

# ESCUELA DE POSGRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y  
CADENA DE ABASTECIMIENTO

AUTOMATIZACIÓN Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE  
RESULTADOS Y EFICIENCIA OPERATIVA - APLICACIÓN EN  
LOS LABORATORIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE  
MINERALES

Tesis para optar el grado de **MAESTRA** en:

DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y CADENA DE  
ABASTECIMIENTO

**Autora**

Rosa Victoria Valderrama Miranda

**Asesora**

Maestro Ana Teresa La Rosa Gonzales Otoya

<https://orcid.org/0000-0003-1254-5334> Perú

2023

## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

**Tecnologías emergentes**

### **SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

**Investigación aplicada en equipamientos y diseños  
inteligentes**

## Jurado Evaluador

Jurado 1 Presidente	<b>DR.ALBERTO CARLOS MENDOZA DE LOS SANTOS</b>	<b>17434055</b>
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	<b>MG.JORGE GUILLERMO CALIZAYA PORTAL</b>	<b>44158053</b>
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	<b>MG.HOBBER ARISTIDES SICCHA AYVAR</b>	<b>10140192</b>
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

## Resumen

El uso de la automatización en los Laboratorios de análisis químicos, suponen grandes logros en términos de productividad, costos, velocidad y reducción de errores. Sin embargo, la implementación de nuevas tecnologías también implica grandes desafíos en el desempeño de tareas manuales y cognitivas que tradicionalmente se realizaban por el ser humano, y su futuro desempeño en la sociedad; así como la identificación efectiva de los procesos y tareas que son adecuados para la automatización.

El presente trabajo de investigación se orientó en la automatización del proceso de titulación volumétrica de concentrados de minerales y describe paso a paso el desarrollo de un diagnóstico del estado actual del laboratorio hasta la implementación del equipo Modelo 815 Robotic USB Sample Processor XL asociado al software Tiamo, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y calidad de resultados, aplicando herramientas y metodologías cimentadas en sistemas de calidad como la ISO 17025, ISO 5725 y guía Eurachem.

Como resultado, se logró un nivel de implementación del 90% del proceso de titulación de plomo en concentrados de minerales, con una reducción del riesgo cognitivo del 83%, tiempo de operación del 41% y parámetros de calidad dentro de los criterios establecidos.

## **Abstract**

The use of automation in chemical analysis laboratories represents great achievements in terms of productivity, costs, speed and reduction of errors. However, the implementation of new technologies also implies great challenges in the performance of manual and cognitive tasks that were traditionally performed by humans, and their future performance in society; as well as the effective identification of processes and tasks that are suitable for automation.

The present research work was oriented towards the automation of the volumetric titration process of mineral concentrates and describes step by step the development of a diagnosis of the current state of the laboratory until the implementation of the Model 815 Robotic USB Sample Processor XL equipment associated with the Tiamo software. , with the aim of improving operational efficiency and quality of results, applying tools and methodologies based on quality systems such as ISO 17025, ISO 5725 and the Eurachem guide.

As a result, an implementation level of 90% of the lead titration process in mineral concentrates was achieved, with an 83% reduction in cognitive risk, 41% operating time and quality parameters within the established criteria.

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis padres Segundo y Salomé, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, me enseñaron a salir adelante sin perder la fe en mí.

A mi esposo Rafael y mis hijos Jared, Thiago y Jacob, por su amor infinito, por ellos puedo ver la vida de manera diferente, abrir mi alma y dejar salir lo mejor de mí.

## Tabla de contenidos

Carátula	i
Línea y Sub Línea de Investigación	ii
Jurado Evaluador	iii
Informe Similitud	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Dedicatoria y agradecimiento	vii
Tabla de contenidos	viii
Índice de tablas y figuras	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Realidad problemática.....	1
I.2. Pregunta de investigación .....	3
I.2.1. Pregunta general.....	3
I.2.2. Preguntas específicas.....	3
I.3. Objetivos de la investigación.....	4
I.3.1. Objetivo general .....	4
I.3.2. Objetivos específicos .....	4
I.4. Justificación de la investigación .....	4
I.4.1. Justificación teórica.....	4
I.4.2. Justificación práctica .....	4
I.5. Alcance de la investigación .....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	5
II.1. Antecedentes .....	5
II.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
II.1.2. Antecedentes nacionales .....	7
II.2. Bases teóricas.....	7
II.2.1. Automatización.....	7
II.2.2. Tipos de automatización .....	8
II.2.3. La automatización en la química analítica .....	8
II.2.4. Eficiencia Operativa .....	9
II.2.5. Calidad de los resultados analíticos.....	10

II.2.6. Titulación.....	22
II.3. Marco conceptual (terminología).....	23
III. HIPÓTESIS.....	25
III.1. Declaración de hipótesis.....	25
(1) Hipótesis general.....	25
(2) Hipótesis específicas.....	25
III.2. Operacionalización de variables.....	25
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS.....	28
IV.1. Tipo de investigación.....	28
IV.2. Nivel de investigación.....	28
IV.3. Diseño de investigación.....	28
IV.4. Método de investigación.....	29
IV.5. Población.....	29
IV.6. Muestra.....	31
IV.7. Técnicas de recolección de datos.....	31
IV.7.1. Técnica.....	31
IV.7.2. Instrumento.....	31
IV.8. Presentación de resultados.....	32
IV.8.1. Etapa 1: Evaluación línea Base.....	32
IV.8.1.1 Material.....	34
a) Equipos para la titulación.....	34
b) Reactivos y patrones.....	34
IV.8.1.2 Resultados de la eficiencia operativa.....	35
a) Evaluación de la reducción de riesgo en la toma de datos por ensayo.....	35
b) Evaluación de la reducción de tiempo dedicado por el operador a la toma de datos.....	36
IV.8.1.3 Calidad de resultados.....	37
a) Precisión.....	38
b) Veracidad.....	39
c) Selectividad.....	41
d) Estimación de la incertidumbre.....	42
IV.8.1.4 Resultados línea base.....	44
IV.8.2 Etapa 2: Automatización.....	45
a) Principales características.....	45



b)	Descripción .....	46
c)	Componentes.....	46
d)	Sensor fotométrico Optrode.....	47
e)	Condiciones de pre - instalación.....	48
f)	Parámetros de trabajo .....	49
g)	Detección del umbral para la titulación de plomo metálico .....	50
IV.8.3	Etapa 3: Evaluación final .....	52
IV.8.3.1	Material .....	52
a)	Equipos para la titulación.....	52
b)	Reactivos y patrones .....	52
IV.8.3.2	Resultados de la eficiencia operativa .....	52
a)	Evaluación de la reducción de riesgo en la toma de datos por ensayo.....	52
b)	Evaluación de la reducción de tiempo dedicado por el operador a la toma de datos .....	53
IV.8.3.3	Calidad de resultados .....	54
a)	Precisión .....	56
b)	Veracidad.....	57
c)	Selectividad.....	59
d)	Estimación de la incertidumbre .....	60
IV.8.3.4	Resultados evaluación final .....	62
IV.8.4	Evaluación Financiera .....	63
IV.8.4.1	Validación económica.....	65
V.	RESULTADOS .....	67
V.1.	Eficiencia Operativa .....	67
a)	Evaluación de la reducción de riesgo en la toma de datos por ensayo.....	67
b)	Evaluación de la reducción de tiempo dedicado por el operador a la toma de datos .....	68
V.2.	Calidad de resultados.....	69
a)	Precisión .....	69
b)	Veracidad.....	70
c)	Selectividad.....	71
d)	Estimación de la incertidumbre .....	72
VI.	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....	75
VI.1.	Discusión.....	75
VI.2.	Conclusiones.....	76

VI.3. Recomendaciones.....	77
Lista de referencias .....	78
Apéndice.....	81
Apéndice A .....	81
Apéndice B .....	82
Apéndice C .....	83
Apéndice D .....	84
Apéndice E .....	85
Apéndice F.....	86
Apéndice G.....	87

## Índice de tablas

Tabla N° 1 Esquema de Validación según tipología de métodos analíticos.....	11
Tabla N° 2 Valores orientativos para la recuperación según la AOAC.....	12
Tabla N° 3 Resumen de cálculos para la evaluación de la selectividad .....	12
Tabla N° 4 Resumen de cálculos para la evaluación de la precisión .....	14
Tabla N° 5 Resumen de cálculos para la evaluación de la veracidad .....	15
Tabla N° 6 Resumen de cálculos para la estimación de la incertidumbre .....	20
Tabla N° 7 Operacionalización de Variables .....	26
Tabla N° 8 Riesgo en la toma de datos .....	35
Tabla N° 9 Reducción de tiempo dedicado por el operador a la toma de datos .....	36
Tabla N° 10 Recolección de datos nivel I.....	37
Tabla N° 11 Recolección de datos nivel II.....	37
Tabla N° 12 Recolección de datos nivel III.....	38
Tabla N° 13 Recolección de datos nivel IV .....	38
Tabla N° 14 Precisión línea base.....	39
Tabla N° 15 Veracidad línea base nivel I.....	39
Tabla N° 16 Veracidad línea base nivel IV.....	40
Tabla N° 17 Selectividad línea base .....	41
Tabla N° 18 Estimación de la incertidumbre línea base.....	42
Tabla N° 19 Condiciones volumétricas .....	49
Tabla N° 20 Criterios de aceptación Operacional .....	50
Tabla N° 21 Riesgo en la toma de datos .....	53
Tabla N° 22 Reducción de tiempo dedicado por el operador a la toma de datos.....	53
Tabla N° 23 Recolección de datos nivel I.....	54
Tabla N° 24 Recolección de datos nivel II.....	55
Tabla N° 25 Recolección de datos nivel III.....	55
Tabla N° 26 Recolección de datos nivel IV .....	55
Tabla N° 27 Precisión titulación automatizada .....	56
Tabla N° 28 Veracidad titulación automatizada nivel I .....	57
Tabla N° 29 Veracidad titulación automatizada nivel IV.....	58
Tabla N° 30 Selectividad Titulación automática .....	59
Tabla N° 31 Incertidumbre Titulación automatizada.....	60
Tabla N° 32 Análisis de precio unitario por titulación convencional.....	63

Tabla N° 33 Análisis de precio unitario por titulación automática .....	64
Tabla N° 34 Tiempo incurrido en pago del equipo .....	65
Tabla N° 35 Indicadores Financieros .....	65
Tabla N° 36 Resultados de la reducción del riesgo en la toma de datos por ensayo ...	67
Tabla N° 37 Resultados del tiempo de toma y tratamiento de datos .....	68
Tabla N° 38 Precisión ensayo manual (línea base) .....	69
Tabla N° 39 Precisión ensayo automatizado .....	70
Tabla N° 40 Veracidad ensayo manual (línea base) .....	70
Tabla N° 41 Veracidad ensayo automatizado .....	71
Tabla N° 42 Selectividad ensayo manual (línea base) .....	71
Tabla N° 43 Selectividad ensayo automatizado .....	72
Tabla N° 44 Estimación de la incertidumbre ensayo manual (línea base) .....	72
Tabla N° 45 Estimación de la incertidumbre ensayo automatizado .....	72
Tabla N° 46 Contribución de la incertidumbre ensayo manual (línea base) .....	73
Tabla N° 47 Contribución de la incertidumbre ensayo automatizado .....	74

## Índice de figuras

Figura n.º 1 Identificación de las fuentes de incertidumbre.....	16
Figura n.º 2. Laboratorios acreditados a nivel nacional con norma referente ISO 13545 .....	30
Figura n.º 3 Determinación de Plomo en concentrados de minerales.....	33
Figura n.º 4 Dosimat plus modelo 876.....	34
Figura n.º 5 Titulador Automático Titrando Modelo 815.....	45
Figura n.º 6 Vista anterior del Titulador automático.....	46
Figura n.º 7 Vista posterior del Titulador automático.....	47
Figura n.º 8 Sensor fotométrico Optrode.....	48
Figura n.º 9 Umbral del factor de plomo.....	50
Figura n.º 10 Umbral de 100 mv / ml.....	51
Figura n.º 11 Resultados del riesgo de las acciones cognitivas.....	67
Figura n.º 12 Resultados tiempo de toma y tratamiento de datos.....	68
Figura n.º 13 Participación de las contribuciones (%).....	73
Figura n.º 14 Participación de las contribuciones (%).....	74

## **NOTA**

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

## Lista de referencias

Armas Morales C. (2021). La Inteligencia Artificial en empresas peruanas e impactos laborales en los trabajadores. *Iberoamerican Business Journal*, Volumen 5(1), 83-105.

<https://doi.org/10.22451/5817.ibj2021.vol5.1.11053>

Bedoya, P., Hernández, D., Villegas, D. (2016). Sistema de automatización para gestión de procesos administrativos y operativos. [Tesis doctoral]. Repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira.

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/6545>.

Casares-Li, R., Rodríguez-Hernández, A. G. y Viña-Brito, S. J. (2016). Análisis de errores humanos mediante la tecnología TErEH: experiencias en su aplicación. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 49-58.

Clúa de Yarza, P. (2020). El futuro del empleo: los desafíos de la automatización, la inteligencia artificial y la robotización. [Tesis de pregrado] Repositorio académico de la Universidad Pontificia Comillas.

<http://hdl.handle.net/11531/37122>

Constantino, P., Acquarone, M., Robatto, O, Ponticorbo, V. Fajardo, S. (2018). Cuatro experiencias de automatización en Metrología y su impacto en el riesgo de calidad y la eficiencia operativa. *INNOTEC*, núm. 16, 56-63. Laboratorio Tecnológico del Uruguay.

<https://doi.org/10.26461/16.03>

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=606164196007>

Eurachem, G. (2016). *La adecuación al uso de los métodos analíticos—Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados*.

[www.eurachem.org](http://www.eurachem.org)

Eurachem, G. (2015). *Setting and Using Target Uncertainty in Chemical Measurement*.

[www.eurachem.org](http://www.eurachem.org)

Hernández González, O. (2021). Aproximación a los diferentes tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37 (3), e1442.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Irreño, C. A. B. (2020). RPA-Automatización robótica de procesos. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de La Información*, volumen 8, no 15, 111-122.

<https://doi.org/10.21017/rimci.2021.v8.n15.a97>

ISO 9001 (2015). *Quality management systems – Requirements*, ISO Geneva. 11.

ISO 5725-3 (2003). *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method*.

ISO 17025 (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*.

Koel, M., Kaljurand, M. (2019). *Green Analytical Chemistry*. (2nd. Edition). Estonia: CPI Group (UK) Ltd, Croydon.

Kozak, J., Paluch, J., Kozak, M., Duracz, M., Wieczorek, M., Kościelniak P. (2020). Novel Approach to Automated Flow Titration for the Determination of Fe (III). Oil and Gas Institute - National Research Institute, Volume 25, 2-12.

<https://doi.org/10.3390/molecules25071533>

Kuselman, I. y Pennechi, F. (2016). Human Errors in a Routine Analytical Laboratory-Classification, Modeling and Quantification: Overview of the IUPAC/CITAC Guide. *Chemistry International*, 38(5), 27-30.

<https://doi.org/10.1515/pac-2015-1101>

Marzinke, Mark A. (2020). Laboratory automation, Contemporary Practice in Clinical Chemistry, 235 –246.

<https://doi:10.1016/b978-0-12-815499-1.00014-4>

Morales, L., González, I., Abella, J. y Ahumada, D. (2018). Técnicas de titulación ácido-base: consideraciones metrológicas. *Revista Colombiana de Química*, vol.48 no.1.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.72401>

Moreno, Á., Athaydes, A., Navarro, C. (2018). Uso del big data y de la automatización entre los profesionales de las relaciones públicas en Brasil. *Revista ComHumanitas*, Volumen 9, número 2.

<https://doi.org/10.31207/rch.v9i2.167>



Quintela Bermejo, J. (2015). Diseño de test de cualificación OQ y PQ en HPLC y desarrollo de modelos de cálculo de la incertidumbre a partir de la validación de procedimientos de análisis. [Tesis doctoral]. Repositorio académico de la Universitat Ramon Llull. IQS.

<http://hdl.handle.net/10803/300590>

Rui Lima, J., Eckhardt, T., Paiva, S. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*, Volume 181, 51-58.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921001393>

Richter, W. y Tinner, U. (2022). *Practical aspects of modern titration*. Metrohm.

Rodríguez, L., Gámiz, L., Carraco, A. y Ruiz, C. (2013). *Glosario de términos analíticos* (1ª ed.). Graseqa.

<https://www.seqa.es/grupos/grupos-graseqa>

Siqueira, L. Nunes, L., Almeida P., Wellington L., Andrade R., Araújo, M., Almeida, F., Alexandre R. (2018). Accurate automatic titration procedure for low sharpness and dichroism in end point detection using digital movies as detection technique. *Microchemical Journal*, Volume 133, 593-599.

<https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.041>

Sirkka L. (2019). Future Automation Systems in Context of Process Systems and Minerals Engineering. *International Federation of Automatic Control IFAC*, Volume 52, 403-408.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.570>

<https://www.sciencedirect.com/journal/ifac-papersonline>

Tejada, D. M. R., Navarro, I. J. N., & Ibarra, C. H. O. (2020). Lineamientos para la Automatización de Robótica de Procesos. *Revista CIES Escolme*, Volumen 11(01), 143-158.

Velázquez J., Valencia L., Peña J. (2016). El papel del modelo de la triple hélice como sistema de innovación para aumentar la rentabilidad en una Pyme comercializadora. *Revista CEA*, Vol. 2

<https://ssrn.com/abstract=3520204>