
200	0,14	0,17	0,03	2	0,0180	0,25	14	167
250	0,13	0,11	0,02	2	0,0099	0,25	25	303
300	0,15	0,19	0,04	2	0,0229	0,25	11	131
350	0,05	0,11	0,06	2	0,0390	0,25	6	77
400	0,03	0,17	0,14	2	0,0874	0,25	3	34
450	0,04	0,11	0,07	2	0,0440	0,25	6	68
500	0,05	0,19	0,14	2	0,0868	0,25	3	35
							3	34

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del registro de mantenimiento 2021 de la empresa Minga S.A.

En el 2024 se envía a calibrar el patrón. En la Tabla 15, podemos apreciar los resultados de calibración con un rango de 0 psi a 500 psi del año 2024, correspondiente al equipo patrón.

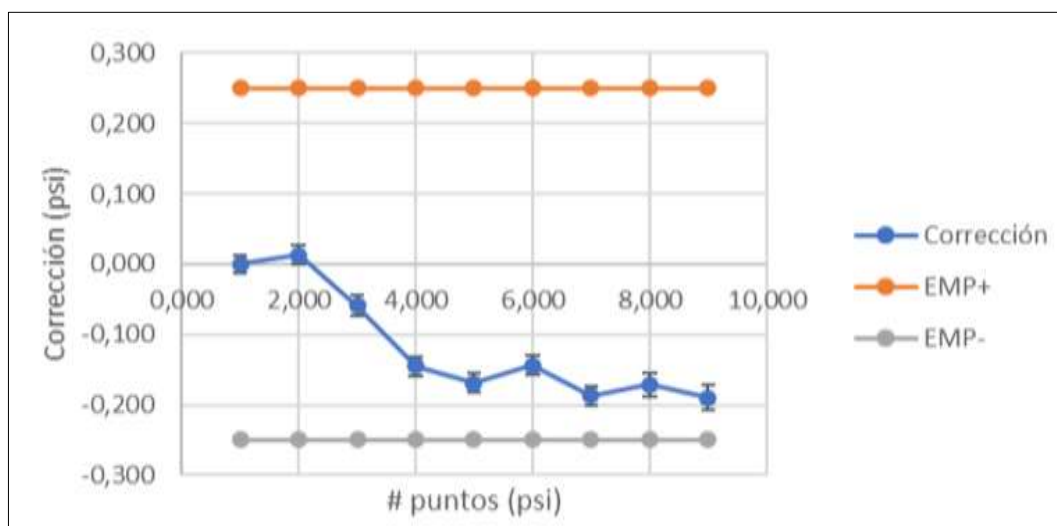
Tabla 15. Manómetro Digital (0-500) psi _ “MIN-LC-MD-02”.

IBC (psi)	Corre. (psi)	$\pm U k=2$ (psi)	C+U k=2 (psi)	C - U k=2 (psi)	E. M. P (psi)
0,00	0,00	0,09	0,09	-0,09	0,25
61,00	0,05	0,09	0,09	-0,04	0,25
100,05	0,04	0,09	0,09	-0,05	0,25
150,05	0,04	0,09	0,09	-0,05	0,25
200,06	0,05	0,09	0,09	-0,04	0,25
250,06	0,07	0,09	0,09	-0,02	0,25
300,12	0,04	0,09	0,09	-0,05	0,25
450,30	-0,07	0,09	0,09	-0,16	0,25
500,33	-0,09	0,10	0,10	-0,19	0,25

Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir del certificado de Calibración 2024 de la empresa Minga S.A.

Al tener un periodo de calibración muy larga, es probable que no se detecten la pérdida de exactitud y precisión del equipo en el transcurso del tiempo. Como nos muestra en la Figura 2, las incertidumbres son muy pequeñas.

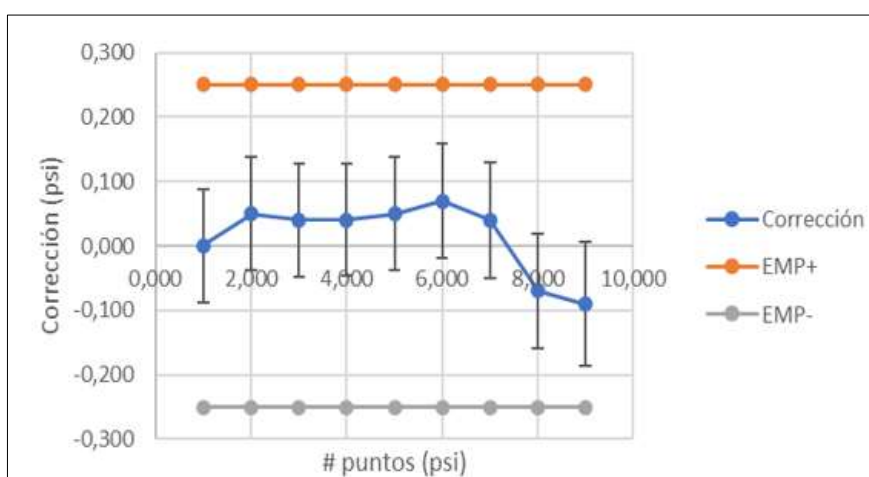
Figura 2. Carta de Control-Calibración 2021.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de certificado 2021.

Si observamos en la Figura 3, las incertidumbres han incrementado considerablemente en el periodo de tres años, conllevando una desviación del método validado.

Figura 3. Carta de Control-Calibración 2024



Elaborado por: Columba, Edison (2025), a partir de certificado 2024 de la empresa Minga S.A.

Adicionalmente, en las vigilancias tanto internas como externas del año 2023 y 2024 se ha tenido reiteradas observaciones relacionadas con la validación del método. En la tabla 16, se detalla por evaluación y año las reiteradas observaciones realizadas.

Tabla 16. No Conformidades reiterativas de validación.

Auditoría Externa-2023		
Categoría	Nº de hallazgo	Requisito
NC	21	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Requisito: 7.2.2.
Auditoría Interna-2023		
Categoría	Nº de hallazgo	Requisito
NC	13	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Requisito: 7.2.1.1
NC	14	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Requisito: 7.2.1.1
Auditoría Externa-2024		
Categoría	Nº de hallazgo	Requisito
NC	3	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018; numeral 7.2.2.
Auditoría Interna-2024		
Categoría	Nº de hallazgo	Requisito
NC	12	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Requisito: 7.2.1.1
NC	13	NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Requisito: 7.2.1.5

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de informes de auditoría de la empresa Minga S.A.

Estos antecedentes previamente expuestos nos llevan a proponer una revalidación del método de calibración para transmisores de presión.

Área De Estudio

En la Tabla 17 se detalla la delimitación del objetivo de estudio seleccionado para el trabajo de titulación que se ejecutara en el periodo de octubre del 2024 a febrero del 2025

Tabla 17. Área de Estudio.

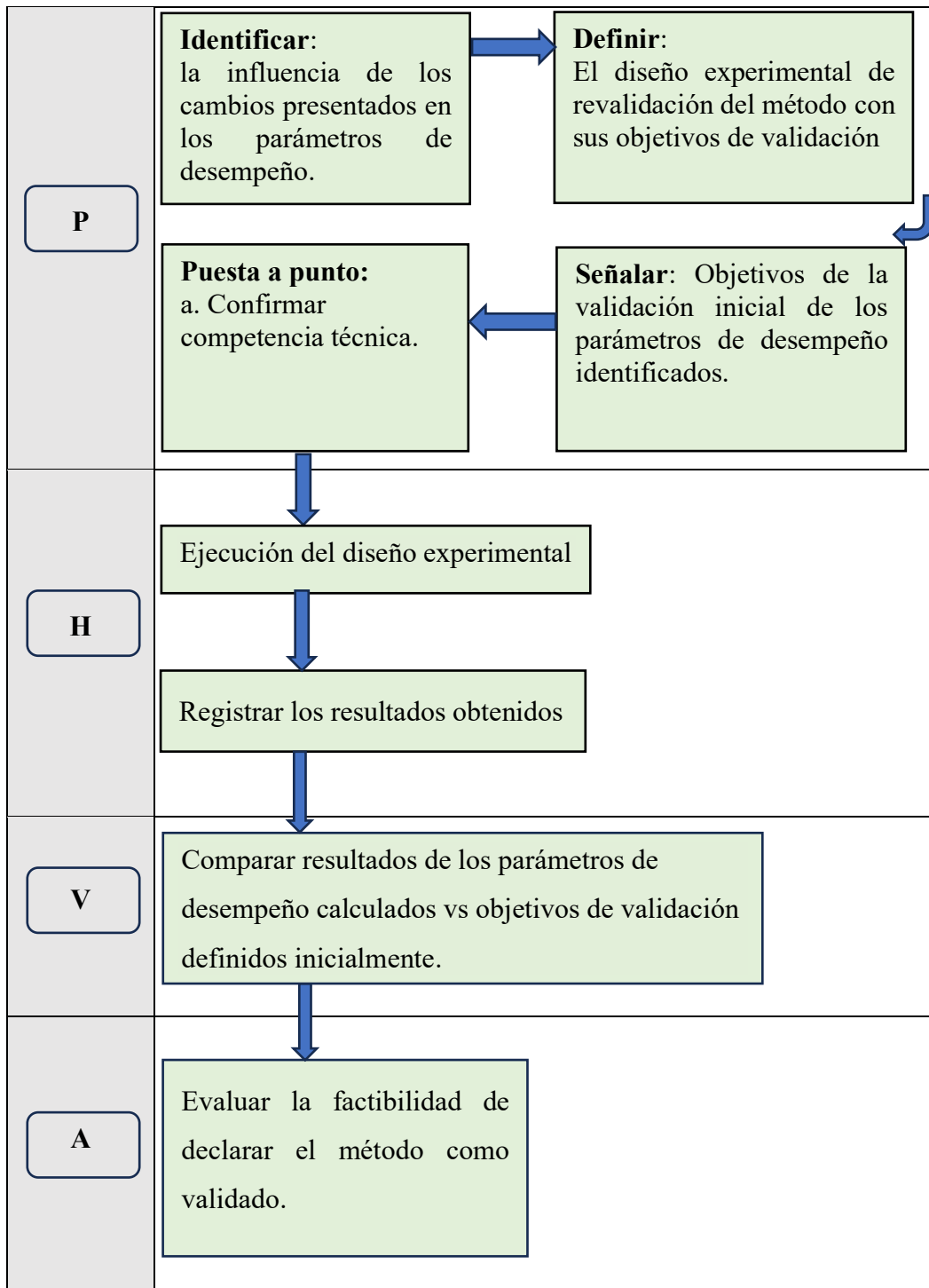
ÁREA DE ESTUDIO	DELIMITACIÓN DEL OBJETIVO DE ESTUDIO
Dominio	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación	Sistemas Industriales
Campo	Ingeniería
Área	Gestión de sistemas productivos
Aspecto	Método de calibración para transmisor de presión con salida eléctrica.
Objeto de estudio	Revalidar del método de calibración para transmisor de presión con salida eléctrica
Periodo de análisis y/o implementación	Octubre 2024 – febrero 2025

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de del formato de la universidad Indoamérica.

Modelo operativo:

El modelo operativo para la revalidación de métodos de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica se detalla en la Tabla 18. Seleccionando la herramienta del PHVA.

Tabla 18. Diagrama de flujo operativo.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de ISO 9001.

Desarrollo del modelo operativo:

Identificación de la influencia de los cambios presentados en los parámetros de desempeño:

Se creará una matriz para identificar los cambios suscitados en el laboratorio, considerando la parte técnica, la parte de infraestructura y condiciones ambientales si fuese el caso. Luego de identificar los cambios que está afectados directamente, se los calificará como de bajo impacto, impacto medio y alto impacto, para esto se establece de la siguiente manera:

Bajo impacto: Cuando no existe ningún cambio en el método.

Impacto medio: Cuando el cambio se considera de forma como, por ejemplo: redacciones ambiguas o responsabilidades no muy claras.

Impacto alto: cuando el cambio se considera de fondo; por ejemplo: los cambios del patrón de trabajo, ampliación en el rango de calibración o cuando se hace controles de calidad al método que salen de límites de control. Con esto seleccionaremos el o los parámetros de desempeño que pueden estar siendo afectados.

Definir el diseño experimental:

Se describirá paso a paso el diseño experimental para la revalidación del método que cubra el o los parámetros de desempeño seleccionados en la matriz de identificación de cambios.

Por cada parámetro identificado se establecerá el objetivo de validación.

El diseño constará de técnicas estadísticas descritas en el procedimiento interno del laboratorio, número de muestras y técnicos a participar, los días que se realizarán las intervenciones.

Puesta a punto:

Se constatará la competencia técnica de los nuevos técnicos que participarán en la revalidación del método de calibración.

Se verificará que el equipo patrón tenga su certificado de calibración con su respectiva etiqueta de calibración actualizada; se constatará cuándo fue realizado su último mantenimiento preventivo para tener la certeza de su operatividad.

Preparar el equipo bajo prueba, verificando su correcto funcionamiento, su número de serie o TAG debe estar claramente identificado.

Registro de los resultados:

Se tomarán los datos obtenidos en el diseño experimental, usando los formatos vigentes del procedimiento de validación de método PLC-DI-20. Controlar el traspaso de datos y el correcto número de dígitos que expresa el patrón y el equipo bajo prueba. Los datos deben estar claros, sin tachones, y deben constar las fechas y firmas de los responsables de cada muestra.

Evaluación de resultados:

Luego de realizada la ejecución, se compararán los nuevos resultados de los parámetros de desempeño con los resultados iniciales. Siendo evaluados así con los objetivos de validación definidos para el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica.

Finalmente, si los resultados que se obtengan en la revalidación de los parámetros de desempeño, entonces se determinará la factibilidad de declarar al método para calibración de transmisores como validado porque aún cumple aun con los objetivos de validación inicial.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta:

Se plantea realizar una revalidación del método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica, iniciando con la identificación de la influencia de los cambios presentados en los parámetros de desempeño usando una matriz de impacto de cambios, ver Tabla 19. Esta se compone de los parámetros de desempeño realizadas inicialmente contra los cambios identificados durante el estudio. Usando el semáforo de colores, se designa el rojo a los de impacto alto, el amarillo se establece a los de impacto medio y a los de impacto bajo se los identifica con el color verde.

Tabla 19. Matriz de identificación de cambios.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS			
Cambios Detectados \ Técnicas de desempeño	Precisión r & R	Veracidad	Incertidumbre
Nuevos técnicos	Impacto alto	Impacto alto	Impacto alto
Actualización de método	Impacto medio	Impacto medio	Impacto medio
Cambio de patrones	Bajo impacto	Bajo impacto	Bajo impacto
Total			

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de SAE CR GA01 R07.

Teniendo como criterio que si el cambio se considera de fondo se lo identifica de color rojo, cuando el cambio se considera de forma se identifica de color amarillo y cuando el cambio altera al resultado no se considera cambio.

Seguidamente, se verificará la competencia técnica de los nuevos técnicos que participarán en la revalidación del método de calibración. En la Tabla 20 se detallan la experiencia a cumplir para que puedan demostrar competencia técnica. Esta información se obtendrá del departamento de gestión de personal.

Tabla 20. Recursos requeridos.

Técnicos	Experiencia	Magnitud
Técnico A	≥ 1 a un año	Presión
Técnico B	≥ 1 a un año	Presión
Técnico C	≥ 1 a un año	Presión

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de registro de personal de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 21, se detallan los equipos que se usaran en la revalidación. Estos se verificarán que el equipo patrón tenga su certificado de calibración con su respectiva etiqueta de calibración actualizada; en el equipo bajo prueba se verificará su correcto funcionamiento, su número de serie o TAG debe estar claramente identificado.

Tabla 21. Equipos para revalidación.

Equipamiento	Característica
	Equipo Bajo Prueba (Transmisor de presión)
	Bomba Hidráulica de Banco
	Manómetro Digital Equipo Patrón
	Calibrador de Procesos



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir registros de mantenimiento de la empresa Minga S.A.

Estos recursos deben estar en un estado operativo, esto implica que cumplan con los requisitos especificados en sus hojas de vida.

Se definirá el diseño experimental para cada parámetro de desempeño obtenidos del análisis de impactos del cambio en el método.

Para revalidar la Repetibilidad y Precisión intermedia, se ejecuta con un número de datos que sean estadísticamente válidos; los técnicos deben realizar sus ensayos en diferentes días bajo las condiciones ambientales establecidas en el procedimiento de condiciones ambientales. En la ejecución, los técnicos que participarán en la toma de datos serán provistos de registros de datos, procedimiento actualizado, equipos y condiciones estables.

El día uno, los datos se tomarán en horas de la mañana, medio día y tarde; este orden se continuará para los dos días restantes. Con cada calibración realizada, los equipos deben quedar limpios y desmontados. Los datos serán tomados por punto, cubriendo el rango de la acreditación. Los técnicos usarán el formato PLC-DI-29 A1 detallado en la Figura 4.

Figura 4. Formato de “Registro de Datos” PLC-DI-29-A1.

Ecuación 6. Varianza dentro de grupos.

$$MS_R = \frac{SS_{LAB}}{N-k} \quad (6)$$

Para obtener la desviación estándar de repetibilidad usar la ecuación (7).

Ecuación 7.

Ecuación 7. Repetibilidad (S_r)

$$S_r = \sqrt{MS_R} \quad (7)$$

Para obtener la desviación total usar la ecuación (8).

Ecuación 8. Varianza Total.

$$S_L^2 = \frac{MS_{LAB} - MS_R}{P} \quad (8)$$

Para obtener la precisión intermedia usar la ecuación (9).

Ecuación 9. Desviación estándar de precisión intermedia

$$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_L^2} \quad (9)$$

Prueba de Fisher-Snedecor

Para analizar si las muestras representan a la misma población se utiliza la prueba F de Fisher-Snedecor, que consiste en comparar una F_{cal} obtenida de las varianzas MS_{LAB}^2 y MS_R^2 frente a una $F_{Tabulada}$. Aplicando la ecuación 10, obtendremos el F tabulado.

Ecuación 10. F calculado.

$$F = \frac{MS_{LAB}}{MS_R} \quad (10)$$

Del Anexo 20, se obtiene $F_{Tabulada}(0,05; (k - 1); (N - k))$

Si $F_{cal} \leq F_{Crit}$, entonces las muestras representan a la misma población.

Evaluación de la incertidumbre:

Partiendo del modelo matemático expresado en la ecuación 11, se deberá evaluar el presupuesto de incertidumbre.

Ecuación 11. Modelo matemático.

$$C_i = (P_R + L_{resP} + L_{derP} + L_{ambP}) - (P_I + L_{resIBC} + C_A + L_{derA} + L_{his} L_{ambIBC} + f_0) + L_{altura} \quad (11)$$

Dónde:

C_i Corrección de calibración

Patrón

P_R Presión de referencia por el patrón

L_{resP} Resolución del equipo patrón

L_{derP} Deriva del patrón

L_{ambP} Condiciones ambientales del patrón

IBC:

P_I Valor de presión suministrado por el IBC

L_{resIBC} Resolución del medidor medida a través del multímetro en unidades de presión

C_A Incertidumbre certificada del amperímetro

L_{derA} Deriva del amperímetro

L_{his} histéresis del medidor medida a través del multímetro en unidades de presión.

L_{ambIBC} Condiciones ambientales del IBC.

L_{altura} Diferencia de altura.

f_0 Deriva del cero.

Para la incertidumbre combinada se encuentra expresada la ecuación 12.

Ecuación 12. Incertidumbre combinada

$$u(C_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (12)$$

Dónde u_i son todas las contribuciones.

Se detalla los aportes de incertidumbre:

a. Incertidumbre suministrada por el certificado del patrón.

Con la ayuda del certificado vigente del patrón encontraremos los aportes de incertidumbre a calcular y su factor k designado. En la ecuación 13, se nos da el tratamiento de la incertidumbre dada por el patrón con una distribución normal.

Ecuación 13. Incertidumbre del patrón

$$u(P_p) = \frac{U_p}{k} \quad (13)$$

Dónde:

$u(P_p)$ = Incertidumbre estándar.

U_p = Estimado de Incertidumbre de patrón

k = Factor de cobertura.

- b. Incertidumbre de deriva del patrón:** calcular la diferencia absoluta entre la corrección vigente (C_1) y la corrección anterior del equipo patrón (C_2), para reemplazarlos en la ecuación 14 donde trata a este aporte como una distribución rectangular.

Ecuación 14. Incertidumbre de deriva del patrón.

$$u(L_{dp}) = \frac{|c_1 - c_2|}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

- c. Incertidumbre por resolución del equipo patrón:**

Ecuación 15. Incertidumbre por resolución del equipo patrón

$$u(L_{resp}) = \frac{\text{Resolución del patrón}}{2\sqrt{3}} \quad (15)$$

- d. Incertidumbre por condiciones ambientales del patrón**

Ecuación 16. Aporte de Condición ambiental.

$$u(L_{ambp}) = \frac{r_p \cdot P \cdot \delta t}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

P: Presión leída

δt : Máxima variación de temperatura (0,1 °C).

r_p : exactitud del patrón (Patrón 1: 0.02% del fondo de escala) y (Patrón 2:0.5% del fondo de escala)

- e. Incertidumbre de Repetibilidad del instrumento (IBC):**

Ecuación 17. Aporte de Repetibilidad del instrumento (IBC)

$$u(P_I) = \frac{P_P}{L_E - l_E} \cdot \frac{DES.STD(xi)}{\sqrt{n}} \quad (17)$$

P_P Rango de medida del instrumento en unidades de presión

xi Valor de repetición

f. Incertidumbre por resolución del instrumento (IBC):

Para obtener el aporte de incertidumbre por resolución del equipo bajo prueba, reemplazamos en la ecuación 18 las variables en magnitud de presión y de corriente.

Ecuación 18 Aporte por resolución del IBC

$$u(L_{resIBC}) = \frac{P_P}{L_E - l_E} \cdot \frac{Res}{2\sqrt{3}} \quad (18)$$

Dónde:

P_P Rango de medida del instrumento en unidades de presión

L_E Mayor valor del rango eléctrico

l_E Menor valor del rango eléctrico

Res En mA la resolución del transductor o transmisor será la del amperímetro.

g. Incertidumbre suministrada por el amperímetro:

Para el caculo de incertidumbre del patrón auxiliar amperímetro se aplica la ecuación 19, donde se requiere el certificado de calibración vigente el cual indica el aporte de incertidumbre y su factor k.

Ecuación 19. Aporte del amperímetro.

$$u(C_A) = \frac{U_A}{k} \quad (19)$$

Dónde:

U_A Incertidumbre del patrón indicada en el certificado

k Factor de cobertura =2

h. Incertidumbre por deriva del amperímetro.

Para el cálculo de incertidumbre por deriva del amperímetro se aplica la ecuación 20, donde se requiere el certificado de calibración vigente y el caducado en el cual nos indican su desgaste en el tiempo.

Ecuación 20. Aporte por deriva del amperímetro

$$u(L_{derA}) = \frac{P_T}{L_E - l_E} \cdot \frac{|c_1 - c_2|}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

Dónde

P_T Indicación del patrón de presión

L_E Mayor valor del rango eléctrico

l_E Menor valor del rango eléctrico

i. Incertidumbre por histéresis del patrón:

Para el cálculo de incertidumbre por histéresis se aplica la ecuación 21, donde se requiere el valor absoluto de ascenso y descenso, para tratarlo como una distribución rectangular.

Ecuación 21. Incertidumbre por histéresis del patrón

$$u(L_{his}) = \frac{P_T}{L_E - l_E} \cdot \frac{|L_1 - L_2|}{2\sqrt{3}} \quad (21)$$

Dónde

L_1 Indicación eléctricas medidas decrementado la presión.

L_2 Indicaciones eléctricas medidas incrementando la presión.

P_T Indicación del patrón de presión

L_E Mayor valor del rango eléctrico

l_E Menor valor del rango eléctrico

j. Incertidumbre por condiciones ambientales del IBC

Ecuación 22. Aporte de Condición ambiental IBC

$$u(L_{amb IBC}) = \frac{r_p \cdot P \cdot \delta t}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

P: Presión leída

δt : Máxima variación de temperatura, en valor absoluto.

r_p : (0,00025+0,00125), dado por fabricante.

k. Incertidumbre por diferencia de alturas:

Ecuación 23. Aporte por diferencia de altura.

$$u_{\Delta R} = \sqrt{(g \cdot h \cdot u(\rho_f))^2 + (g \cdot h \cdot u(\rho_a))^2 + ((\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot u(h))^2} \quad (23)$$

l. Deriva del cero:

Ecuación 24. Aporte de la desviación del cero.

$$f_0 = \max\{|M_{2,0} - M_{1,0}|, |M_{4,0} - M_{3,0}|\} \quad (24)$$

Dónde

Fo=Deriva de cero

M1..Mn = Los índices numeran los valores de medición M leídos en los puntos cero de la serie de medición M1 a M4.

m. Grados efectivos de libertad y factor k

Se determina los grados de libertad efectivos utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite:

Ecuación 25. Grados efectivos de libertad

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (25)$$

Dónde:

u_c = Incertidumbre típica resultante.

u_i = Incertidumbre típica de cada una de las “n” variables de entrada.

v_i = Grados efectivos de libertad de cada una de las “n” variables de entrada.

El factor $tp(v_{eff})$ se obtiene el nivel de confianza 95%, a partir del Anexo 19, Si v_{eff} no es un número entero, interpolar o truncar v_{eff} al entero inferior más próximo. Entonces $k = tp(v_{eff})$.

n. Incertidumbre expandida:

Ecuación 26. Incertidumbre expandida

$$U = uc * Factor K \text{ calculado} \quad (26)$$

Para la Veracidad, se deberá tomar la herramienta estadística del error normalizado.

Ecuación 27:

Ecuación 27. Ecuación de Error Normalizado

$$E_n = \frac{|X_{lab} - X_{ref}|}{\sqrt{U_{lab}^2 - U_{ref}^2}} \quad (27)$$

Donde:

X_{lab} = es el valor obtenido por el laboratorio

X_{ref} = es el valor de referencia (laboratorio externo)

U_{lab}^2 = es la incertidumbre expandida estimada por el laboratorio Interno.

U_{ref}^2 = es la incertidumbre expandida estimada por el laboratorio externo.

De acuerdo con el modelo del error normalizado, si $|E_n| \leq 1$ los resultados entre ambos laboratorios son aceptables y si $|E_n| > 1$ los resultados no son aceptables.

Resultados esperados:

Con la ejecución de la revalidación del método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica, vamos a lograr obtener los siguientes resultados:

Obtener una matriz documentada que relaciona claramente los cambios identificados con cada parámetro de desempeño, mostrando la afectación que tienen sobre el método validado de calibración.

Contar con equipos patrón correctamente preparados y calibrados. Además, los técnicos que ejecutan el trabajo demuestren competencia técnica y habilitados para la ejecución del método.

El diseño experimental queda definido, documentado y aprobado, estableciendo las condiciones de prueba, número de repeticiones, rangos de medición, criterios de aceptación y los parámetros a evaluar.

De la ejecución del diseño experimental obtendremos los cálculos de los parámetros de desempeño intervenidos.

Con esto Conseguir registros completos, organizados y firmados de todos los resultados obtenidos durante la ejecución del diseño experimental, para respaldar documentalmente la trazabilidad y cumplimiento del procedimiento.

Obtener un comparativo entre los parámetros obtenidos y los criterios de aceptación definidos inicialmente, permitiendo tomar decisiones fundamentadas sobre la validación del método o la implementación de acciones correctivas.

Obtener un informe formal que declara el método de calibración como validado, con sustento en la evidencia documentada del cumplimiento de los parámetros de desempeño establecidos y conforme a los requisitos del sistema de gestión de calidad.

Cronograma de actividades:

En la Tabla 22, Se describe la planificación para la ejecución del tema planteado. las tareas necesarias para cubrir el trabajo de titulación, esto en el periodo 2024 - 2025.

Tabla 22. Planificación de trabajo.

Actividades	Fecha inicio	Fecha Final	AÑO 2024-2025
Identificar la influencia de los cambios con una matriz	24-abr	9-may	
Definir el diseño experimental identificados	9-may	24-may	
Señalar objetivos de validación	24-may	8-jun	
Puesta a punto equipos de trabajo y patrones	8-jun	23-jun	
Ejecutar la repetibilidad y Reproducibilidad	23-jun	23-jul	
Evaluar la incertidumbre	23-jul	7-ago	
Evaluar la veracidad	7-ago	22-ago	
Registrar y tratar los datos para r&R	22-ago	6-sep	
Calcular los datos para incertidumbre	6-sep	1-oct	
Calcular los datos para veracidad	1-oct	1-nov	
Comparar los datos actuales vs los iniciales	1-nov	1-ene	

Evaluar la factibilidad para declarar el método	1-ene	1-feb	
--	-------	-------	--

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de formato de la universidad Indoamérica.

Análisis de costos:

En la Tabla 23, Se ha contemplado los siguientes rubros a incurrir en la propuesta de revalidar el método de calibración para transmisores de presión con salida eléctrica.

Detalle de costos.

Tabla 23. Análisis de costo

Tipo	Categoría	Recursos	Descripción	Fuente Financiera	Costo U	Monto
Recursos disponibles	Bienes	Equipo	Laptop	Empresarial	\$ 1,25	\$ 181,25
		Equipo	Patrón de trabajo	Empresarial	\$ 40,00	\$ 120,00
		Equipo	Termohigrómetro	Empresarial	\$ 25,00	\$ 75,00
		Equipo	Equipo bajo prueba	Empresarial	\$ 25,00	\$ 75,00
		Equipo	Equipo auxiliar	Empresarial	\$ 35,00	\$ 105,00
		Equipo	Termohigrómetro	Empresarial	\$ 10,00	\$ 30,00
		Impresiones	Procedimientos Normas	Empresarial	\$ 5,00	\$ 10,00
Recursos necesarios	Servicios	Transporte	Visita a Campo	Personal	\$ 17,50	\$ 105,00
		Empastado	Documento final	Personal	\$ 50,00	\$ 50,00
		Copias a lectores	Entregables	Personal	\$ 10,00	\$ 30,00
		Asesor externo	Asesoría	Personal	\$ 5,09	\$ 733,09
		Imprevistos	Otros	Personal	\$ 200,00	\$ 200,00
Total						\$ 1.714,34

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de formato de la universidad Indoamérica.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

Para la revalidación del método se crea una matriz en la cual consta los parámetros de desempeño considerados en la validación inicial versus los cambios identificados por el personal del laboratorio. Identificando el parámetro de desempeño afectado, el criterio usado es el siguiente: cambios que generen un Impacto alto, Impacto medio o Impacto bajo. Se revalida el parámetro de desempeño que indique un alto. Seleccionando así el diseño experimental. El diseño experimental identificado para evaluar la Repetibilidad y Precisión intermedia es mediante el análisis de varianzas -ANOVA.

Para evaluar la incertidumbre de medición de los resultados, se calcula usando las fuentes de incertidumbre identificadas en el modelo matemático descrita en la ecuación 11, que cubre las fuentes de incertidumbre del Patrón y fuentes de incertidumbre del IBC. Para evaluar la veracidad con la herramienta estadística de Error normalizado, se toma las siguientes pautas:

Seguidamente se determina los objetivos de validación para los parámetros de desempeño analizados en la matriz. Así tenemos que para:

a. Estudio de Repetibilidad y Precisión intermedia:

El mejor equipo que se puede calibrar son transmisores que su precisión sea mayores a 0.22% del (SPAN). En la Tabla 24 indica la exactitud de un transmisor de presión según (Endress+Hauserr, 2021).

Tabla 24. Exactitud del mejor IBC.

ENDRES AND HAUSER	
EXACTITUD DE REFERENCIA	±0,035% SPAN
ESTABILIDAD A LARGO PLAZO	±0,05% SPAN
EFECTO DE LA TEMPERATURA	± 0,065% +0,02% DEL SPAN
EFECTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	± 0,05%SPAN
TOTAL	± (0,035+0,05+0,065%+0,02%+0,05%) SPAN ±0,22% DEL SPAN

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-20 A3 de la empresa Minga. S.A.

Definiendo así el objetivo de validación como: 0.22% del rango configurado (SPAN).

b. Estudio de incertidumbre:

Objetivos de validación: TUR (Test de relación de incertidumbre) 3:1 del error máximo permitido del mejor equipo a medir.

$$0.22\% * 3000 \text{ psi} = \pm 6.6 \text{ psi}$$

$$\text{TUR} = \text{Err. Max. Per.} / 3$$

$$\text{TUR} = 6.6 \text{ psi} / 3 = 2.2 \text{ psi}$$

c. Estudio de Veracidad es:

Objetivos de validación: si $|E_n| \leq 1$ los resultados entre ambos laboratorios son aceptables y si $|E_n| > 1$ los resultados no son aceptables.

Se constata las calibraciones de los equipos patrón. Para el equipo bajo prueba se revisa la hoja de vida para verificar su última intervención de mantenimiento. Para la ejecución de los parámetros de desempeño iniciaremos con el estudio de repetibilidad siguiendo la metodología:

- La muestra de los datos se toma en tres días deferentes y cada técnico deber realizar tres muestras.
- Los puntos para evaluar son: 0 psi, 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi.
- Las condiciones ambientales del laboratorio: en temperatura 18°C a 28 °C con estabilidad de ± 1 °C, la Humedad relativa debe ser entre los 40 % HR a los 60 % HR.

Evaluación de Incertidumbre

Usando las incertidumbres tipa A y tipo B con distribuciones rectangulares, normales o triangulares calcular los aportes de las siguientes fuentes:

P_R Presión de referencia por el patrón

L_{resP} Resolución del equipo patrón

L_{derP} Deriva del patrón

L_{ambP} Condiciones ambientales del patrón

P_I Valor de presión suministrado por el IBC

L_{resIBC} Resolución del medidor medida a través del multímetro en unidades de presión

C_A	Incertidumbre certificada del amperímetro
L_{derA}	Deriva del amperímetro
L_{his}	Histéresis del medidor medida a través del multímetro en unidades de presión.
L_{ambIBC}	Condiciones ambientales del IBC.
L_{altura}	Diferencia de altura.
f_0	Deriva del cero.

La evaluación de Veracidad se realiza de la siguiente manera:

Disponer de un valor de referencia con su incertidumbre, Certificado de calibración emitido por un ente externo.

El técnico seleccionado calibra del equipo para obtener el valor de referencia con su incertidumbre.

Mediante la ecuación (27) “Error normalizado”, se reemplazan los datos de incertidumbre dado por el laboratorio externo y la calibración interna. Así como la corrección de cada punto evaluado.

Declarar la veracidad si cumple con el criterio de evaluación.

Para el registro de datos obtenidos en cada parámetro de desempeño tenemos:

Estudio de Repetibilidad y Precisión intermedia el formato “PLC-DI-20 A1, ver Anexo 1.

Para la evaluación de incertidumbre se usa el formato “PLC-DI-21 A1, ver anexo 2.

Estudio de Veracidad el formato “PLC-DI-20 A1”, ver Anexos 3.

Estos formatos nos permiten dar tratamiento a los datos obtenidos en cada diseño experimental.

Por cada parámetro de desempeño se compara los resultados actuales frente a los resultados iniciales para identificar si aun cumple o no con los objetivos definidos. Generando una tabla de comparación que conste parámetros evaluados, resultados obtenidos, resultados iniciales y finalmente el cumplimiento.

Confirmar que los resultados cumplan con los objetivos de validación establecidos para emitir una declaración del método de calibración de transmisores como válido. Demostrando confiabilidad de los datos, la incertidumbre del método es la adecuada para los requisitos del cliente y normativa.

Desarrollo y seguimiento

Para poder identificar los parámetros de desempeño afectados por los cambios suscitados en el laboratorio, en la Tabla 25, se presenta la matriz de identificación de cambios con los siguientes criterios de evaluación:

Impacto alto: Cuando el cambio se considera de fondo.

Impacto medio: Cuando el cambio se considera de forma.

Impacto bajo: Cuando no se consideran cambios.

Tabla 25. Matriz de identificación de cambios.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS				
Técnicas de validación iniciales 2021	Precisión Repetibilidad & Reproducibilidad	Evaluación Incertidumbre	Veracidad	Robustez
Cambios Detectados				
Nuevos Técnicos	Impacto alto	Impacto medio	Impacto medio	Impacto medio
Actualización de método (Forma de ensayar la repetibilidad)	Impacto medio	Impacto medio	Impacto medio	Impacto medio
Patrón (corrección + incertidumbre)	Bajo impacto	Impacto alto	Impacto alto	Impacto medio
Total	1	1	1	0

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de SAE CR GA01 R07.

Como resultado de la matriz de identificación de cambios que afectan la validación inicial tenemos que las técnicas de desempeño afectada es la precisión (Repetibilidad y Precisión intermedia) y Veracidad, teniendo un impacto alto en: Nuevos técnicos que ejecutan el método, actualización del método y el patrón con sus cambios en incertidumbre y la corrección.

Objetivos de validación

Precisión:

El laboratorio Minga S.A. ha definido el objetivo de validación la precisión del equipo que es 0.22% del rango configurado (SPAN). La exactitud de un transmisor de presión según (Endress+Hauserr, 2021).

Declarando que: La precisión del método obtenida por el laboratorio debe ser menor o igual a la precisión del método que proporciona el fabricante).

Incertidumbre de la medida

En base a (Delgado, SGC LAB, 2024), menciona que la confianza en la decisión de aceptación o rechazo basada en la incertidumbre de la medición. Se calcula dividiendo el rango de tolerancia por la incertidumbre de la medición. Conocido como TUR a la división de la tolerancia requerida sobre 3, para tener una relación de 3 a 1.

EL error máximo permitido del proceso es de 0.22% del SPAN / 3 dando (2,2 psi/ 15,16 kPa) 2.2 psi (45 kPa) a cumplir.

Veracidad:

El laboratorio Minga S.A. ha definido el objetivo de validación para el parámetro de desempeño de veracidad como lo siguiente:

Si $|En| \leq 1$, los resultados entre ambos laboratorios son aceptables y si $|En| > 1$ los resultados no son aceptables.

Según (Carrión, 2023) declara que cuando el resultado obtenido al aplicar el error normalizado es más cercano a cero, significa que el modelo es veraz.

Puesta a punto

Una vez determinado los parámetros de desempeño que deseamos revalidar, se prepara los siguientes equipos:

Instrumento Bajo Prueba:

Se solicita autorización para disponer del equipo bajo prueba para revisar la placa informativa que no se encuentre deteriorada. En la Figura 5, se puede apreciar que su identificación se encuentra legible los siguientes datos:

IBC: Transmisor de presión **Serie:** N20B1A1129 **Rango:** (0 a 3000) psi

Figura 5. Identificación legible del equipo bajo prueba IBC.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de la hoja de vida de la empresa Minga S.A.

Seguido se comprueba que el equipo encienda correctamente al momento de alimentar con el calibrador de procesos.

En la Figura 6, Se constata el funcionamiento correcto de alimentación dada por el calibrador de proceso.

Figura 6. Alimentación al transmisor de presión con el calibrador de procesos.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de la hoja de vida de la empresa Minga S.A.

En la Figura 7, se evidencia la verificación de puesta a cero al transmisor de presión, usando el calibrador de procesos que posee el protocolo HARD.

Figura 7. Puesta a cero al transmisor de presión.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de la hoja de vida de la empresa Minga S.A.

Patrón De Trabajo:

Para el ensayo de revalidación se solicita un manómetro digital, se comprueba la calibración y su reporte de calibración. Ver anexo 4. Certificado de calibración No: MET-2024-05-28-03.

Se detalla a continuación sus características:

Equipo: Manómetro Digital **Serie:** 4774049 **Rango:** (0 a 5000) psi

En la Figura 8, se aprecia la etiqueta de calibración del manómetro digital de 500 psi. Se solicita además el certificado de calibración. Ver anexo 5. Certificado de calibración No. MET-2024-05-28-02.

Figura 8. Manómetro patrón de 0 psi a 500 psi.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de la hoja de vida de la empresa Minga S.A.

Patrón De Trabajo Auxiliar:

El certificado calibración No: LMEL24195PMC se lo puede apreciar en el Anexo 6, corresponde al patrón de trabajo auxiliar llamado Calibrador de Procesos.

En la Figura 9, se aprecia la etiqueta de calibración vigente del calibrador de procesos (amperímetro).

Equipo: Calibrador de procesos **Serie:** 3819009 **Rango:** (4 a 20) mA

Figura 9. Etiqueta de calibración de calibrador de procesos.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de la hoja de vida de la empresa Minga S.A.

También se requerirá de un generador de presión, en este caso usaremos una bomba de banco hidráulico. Sus características son:

Equipo: Bomba de banco

En la Figura 10, se prepara la bomba de banco que tiene una capacidad de 0 a 10000 psi. se genera una limpieza, comprobación de fugas y eliminación de burbujas del sistema.

Figura 10. Comprobación hermeticidad del sistema.



Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del procedimiento PLC-DI-20 de la empresa Minga S.A.

El registro de la **Hoja de vida:** LC-047 correspondiente a la bomba es solicitada al encargado de mantenimiento para constatar si ha sido intervenido en el mantenimiento.

En el Anexo 7, podemos observar el registro de la hoja de vida entregado por el departamento de calibración donde cuenta con toda la información de la bomba y sus intervenciones de mantenimiento.

Competencia técnica

El departamento de laboratorio cuenta con dos técnicos nuevos, los cuales participaran en el ensayo de revalidación del método para transmisores de presión. Dentro del sistema de gestión se establece que los nuevos técnicos que se incorporen a las actividades del laboratorio, deben cumplir horas de ejecución del método y para su autorización final se debe realizar una calibración supervisada.

Para los Técnicos 1, 2 y 3 ya reunían el perfil profesional y las horas de práctica, únicamente les faltaba la calibración supervisada. Se realizó una calibración supervisada seleccionando un equipo del cliente. En el Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10 podemos encontrar los registros de la calibración supervisada por el Técnico 1, Técnico 2 y Técnico 3 respectivamente. Seguidamente, luego de aprobar las calibraciones supervisadas se procede a realizar la autorización para la ejecución del método para calibrar transmisores de presión con salida eléctrica. En la Figura 11 se presenta la autorización final para el Técnico 1, con la respectiva firma de aprobación.

Figura 11. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 1.

MINGA	ANEXO B	CÓDIGO: PLC-02-10-A8
	AUTORIZACIÓN DE TÉCNICO DE CALIBRACIÓN	FECHA: 18/03/2018
		REVISIÓN: 5
		NORMA: ISO/IEC 17025

AUTORIZACIÓN

Shushufindi, 25 de mayo del 2025

Luego de la evaluación y habiendo obtenido una calificación favorable, realizada por el Señor, **DANIEL RICARDO LIGNA PADILLA** al Sr. **EDISON GEOVANNY COLUMBA MOROCHO**, con el número de cédula 1721880951

CERTIFICO

Que el mencionado señor cumple con todos los requisitos necesarios y queda autorizado(a) para realizar la calibración en el Laboratorio de MINGA S. A. e IN-SITU según:

MAGNITUD Y SUBMAGNITUD	CAMPO DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE (*)	INSTRUMENTOS A CALIBRAR Y PROCEDIMIENTOS
PRESIÓN HIDRÁULICA	(0 a 0,69) MPa	±0,68 kPa	Transmisor de presión con salida eléctrica (4 mA a 20 mA)
	>0,69 a 3,44 MPa	±0,87 kPa	
	>3,4 a 6,89 MPa	±2,3 kPa	PLC-DI-29: Procedimiento para calibración de Transmisores de presión
	>6,89 a 20,68 MPa	±6,1 kPa	

Y, por ende, queda autorizado al uso de los equipos involucrados en dichas calibraciones.

Atentamente,


DANIEL RICARDO LIGNA PADILLA
JEFE DE ORGANISMO DE INSPECCIÓN Y LABORATORIO
MINGA S. A.

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro de personal de la empresa Minga S.A.

En la Figura 12 se presenta la autorización final para el Técnico 2, con la respectiva firma de aprobación

Figura 12. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 2.

MINGA	ANEXO B	CÓDIGO: PLC-DI-10-A8
	AUTORIZACIÓN DE TÉCNICO DE CALIBRACIÓN	FECHA: 18/03/2018
		REVISIÓN: 5
		NORMA: ISO/IEC 17025

AUTORIZACIÓN

Shushufindi, 25 de mayo del 2025

Luego de la evaluación y habiendo obtenido una calificación favorable, realizada por el Señor, **EDISON GEOVANNY COLUMBA MOROCHO** al Sr. **JULIO CESAR FARINANGO**, con el número de cédula 172174939-6

CERTIFICO

Que el mencionado señor cumple con todos los requisitos necesarios y queda autorizado(a) para realizar la calibración en el Laboratorio de MINGA S. A. e IN-SITU según:

MAGNITUD Y SUBMAGNITUD	CAMPO DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE (*)	INSTRUMENTOS A CALIBRAR Y PROCEDIMIENTOS
PRESIÓN HIDRÁULICA	(0 a 0,69) MPa	±0,68 kPa	Transmisor de presión con salida eléctrica (4 mA a 20 mA)
	>0,69 a 3,44 MPa	±0,87 kPa	
	>3,4 a 6,89 MPa	±2,3 kPa	PLC-DI-29: Procedimiento para calibración de Transmisores de presión
	>6,89 a 20,68 MPa	±6,1 kPa	

Y, por ende, queda autorizado al uso de los equipos involucrados en dichas calibraciones.

Atentamente,


EDISON GEOVANNY COLUMBA MOROCHO
DIRECTOR DEL LABORATORIO
MINGA S. A.

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro de personal de la empresa Minga S.A.

En la Figura 13 se presenta la autorización final para el Técnico 3, con la respectiva firma de aprobación.

Figura 13. Autorización para la calibración de transmisores de presión al Técnico 3.

MINGA	ANEXO B	CÓDIGO: PLC-DI-10-AB
	AUTORIZACIÓN DE TÉCNICO DE CALIBRACIÓN	FECHA: 15/03/2018
		REVISIÓN: 3
		NORMA: ISO/IEC 17025

AUTORIZACIÓN

Shushufindi, 25 de mayo del 2025

Luego de la evaluación y habiendo obtenido una calificación favorable, realizada por el Señor, **EDISON GEOVANNY COLUMBA MOROCHO** al Sr. **JONATHAN EDUARDO HERRERÍA CUACÉS**, con el número de cédula 172140242-6

CERTIFICO

Que el mencionado señor cumple con todos los requisitos necesarios y queda autorizado(a) para realizar la calibración en el Laboratorio de MINGA S. A. e IN-SITU según:

MAGNITUD Y SUBMAGNITUD	CAMPO DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE (%)	INSTRUMENTOS A CALIBRAR Y PROCEDIMIENTOS
PRESIÓN HIDRÁULICA	(0 a 0,69) MPa	±0,68 kPa	Transmisor de presión con salida eléctrica (4 mA a 20 mA) PLC-DI-29: Procedimiento para calibración de Transmisores de presión
	≥0,69 a 3,44 MPa	±0,87 kPa	
	≥3,4 a 6,89 MPa	±2,3 kPa	
	≥6,89 a 20,68 MPa	±6,1 kPa	

Y, por ende, queda autorizado al uso de los equipos involucrados en dichas calibraciones.

Atentamente,


EDISON GEOVANNY COLUMBA MOROCHO
DIRECTOR DEL LABORATORIO
MINGA S. A.

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro de personal de la empresa Minga S.A.

Diseño experimental

Siendo los parámetros de desempeño más afectados analizados en la matriz, se detalla el diseño experimental para cada evaluación:

Precisión (Repetibilidad y Precisión intermedia):

- Los lineamientos para ejecutar la repetibilidad y reproducibilidad son los siguientes:
- Los puntos para evaluar son: 0 psi, 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi.
- Para el primer día se realizó la primera muestra los técnicos: Edison Columba Julio Farinango y Jonathan Herrería, ver Anexo 11.
- Para el segundo día se realizó la muestra dos, los técnicos: Edison Columba Julio Farinango y Jonathan Herrería. ver Anexo 12.
- Para el tercer día se realizó la muestra tres, los técnicos: Edison Columba Julio Farinango y Jonathan Herrería. ver Anexo 13.
- Las condiciones ambientales del laboratorio: en temperatura 18°C a 28 °C con estabilidad de ±1 °C, la Humedad relativa debe ser entre los 40 % HR a los 60 % HR.

- La técnica estadística para evaluar la Repetibilidad y Precisión intermedia es mediante el análisis de varianzas -ANOVA.
- Los resultados se evaluarán en función a los objetivos de calidad.

Evaluación de incertidumbre:

Para cada cálculo de aporte de incertidumbre detallada en el modelo matemático se debe evaluar como:

Aporte de Incertidumbre tipo A

- Incertidumbre del manómetro patrón.
- Incertidumbre del calibrador de procesos.

Aportes de Incertidumbre tipo B

- Repetibilidad del patrón
- Repetibilidad del instrumento bajo prueba
- Resolución del patrón
- Resolución de calibrador de procesos (Equipo Auxiliar).
- Resolución del instrumento bajo prueba
- Condiciones ambientales del patrón
- Condiciones ambientales del instrumento bajo prueba
- Diferencia de altura
- Densidad del aire
- Deriva del equipo patrón
- Deriva del calibrador de procesos (Equipo Auxiliar).
- Deriva del cero
- Histéresis

Evaluación de Veracidad:

Los lineamientos para evaluar la veracidad serán utilizando la comparación de métodos:

1. Disponer de un valor de referencia. Certificado de calibración emitido por un ente externo.
2. El técnico seleccionado deberá revalida la calibración del equipo.
3. La técnica estadística que aplicaremos para evaluar la veracidad es mediante el error normalizado.
4. Los resultados se evaluarán en función a los objetivos de calidad.

Resultados obtenidos

Precisión (Repetibilidad y Precisión intermedia)

Los 3 técnicos han realizado el ensayo de calibración para el transmisor de presión con salida eléctrica en tres días distintos. Los datos están distribuidos por punto ensayado. En la Tabla 26, se muestra los datos tomados en el punto 0 psi con once repeticiones realizados por cada técnico:

Tabla 26. Datos recolectados en el punto 0 psi.

VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS		
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
0 psi	1	-6,8	-7,4	-6,9
	2	-7,1	-6,9	-7,1
	3	-7,1	-7,3	-7,1
	4	-7,3	-7,1	-6,9
	5	-6,8	-7,3	-6,9
	6	-7,1	-7,1	-6,9
	7	-7,1	-6,9	-7,1
	8	-7,3	-6,8	-7,1
	9	-6,8	-6,9	-7,1
	10	-7,1	-6,9	-7,1
	11	-7,1	-7,1	-7,1
	12	-7,3	-7,3	-7,3

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la tabla 27, se ha calculado los errores con referencia al promedio de cada muestra para calcular la sumatoria total de cada técnico.

Tabla 27. Suma de cuadrados en el punto 0 psi

T1	T2	T3
$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
1,740	0,490	0,018
1,252	0,090	0,444
0,866	0,090	0,751
1,252	0,360	4,694
0,914	1,440	1,521
1,308	0,810	2,054
0,021	1,000	1,521
0,003	0,360	0,444
0,914	0,090	0,401
1,839	0,640	1,521
0,024	0,250	0,751

	0,118	2,560	0,444
$\sum_{i=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	10,253	8,180	14,567

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 28, tenemos los resultados de la suma total de cada técnico, seguidamente calculado el promedio y finalmente el promedio de los promedios de cada grupo.

Tabla 28. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 0 psi

SUMA TOTAL Xi	-85,3	-84,9	-84,6
VALOR MEDIO X_k	-7,1	-7,1	-7,1
No DE RE REPETICIONES (n_k)	12	12	12
PROMEDIO DE TODOS LOS RESULTADOS	-7,1		
No TOTAL DE DATOS (N)	36		
No DE LABORATORIOS (K)	3		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la tabla 29, se muestra los datos de los tres técnicos en el punto 100 psi con once repeticiones realizados por cada técnico:

Tabla 29. Datos recolectados en el punto 100 psi.

VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS		
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
100 psi	1	99,6	98,4	99,8
	2	99,8	99,0	99,9
	3	99,6	99,8	99,4
	4	99,4	99,6	99,4
	5	99,6	99,6	99,8
	6	99,4	99,4	99,6
	7	99,6	99,6	99,8
	8	99,4	99,4	99,6
	9	98,4	99,6	99,8
	10	99,0	99,8	98,3
	11	98,8	99,6	99,4
	12	98,6	99,4	99,6

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 30, se ha calculado los errores con referencia al promedio de cada muestra para calcular la sumatoria total de cada técnico.

Tabla 30. Suma de cuadrados en el punto 0 psi.

	T1	T2	T3
	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
	0,095	1,068	0,071
	0,246	0,188	0,134
	0,095	0,134	0,018
	0,015	0,028	0,018
	0,120	0,028	0,071
	0,021	0,001	0,004
	0,120	0,028	0,071
	0,021	0,001	0,004
	0,729	0,028	0,071
	0,065	0,134	1,521
	0,206	0,028	0,018
	0,428	0,001	0,004
$\sum_{j=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	2,160	1,667	2,007

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 31, tenemos los resultados de la suma total de cada técnico, seguidamente calculado el promedio y finalmente el promedio de los promedios de cada grupo

Tabla 31. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 100 psi

SUMA TOTAL Xi	1191	1193,2	1194,4
VALOR MEDIO X_k	99,3	99,4	99,5
No DE RE REPETICIONES (n_k)	12	12	12
PROMEDIO DE TODOS LOS RESULTADOS	99,4		
No TOTAL DE DATOS (N)	36		
No DE LABORATORIOS (K)	3		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la tabla 32, se muestra los datos de los tres técnicos en el punto 100 psi con once repeticiones realizados por cada técnico:

Tabla 32. Datos recolectados en el punto 500 psi.

VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS		
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
500 psi	1	493,7	494,1	493,9
	2	493,3	494,3	494,1
	3	493,9	493,9	494,3
	4	493,7	493,3	493,9
	5	493,3	493,5	493,1
	6	494,1	493,9	493,5
	7	493,3	493,5	493,5
	8	493,5	493,7	493,3
	9	494,4	493,5	494,3
	10	493,3	493,7	494,3
	11	494,3	494,3	494,1
	12	493,7	494,1	493,7

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 33, se ha calculado los errores con referencia al promedio de cada muestra para calcular la sumatoria total de cada técnico.

Tabla 33 Suma de cuadrados 500 psi

T1	T2	T3
$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
0,000	0,080	0,004
0,154	0,234	0,071
0,029	0,007	0,218
0,000	0,267	0,004
0,164	0,100	0,538
0,156	0,007	0,111
0,164	0,100	0,111
0,042	0,014	0,284
0,483	0,100	0,218
0,164	0,014	0,218
0,354	0,234	0,071
0,000	0,080	0,018

$\sum_{i=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	1,710	1,237	1,867
---	-------	-------	-------

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 34, tenemos los resultados de la suma total de cada técnico, seguidamente calculado el promedio y finalmente el promedio de los promedios de cada grupo.

Tabla 34. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 500 psi

SUMA TOTAL Xi	5924,46	5925,8	5926
VALOR MEDIO X_k	493,7	493,8	493,8
No DE RE REPETICIONES (n_k)	12	12	12
PROMEDIO DE TODOS LOS RESULTADOS	493,8		
No TOTAL DE DATOS (N)	36		
No DE LABORATORIOS (K)	3		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la tabla 35, se muestra los datos de los tres técnicos en el punto 1000 psi con once repeticiones realizados por cada técnico:

Tabla 35. Datos recolectados en el punto 1000 psi.

VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS		
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1000 psi	1	995,8	995,4	996,8
	2	995,6	995,4	996,6
	3	995,3	996,0	996,4
	4	995,4	996,2	996,8
	5	995,3	995,4	994,7
	6	995,8	995,8	995,6
	7	995,1	996,0	995,8
	8	995,4	995,8	995,8
	9	996,9	996,2	995,8
	10	996,6	996,0	996,4
	11	995,8	995,8	996,0
	12	996,0	995,8	996,2

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 36, se ha calculado los errores con referencia al promedio de cada muestra para calcular la sumatoria total de cada técnico.

Tabla 36. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi

	T1	T2	T3
	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
	0,004	0,174	0,526
	0,016	0,174	0,276
	0,252	0,034	0,106
	0,099	0,147	0,526
	0,204	0,174	1,891
	0,002	0,000	0,226
	0,425	0,034	0,076
	0,124	0,000	0,076
	1,318	0,147	0,076
	0,719	0,034	0,106
	0,002	0,000	0,006
	0,061	0,000	0,016
$\sum_{i=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	3,227	0,917	3,902

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 37, tenemos los resultados de la suma total de cada técnico, seguidamente calculado el promedio y finalmente el promedio de los promedios de cada grupo.

Tabla 37. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi.

SUMA TOTAL Xi	11949	11949,8	11952,9
VALOR MEDIO X_k	995,8	995,8	996,1
No DE RE REPETICIONES (n_k)	12	12	12
PROMEDIO DE TODOS LOS RESULTADOS	995,9		
No TOTAL DE DATOS (N)	36		
No DE LABORATORIOS (K)	3		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la tabla 38, se muestra los datos de los tres técnicos en el punto 3000 psi con once repeticiones realizados por cada técnico:

Tabla 38. Datos recolectados en el punto 3000 psi.

VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS		
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
3000 psi	1	3008,1	3008,1	3007,9
	2	3005,6	3007,7	3007,1
	3	3005,8	3007,1	3006,9
	4	3005,6	3006,8	3005,6
	5	3007,7	3008,6	3009,0
	6	3005,6	3008,3	3009,2
	7	3006,6	3008,4	3009,0
	8	3006,8	3006,8	3007,1
	9	3007,7	3007,7	3008,4
	10	3008,1	3006,6	3009,0
	11	3006,9	3006,9	3006,9
	12	3006,4	3005,8	3007,1

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 39, se ha calculado los errores con referencia al promedio de cada muestra para calcular la sumatoria total de cada técnico.

Tabla 39. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 1000 psi

T1	T2	T3
$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
1,740	0,490	0,018
1,252	0,090	0,444
0,866	0,090	0,751
1,252	0,360	4,694
0,914	1,440	1,521
1,308	0,810	2,054
0,021	1,000	1,521
0,003	0,360	0,444
0,914	0,090	0,401
1,839	0,640	1,521
0,024	0,250	0,751
0,118	2,560	0,444

$\sum_{i=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	10,253	8,180	14,567
---	--------	-------	--------

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 40, tenemos los resultados de la suma total de cada técnico, seguidamente calculado el promedio y finalmente el promedio de los promedios de cada grupo.

Tabla 40. Suma total, valor promedio, promedio de los promedios de 3000 psi.

SUMA TOTAL Xi	3680,9	36088,8	36093,2
VALOR MEDIO X_k	3006,7	3007,4	3007,8
No DE RE REPETICIONES (n_k)	12	12	12
PROMEDIO DE TODOS LOS RESULTADOS	3007,3		
No TOTAL DE DATOS (N)	36		
No DE LABORATORIOS (K)	3		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Análisis estadístico

Se realizó el cálculo de varianza-ANOVA por cada punto. En la Tabla 41. Se expresan Suma de cuadrados Entre Grupo:

Tabla 41. Suma de cuadrados Entre Grupo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANZA
DENTRO GRUPOS	$SS_{LAB} = \sum_{k=1}^K n_k (\bar{X}_k - \bar{X})^2$	K-1	$MS_{LAB} = \frac{SS_{LAB}}{K-1}$
0 psi	0,0198 psi	2	0,010 psi
100 psi	0,48 psi	2	0,214 psi
500 psi	0,116 psi	2	0,058 psi
1000 psi	0,700 psi	2	0,35 psi
3000 psi	6,445 psi	2	3,222 psi

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 42, se ha calculado la suma de cuadrados dentro de los grupos para todos los puntos.

Tabla 42 Suma de cuadrados Dentro de Grupo.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANZA
DENTRO GRUPOS	$SS_R = \sum_{K=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	K-1	$MS_R = \frac{SS_{LAB}}{N-k}$
0 psi	0,879 psi	33	0,027 psi
100 psi	5,833 psi	33	0,177 psi
500 psi	4,814 psi	33	0,146 psi
1000 psi	8,046 psi	33	0,244 psi
3000 psi	32,999 psi	33	1,000 psi

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 43 se presentan los resultados del F-calculado que no sean mayor al F Tabulado.

Tabla 43. Analisis de F calculado y F Tabulado.

FUENTE	F CALCULADO	<	F TABULADO	Conclusión
ENTRE GRUPOS	$F = \frac{MS_{LAB}}{MS_R}$	<	Fcri; α; K-1; N-K	
0 psi	0,372	<	3,285	No existe diferencia significativa
100 psi	1,359	<	3,285	No existe diferencia significativa
500 psi	0,398	<	3,285	No existe diferencia significativa
1000 psi	1,436	<	3,285	No existe diferencia significativa
3000 psi	3,222	<	3,285	No existe diferencia significativa

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 44, se ha calculado las desviaciones estándar de repetibilidad y precisión intermedia. Finalmente se expresa con la suma de los cuadrados.

Tabla 44. Estudio de precisión intermedia

FUENTE	REPETIBILIDAD (S_r)	DESV. ESTD. TOTAL s_L^2	PRECISIÓN INTERMEDIA	
	$S_r = \sqrt{MS_R}$	$S_L^2 = \frac{MS_{LAB} - MS_R}{P}$	$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_L^2}$	
0 psi	0,16 psi	0,00 psi	0,16 psi	1,10 kPa
100 psi	0,42 psi	0,01 psi	0,42 psi	2,90 kPa
500 psi	0,38 psi	0,00 psi	0,38 psi	2,62 kPa
1000 psi	0,49 psi	0,01 psi	0,49 psi	3,38 kPa
3000 psi	1,00 psi	0,19 psi	1,02 psi	7,02 kPa

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 45, se expresa los resultados finales por punto. Comparando el objetivo de validación con el análisis de precisión intermedia.

Tabla 45. Análisis de precisión (Repetibilidad y precisión intermedia).

Objetivo de validación			>	SR	
0.22% del SPAN (SPAN: 3000 psi)	6,6 psi	45,51 kPa	>	0,16 psi	1,10 kPa
	6,6 psi	45,51 kPa	>	0,42 psi	2,90 kPa
	6,6 psi	45,51 kPa	>	0,49 psi	3,38 kPa
	6,6 psi	45,51 kPa	>	0,16 psi	1,10 kPa
	6,6 psi	45,51 kPa	>	1,02 psi	7,03 kPa
CONCLUSIÓN DE ANÁLISIS DE VARIANZA - ANOVA					
El resultado de SR (Repetibilidad y Reproducibilidad) es menor que objetivo definido, Lo que nos indica que el método es repetible y reproducible.					

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del formato PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Incertidumbre de medición

Usando la Ecuación 13, calculamos los aportes de incertidumbre del patrón en los puntos 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi. En la Tabla 46 se ha calculado los aportes de incertidumbre basándose en los datos de los certificados de calibración.

Tabla 46. Aporte de incertidumbre del patrón.

PATRON (0-500) psi= MIN-LC-MD-02 (500-3000) psi= MIN-LC-MD-05		EQUIPO AUXILIAR AMPERIMETRO
RANGO psi	<i>U cert</i>	<i>ucert</i>
0 A 100	0,04	0,00531
100 A 500	0,05	0,00531
500 A 1000	0,43	0,00531
1000 A 3000	0,35	0,00531

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de los certificados patrón de la empresa Minga S.A.

Aporte por deriva: Usando la Ecuación 14, calculamos los aportes de deriva del patrón y del equipo auxiliar calibrador de proceso. Este aporte afecta a los puntos de 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi, ver Tabla 47. Para c_1 y c_2 están tomados del certificado de calibración vigente y caducado.

Tabla 47. Aporte de incertidumbre por Deriva

PATRON (0-500) psi= MIN-LC-MD-02 (500-3000) psi= MIN-LC-MD-05		AMPERIMETRO
RANGO psi	<i>u deriva</i>	<i>u deriva</i>
0 A 100	0,063	0,0083
100 A 500	0,058	0,0083
500 A 1000	0,115	0,0083
1000 A 3000	0,346	0,0083

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de los certificados patrón de la empresa Minga S.A.

Aporte por resolución:

Usando la Ecuación 15, calculamos los aportes de incertidumbre del patrón en los puntos 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi. Ver tabla 48.

Tabla 48. Aporte por resolución del IBC, Amperímetro y Patrón

PATRON (0-500) psi= MIN-LC-MD-02 (500-3000) psi= MIN-LC-MD-05		AMPERIMETRO	IBC
RANGO psi	<i>u res</i>	<i>u res</i>	<i>u res</i>

0 A 100	0,00289	0,0083	0,0002
100 A 500	0,00289	0,0083	0,0009
500 A 1000	0,02887	0,0083	0,0018
1000 A 3000	0,02887	0,0083	0,0054

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de los manuales del patrón de la empresa Minga S.A.

Aporte por condiciones ambientales:

Equipo patrón: Normalmente la electrónica corrige estos efectos y los fabricantes suelen especificar el comportamiento de los equipos con la temperatura como un porcentaje $P = 0.02\%FS$, las $P = 0\text{ psi}$, 100 psi , 500 psi , 1000 psi y 3000 psi . Para $\Delta T = 0,1\text{ }^\circ\text{C}$. Usando la Ecuación 16 calculamos en cada punto. ver Tabla 49.

Tabla 49. Aporte de temperatura del patrón

psi	% FS	$\Delta T\text{ }^\circ\text{C}$	u amb (IBC)
0	0,02%	0,1	0,000
100	0,02%	0,1	0,001
500	0,02%	0,1	0,006
1000	0,02%	0,1	0,012
3000	0,02%	0,1	0,035

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de criterios de fabricante para IBC de la empresa Minga S.A.

Equipo Bajo Prueba:

P: 0 psi, 100 psi, 500 psi, 1000 psi y 3000 psi.

δt : 0,1 $^\circ\text{C}$

r_p : (0,00025+0,00125), dado por fabricante.

Usando la Ecuación 22 calculamos en cada punto el aporte de incertidumbre de las condiciones ambientales del IBC, ver Tabla 50.

Tabla 50. Aporte de temperatura del IBC

PATRON (0-500) psi= MIN-LC-MD-02 (500-3000) psi= MIN-LC-MD-05	
RANGO psi	uamb (IBC)
0 A 100	0,009

100 A 500	0,043
500 A 1000	0,087
1000 A 3000	0,260

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir de criterios de fabricante para el patrón de la empresa Minga S.A.

Incertidumbre por histéresis:

Se ha tomado los datos de ascenso y descenso en el punto 100 psi, en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 51.

Tabla 51. Datos de histéresis para 100 psi.

HISTERESIS			
ASC/DESC	PSI	mA	psi
ASCENSO	100,01	19,9998	100,00
	100,01	19,9999	100,00
DESCENSO	99,99	19,9998	100,00
	100,00	19,9999	100,00
ASCENSO		19,9999	
DESCENSO		19,9999	
HISTERESIS		0,00000	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Se ha tomado los datos de ascenso y descenso en el punto 500 psi, en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 52.

Tabla 52. Datos de histéresis para 500 psi.

HISTERESIS			
ASC/DESC	PSI	mA	psi
ASCENSO	500,01	19,9998	100,00
	500,00	19,9998	499,99
DESCENSO	500,01	19,9997	499,99
	500,00	19,9998	499,99
ASCENSO		19,9998	
DESCENSO		19,9998	
HISTERESIS		0,0016	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Se ha tomado los datos de ascenso y descenso en el punto 1000 psi, en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 53.

Tabla 53. Datos de histéresis para 1000 psi.

HISTERESIS			
ASC/DESC	PSI	mA	psi
ASCENSO	1000,0	19,9989	99,99
	1000,1	20,0000	1000,00
DESCENSO	999,9	19,9998	999,99
	1000,0	20,0001	1000,01
ASCENSO		19,9995	
DESCENSO		20,0000	
HISTERESIS		0,031	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Se ha tomado los datos de ascenso y descenso en el punto 3000 psi, en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 54.

Tabla 54. Datos de histéresis para 1000 psi.

HISTERESIS			
ASC/DESC	PSI	mA	psi
ASCENSO	3000,0	19,9996	100,00
	3000,1	19,9999	2999,98
DESCENSO	3000,0	19,9997	2999,94
	3000,0	19,9998	2999,96
ASCENSO		19,9998	
DESCENSO		19,9998	
HISTERESIS		0,00	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Los cálculos de aporte de histéresis se los realiza en función a la ecuación 21, los cuales se encuentra en la tabla 55.

Tabla 55. Aporte de histéresis el equipo bajo prueba IBC.

RANGO psi	IBC
	u his
0 A 100	0,0000
100 A 500	0,0005
500 A 1000	0,0090
1000 A 3000	0,0000

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Aporte por repetibilidad:

Los datos recolectados en 100 psi de repetibilidad bajo las mismas condiciones fueron tomadas en cada punto, esto en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 56.

Tabla 56. Repetibilidad en el punto 100 psi.

REPETIBILIDAD			
	PATRON	IBC	
REPETICIONES	PSI	mA	psi
REP 1	100,01	19,9992	100,00
REP 2	100,00	19,9992	100,00
REP 3	100,00	19,9993	100,00
REP 4	100,01	19,9993	100,00
REP 5	100,01	19,9993	100,00
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,0003	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Los datos recolectados en 500 psi de repetibilidad bajo las mismas condiciones fueron tomadas en cada punto, esto en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 57.

Tabla 57. Repetibilidad en el punto 500 psi.

REPETIBILIDAD			
	PATRON	IBC	
REPETICIONES	PSI	mA	psi
REP 1	500,01	19,9999	500,00
REP 2	500,00	19,9998	499,99
REP 3	500,01	19,9998	499,99
REP 4	500,00	19,9999	500,00
REP 5	500,01	19,9998	499,99
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,0017	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Los datos recolectados en 1000 psi de repetibilidad bajo las mismas condiciones fueron tomadas en cada punto, esto en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 58.

Tabla 58. Repetibilidad en el punto 1000 psi.

REPETIBILIDAD		
	PATRON	IBC

REPETICIONES	PSI	mA	psi
REP 1	1000,1	19,9998	999,99
REP 2	999,9	19,9998	999,99
REP 3	1000,0	19,9998	999,99
REP 4	1000,0	19,9999	999,99
REP 5	1000,0	19,9999	999,99
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,0034	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Los datos recolectados en 3000 psi de repetibilidad bajo las mismas condiciones fueron tomadas en cada punto, esto en equivalencia de miliamperios, ver Tabla 59.

Tabla 59. Repetibilidad en el punto 1000 psi

REPETIBILIDAD			
	PATRON	IBC	
REPETICIONES	PSI	mA	psi
REP 1	3000,0	19,9997	2999,94
REP 2	3000,0	19,9998	2999,96
REP 3	2999,9	19,9997	2999,94
REP 4	2999,9	19,9997	2999,94
REP 5	3000,0	19,9999	2999,98
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,0168	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Para el aporte de incertidumbre de repetibilidad se aplica la ecuación 17, donde se ha calculado la desviación estándar por punto ensayado, ver Tabla 60

Tabla 60. Aporte de incertidumbre de repetibilidad.

RANGO psi	IBC
	uRep
0 A 100	0,0002
100 A 500	0,0008
500 A 1000	0,0015
1000 A 3000	0,0075

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Incertidumbre para diferencia de altura

Aplicando la ecuación 23, encontramos el aporte de la diferencia de altura, siempre que se registre una diferencia en el banco de prueba. Esta variable es necesario para encontrar el aporte de incertidumbre por diferencia de altura, ver Tabla 61.

Tabla 61. Desarrollo del cálculo de variables para la diferencia de altura.

ρ_f		U_f	
998,203801	Kg/m³	0,05963604	Kg/m³
Δh		u(h)	
0,94964316	Kg/m³	0,000314	Kg/m³
g			
0	m	0,00021	m
9,7803184	m/s²		
K	6894,757		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

En la Tabla 62, se aprecia los resultados de aporte de diferencia de altura por cada punto evaluado, reemplazando las variables de la ecuación 23 encontradas en la tabla 61.

Tabla 62. Aporte por diferencia de altura.

RANGO psi	IBC
	uΔh
0 A 100	0,00029707
100 A 500	0,00029707
500 A 1000	0,00029707
1000 A 3000	0,00029707

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Aporte por deriva del cero

En la Tabla 63, se presenta los datos tomados del cero inicial. Este aporte afecta a cada punto evaluado.

Tabla 63. Datos de los valores iniciales del cero.

DERIVA DEL CERO			
	PATRON	IBC	
CERO	PSI	mA	psi
M1	0,00	4,00000	0,00
M2	0,00	4,00010	0,02
M3	0,00	4,00000	0,00
M4	0,00	4,00010	0,02
Deriva del cero			
$f_0 = \max \left\{ x_{2,0} - x_{1,0} , x_{4,0} - x_{3,0} , x_{6,0} - x_{5,0} \right\}$			
0,0187			

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Aplicando la ecuación 24, se calcula el aporte de la desviación del cero con una distribución normal. En la Tabla 64 se encuentra calculado para cada punto.

Tabla 64. Aporte de desviación del cero.

RANGO psi	IBC
	u deriva cero
0 A 100	0,011
100 A 500	0,011
500 A 1000	0,011
1000 A 3000	0,011

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Incertidumbre combinada

Con todas las contribuciones encontradas del modelo matemático, se procede a encontrar la incertidumbre combinada. En la Tabla 65 se ha recolectado los aportes de incertidumbre para encontrar la suma de cuadrados y finalmente su raíz cuadrada.

Tabla 65. Incertidumbre combinada.

Aporte de Incertidumbre				
u_i^4	0 a 100 psi	100 a 500 psi	500 a 1000 psi	1000 a 3000 psi
ucert	0,04400	0,04800	0,42500	0,35000
u deriva	0,06293	0,05774	0,11547	0,34641
ures	0,00289	0,00289	0,02887	0,02887
uamb(P)	0,00115	0,00577	0,01155	0,03464
ucert	0,00531	0,00531	0,00531	0,00531
u deriva	0,00830	0,00830	0,00830	0,00830
ures	0,00018	0,00090	0,00180	0,00541
uRep	0,00015	0,00077	0,00153	0,00750
u his	0,00000	0,00045	0,00902	0,00000
uΔh	0,00030	0,00030	0,00030	0,00030
uamb (IBC)	0,00866	0,04330	0,08660	0,25981
u deriva cero	0,01083	0,01083	0,01083	0,01083
Incertidumbre combinada (u_c)	0,0787 psi	0,0881 psi	0,4503 psi	0, 558 psi

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Con la incertidumbre combinada encontrada en la tabla 66, se ha reemplazado en la ecuación 25 de grados de libertad.

Tabla 66. cálculo de grados de libertad.

u_c	u_c^4	$\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}$	v_i	$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$
0,0787 psi	0,0000 psi	0,0000 psi	4	98,63495
0,0881 psi	0,0001 psi	0,0000 psi	50	151,26727
0,4503 psi	0,0411 psi	0,0007 psi		62,53466
0,5589 psi	0,0976 psi	0,0007 psi		143,60804

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Luego de haber obtenido los V_{eff} , se calculó el factor k usando la tabla de distribución t al 95 % de confianza, ver Anexo 19.

Luego de tener calculado la incertidumbre combinada y el factor k reemplazamos en la ecuación 26 para obtener la incertidumbre expandida, ver Tabla 67.

Tabla 67. Cálculo del factor k con los grados de libertad a los 95% de confiabilidad.

$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$	(K) V _{eff} a Fracción (p) de 95 %	U= u _c *K calculado (psi)	U= u _c *K calculado U (kPa)
99	1,984	0,2	1,1
151	1,984	0,2	1,2
63	2,01	0,9	6,2
144	1,984	1,1	7,6

Elaborado por: Columba, Edison (2025). a partir del registro PLC-DI-21-A1 de la empresa Minga S.A.

Parámetro de desempeño de Veracidad

El técnico seleccionado realizó la calibración interna, ver Anexo 14. Para obtener los valores de incertidumbre y corrección en los mismos puntos que tiene el certificado de calibración emitido de forma externa. En la Tabla 68. se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 68. Resultados de la calibración interna.

ITEM	PRESIÓN							
	PATRÓN DE MEDIDA		LECTURA MEDIA (IBC)		CORRECCIÓN		U; k=2	
	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi
1	0,000	0	-0,165	-24	0,165	24	0,030	4,3
2	0,689	100	0,524	76	0,165	24	0,030	4,3
3	3,445	500	3,280	476	0,165	24	0,030	4,3
4	6,883	999	6,718	975	0,165	23	0,034	4,9
5	20,663	2999	20,525	2979	0,138	19	0,035	5,1
6	34,436	4998	34,354	4986	0,082	10	0,042	6,1
7	68,879	9997	69,093	10028	-0,214	-34	0,048	6,9

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-29-A1 de la empresa Minga S.A.

Para comparar los resultados se dispone del certificado de calibración emitido por un laboratorio externo, ver Anexo 15. En la Tabla 69 se pueden apreciar los resultados resumen emitidos por el laboratorio externo.

Tabla 69. Resultados de un laboratorio externo No Cer. MIN-LAB-TP-016-24

RESULTADOS OBTENIDOS											
PATRÓN CORREGIDO		INSTRUMENTO BAJO PRUEBA As left				CORRECCIÓN A APLICAR AL INSTRUMENTO				INCERTIDUMBRE ± U	
		Ascendente		Descendente		Ascendente		Descendente			
psi	Mpa	mA	psi	mA	psi	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa
0,0	0,0	3,961	-24,4	3,961	-24,4	24,4	168,5	24,4	168,5	15	101
1251,2	8,6	5,958	1223,5	5,958	1223,5	27,7	190,7	27,7	190,7	15	101
2500,3	17,2	7,960	2474,8	7,960	2474,8	25,5	176,1	25,5	176,1	15	101
3752,8	25,9	9,967	3729,1	9,967	3729,1	23,6	162,9	23,6	162,9	15	101
5002,8	34,5	11,973	4983,1	11,973	4983,1	19,6	135,3	19,6	135,3	15	101
6263,2	43,2	14,001	6250,6	14,001	6250,6	12,6	86,6	12,6	86,6	15	101
7503,6	51,7	16,001	7500,6	16,001	7500,6	3,0	20,7	3,0	20,7	15	101
8754,1	60,4	18,019	8761,9	18,019	8761,9	-7,8	-53,9	-7,8	-53,9	15	101
10004,4	69,0	20,045	10028,1	20,045	10028,1	-23,8	-163,9	-23,8	-163,9	15	101
Patrón Corregido	0	1251	2500	3753	5003	6263	7504	8754	10004		
IBP As found (mA)	3,962	5,962	7,964	9,972	11,981	14,010	16,007	18,026	20,047		
IBP As found (psi)	-24	1226	2478	3733	4988	6256	7504	8766	10029,4		

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del certificado de calibración de la empresa Minga S.A.

Ingresando los valores de corrección y de incertidumbre que se muestran en las Tablas 68 y 69 al formato PL-DI-20 A1 que detalla el Anexo 3, hemos evaluado la veracidad con la ecuación 27 el Error normalizado para cada punto.

Encontramos que todos los errores normalizados se encuentran por debajo de 1, dándonos cumplimiento en todos los puntos evaluados para el año 2025.

Tabla 70. Formato PL-DI-20 A1 Evaluación de Veracidad 2025.

VALOR NOMINAL	LABORATORIO: MINGA S.A.		LABORATORIO: TEGMETRO		En	CRITERIO En ≤ 1
	N° CERT: LC-2025-001 E		N° CERT: MIN-LAB-TP-016-24			
	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U		
0	24	4,3	24,4	1,6	0,1	CUMPLE
100	24	4,3	27,7	2,2	0,8	CUMPLE
500	24	4,3	27,7	2,4	0,8	CUMPLE
1000	25	4,9	27,7	2,8	0,5	CUMPLE
3000	21	5,1	23,6	4,2	0,4	CUMPLE

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Evaluación de la ejecución

Con los obtenidos en los análisis estadísticos para parámetro de desempeño identificado en la matriz de efectos del cambio, se procedió a realizar el análisis comparativo de los resultados iniciales frente a los resultados.

Análisis comparativo

Precisión del método.

En la Tabla 71 se puede apreciar la comparación de la precisión inicial del año 2021 y la actualizada en el 2025. En el Anexo 17, podemos observar los resultados de precisión (Repetibilidad y Reproducibilidad) declarados para el 2021.

Tabla 71. Parámetro de desempeño de Repetibilidad y Reproducibilidad

RESULTADOS									
Parámetro de Desempeño	2021				2025				OBJETIVO DE VALIDACIÓN
	Valor Nominal	0.22% of Span	r&R	F-0.22% del Span>R&R	Valor Nominal	0.22% of Span	r&R	F-0.29% del Span>R&R	
Precisión (Repetibilidad & Reproducibilidad)	0	8.7	0,92	CUMPLE	0	8.7	0,16	CUMPLE	La desviación estándar R&R no debe ser mayor a la precisión dada por fabricante 0.22% del Span>R&R
	100	8.7	0,26	CUMPLE	100	8.7	0,42	CUMPLE	
	500	8.7	0,28	CUMPLE	500	8.7	0,38	CUMPLE	
	1000	8.7	0,21	CUMPLE	1000	8.7	0,49	CUMPLE	
	3000	8.7	0,18	CUMPLE	3000	8.7	1,02	CUMPLE	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Comparando los resultados del 2021 y 2025 nos indica que el factor de cambios de técnicos y los desvíos en el método no ha modificado los resultados de validación. Aun teniendo en cuenta que han pasado cuatro años.

Incertidumbre de medición

En la Tabla 72, se ha registrado las incertidumbres en el año 2021 y las del 2025 donde se ha evaluado con un TAR 3:1 asegurando que la incertidumbre no afecte al error máximo permitido del método.

Tabla 72. Evaluación de Incertidumbre 2021.

REGISTRO DE CMC 2021				REGISTRO DE CMC 2025		Objetivo	ESTADO
MAGNITUD	RANGO psi	U k=2 (psi)	U k=2 (kPa)	U k=2 (psi)	U k=2 (kPa)	0.22% del (SPAN)/3	
PRESIÓN	0 A 100	0,10	0,68	0,16	1,1	2,2	En Tolerancia
	100 A 500	0,13	0,87	0,17	1,2	2,2	En Tolerancia
	500 A 1000	0,34	2,3	0,9	6,2	2,2	En Tolerancia
	1000 A 3000	0,88	6,1	1,1	7,6	2,2	En Tolerancia

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Veracidad

En la Tabla 73 se puede apreciar la comparación de la veracidad inicial del año 2021 y la actualizada en el 2025, donde se aprecia que el (En) aún es menor que uno.

Tabla 73. Evaluación de veracidad inicial y la actualizada.

PARÁMETRO DE DESEMPEÑO	RESULTADOS								OBJETIVO DE VALIDACIÓN
	2021				2025				
	Valor Nominal	En	U; K=2	CRITERIO En ≤ 1	Valor Nominal	En	U; K=2	CRITERIO En ≤ 1	
VERACIDAD	0	0,24	4,4	CUMPLE	0	0,1	4,3	CUMPLE	Si En ≤ 1, los resultados entre ambos laboratorios son aceptables y si En > 1 los resultados no son aceptables.
	100	0,30	4,5	CUMPLE	100	0,8	4,3	CUMPLE	
	500	0,34	4,7	CUMPLE	500	0,8	4,3	CUMPLE	
	1000	0,48	4,7	CUMPLE	1000	0,5	4,9	CUMPLE	
	3000	0,43	5,0	CUMPLE	3000	0,4	5,1	CUMPLE	

Elaborado por: Columba, Edison (2025) a partir del registro PLC-DI-20-A1 de la empresa Minga S.A.

Declaración de la Revalidación del método.

Finalmente, en la Tabla 74 se ha declarado al método de calibración de transmisores de presión como validado luego de encontrarse satisfactorios en los parámetros de desempeño que se identificó en la matriz de identificación de cambios.

Tabla 74. Declaración del método para calibrar transmisores de presión.

INFORME DE VALIDEZ DEL MÉTODO			
LABORATORIO:	MINGA S.A. CALIBRACIÓN DE TRANSMISORES DE PRESIÓN CON SALIDA ELÉCTRICA		
PROCEDIMIENTO:	ELÉCTRICA		
INTERVALO DE TRABAJO:	(0 a 3000) psi / (0 a 20,68) MPa		
CÓDOGO:	PLC-DI-29		
FECHA DEL ESTUDIO:	3/8/2025		
TÉCNICOS:	TÉCNICO 1 TÉCNICO 2 TÉCNICO 3		
CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO	OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADOS	EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD
PRECISIÓN: REPETIBILIDAD: PRECISIÓN INTERMEDIA:	0.22 % (SPAN) (6.6 psi/ 45.5 kPa)	$S_R \leq 0.22 \% fs$ 1,02 psi \leq 6.6 psi 7.03 kPa \leq 45.5 kPa	SATISFACTORIO
INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	0.22% del SPAN / 3 (2.2 psi/ 15,16 kPa)	$U_k \text{ calculado} \leq 2.2 \text{ psi}$ 1.1 psi \leq 2.2 psi 7.6 kPa \leq 15.16 kPa	SATISFACTORIO
VERACIDAD	Error normalizado ≤ 1	(En)máxima ≤ 1 0.8 ≤ 1	SATISFACTORIO
DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO			
En base a los resultados satisfactorios obtenidos en los parámetros de desempeño de precisión, Incertidumbre de medición y veracidad se concluye que el método PLC-DI-29 "Calibración de transmisores de presión con salida eléctrica" es válido y adecuado para su uso previsto en el rango de (0 a 20.68) MPa / (0 a 3000) psi.			

Evaluación Económica

Para la ejecución de revalidación del método se ha planificado inicialmente un costo de 1064 dólares. Mediante la curva S de costos se llevó un control de gastos reales usados al ejecutarlo. En la figura 14 se aprecia la curva de color azul que corresponde al costo programado donde se encuentra sobre la curva de color tomate que es el valor real que se requirió para ejecutar la revalidación del método de transmisores de presión con salida eléctrica.

Figura 14. Evaluación económica de Revalidación del método.



Elaborado por: Columba, Edison (2025). a partir ProjectManager.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La matriz llamada identificación de cambios reveló que los parámetros como la repetibilidad, evaluación de incertidumbre y la veracidad, son las que calificaron con “alto impacto” ya que han experimentado variaciones en equipos patrón, técnicos métodos
- La incorporación de personal técnico en el proceso de revalidación nos demostró la competencia y capacidad de los nuevos integrantes para ejecutar el método de calibración para transmisores de presión. Este aspecto resulta clave, ya que garantiza la sostenibilidad del método.
- El diseño experimental implementado se consolidó como una herramienta fundamental para evaluar de manera integral los parámetros de desempeño del método. La aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para la precisión, el estudio de incertidumbre y la verificación de veracidad mediante el error normalizado confirmaron que el método mantiene su validez y confiabilidad. Además, su estructuración sistemática asegura que pueda ser replicado en futuras evaluaciones, optimizando recursos y fortaleciendo la toma de decisiones técnicas.
- La ejecución del diseño experimental se realizó de acuerdo con el método interno PLC-DI-20, lo cual aseguró que se siguieran todos los pasos necesarios para obtener resultados precisos y confiables. Los parámetros de desempeño fueron calculados correctamente durante el proceso, siguiendo las normativas internas de validación.
- Para un rango de 0 a 3000 psi, la evaluación de la precisión intermedia máxima fue de $1,04 \text{ psi} \leq 8,7 \text{ psi}$ ($7,03 \text{ kPa} \leq 60 \text{ kPa}$). Para la evaluación de incertidumbre máxima de medición nos dio como resultado $1,1 \text{ psi}$ ($7,58 \text{ kPa}$) siendo menor igual a $2,2 \text{ psi}$ ($15,16 \text{ kPa}$). Y para la veracidad el error normalizado máximo nos da un valor de 0,8 el cual es menor a 1 de límite de control.
- La precisión intermedia al no superar el objetivo de $(8,7 \text{ psi}/ 60 \text{ kPa})$ nos dice que el método sigue siendo preciso. Para la evaluación de incertidumbre se ha visto un incremento, peor sin supera al objetivo que es $2,2 \text{ psi}/ (15,16 \text{ kPa})$. Y

para la veracidad el Error normalizado al no ser mayor a 1, no indica que el método aún mantiene su veracidad.

- En base a los resultados satisfactorios obtenidos en los parámetros de desempeño de precisión, Incertidumbre de medición y veracidad se concluye que el método PLC-DI-29 "Calibración de transmisores de presión con salida eléctrica" es válido y adecuado para su uso previsto en el rango de (0 a 20.68) MPa / (0 a 3000) psi.

Recomendaciones:

- Con la comparación de nuestros resultados versus las validaciones iniciales de métodos se puede ver que no impactó los objetivos de la validación, no obstante, se recomienda designar un responsable que maneje el control del procedimiento de validación de métodos con sus correspondientes registros que sustenten las validaciones de cada método declarado en el alcance.
- En cuanto al patrón de referencia, sería recomendable ir contemplando la posibilidad de reemplazarlo y así poder mejorar las correcciones e incertidumbres del método para garantizar de mejor forma la trazabilidad de los resultados.
- Invertir en un programa estadístico para revalidar los métodos cuando se tenga algún desvío durante el periodo de acreditación con mayor rapidez y contar con un almacenamiento de los registros seguros, evitando su pérdida para presentar en futuras auditorías.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de Repetibilidad y Precisión intermedia PLC-DI-20-A1.-hoja ANOVA

PRECISIÓN- ANOVA a 0 psi							
MÉTODO: CÓDIGO: Objetivo Validación	TÉCNICO 1 TÉCNICO 2 TÉCNICO 3			FECHA:			
VALOR DE REFERENCIA	REPETICIONES	TÉCNICOS			T1	T2	T3
		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$(X_{kj} - \bar{X}_k)^2$
0 psi	1						
	2				0.001	0.034	0.002
	3				0.001	0.034	0.001
	4				0.001	0.034	0.002
	5				0.076	0.047	0.022
	6				0.001	0.034	0.001
	7				0.001	0.034	0.001
	8				0.051	0.080	0.002
	9				0.001	0.034	0.001
	10				0.001	0.034	0.001
	11				0.001	0.000	0.002
	12				0.001	0.034	0.001
SUMA TOTAL Xi				$\sum_{j=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$			
VALOR MEDIO (\bar{X}_k)							
N° DE RE REPETICIONES (n_k)							
MEDIA ARITMÉTICA DE TODOS LOS RESULTADOS (\bar{X})							
NUMERO TOTAL DE DATOS (N)							
N° DE LABORATORIOS (K)							
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANZA	F CALCULADO	MENOR QUE	F TABULADO	
ENTRE GRUPOS	$SS_{LAB} = \sum_{k=1}^K n_k (\bar{X}_k - \bar{X})^2$	$K-1$	$MS_{LAB} = \frac{SS_{LAB}}{K-1}$	$F = \frac{MS_{LAB}}{MS_R}$	<	$F_{cri; \alpha; K-1; N-K}$	
					<		
DENTRO GRUPOS	$SS_R = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$N-K$	$MS_R = \frac{SS_R}{N-k}$	$F \text{ CALCULADO} < F \text{ TABULADO}$			
				No existe diferencia significativa			
REPETIBILIDAD (S_r)	$S_r = \sqrt{MS_R}$	REPRODUCIBILIDAD	$S_L^2 = \frac{MS_{LAB} - MS_R}{p}$	$S_r = \sqrt{S_r^2 + S_L^2}$			
p= número de repeticiones por cada grupo							
Conclusión <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> Objetivo de validación > S_R > </div>							

Anexo 2. Formato para estimación de incertidumbre “PLC-DI-21 A1”.

MAGNITUD	RANGO psi	PATRON			IBC					u comb	veff	k	U (psi)	U (kPa)
		Ucertificado	Uderiva	Uresolucion	Urepetibilidad	Uresolucion	Ulect_cero	Uhisteresis	Udiff_altura					
Presion														



Anexo 3. Formato para estudio de Veracidad “PLC-DI-20 A1”, Hoja Veracidad.

VERACIDAD							
MÉTODO:					FECHA:		
CÓDIGO:							
VALOR NOMINAL	LABORATORIO: N° CERT:		LABORATORIO: N° CERT:		En	CRITERIO En < 1	
	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U			

Anexo 4 Certificado de calibración del equipo patrón MET-2024-05-28-03.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN									
Certificado No.:		MET-2024-05-28-03			Cliente:		MINGA SA		
Fecha de Recepción:		2024-05-28			RUC:		1590002999001		
Fecha Inicio Calibración:		2024-05-29			Dirección:		Km 4 1/2 Vía a Shushufindi		
Fecha Fin Calibración:		2024-05-29			Teléfono:		099 584 5842		
Lugar de Calibración:		Laboratorio			Contacto:		Ing. Daniel Ligña		
Procedimiento:		MET-PTC-07							
F01-MET-PTC-07. Revisión 02									
UNIDAD BAJO PRUEBA (UBP)					PATRONES				
Manómetro digital					Manómetro Patrón				
Código:		MIN-LC-MD-03			Código:		MET-083		
Marca:		Fluke			Marca:		Fluke		
Serie:		4774049			Serie:		4187110		
Modelo:		2700G-G35M			Modelo:		700G30		
Resolución:		0,1 psi			Cert. N.º:		PR23107MAN		
Condiciones Ambientales									
Temperatura:		20,1 °C			Presión:		732 hPa		
					Humedad:		59,5 %		
Puntos de Calibración:		0 psi; 500 psi; 1000 psi; 1500 psi; 2000 psi; 2500 psi; 3000 psi; 3500 psi; 4000 psi; 4500 psi; 5000 psi.							
Punto de Medida	Valor de Referencia (Patrón)		Lectura Media (UBP)		Corrección C		Incertidumbre Expandida U (k = 2)		
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,69	
2	3444,6	499,6	3447,7	500,1	-3,1	-0,4	4,8	0,70	
3	6892,0	999,6	6898,2	1000,5	-6,2	-0,9	5,8	0,85	
4	10338,7	1499,5	10345,6	1500,5	-6,9	-1,0	5,8	0,85	
5	13785,4	1999,4	13791,9	2000,4	-6,6	-0,9	5,1	0,73	
6	17228,6	2498,8	17236,9	2500,0	-8,3	-1,2	5,3	0,77	
7	20673,2	2998,4	20682,5	2999,8	-9,3	-1,3	4,8	0,70	
8	24121,3	3498,5	24129,6	3499,7	-8,3	-1,2	4,9	0,71	
9	27567,3	3998,3	27576,3	3999,6	-9,0	-1,3	5,0	0,73	
10	31013,3	4498,1	31023,0	4499,5	-9,7	-1,4	4,8	0,70	
11	34460,0	4998,0	34470,3	4999,5	-10,3	-1,5	4,8	0,69	
					kPa	psi			
Corrección máxima indicada por el instrumento					-10,3	-1,5			
Incertidumbre máxima del equipo					5,8	0,85			
Nota 1: Los resultados incluidos en el presente Reporte se relacionan únicamente con los items calibrados.									
Nota 2: Prohibida su reproducción parcial, para reproducción total, se requiere permiso escrito de Metroseis Cia. Ltda.									
Nota 3: La incertidumbre expandida reportada de la medición, se establece como la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura correspondiente es aproximadamente 95%.									
Nota 4: El laboratorio se libera de responsabilidad por la información proporcionada por el cliente en relación con los elementos de calibración detallados en este certificado, dado su impacto potencial en la validez de resultados.									

Anexo 5 Certificado de calibración No. MET-2024-05-28-02.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN									
Certificado No.:		MET-2024-05-28-02		Cliente:		MINGA SA			
Fecha de Recepción:		2024-05-28		RUC:		1590002999001			
Fecha Inicio Calibración:		2024-05-29		Dirección:		Km 4 1/2 Vía a Shushufindi			
Fecha Fin Calibración:		2024-05-29		Teléfono:		099 384 5842			
Lugar de Calibración:		Laboratorio		Contacto:		Ing. Daniel Ligfla			
Procedimiento:		MET-PTC-07							
F01-MET-PTC-07. Revisión 02									
UNIDAD BAJO PRUEBA (UBP)					PATRONES				
Manómetro digital					Manómetro Patrón				
Código:	MIN-LC-MD-02			Código:	MET-082				
Marca:	Crystal			Marca:	Fluke				
Serie:	087292			Serie:	4204338				
Modelo:	500PS0XP21-55			Modelo:	700G07				
Resolución:	0,01 psi			Cert. N.º:	PR23100MAN				
Condiciones Ambientales									
Temperatura:	19,7 °C		Presión:	732 hPa		Humedad:	61,7 %		
Puntos de Calibración: 0 psi; 61 psi; 100 psi; 150 psi; 200 psi; 250 psi; 300 psi; 450 psi; 500 psi.									
Punto de Medida	Valor de Referencia (Patrón)		Lectura Media (UBP)		Corrección C		Incertidumbre Expandida U (k = 2)		
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,087	
2	420,92	61,05	420,38	61,00	0,34	0,05	0,60	0,087	
3	690,10	100,09	689,79	100,05	0,31	0,05	0,60	0,088	
4	1034,83	150,09	1034,36	150,05	0,28	0,04	0,60	0,087	
5	1379,71	200,11	1379,37	200,06	0,34	0,05	0,60	0,087	
6	1724,59	250,13	1724,07	250,06	0,32	0,07	0,60	0,088	
7	2069,33	300,16	2069,24	300,12	0,29	0,04	0,62	0,090	
8	3104,23	450,23	3104,73	450,30	-0,30	-0,07	0,61	0,088	
9	3449,03	500,24	3449,62	500,33	-0,39	-0,09	0,66	0,096	
					kPa	psi			
Corrección máxima indicada por el instrumento					-0,39	-0,09			
Incertidumbre máxima del equipo					0,60	0,096			
<p>Nota 1: Los resultados incluidos en el presente Reporte se relacionan únicamente con los items calibrados.</p> <p>Nota 2: Prohibida la reproducción parcial; para reproducción total, se requiere permiso escrito de Metroviva Cia. Ltda.</p> <p>Nota 3: La incertidumbre expandida reportada de la medición, se establece como la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente 95%.</p> <p>Nota 4: El laboratorio se exime de responsabilidad por la información proporcionada por el cliente en relación con los elementos de calibración detallados en este certificado, dada su impacto potencial en la validez de resultados.</p>									
Realizado por:	Ing. Jerinthon Santillán			Autorizado por:	Ing. Wilson Burbano				
Cargo:	Técnico de Calibración			Cargo:	Director Técnico 1				
Firma:				Firma:					
Fecha de emisión:	2024-06-11								

Anexo 6. Certificado de equipo auxiliar “Calibrador de Procesos”.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN					
Número de Certificado: LMEL24175PMC			Orden: 4833		
DATOS DEL CLIENTE			INSTRUMENTO BAJO PRUEBA		
Nombre:	DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A		Descripción: ⁽¹⁾	DOCUMENTING PROCESS CALIBRATOR	
Dirección:	El Tiempo N37-173 y Roma		Marca: ⁽²⁾	FLUKE	
Contacto:	Fernando Hidalgo		Modelo: ⁽³⁾	754	
Teléfono:	—		Serie: ⁽⁴⁾	3819009	
PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-01 & PR-LMEL-03			Código: ⁽⁵⁾	MTN-LC-CP-03	
Fecha de Recepción: 2024-03-15					
CONDICIONES AMBIENTALES			FECHA DE CALIBRACIÓN		
Lugar de Calibración:	LABORATORIO		Inicio de Calibración:	2024-03-19	
Temperatura ambiente:	20 °C ± 3 °C		Fin de Calibración:	2024-03-19	
Humedad Relativa:	50 %HR ± 20 %HR		Próxima Calibración:	2025-03-19	
			Fecha de Emisión:	2024-03-20	
			Núm. de días de Calibración:	01 día	
INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO					
Descripción:	PRECISION MULTI PRODUCT CALIBRATOR	PRECISION MULTIMETER	PORTABLE MULTI FUNCTION CALIBRATOR		
Marca:	TRANSMILLE	TRANSMILLE	TRANSMILLE		
Modelo:	3041A	8081	1000A		
Serie:	L1395A16	N15202315	V01666D18		
Núm. Certificado:	LMEL23195PMC	AC-27422	LMEL23686PMC		
Fecha de Cal:	2023-04-16	2022-03-30	2023-10-04		
F. de próx. Cal:	2024-04-16	2024-03-30	2024-10-04		
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN					
Número de Certificado: LMEL24175PMC					
Núm.	RANGO (IBP) ⁽¹⁾	REFERENCIA PATRÓN	PROMEDIO (IBP)	CORRECCIÓN	U EXPANDIDA (±) k=2
31	100,00 Ω	19,9855 Ω	20,01 Ω	-0,023 Ω	0,015 Ω
32	100,00 Ω	39,9917 Ω	40,01 Ω	-0,016 Ω	0,012 Ω
33	100,00 Ω	49,9917 Ω	50,01 Ω	-0,016 Ω	0,012 Ω
34	100,00 Ω	99,99170 Ω	100,15 Ω	-0,158 Ω	0,011 Ω
35	10,000 kΩ	0,99990 kΩ	1,001 kΩ	-0,00005 kΩ	0,00083 kΩ
36	10,000 kΩ	4,99979 kΩ	5,000 kΩ	-0,0001 kΩ	0,0010 kΩ
37	10,000 kΩ	0,99985 kΩ	0,999 kΩ	0,0010 kΩ	0,0010 kΩ
MEDIDOR DE FRECUENCIA					
38	1 Hz a 110,00 Hz / 1 V	10,0000 Hz	10,00 Hz	0,00 Hz	0,13 Hz
39	1 Hz a 110,00 Hz / 1 V	25,0000 Hz	25,00 Hz	0,00 Hz	0,13 Hz
40	1 Hz a 110,00 Hz / 1 V	50,0000 Hz	50,00 Hz	0,00 Hz	0,13 Hz
41	1 Hz a 110,00 Hz / 1 V	75,0000 Hz	75,00 Hz	0,00 Hz	0,13 Hz
42	1 Hz a 110,00 Hz / 1 V	100,0000 Hz	100,00 Hz	0,00 Hz	0,13 Hz
43	110,1 Hz a 1100,0 Hz	250,000 Hz	250,0 Hz	0,00 Hz	0,14 Hz
44	110,1 Hz a 1100,0 Hz	500,0000 Hz	500,0 Hz	0,00 Hz	0,14 Hz
45	110,1 Hz a 1100,0 Hz	750,0000 Hz	750,0 Hz	0,00 Hz	0,14 Hz
46	110,1 Hz a 1100,0 Hz	1 000,0000 Hz	1 000,0 Hz	0,00 Hz	0,15 Hz
47	1,101 kHz a 11,000 kHz / 1 V	1,0000 kHz	1,000 kHz	0,00000 kHz	0,00060 kHz
48	1,101 kHz a 11,000 kHz / 1 V	2,0000 kHz	2,000 kHz	0,00000 kHz	0,00060 kHz
49	1,101 kHz a 11,000 kHz / 1 V	4,0000 kHz	4,000 kHz	0,00000 kHz	0,00060 kHz
50	1,101 kHz a 11,000 kHz / 1 V	8,00000 kHz	8,000 kHz	0,00000 kHz	0,00060 kHz
51	1,101 kHz a 11,000 kHz / 1 V	10,00000 kHz	10,000 kHz	0,00000 kHz	0,00060 kHz
52	11,01 kHz a 50 kHz / 1 V	15,00000 kHz	15,00 kHz	0,00000 kHz	0,00058 kHz
53	11,01 kHz a 50 kHz / 1 V	30,00000 kHz	30,00 kHz	0,00000 kHz	0,00058 kHz
54	11,01 kHz a 50 kHz / 1 V	40,00000 kHz	40,00 kHz	0,00000 kHz	0,00058 kHz
55	11,01 kHz a 50 kHz / 1 V	50,00000 kHz	50,00 kHz	0,00000 kHz	0,00058 kHz
FUENTE DE VOLTAJE DC					
56	* 100,000 mV	10,00382 mV	10,000 mV	0,0038 mV	0,0015 mV
57	* 100,000 mV	25,00396 mV	25,000 mV	0,0040 mV	0,0014 mV
58	* 100,000 mV	50,00421 mV	50,000 mV	0,0042 mV	0,0014 mV
59	100,000 mV	100,00442 mV	100,000 mV	0,0044 mV	0,0014 mV
60	1,00000 V	1,0000053 V	1,00000 V	0,0000053 V	0,000006 V
61	15,00000 V	15,0002197 V	15,00000 V	0,00022 V	0,00033 V

Anexo 7. Hoja de vida de bomba hidráulica.

CARACTERISTICAS GENERALES				HOJA DE VIDAN°	LC-047
EQUIPO:	BOMBA HIDRAULICA	UBICACIÓN:	LABORATORIO DE CALIBRACIÓN		
MARCA:	ADDITEL	ACTIVIDAD:	CALIBRACIONES		
MODELO:	ADDITEL 927	FECHA DE ADQUISICIÓN:	2018-07-10		
SERIE:	13217010009	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO:	2019-07-07		
NUMERO DE PARTE:	N/A	CONTACTO DEL FABRICANTE:	ADDITEL		
CODIGO:	MIN-LC-HB-03	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:	3 Meses		
RANGO DE TRABAJO:	- 12,5 - 10000 psi	FECHA DE CALIBRACIÓN:	N/A		
RESOLUCIÓN:	N/A	EXACTITUD:	N/A	CLASE DE EQUIPO:	MEDICIÓN
FOTOGRAFÍA					
					
					
HISTORIAL DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS					
FECHA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PROVEEDOR	ESTADO	OBSERVACIONES
20-feb-2023	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JULIO FARINANGO	MINGA	OPERATIVO	S/N
20-may-2023	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JULIO FARINANGO	MINGA	OPERATIVO	S/N
20-ago-2023	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JULIO FARINANGO	MINGA	OPERATIVO	S/N
20/11/2023	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JULIO FARINANGO	MINGA	OPERATIVO	S/N
19-feb-2024	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JONATHAN HERRERÍA	MINGA	OPERATIVO	S/N
20-may-2024	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JONATHAN HERRERÍA	MINGA	OPERATIVO	S/N
19-ago-2024	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JONATHAN HERRERÍA	MINGA	OPERATIVO	S/N
18-nov-2024	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JONATHAN HERRERÍA	MINGA	OPERATIVO	S/N
17-feb-2025	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	JONATHAN HERRERÍA	MINGA	OPERATIVO	S/N

Anexo 8. Calibración supervisada realizada por el Técnico 1

MINGA Laboratorio de Calibraciones	ANEXO 1	CÓDIGO: PLC-01-30-A1
	REGISTRO DE CALIBRACIÓN	REVISIÓN: 04 PÁGINA: 1 de 1 FECHA: 8/6/2024

TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Cliente: Peto Orpeñal Fecha de calibración: 2025 - 05 - 17
 OS/LS: 15007605 Inicial: 22.6 °C Final: 22.6 °C
 No. Certificado: IC-9025- 420 Humedad Relativa: 58.6 %RH 58.6 %RH

CALIBRANDO Instrumento: <u>Termómetro Indicador Temperatura</u> Marca: <u>OMAR</u> Modelo: <u>T730 L</u> No. de serie: <u>402068-03</u> Tap: <u>T27-930</u> Rango: _____ Unids Resolución: <u>0.001</u> mA <u>0.1</u> °F Lugar de calibración: <u>U. CFH</u> Ubicación: <u>Unidad ACI, bodega 420</u>	PATRÓN DE TRABAJO: Marca: <u>Wika</u> Modelo: <u>C7170010</u> No. de Serie: <u>011105145</u>
EQUIPOS AUXILIARES: Marca: <u>FLUO</u> Modelo: <u>0142</u> No. de Serie: <u>895801</u>	

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC
UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD	
0F	mA	0F	mA	0F	mA		mA		mA		mA
RG 534	7.987	141.041	11.443	145.007	15.984						

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5		PUNTO 6	
PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC
UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD	
0F	mA	0F	mA	0F	mA		mA		mA		mA
RG 534	7.987	141.041	11.443	145.007	15.984						
RG 541	7.987	141.041	11.442	145.007	15.984						
RG 547	7.987	141.041	11.443	145.007	15.984						
RG 542	7.982	141.041	11.944	145.002	15.985						
RG 545	7.983	141.041	11.944	145.007	15.981						

OBSERVACIONES / CALCULOS:

TAR

CALIBRADO POR Edison Cumbay

Anexo 9. Calibración supervisada realizada por el Técnico 2.

<h1 style="margin: 0;">MINGA</h1> <p style="margin: 0; font-size: small;">Laboratorio de Calibraciones</p>	ANEXO 1	CODIGO: PLC-DE-29-A1
	REGISTRO DE CALIBRACION	REVISION: 03
		PAGINA: 1 de 1
		FECHA: 14/2/2021

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESTION

Cliente: Daniel.com Fecha de calibración: 2025 05 - 19
AAAA MM DD

OR/LR: IPYM 62802/LS00 Temperatura: 23,6 °C 23,7 °C
Inicio Final

No. Certificado: LC-2025-021 Humedad Relativa: 48,9 %RH 48,7 %RH

CALIBRANDO				PATRÓN DE TRABAJO 1:			
Instrumento: <u>Transmisor indicador de presión</u>				Marca: <u>Crystal</u>			
Marca: <u>SIEMENS</u>				Modelo: <u>10HPSIXP33</u>			
Modelo: <u>7MF000-1E11-0TM2-2</u>				No. de Serie: <u>681238</u>			
No. de serie: <u>NLT40110175043</u>							
Tipo: <u>PST-M-3079AE</u>							
Rango: <u>0 a 300 psi</u>							
Resolución: <u>0,001 mA</u> <u>0,0001 psi</u>							
Lugar de calibración: <u>Laboratorio Minga</u>				Marca: <u>FLUKE</u>			
Ubicación: <u>24-N-30 2DA</u>				Modelo: <u>754</u>			
				No. de Serie: <u>2810004</u>			

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 2	
ASCENSO	DESCENSO	DESCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	DESCENSO	DESCENSO
PATRÓN		ISC		PATRÓN		ISC	
UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD	
psi	mA	psi	mA	psi	mA	psi	mA
0	4,000	0	4,000				
100	6,014	100	6,011				
200	8,008	200	8,005				
300	10,007	300	10,011				
400	12,007	400	12,007				
500	14,009	500	14,005				
600	16,008	600	16,001				
700	18,001	700	18,003				
800	20,005	800	20,005				

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
PATRÓN	ISC	PATRÓN	ISC	PATRÓN	ISC	PATRÓN	ISC	PATRÓN	ISC
Unidad		Unidad		Unidad		Unidad		Unidad	
psi	mA	psi	mA	psi	mA	psi	mA	psi	mA
400	12,005	400	12,005	400	12,005	400	12,006	400	12,006

OBSERVACIONES / CALCULOS:

CALIBRADO POR: J.F.

Anexo 10. Calibración supervisada realizada por el Técnico 3.

<h1 style="margin: 0;">MINGA</h1> <p style="margin: 0; font-size: small;">Laboratorio de Calibraciones</p>	ANEXO 1	CODIGO:	PLC-DE-29-A1
	REGISTRO DE CALIBRACIÓN	REVISIÓN:	03
		PAGINA:	1 de 1
		FECHA:	14/2/2021

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: PetroOriental Fecha de calibración: 2021 - 05 - 17
AAAA MM DD

OS/LS: L5007605 Escala: Lineal Fines: 24,5 °C
 Temperatura: 24,5 °C 24,5 °C

No. Certificado: LC-2021-422 Humedad Relativa: 100 %RH 57,6 %RH

CALEBRANDO

Instrumento: Transmisor de Presión

Marca: SMART

Modelo: LD 301

No. de serie: 173602-03

Tag: PIT-931

Rango: 100 Psi

Resolución: 0,01 mA 0,01 Psi

Lugar de calibración: CPH

Ubicación: Medidor 931

PATRÓN DE TRABAJO 1:

Marca: CRYSTAL

Modelo: 500 PSI x 0,2

No. de Serie: 687272

PATRÓN DE TRABAJO 2:

Marca: _____

Modelo: _____

No. de Serie: _____

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 2	
ASCENSO	DESCENSO	DESCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	DESCENSO	DESCENSO
PATRÓN		IBC		PATRÓN		IBC	
UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD	
Psi	mA	Psi	mA	mA	mA	mA	mA
0	3,799	0	4,001				
12,5	6,017	12,5	6,015				
25	8,016	25	8,015				
37,5	10,017	37,5	10,016				
50	12,022	50	12,019				
62,5	14,022	62,5	14,015				
75	16,023	75	16,024				
87,5	18,020	87,5	18,024				
100	20,020	100	20,020				

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC
Unidad		Unidad		Unidad		Unidad		Unidad	
Psi	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA
50	12,020	50	12,020	50	12,020	50	12,020	50	12,020

OBSERVACIONES / CALCULOS:

[Firma]

CALIBRADO POR: _____

Anexo 11. Día 1- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.

Técncio 1

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mesa Fecha de calibración: 2020-09-09
 Marca: SIEMENS Temperatura: 22.8 °C Final: 24 °C
 No. Certificado: 5430001 Humedad Relativa: 47.8 %RH 48.9 %RH

ISE

Instrumento: Transmisor Líquido Pico Marca: SIEMENS
 Modelo: 750 Modelo: 750
 No. de serie: 30013000000000000000 No. de Serie: 30013000000000000000
 Tipo: SIEMENS Tipo: SIEMENS
 Rango: 0-1000000 Rango: 0-1000000
 Resolución: 0.1 mA Resolución: 0.1
 Lugar de calibración: Calibración Ubicación: Calibración

PATRÓN DE TRABAJO 1:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

PATRÓN DE TRABAJO 2:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

CICLO 1				CICLO 2			
ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

OBSERVACIONES / CALCULOS

CALIBRADO POR: Edison Cárdenas

Técncio 2

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mesa S.A Fecha de calibración: 2020-09-09
 Marca: SIEMENS Temperatura: 22.8 °C Final: 24 °C
 No. Certificado: 5430001 Humedad Relativa: 47.8 %RH 48.9 %RH

CALIBRADO

Instrumento: Transmisor Líquido Pico Marca: SIEMENS
 Modelo: 750 Modelo: 750
 No. de serie: 30013000000000000000 No. de Serie: 30013000000000000000
 Tipo: SIEMENS Tipo: SIEMENS
 Rango: 0-1000000 Rango: 0-1000000
 Resolución: 0.1 mA Resolución: 0.1
 Lugar de calibración: Calibración Ubicación: Calibración

PATRÓN DE TRABAJO 1:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

PATRÓN DE TRABAJO 2:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

OBSERVACIONES / CALCULOS

CALIBRADO POR: Edison Cárdenas

Técncio 3

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mesa Fecha de calibración: 2020-09-09
 Marca: SIEMENS Temperatura: 22.8 °C Final: 24 °C
 No. Certificado: 5430001 Humedad Relativa: 47.8 %RH 48.9 %RH

ISE

Instrumento: Transmisor Líquido Pico Marca: SIEMENS
 Modelo: 750 Modelo: 750
 No. de serie: 30013000000000000000 No. de Serie: 30013000000000000000
 Tipo: SIEMENS Tipo: SIEMENS
 Rango: 0-1000000 Rango: 0-1000000
 Resolución: 0.1 mA Resolución: 0.1
 Lugar de calibración: Calibración Ubicación: Calibración

PATRÓN DE TRABAJO 1:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

PATRÓN DE TRABAJO 2:

Marca: SIEMENS
 Modelo: 750
 No. de Serie: 30013000000000000000

CICLO 1				CICLO 2			
ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN	ANÁLISIS	DESVIACIÓN
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE	PATRÓN	ISE
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000	0.1	0.000
0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000	0.2	0.000
0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000	0.3	0.000
0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000	0.4	0.000
0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000	0.5	0.000
0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000	0.6	0.000
0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000	0.7	0.000
0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000	0.8	0.000
0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000	0.9	0.000
1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000	1.0	0.000

OBSERVACIONES / CALCULOS

CALIBRADO POR: Edison Cárdenas

Anexo 12. Día 2- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.

Técncio 1

TRANSIMOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Wawa S.A Fecha de calibración: 2019-07-03

CELE: 01 Nivel: Final Pres: 0.0

Temperatura: 23.7 °C 74.6 °F

No. Certificado: 000009 Humedad Relativa: 47.7 %RH 49.0 %RH

DESCRIPCIÓN

Estación: Terminal Subestación Lince Marca: TEC

Pres: 0.0 Modelo: TEC-01

No. de serie: 1111111111111111 No. de serie: 1111111111111111

Tip: 001-11-11-11 Rango: 0.0-100.0 MPa

Resolución: 0.001 MPa Marca: TEC

Lugar de calibración: Terminal Subestación Lince No. de serie: 1111111111111111

Observación: Calibración por ajuste

CICLO 1		CICLO 2	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
PRESIÓN	INC	PRESIÓN	INC
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.01	0.01	0.01
0.02	0.02	0.02	0.02
0.03	0.03	0.03	0.03
0.04	0.04	0.04	0.04
0.05	0.05	0.05	0.05
0.06	0.06	0.06	0.06
0.07	0.07	0.07	0.07
0.08	0.08	0.08	0.08
0.09	0.09	0.09	0.09
0.10	0.10	0.10	0.10

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OBSERVACIONES / CALIBRADO

CALIBRADOR: Edison Llamas

Técncio 2

TRANSIMOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Wawa S.A Fecha de calibración: 2019-07-03

CELE: 01 Nivel: Final Pres: 0.0

Temperatura: 20.4 °C 68.7 °F

No. Certificado: 000009 Humedad Relativa: 55.2 %RH 56.9 %RH

DESCRIPCIÓN

Estación: Terminal Subestación Lince Marca: TEC

Pres: 0.0 Modelo: TEC-01

No. de serie: 1111111111111111 No. de serie: 1111111111111111

Tip: 001-11-11-11 Rango: 0.0-100.0 MPa

Resolución: 0.001 MPa Marca: TEC

Lugar de calibración: Terminal Subestación Lince No. de serie: 1111111111111111

Observación: Calibración por ajuste

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3		REPETICIÓN 4	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
PRESIÓN	UNIDAD	PRESIÓN	UNIDAD	PRESIÓN	UNIDAD	PRESIÓN	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OBSERVACIONES / CALIBRADO

CALIBRADOR: Juan Carlos

Técncio 3

TRANSIMOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Wawa Fecha de calibración: 2019-07-03

CELE: 01 Nivel: Final Pres: 0.0

Temperatura: 23.0 °C 73.4 °F

No. Certificado: 000009 Humedad Relativa: 46.6 %RH 48.0 %RH

DESCRIPCIÓN

Estación: Terminal Subestación Lince Marca: TEC

Pres: 0.0 Modelo: TEC-01

No. de serie: 1111111111111111 No. de serie: 1111111111111111

Tip: 001-11-11-11 Rango: 0.0-100.0 MPa

Resolución: 0.001 MPa Marca: TEC

Lugar de calibración: Terminal Subestación Lince No. de serie: 1111111111111111

Observación: Calibración por ajuste

CICLO 1		CICLO 2	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
PRESIÓN	INC	PRESIÓN	INC
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.01	0.01	0.01
0.02	0.02	0.02	0.02
0.03	0.03	0.03	0.03
0.04	0.04	0.04	0.04
0.05	0.05	0.05	0.05
0.06	0.06	0.06	0.06
0.07	0.07	0.07	0.07
0.08	0.08	0.08	0.08
0.09	0.09	0.09	0.09
0.10	0.10	0.10	0.10

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO	AVANCE	RETORNO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OBSERVACIONES / CALIBRADO

CALIBRADOR: Juan Carlos

Anexo 13. Día 3- Muestras tomadas por los técnicos 1,2 y 3.

Técncio 1

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mega Fecha de calibración: 2025-01-20

DE/LD: 313 Inicial: 0.0 Final: 20.0 °C

No. Certificado: Deplan 3 Temperatura: 20.7 °C Humedad Relativa: 43.4 %RH

Instrumento: Transmisor Indica Mega Marca: FLUKE

Modelo: 5100A No. de Serie: 11119341

No. de serie: 11119341 Tipo: 5100A

Rango: 0-20.0 MPa Patrón de Trabajo 1: FLUKE

Resolución: 0.01 MPa Patrón de Trabajo 2: FLUKE

Lugar de calibración: LABORATORIO DE CALIBRACION Marca: FLUKE

Ubicación: LABORATORIO DE CALIBRACION No. de Serie: 11119341

CICLO 1				CICLO 2			
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	5.0	4.999	10.0	9.998	10.0	9.997
15.0	14.997	15.0	14.996	20.0	19.994	20.0	19.993
10.0	9.995	5.0	4.993	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

REPTIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	10.0	9.998	15.0	14.997	20.0	19.996
10.0	9.997	15.0	14.996	20.0	19.995	15.0	14.994
5.0	4.993	10.0	9.992	15.0	14.991	10.0	9.990
0.0	0.0	5.0	4.989	10.0	9.988	15.0	14.987

OBSERVACIONES / CALCULOS:

CALIBRADOR: [Firma]

Técncio 2

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mega S.A Fecha de calibración: 2025-01-20

DE/LD: 313 Inicial: 0.0 Final: 20.0 °C

No. Certificado: Deplan 3 Temperatura: 20.7 °C Humedad Relativa: 43.4 %RH

Instrumento: Transmisor Indica Mega Marca: FLUKE

Modelo: 5100A No. de Serie: 11119341

No. de serie: 11119341 Tipo: 5100A

Rango: 0-20.0 MPa Patrón de Trabajo 1: FLUKE

Resolución: 0.01 MPa Patrón de Trabajo 2: FLUKE

Lugar de calibración: LABORATORIO DE CALIBRACION Marca: FLUKE

Ubicación: LABORATORIO DE CALIBRACION No. de Serie: 11119341

CICLO 1				CICLO 2			
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	5.0	4.999	10.0	9.998	10.0	9.997
15.0	14.997	15.0	14.996	20.0	19.994	20.0	19.993
10.0	9.995	5.0	4.993	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

REPTIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	10.0	9.998	15.0	14.997	20.0	19.996
10.0	9.997	15.0	14.996	20.0	19.995	15.0	14.994
5.0	4.993	10.0	9.992	15.0	14.991	10.0	9.990
0.0	0.0	5.0	4.989	10.0	9.988	15.0	14.987

OBSERVACIONES / CALCULOS:

CALIBRADOR: [Firma]

Técncio 3

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mega Fecha de calibración: 2025-01-20

DE/LD: 313 Inicial: 0.0 Final: 20.0 °C

No. Certificado: Deplan 3 Temperatura: 20.7 °C Humedad Relativa: 43.4 %RH

Instrumento: Transmisor Indica Mega Marca: FLUKE

Modelo: 5100A No. de Serie: 11119341

No. de serie: 11119341 Tipo: 5100A

Rango: 0-20.0 MPa Patrón de Trabajo 1: FLUKE

Resolución: 0.01 MPa Patrón de Trabajo 2: FLUKE

Lugar de calibración: LABORATORIO DE CALIBRACION Marca: FLUKE

Ubicación: LABORATORIO DE CALIBRACION No. de Serie: 11119341

CICLO 1				CICLO 2			
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	5.0	4.999	10.0	9.998	10.0	9.997
15.0	14.997	15.0	14.996	20.0	19.994	20.0	19.993
10.0	9.995	5.0	4.993	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0


REPTIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4	
ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	4.999	10.0	9.998	15.0	14.997	20.0	19.996
10.0	9.997	15.0	14.996	20.0	19.995	15.0	14.994
5.0	4.993	10.0	9.992	15.0	14.991	10.0	9.990
0.0	0.0	5.0	4.989	10.0	9.988	15.0	14.987


OBSERVACIONES / CALCULOS:

CALIBRADOR: [Firma]

Anexo 14. Calibración interna para muestra de veracidad.



MINGA
Laboratorio de Calibraciones



Servicio Acroed Ecuatoriano
Acreditación SAE-LCA
LABORATORIO DE CALI

REPORTE DE CALIBRACIÓN

MÉTODO DE CALIBRACIÓN: COMPARACIÓN DIRECTA **Id. CERTIFICAD**CCLC-2025-001 E
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN: PLC-DI-29
LUGAR DE CALIBRACIÓN: LABORATORIO MINGA

CALIBRANDO (IBC)


Instrumento: TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN DIGITAL
Rango: 0 psi a 10000 psi
División de escala: N/A psi
Ubicación: ÁREA DE PRESIÓN

ITEM	PRESION							
	PATRON DE MEDIDA		LECTURA MEDIA (IBC)		CORRECCION		U; k=2	
	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi
1	0,000	0	-0,165	-24	0,165	24	0,027	3,9
2	0,689	100	0,524	76	0,165	24	0,027	4,0
3	3,445	500	3,280	476	0,165	24	0,027	4,0
4	6,890	1000	6,718	975	0,172	25	0,032	4,6
5	20,670	3000	20,525	2979	0,145	21	0,032	4,7
6	34,450	5000	34,354	4986	0,096	14	0,039	5,6
7	69,107	10030	69,093	10028	0,014	3	0,031	4,5




CORRECCIÓN MÁXIMO ABSOLUTO	25	psi	0,172	MPa
INCERTIDUMBRE MÁXIMA DE MEDICIÓN	5,6	psi	0,039	MPa

OBSERVACIONES :

Gráfico de corrección e incertidumbre



Anexo 15. Calibración externa para veracidad 2025.

	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		 									
	Certificado N°	MIN-LAB-TP-016-24										
Pedro Freile N64-111 y Juan Garzón, Cotacollao Quito-Ecuador Tlf: 02-6007779												
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE												
Cliente:	Minga S.A.											
Dirección:	km. 4.5 via Shushufindi, Parroquia 7 de Julio											
Persona de contacto:	Ing. Patricia Jaguaco											
Fecha de calibración:	2024-11-17	Próxima calibración:	No definido									
Fecha de emisión:	2024-11-20											
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO		CONDICIONES AMBIENTALES										
Instrumento:	Transmisor de Presión		Temperatura: 20,7 °C									
Código:	MIN - LC - TX - 01		Humedad: 56,5 %									
Tipo:	Digital		Presión atmosférica: 731 hPa									
Marca:	Wika		Líquido de prueba: Agua									
Modelo:	A - 10		Lugar de calibración: Laboratorio TEGMETRO S.A.									
Serie:	1A012IDZUJ3											
Unidad de medida:	psi											
Rango:	(0 a 10000) psi											
Exactitud:	± 50 psi											
METODO UTILIZADO												
Calibración de Transmisores de Presión con Salida Eléctrica TM-CT-04												
PATRONES UTILIZADOS												
Código:	TM-P-004	TM-P-022	TM-E-011									
Nombre:	Manómetro	Bomba Hidráulica	Amperímetro									
División de escala:	1	N/A	0,0001									
Marca:	Marlet	General Electric	Fluke									
Modelo:	PI PRO 10K	Druck PV 212	6645A									
Rango:	(0 a 10000) psi	(0 a 10000) psi	100 µA a 10 A									
Exactitud:	0,05 % SPAN	N/A	15 µA									
Fecha calibración:	2019-05-24	N/A	2019-05-16									
Próxima calibración:	2021-05-24	N/A	2021-05-16									
No. Certificado:	LNM-P-201900060D	N/A	F7757002									
TEGMETRO S.A. mantiene trazabilidad al SI a través de patrones primarios nacionales o internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos de TEGMETRO S.A. y pueden ser revisados por cualquier persona que así lo solicite.												
RESULTADOS OBTENIDOS												
PATRÓN CORREGIDO	INSTRUMENTO BAJO PRUEBA As left						CORRECCIÓN A APLICAR AL INSTRUMENTO				INCERTIDUMBRE ± U	
			Ascendente		Descendente		Ascendente		Descendente			
	psi	Mpa	mA	psi	mA	psi	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa
0,0	0,0	3,961	-24,4	3,961	-24,4	24,4	166,5	24,4	166,5	15	101	
1251,2	8,6	5,956	1223,5	5,956	1223,5	27,7	190,7	27,7	190,7	15	101	
2500,3	17,2	7,960	2474,6	7,960	2474,6	25,5	176,1	25,5	176,1	15	101	
3752,6	25,9	9,967	3729,1	9,967	3729,1	23,6	162,9	23,6	162,9	15	101	
5002,6	34,5	11,973	4983,1	11,973	4983,1	19,6	135,3	19,6	135,3	15	101	
6263,2	43,2	14,001	6250,6	14,001	6250,6	12,6	86,6	12,6	86,6	15	101	
7503,6	51,7	16,001	7500,6	16,001	7500,6	3,0	20,7	3,0	20,7	15	101	
8754,1	60,4	16,019	8761,9	16,019	8761,9	-7,6	-53,9	-7,6	-53,9	15	101	
10004,4	69,0	20,045	10026,1	20,045	10026,1	-23,6	-163,9	-23,6	-163,9	15	101	

Anexo 16. Resultados iniciales de veracidad 2021.

FECHA: 14/01/2021						
VALIDACIÓN DE MÉTODO PARA						
MAGNITUD:	PRESIÓN					
RANGO:	0 MPa a 69 MPa (0 a 10000 psi)					
FECHA:	13/01/2021					
PROCEDIMIENTO:	PLC-DI-29 PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISORES DE PRESIÓN					
EQUIPOS :						
IBC			PATRÓN			
IBC 1			PATRÓN1			
MARCA:	WIKA		MARCA:	CRYSTAL		
MODELO:	A-10		MODELO:	10KPSIXP2I		
SERIE:	1A012IDZUJ3		SERIE:	681238		
TAG:	MIN-LC-TX-01		TAG:	MIN-LC-MD-03		
RANGO:	0 psi a 10000 psi		RANGO:	0 psi a 10000 psi		
			PATRÓN 2			
			MARCA:	FLUKE		
			MODELO:	754		
			SERIE:	2408028		
			TAG:	MIN-LC-CP-03		
			RANGO:	0 mA a 20 mA		
EVALUACIÓN DE VERACIDAD DEL MÉTODO						
Valor nominal	MINGA LCM-2021-0009		FUJISAN FSPR-CCPT-22745/20		EN < 1	
	CORRECCIÓN	U	CORRECCIÓN	U		
0	23,13	4,4	22,0	1,6	0,24	CUMPLE
100	23,40	4,5	21,9	2,2	0,30	CUMPLE
500	22,89	4,7	21,1	2,4	0,34	CUMPLE
1000	22,95	4,7	20,3	2,8	0,48	CUMPLE
3000	21,59	5,0	18,8	4,2	0,43	CUMPLE
5000	12,08	5,9	10,7	5,5	0,17	CUMPLE
10000	-25,25	7,7	-25,7	8,1	0,04	CUMPLE

Anexo 17. resultado inicial de precisión y reproducibilidad por ANOVA.

FECHA: 14/01/2021			
VALIDACIÓN DE MÉTODO PARA			
MAGNITUD:	PRESIÓN		
RANGO:	0 MPa a 69 MPa (0 a 10000 psi)		
FECHA:	13/01/2021		
PROCEDIMIENTO:	PLC-DI-29 PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISORES DE PRESIÓN		
EQUIPOS :			
IBC		PATRÓN	
IBC 1		PATRÓN1	
MARCA:	WIKA	MARCA:	CRYSTAL
MODELO:	A-10	MODELO:	10KPSIXP21
SERIE:	1A012IDZUJ3	SERIE:	681238
TAG:	MIN-LC-TX-01	TAG:	MIN-LC-MD-03
RANGO:	0 psi a 10000 psi	RANGO:	0 psi a 10000 psi
		PATRÓN 2	
		MARCA:	FLUKE
		MODELO:	754
		SERIE:	2408028
		TAG:	MIN-LC-CP-03
		RANGO:	0 mA a 20 mA
EVALUACIÓN DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD			
MÉTODO ANOVA			
PUNTO DE CALIBRACIÓN	F(CALCULADO)	F(TABULADO)	F(CALC)<F(TABUL)
psi			
0	1,93	3,68	CUMPLE
100	0,21	3,68	CUMPLE
500	1,43	3,68	CUMPLE
1000	1,77	3,68	CUMPLE
3000	2,18	3,68	CUMPLE

Anexo 18. Toma de datos del ensayo de calibración para veracidad 2025.

TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN

Cliente: Mina S.A. Fecha de calibración: _____ - ____ - ____
 OS/LS: N/A Temperatura: 21.8 Inicial °C 21.9 Final °C
 No. Certificado: IC-2025-CO1E Humedad Relativa: 53.3 %RH 53.1 %RH

IBC **PATRÓN DE TRABAJO 1:**

Instrumento: Transmisor de Presión Marca: Crystal
 Marca: Mina Modelo: 10KPSI
 Modelo: A-10 No. de Serie: 681938
 No. de serie: 1A019302103
 Tag: MIN-IC-TX-01
 Rango: (0-10000) PSI
 Resolución: 0.001 mA 0.1 PSI
 Lugar de calibración: Laboratorio Mina Marca: Fluke
 Ubicación: Mina de Presión Modelo: 9142
 No. de Serie: 3819004

CICLO 1				CICLO 2			
ASCENSO		DESCENSO		ASCENSO		DESCENSO	
PATRON		IBC		PATRON		IBC	
UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD		UNIDAD	
PSI	mA	PSI	mA	PSI	mA	PSI	mA
0	3.961	0	3.961	0	3.961	0	3.962
100	4.121	100	4.122	100	4.121	100	4.122
500	4.762	500	4.763	500	4.761	500	4.763
1000	5.560	1000	5.561	1000	5.560	1000	5.562
5000	8.765	5000	8.766	5000	8.766	5000	8.767
5000	11.977	5000	11.978	5000	11.977	5000	11.978
10000	20.044	10000	20.044	10000	20.045	10000	20.046

REPETIBILIDAD

PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PUNTO 5	
PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC	PATRÓN	IBC
Unidad		Unidad		Unidad		Unidad		Unidad	
PSI	mA	PSI	mA	PSI	mA	PSI	mA	PSI	mA
5000	11.978	5000	11.978	5000	11.977	5000	11.978	5000	11.977

OBSERVACIONES / CALCULOS:

CALIBRADO POR: Edison Cumbica

Anexo 19. Distribución T

Valor de $tp(v)$ de la distribución t, para v grados de libertad, que define un intervalo de $-tp(v)$ a $+tp(v)$, que comprende la fracción p de la distribución

Grados de libertad	Fracción p (%)					
	v	68,27 ^{a)}	90	95	95,45 ^{a)}	99
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

a) Para una magnitud z descrita por una distribución normal de esperanza matemática μ_z y desviación típica σ , el intervalo $\mu_z \pm k\sigma$ comprende respectivamente las fracciones $p = 68,27\%$; $95,45\%$ y $99,73\%$ de la distribución, para los valores $k = 1, 2$ y 3 .

Anexo 20. Tabla F-Fisher para 0.05 de confianza

n_2	n_1																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	24			
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	246.5	247.3	248.0	249.1			
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.43	19.44	19.45	19.45			
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.911	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.692	8.675	8.660	8.639			
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.844	5.821	5.803	5.774			
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.678	4.619	4.604	4.579	4.558	4.527			
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.000	3.938	3.922	3.896	3.874	3.841			
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.494	3.467	3.445	3.410			
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.202	3.173	3.150	3.115			
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.989	2.960	2.936	2.900			
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.828	2.798	2.774	2.737			
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.788	2.719	2.701	2.671	2.646	2.609			
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.599	2.568	2.544	2.505			
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.533	2.515	2.484	2.459	2.420			
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.445	2.413	2.388	2.349			
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.385	2.353	2.328	2.288			
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.333	2.302	2.276	2.235			
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.381	2.308	2.289	2.257	2.230	2.190			
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.342	2.269	2.250	2.217	2.191	2.150			
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.308	2.234	2.215	2.182	2.155	2.114			
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.184	2.151	2.124	2.082			
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.250	2.176	2.156	2.123	2.096	2.054			
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.226	2.151	2.131	2.098	2.071	2.028			
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.204	2.128	2.109	2.075	2.048	2.005			
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.183	2.108	2.088	2.054	2.027	1.984			
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.165	2.089	2.069	2.035	2.007	1.964			
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.148	2.072	2.052	2.018	1.990	1.946			
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.132	2.056	2.036	2.002	1.974	1.930			
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.118	2.041	2.021	1.987	1.959	1.915			
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.104	2.027	2.007	1.973	1.945	1.901			
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.092	2.015	1.995	1.960	1.932	1.887			
35	4.121	3.267	2.874	2.641	2.485	2.372	2.285	2.217	2.161	2.114	2.041	1.963	1.942	1.907	1.878	1.833			
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.003	1.924	1.904	1.868	1.839	1.793			
45	4.057	3.204	2.812	2.579	2.422	2.308	2.221	2.152	2.096	2.049	1.974	1.895	1.874	1.838	1.808	1.762			
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.952	1.871	1.850	1.814	1.784	1.737			
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.917	1.836	1.815	1.778	1.748	1.700			
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.893	1.812	1.790	1.753	1.722	1.674			
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.875	1.793	1.772	1.734	1.703	1.654			
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.850	1.768	1.746	1.708	1.676	1.627			
125	3.917	3.069	2.677	2.444	2.287	2.172	2.084	2.013	1.956	1.907	1.830	1.747	1.725	1.687	1.655	1.605			
150	3.904	3.056	2.665	2.432	2.274	2.160	2.071	2.001	1.943	1.894	1.817	1.734	1.711	1.673	1.641	1.590			
175	3.895	3.048	2.656	2.423	2.266	2.151	2.062	1.992	1.934	1.885	1.808	1.724	1.702	1.663	1.631	1.580			
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.801	1.717	1.694	1.656	1.623	1.572			
300	3.873	3.026	2.635	2.402	2.244	2.129	2.040	1.969	1.911	1.862	1.785	1.700	1.677	1.638	1.606	1.554			
400	3.865	3.018	2.627	2.394	2.237	2.121	2.032	1.962	1.903	1.854	1.776	1.691	1.669	1.630	1.597	1.545			
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.772	1.686	1.664	1.625	1.592	1.539			
750	3.854	3.008	2.617	2.384	2.226	2.111	2.022	1.951	1.892	1.843	1.765	1.680	1.657	1.618	1.585	1.532			
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.762	1.676	1.654	1.614	1.581	1.528			

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada, D., Christian , P., Johanna , A., & Ivonne , G. (04 de 2023). *Validación de Métodos En Análisis Químico Cuantitativo*. Colombia.

Akçadag, F., Barwick , V., Binici , B., Cantwell, H., Dehouck , P., Gika, H., . . . Yolci, P. (2025). *The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*. Obtenido de www.eurachem.org: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_3rd_ed_V1_EN.pdf

Baránda Gómez , A. O. (18 de 02 de 2020). *VALIDACIÓN DE MÉTODOS BIOANALÍTICOS CROMATOGRÁFICOS PARA FÁRMACOS*. Obtenido de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/640/1/Alan%20Orlando%20Baranda%20G%C3%B3mez.pdf>

Carrión, I. (3 de 4 de 2023). *SAE Capacita*. Obtenido de Error Normalizado: una herramienta estadística para asegurar la veracidad de las mediciones: <https://es.linkedin.com/pulse/error-normalizado-una-herramienta-estad%C3%ADstica-para-asegurar>

Cartaya, A., Hirigoyen, D., Ing, A., & Purtscher, I. (9 de 2021). SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO/IEC 17025 Y VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS: beneficio para los usuarios. pág. 11. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15994/1/Revista-INIA-66-Setiembre-2021-4.pdf>

Delgado, O. (29 de 01 de 2023). *LABBOTH LATAM*. Obtenido de <https://es.labboth.com/como-validar-un-metodo-dentro-de-tu-laboratorio-sin-derramar-una-lagrima/>

Delgado, O. (30 de 01 de 2024). *SGC LAB*. Obtenido de <https://sgc-lab.com/como-evaluar-el-tar-y-el-tur-en-la-aplicacion-de-la-regla-de-decision-simple/>

Educaplus. (31 de 10 de 2024). *E+Educaplus.org*. Obtenido de <https://www.educaplus.org/game/veracidad-y-precision>

Endress+Hauserr. (06 de 09 de 2021). *Información técnica Cerabar M PMP51*. Obtenido de <https://bdih->

download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEC8FAD5A2867F8DACB/TI00436PES_3021.pdf

GA01, C. (12 de 10 de 2021). *ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN SEGÚN NTE NEN- ISO/IEC 17025:2018*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/CR-GA01-R07-Criterios-Generales-Acreditacion-de-laboratorios-de-ensayo-y-calibracion-segun-NTE-INEN-ISO-IEC-17025-2018.pdf>

Inter American Accreditation Cooperation, I. (2023). Obtenido de <https://www.iaac.org.mx/index.php/es/acerca-de-iaac/introduccion>

Inter-American Accreditation Cooperation. (06 de 06 de 2024). Obtenido de <https://www.iaac.org.mx/index.php/es/acerca-de-iaac/organismos-relacionados/organismos-de-acreditacion-en-america>

Jiangsu, L. (22 de 04 de 2025). *Avances innovadores en tecnología de calibración de presión para 2025: Perspectivas para compradores globales*. Obtenido de https://www.hsincalibration.com/blog/2025-pressure-calibration-innovations/?utm_source=chatgpt.com

LGM, M. (05 de 2022). *La guía Metas Metrologos Asociados* . Obtenido de https://metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-22-mayo-junio-Validacion_Metodos.pdf

MAFLA, M., CELI, A., & VIERA, B. (2023). *PA06 Procedimiento de Acreditación Organismos de Evaluación de la Conformidad*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2023/12/PA06-R09-Procedimiento-de-Acreditacion-OEC.pdf>

Margetts, A. (04 de 2021). *La historia y el futuro de la validación*. Obtenido de ISPE: <https://ispe.org/pharmaceutical-engineering/march-april-2021/history-future-validation>

Milizia, L. (2024). *Ensuring compliance: The crucial role of verification and validation*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/2012cdc1-e18a-4f8d-aaef-dc5ddd8efa03/content>

- Paredes, C., Ahumada, D., Abella, J., & González, I. (2023). *VALIDACIÓN DE MÉTODOS EN ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO*. COLOMBIA.
- PW Consulting Automotive & Machinery Research Cene. (9 de 10 de 2024). *Mercado de dispositivos de calibración de presión*. Obtenido de https://pmarketresearch.com/auto/pressure-calibration-device-market/?utm_source=chatgpt.com
- SAE. (12 de 10 de 2021). *CR GA01 R07 Criterios Generales para la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/CR-GA01-R07-Criterios-Generales-Acreditacion-de-laboratorios-de-ensayo-y-calibracion-segun-NTE-INEN-ISO-IEC-17025-2018.pdf>
- SAE. (2023). *Organismo de Evaluación de la Conformidad*. R09. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2023/12/PA06-R09-Procedimiento-de-Acreditacion-OEC.pdf>
- SAE, E. (31 de 01 de 2025). *VALIDACIÓN Y/OVERIFICACIÓN DE METODOS DE ENSAYOS EN LABORATORIOS CLÍNICOS*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2025/02/G-DAL-03-R00-Guia-para-la-validacion-yo-verificacion-de-metodos-de-ensayo-en-laboratorios-clinicos-rev.pdf>
- SENAVE. (8 de 05 de 2023). *Validación, Verificación de Métodos y Cálculo de incertidumbre*. Obtenido de <https://www.senave.gov.py/documentos/sistema-gestion-calidad/procedimientos/dd003e147d2e8e5b54747cdfc75d3547.pdf>
- Soto, N., Yáñez, M., Castro, F., & Pellegrini, P. (2024). *ÍA PARA LA VERIFICACIÓN DE MÉTODOS CUANTITATIVOS EN EL LABORATORIO CLÍNICO*. CHILE.
- VERITAS, B. (24 de 9 de 2024). Importancia del sistema de gestión para Laboratorios de ensayo.
- Volonté, M. G. (27 de 03 de 2023). *El método analítico en el control de calidad*. Obtenido de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150655>