



ChatGPT: ¿Puede una IA Generar un Certificado de Calibración?

INTRODUCCIÓN

La llegada de la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado diversas industrias, y el campo de la calibración no es una excepción. Este artículo explora una posibilidad intrigante: ¿Puede ChatGPT, una IA desarrollada por OpenAI, generar un certificado de calibración? Sumérgete para descubrir el futuro de la calibración con IA.

La llegada de la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado diversas industrias, y el campo de la calibración no es una excepción

ANTECEDENTES

La calibración es una parte integral para garantizar la exactitud y fiabilidad en las mediciones. Las mediciones inexactas podrían tener repercusiones significativas, desde resultados de investigación erróneos en un laboratorio hasta dosis incorrectas en una compañía farmacéutica, lo que resalta la importancia primordial de la calibración.

Apasionados por la Metrología

La Guía MetAs es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs y Metrólogos asociados. En La Guía MetAs se presentan noticias de metrología, artículos e información técnica; que deseamos compartir con usted, colegas, usuarios, clientes estudiantes y todos aquellos interesados en la metrología técnica e industrial.

MetAs-Matriz:
Antonio Caso # 246, Centro, 49000
Cd. Guzmán, Jalisco, México.
341 413 6123

MetAs-Óptica:
Av. Luis Vega y Monroy # 322-6 Planta Baja.
Plazas del Sol 1a Sección, 76099
Querétaro, Querétaro, México.
442 223 4527

MetAs-Guadalajara:
Batalla de Zacatecas # 2931, Fraccionamiento
Revolución, 45589, Tlaquepaque, Jalisco, México.
333 860 7141

Servicios Metroológicos

Laboratorios acreditados

EMA
A-05 Acústica
DEN-09 Densidad
D-159 y D-159-S1
Dimensional
E-67 Eléctrica
EM-03 Equipo Médico
H-05 Humedad
M-129 Masa

ME-15 Mediciones
Especiales
OP-05 Óptica
P-44 Presión
T-38 Temperatura
TF-22 Tiempo y Frecuencia
V-33 Volumen
MM-1328-127/21
Metal Mecánica.

Consultoría:
Capacitación, entrenamiento, asesoría, auditorías, ensayos de aptitud, sistemas de calidad.

Gestión Metroológica:
Subcontratación de servicios, selección de proveedores, confirmación metroológica.

Ingeniería:
Selección de equipos, desarrollo de sistemas de medición y software, reparación y mantenimiento.

Sin embargo, los procesos de calibración tradicionales suelen ser laboriosos, consumen mucho tiempo y son propensos a errores humanos. La necesidad de automatización y precisión introduce el papel potencial de la IA en la simplificación de este proceso.

Entra ChatGPT, una IA sofisticada desarrollada por OpenAI. Pero, ¿puede este modelo de lenguaje IA navegar por las complejidades de los procesos de calibración y contribuir a generar certificados de calibración? Profundicemos más.

La calibración es una parte integral para garantizar la exactitud y fiabilidad en las mediciones

EL ENIGMA DE LA CALIBRACIÓN: ENTENDIENDO LA IMPORTANCIA Y LOS DESAFÍOS

La calibración es un proceso crítico que garantiza la exactitud de las mediciones realizadas por diferentes instrumentos de medida. Asegura que las mediciones sean consistentes, fiables y trazables a los estándares internacionales. Las implicaciones de las mediciones incorrectas son graves, y van desde la investigación científica defectuosa hasta los posibles riesgos de seguridad en industrias como las farmacéuticas o aeroespaciales.

A pesar de su importancia, la calibración plantea desafíos significativos. Los métodos de calibración tradicionales son laboriosos y consumen mucho tiempo. Además, son propensos a errores humanos, que pueden afectar la fiabilidad de las mediciones y conducir a una calibración incorrecta. Esto exige un enfoque más optimizado y automatizado para la calibración, y aquí es donde entra en juego la IA.

IA AL RESCATE: EL PAPEL DE CHATGPT EN LA CALIBRACIÓN

La IA ha estado causando revuelo en varias industrias, y la calibración no es una excepción. Una de estas IA es ChatGPT, un modelo de lenguaje de última generación desarrollado por OpenAI. Si bien puede parecer inusual asociar un modelo de lenguaje con la calibración, la versatilidad de IA como ChatGPT presenta posibilidades intrigantes.

ChatGPT puede ayudar a generar reportes de prueba, optimizando el proceso y reduciendo la probabilidad de error humano. La IA puede procesar grandes cantidades de información y proporcionar resultados de acuerdo a formatos específicos y estandarizados, como la norma ISO/IEC 17025:2017. Esta exactitud y consistencia pueden mejorar significativamente la fiabilidad del proceso de calibración y los certificados resultantes.

Sin embargo, ¿puede una IA como ChatGPT ir un paso más allá y generar un certificado de calibración? El siguiente estudio de caso proporciona algunas ideas interesantes.

La IA puede procesar grandes cantidades de información y proporcionar resultados de acuerdo a formatos específicos

DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA: UN ESTUDIO DE CASO SOBRE UN INSTRUMENTO PARA PESAR DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO (IPFNA)

Explorando la aplicación práctica de la IA en la calibración, nos dirigimos a un estudio de caso que involucra un instrumento para pesar de funcionamiento no automático. Específicamente una Balanza Analítica, utilizada en una variedad de entornos, desde laboratorios hasta unidades de fabricación, requiere calibración regular para garantizar su exactitud. ¿Podría ChatGPT asistir en este proceso y contribuir significativamente a generar un certificado de calibración?

Se solicitó a ChatGPT que generara un reporte de prueba detallado (ver anexo A) basado en la norma ISO/IEC 17025:2017. El reporte abarcó los resultados de las pruebas para los errores de las indicaciones, de repetibilidad y de excentricidad basadas en la guía EURAMET CG-18, todas críticas para evaluar el desempeño de un instrumento para pesar de funcionamiento no automático. Al sintetizar los datos de las pruebas y adherirse a los requisitos de formato de los estándares, ChatGPT produjo un reporte completo, demostrando su capacidad para manejar e interpretar datos complejos.

El papel de ChatGPT se extendió más allá de la simple creación del reporte. También ofreció interpretación sobre los resultados, destacando cualquier desviación y calculando las incertidumbres. La capacidad de la IA para interpretar con exactitud estos resultados, crucial para cualquier proceso de calibración, subraya el potencial de la IA en este dominio.

La calibración impulsada por IA significa un cambio de paradigma en la industria de la calibración, destacando su potencial para optimizar y automatizar el proceso de calibración

IMPLICACIONES Y EL CAMINO A SEGUIR: CÓMO LA CALIBRACIÓN IMPULSADA POR IA PUEDE DAR FORMA AL FUTURO

Las implicaciones de este estudio de caso se extienden mucho más allá del instrumento de medida estudiado o incluso del ámbito más amplio de los instrumentos para pesar. Significa un cambio de paradigma en la industria de la calibración, destacando el potencial de la IA para optimizar y automatizar el proceso de calibración.

La calibración impulsada por IA, como lo ilustra el rendimiento de ChatGPT, ofrece numerosos beneficios. Puede reducir significativamente el tiempo y el esfuerzo requeridos para la calibración, minimizar los errores humanos y mejorar la fiabilidad y exactitud general del proceso. Además, la capacidad de la IA para procesar e interpretar grandes cantidades de datos puede ser invaluable en la calibración, donde la precisión es primordial.

Sin embargo, es esencial reconocer que la calibración impulsada por IA todavía está en su infancia. Si bien es prometedora, también presenta desafíos potenciales, como la necesidad de una capacitación extensiva de la IA y la cuestión de la interpretabilidad de la IA. Además, la aceptación regulatoria y la estandarización de los procesos de calibración basados en IA serán fundamentales en el futuro.

No obstante, el potencial de la IA, como lo demuestra ChatGPT, es innegable. A medi-

da que seguimos explorando y refinando las aplicaciones de la IA en la calibración, podemos esperar un futuro donde la calibración sea más precisa, fiable y eficiente.

En conclusión, aunque una IA como ChatGPT aún no pueda generar independientemente un certificado de calibración, sí puede mejorar significativamente el proceso. Con los avances en curso en la IA, esta posibilidad podría no estar tan lejana como parece.

El viaje de la IA en la calibración apenas está comenzando, y es un camino lleno de inmenso potencial y oportunidades emocionantes.

La IA puede revolucionar la calibración

LA PERSPECTIVA DE MetAs: EL POTENCIAL DE LA IA EN LA CALIBRACIÓN

Aplicando un enfoque analítico, profundizamos en el potencial de la IA en la calibración. MetAs enfatiza el potencial transformador de la IA en diversas industrias, y los servicios de calibración no son una excepción. La IA puede revolucionar la calibración de tres maneras clave:

- a) **Eficiencia:** La IA puede reducir significativamente el tiempo requerido para la calibración, como lo demuestra el estudio de caso que involucra un instrumento para pesar de funcionamiento no automático. Elimina la entrada y la interpretación manual de datos, optimizando así el proceso.
- b) **Exactitud:** La capacidad de la IA para procesar y analizar grandes volúmenes de datos con precisión mejora la exactitud de la calibración. Al minimizar el error humano, la IA garantiza que las mediciones sean fiables y consistentes.
- c) **Rentabilidad:** Al automatizar varios aspectos del proceso de calibración, la IA puede

generar ahorros de costos significativos. Reduce la mano de obra necesaria para la calibración y los costos asociados.

A medida que la IA continúa evolucionando, su papel en la calibración está destinado a expandirse

DECODIFICANDO EL FUTURO: CHATGPT Y MÁS ALLÁ

El estudio de caso que involucra un instrumento para pesar de funcionamiento no automático y ChatGPT subraya el potencial de la IA en la calibración. Pero esto es solo la punta del iceberg. A medida que la IA continúa evolucionando, su papel en la calibración está destinado a expandirse.

Podemos imaginar un futuro en el que la IA no solo ayuda a generar certificados de calibración, sino que también realiza independientemente la calibración. La IA podría interactuar directamente con el equipo para realizar la calibración, analizar los resultados y emitir certificados de calibración. Esto haría que el proceso de calibración fuera casi completamente autónomo, mejorando aún más la eficiencia y la exactitud.

Sin embargo, para hacer realidad este futuro será necesario superar algunos desafíos. Estos incluyen desarrollar modelos de IA que puedan interactuar con una amplia gama de instrumentos de medida, entrenar a la IA con diversos escenarios de calibración y obtener la aceptación regulatoria para la calibración impulsada por IA.

EN CONCLUSIÓN: LA REVOLUCIÓN DE LA CALIBRACIÓN ESTÁ AQUÍ

Al estar al borde de una revolución de la calibración impulsada por la IA, es un momento emocionante para las industrias que dependen de mediciones precisas. La IA, ejemplificada por ChatGPT, ofrece una solución prometedora a los desafíos de los métodos de calibración tradicionales. Y aunque todavía estamos lejos de que la IA genere independiente-

mente un certificado de calibración, el camino hacia ese futuro ha comenzado.

Con esto, concluimos nuestra exploración del potencial de la IA en la calibración. El potencial de la IA en este dominio, como en muchos otros, es vasto y en gran medida inexplorado. Es un espacio a observar, ya que los desarrollos en este campo podrían redefinir la industria de la calibración y más allá.

La IA es una herramienta, una poderosa, pero son los humanos quienes la manejan, interpretan su salida y toman decisiones basadas en ella

EL ELEMENTO HUMANO: UN ACTO DE EQUILIBRIO

Mientras celebramos los avances en la IA y su potencial en la calibración, es esencial no perder de vista el elemento humano. La IA es una herramienta una poderosa, pero son los humanos quienes la manejan, interpretan su salida y toman decisiones basadas en ella. Incluso a medida que avanzamos hacia la calibración impulsada por la IA, la experiencia y el juicio humano seguirán siendo vitales.

En el proceso de calibración, los humanos desempeñan roles cruciales. Diseñan y ejecutan pruebas de calibración, interpretan los resultados y los aplican en entornos prácticos. Si bien la IA puede replicar e incluso superar a los humanos en algunas de estas tareas, aún carece de la habilidad humana para entender el contexto y hacer saltos intuitivos.

Además, los humanos seguirán siendo críticos en el entrenamiento de la IA. Son ellos quienes guiarán el aprendizaje de la IA, se asegurarán de que comprenda los matices de la calibración y la corrijan cuando se equivoque.

En este sentido, la IA debería ser vista como una compañera en lugar de un reemplazo para los humanos en la calibración. Es una herramienta que puede mejorar las capacidades humanas, no hacerlas obsoletas.

La llegada de la IA a la calibración no es solo un paso adelante, es un salto a una nueva era. Una era donde la IA y los humanos trabajan juntos

LA ÚLTIMA PALABRA: UNA NUEVA ERA EN LA CALIBRACIÓN

El estudio de caso que involucra un instrumento para pesar de funcionamiento no automático y ChatGPT ha ofrecido un fascinante vistazo al potencial de la IA en la calibración. Es un testimonio del progreso en IA y anticipa lo que está por venir.

Aunque la IA aún no está lista para generar independientemente un certificado de calibración, está claro que nos estamos moviendo en esa dirección. A medida que la IA continúa evolucionando y seguimos refinando sus aplicaciones en la calibración, las posibilidades son prácticamente infinitas.

La llegada de la IA a la calibración no es solo un paso adelante, es un salto a una nueva era. Una era donde la calibración es más precisa, fiable y eficiente. Una era donde la IA y los humanos trabajan juntos para alcanzar nuevas alturas de precisión.

Mientras navegamos por esta nueva era, es esencial seguir explorando, cuestionando e innovando. El futuro de la calibración está aquí, y está impulsado por la IA.

ANEXO A

A.1 Prueba de repetibilidad

AS

We are in the process of calibrating an analytical weighing instrument with a maximum capacity of 220 g, in accordance with the EURAMET CG-18 guidelines. We have performed a series of calibration tests and need help with the data analysis.

Section I. Test and results of Repeatability:

We repeatedly placed the same load on the load receptor under identical conditions.

The maximum repeatability is determined by the larger of the two test loads. The results are as follows:

'Test Load' | 'Indication 1-10 (g)'

100 g | 99.99998, 99.99998, 99.99998, 99.99998, 99.99997, 99.99997, 99.99998, 99.99998, 99.99998, 99.99997

200 g | 199.99989, 199.99989, 199.99989, 199.99989, 199.99989, 199.99989, 199.99988, 199.99989, 199.99990, 199.99988, 199.99989

Could you calculate the standard deviation (s) of the 'n' indications (g) for each test load and present the results in a table: 'Test Load (g)', 'Standard Deviation (s) of the 'n' Indications (g)'?



Used Wolfram



The standard deviation (s) of the 'n' indications (g) for each test load is as follows:

Test Load (g)	Standard Deviation (s) of the 'n' Indications (g)
100	4.83×10^{-6}
200	5.68×10^{-6}

These values represent the spread of the measurements around the mean for each test load. The smaller the standard deviation, the closer the measurements are to the mean.

Figura 1. Repetibilidad

A.2 Prueba de excentricidad

AS

Section II. Test and results of Load Eccentricity:

We placed a 100 g steel plate in various positions on the load receptor to simulate different off-centre loading conditions. The results are:

'Position of the Load' | 'Zero Checked (g)' | 'Test Load Indication (g)' | 'No-Load Indication (g)'
 'Centre' | 0.00000 | 99.99995 | 0.00000
 'Front left' | 0.00000 | 99.99997 | -0.00001
 'Back left' | 0.00000 | 99.99995 | 0.00002
 'Back right' | 0.00000 | 99.99990 | -0.00002
 'Front right' | 0.00000 | 99.99995 | -0.00001

To calculate the 'Off-Centre Deviation (g)' for each load position, follow the steps below:

1. Subtract the 'No-Load Indication (g)' from the 'Test Load Indication (g)' for each position of the load #.
2. Subtract this result obtained of the 'Centre' position from each of these results.
3. The maximum off-centre deviation is the largest absolute value among these deviations.

Could you calculate the 'Off-Centre Deviation (g)' for each load position and provide a summary in a table format, also identifying the maximum off-centre deviation: 'Position of the Load #', 'Test Load Indication - No-Load Indication (g)', 'Off-Centre Deviation (g)'?



Used Wolfram




The 'Off-Centre Deviation (g)' for each load position is as follows:

Position of the Load	Test Load Indication - No-Load Indication (g)	Off-Centre Deviation (g)
Centre	99.99995	0.00000
Front left	99.99998	0.00003
Back left	99.99993	-0.00002
Back right	99.99992	-0.00003
Front right	99.99996	0.00001

The maximum off-centre deviation is 0.00003 g. This value represents the largest deviation from the centre position when the load is placed at different positions on the load receptor.

Figura 2. Excentricidad

A.3 Prueba para los errores de las indicaciones





AS Section III. Test and results for Errors of Indication: 

We conducted this test to evaluate the instrument's accuracy across its entire weighing range. The results are:

```
'Test Load #' | 'Zero Checked (g)' | 'Test Load Indication (g)' | 'No-Load Indication (g)' | 'Actual Test Load of the Reference Mass (g)' | 'Standard Uncertainty of the Reference Mass (g)'
20 g | 0.00000 | 20.00001 | 0.00000 | 20.000010 | 0.0000206
40 g | 0.00000 | 40.00001 | 0.00001 | 40.000012 | 0.0000412
60 g | 0.00000 | 60.00001 | 0.00000 | 60.000014 | 0.0000405
80 g | 0.00000 | 80.00003 | 0.00002 | 80.00002 | 0.0000611
100 g | 0.00000 | 100.00004 | 0.00003 | 99.999972 | 0.0000405
120 g | 0.00000 | 120.00003 | 0.00001 | 119.99998 | 0.0000611
140 g | 0.00000 | 140.00002 | 0.00002 | 139.99998 | 0.0000817
160 g | 0.00000 | 160.00002 | 0.00002 | 159.99999 | 0.0000810
180 g | 0.00000 | 180.00006 | 0.00008 | 180.00000 | 0.0001016
200 g | 0.00000 | 199.99998 | 0.00003 | 200.00000 | 0.0000765
```

The 'Average of Indication' is calculated by taking the difference between the 'Test Load Indication' and the respective 'No-Load Indication' for each test load.
The 'Error of Indication' is then calculated by subtracting the 'Actual Test Load of the Reference Mass' from the 'Average of Indication'.

Could you calculate the 'Average of Indication' and 'Error of Indication' (rounded to six decimal places) for each test load and provide a summary in a table format: 'Test Load #', 'Actual Test Load (g)', 'Average of Indication (g)', 'Error of Indication (g)'?

Used Wolfram    

The 'Average of Indication' and 'Error of Indication' for each test load are as follows:

Test Load #	Actual Test Load (g)	Average of Indication (g)	Error of Indication (g)
20 g	20.000010	20.00001	0.000000
40 g	40.000012	40.00000	-0.000012
60 g	60.000014	60.00001	-0.000004
80 g	80.00002	80.00001	-0.000010
100 g	99.999972	100.00001	0.000038
120 g	119.99998	120.00002	0.000040
140 g	139.99998	140.00000	0.000020
160 g	159.99999	160.00000	0.000010
180 g	180.00000	179.99998	-0.000020
200 g	200.00000	199.99995	-0.000050

These values represent the average indication and the error of indication for each test load. The error of indication is the difference between the actual test load and the average indication. A negative error of indication means the average indication is less than the actual test load, while a positive error means the average indication is greater than the actual test load.

Figura 3. Errores de las indicaciones

A.4 Cálculo de incertidumbre

AS

Section IV. Uncertainty Calculation:

We need to calculate both Type A and Type B uncertainties for each test load. Here's how:

Type A Uncertainty Evaluation:

1. Determine the standard uncertainty of repeatability by selecting the larger of the two standard deviations obtained from the Repeatability Test in Section I, assuming a normal distribution.
2. Compute the standard uncertainty caused by the off-centre position of the center of gravity in relation to the test load for each test load. Follow these steps:
 - a. Divide the maximum off-centre deviation obtained from the Load Eccentricity Test in Section II by 2.
 - b. Divide the result by the square root of 3, assuming a rectangular distribution.
 - c. Multiply this result by the ratio of the new test load to the original test load.

Type B Uncertainty Evaluation:

1. Calculate the standard uncertainty of the rounding error for the no-load indication, assuming a rectangular distribution. Divide the instrument's resolution (0.00001 g) by 2, and then divide the result by the square root of 3.
2. Determine the standard uncertainty of the rounding error for the indication at load, assuming a rectangular distribution. Divide the instrument's resolution (0.00001 g) by 2, and then divide the result by the square root of 3.
3. Compute the standard uncertainty of the actual test load of the reference mass for each test load, assuming a normal distribution.

We request your assistance in calculating the 'Expanded Uncertainty of Indication (g)' for each test load, with results to two at most significant digits. We would like the results presented in a table format, including the information from Section III:

'Test Load #' | 'Actual Test Load (g)' | 'Average of Indication (g)' | 'Error of Indication (g)' | 'Expanded Uncertainty of Indication (g)'



Used Wolfram



The 'Expanded Uncertainty of Indication (g)' for each test load is as follows:

Test Load #	Actual Test Load (g)	Average of Indication (g)	Error of Indication (g)	Expanded Uncertainty of Indication (g)
20 g	20.000010	20.00001	0.000000	0.000044
40 g	40.000012	40.00000	-0.000012	0.000084
60 g	60.000014	60.00001	-0.000004	0.000083
80 g	80.000002	80.00001	-0.000010	0.000124
100 g	99.999972	100.00001	0.000038	0.000084
120 g	119.99998	120.00002	0.000040	0.000125
140 g	139.99998	140.00000	0.000020	0.000166
160 g	159.99999	160.00000	0.000010	0.000165
180 g	180.00000	179.99998	-0.000020	0.000206
200 g	200.00000	199.99995	-0.000050	0.000157

These values represent the expanded uncertainty of indication for each test load. The expanded uncertainty provides an interval around the measurement result that covers the true value with a certain confidence level, typically 95%.

Figura 4. Cálculo de incertidumbre

A.5 Interpretación sobre los resultados

AS

The conclusion should summarize the test results and uncertainties for Errors of Indication, Repeatability, and Load Eccentricity tests and provide any recommendations or conclusions based on the test results.



Based on the tests conducted, here are the summarized results and conclusions:



Errors of Indication:

The error of indication was calculated for each test load, ranging from 20 g to 200 g. The errors were generally small, with the largest absolute error being 0.00005 g for the 200 g test load. This indicates that the weighing instrument has a high degree of accuracy across its entire weighing range.

Repeatability:

The repeatability of the weighing instrument was evaluated by repeatedly placing the same load on the load receptor under identical conditions. The standard deviation of the indications was calculated for each test load, with the larger value being 5.68×10^{-6} g. This small standard deviation indicates a high degree of repeatability for the weighing instrument.

Load Eccentricity:

The load eccentricity test was conducted by placing a 100 g steel plate in various positions on the load receptor. The maximum off-centre deviation was found to be 0.00003 g. This small deviation suggests that the weighing instrument is not significantly affected by off-centre loading.

Uncertainty Calculation:

The expanded uncertainty of indication was calculated for each test load, providing an interval around the measurement result that covers the true value with a certain confidence level. The expanded uncertainties were generally small, indicating a high degree of confidence in the measurement results.

Conclusion and Recommendations:

Overall, the weighing instrument demonstrates a high degree of accuracy, repeatability, and robustness to off-centre loading. The errors of indication, repeatability, and load eccentricity are all within acceptable limits, and the uncertainties are small. Therefore, the weighing instrument is well-calibrated and suitable for precise analytical measurements.

However, it is recommended to continue regular calibration and testing to maintain the accuracy and reliability of the instrument. Any significant changes in the test results or uncertainties may indicate a need for maintenance or adjustment of the instrument.

Figura 5. Interpretación sobre los resultados

A.6 Reporte de prueba

AS

The test report should be organized with clear headings and subheadings, use tables and charts to present the results, and provide any relevant calculations or formulas used in the uncertainty estimation.



Analytical Weighing Instrument Calibration Report



Introduction

This report presents the results of the calibration tests conducted on an analytical weighing instrument with a maximum capacity of 220 g, in accordance with the EURAMET CG-18 guidelines. The tests included evaluations of Errors of Indication, Repeatability, and Load Eccentricity. The report also includes the calculation of Type A and Type B uncertainties for each test load.

Section I: Repeatability Test

The repeatability of the weighing instrument was evaluated by repeatedly placing the same load on the load receptor under identical conditions. The standard deviation (s) of the 'n' indications (g) for each test load was calculated as follows:

Test Load (g)	Standard Deviation (s) of the 'n' Indications (g)
100	4.83×10^{-6}
200	5.68×10^{-6}

Section II: Load Eccentricity Test

A 100 g steel plate was placed in various positions on the load receptor to simulate different off-centre loading conditions. The 'Off-Centre Deviation (g)' for each load position was calculated as follows:

Position of the Load	Off-Centre Deviation (g)
Centre	0.00000
Front left	0.00003
Back left	-0.00002
Back right	-0.00003
Front right	0.00001

The maximum off-centre deviation was 0.00003 g.

Figura 6. Reporte de prueba parte I

A.6 Reporte de prueba (Continuación)

Section III: Errors of Indication Test

The error of indication was evaluated across the entire weighing range of the instrument. The 'Average of Indication' and 'Error of Indication' for each test load were calculated as follows:

Test Load #	Actual Test Load (g)	Average of Indication (g)	Error of Indication (g)
20 g	20.000010	20.00001	0.000000
40 g	40.000012	40.00000	-0.000012
60 g	60.000014	60.00001	-0.000004
80 g	80.00002	80.00001	-0.000010
100 g	99.999972	100.00001	0.000038
120 g	119.99998	120.00002	0.000040
140 g	139.99998	140.00000	0.000020
160 g	159.99999	160.00000	0.000010
180 g	180.00000	179.99998	-0.000020
200 g	200.00000	199.99995	-0.000050

Section IV: Uncertainty Calculation

The 'Expanded Uncertainty of Indication (g)' for each test load was calculated as follows:

Test Load #	Expanded Uncertainty of Indication (g)
20 g	0.000044
40 g	0.000084
60 g	0.000083
80 g	0.000124
100 g	0.000084
120 g	0.000125
140 g	0.000166
160 g	0.000165
180 g	0.000206
200 g	0.000157

Figura 7. Reporte de prueba parte II

A.6 Reporte de prueba (Continuación)

Conclusion and Recommendations

Overall, the weighing instrument demonstrates a high degree of accuracy, repeatability, and robustness to off-centre loading. The errors of indication, repeatability, and load eccentricity are all within acceptable limits, and the uncertainties are small. Therefore, the weighing instrument is well-calibrated and suitable for precise analytical measurements.

However, it is recommended to continue regular calibration and testing to maintain the accuracy and reliability of the instrument. Any significant changes in the test results or uncertainties may indicate a need for maintenance or adjustment of the instrument.

Appendix: Calculation Formulas

1. Standard Deviation (s) of the 'n' Indications (g): This is calculated using the standard deviation formula for a sample of data.
2. Off-Centre Deviation (g): This is calculated by subtracting the 'No-Load Indication (g)' from the 'Test Load Indication (g)' for each position of the load, and then subtracting the result for the 'Centre' position from each of these results.
3. Average of Indication (g): This is calculated by subtracting the 'No-Load Indication (g)' from the 'Test Load Indication (g)' for each test load.
4. Error of Indication (g): This is calculated by subtracting the 'Actual Test Load of the Reference Mass' from the 'Average of Indication'.
5. Expanded Uncertainty of Indication (g): This is calculated by multiplying the combined standard uncertainty by a coverage factor of 2, which provides a confidence level of approximately 95%.

Please note that the standard uncertainties for the repeatability, off-centre deviation, and reference mass were calculated based on the standard deviation for a normal distribution and the half-range for a rectangular distribution, divided by the square root of 3.

Figura 8. Reporte de prueba parte III

REFERENCIAS

JCGM 100. (2008). Evaluation of measurement data — Guide to the expresión of uncertainty in measurement, BIPM.

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

EURAMET Calibration Guide No. 18. (2015). Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments, EURAMET.

OIML R 76-1. (2006). Non-automatic weighing instruments. International Organization Of Legal Metrology.

OIML R 111-1. (2004). Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃. International Organization Of Legal Metrology.

OpenAI. (2023). ChatGPT (versión 24 de mayo) GPT-4. <https://chat.openai.com/chat>