



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Química e Ingeniería Química

Escuela Profesional de Química

**Implementación de la norma NTP 712.107:
determinación de benceno en aire ambiental por GC-
FID y establecimiento de condiciones cromatográficas**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Químico

AUTOR

Midwar Jimmy ALEMÁN VÁSQUEZ

ASESOR

Dr. Neptali ALE BORJA

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Alemán, M. (2026). *Implementación de la norma NTP 712.107: determinación de benceno en aire ambiental por GC-FID y establecimiento de condiciones cromatográficas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Midwar Jimmy Alemán Vásquez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71414101
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-8980-5618
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Neptali Ale Borja
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06643157
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2813-4126
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Elizabeth Norma Espinosa Descalzo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07940350
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Edgar Orlando Nagles Vidal
Tipo de documento	Carné de extranjería emitido en Perú
Número de documento de identidad	CO / 000731661
Datos de investigación	
Línea de investigación	Instrumental
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Lima, Perú
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2025

URL de disciplinas OCDE	Química analítica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.04.07
-------------------------	---



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "V Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-II", bajo la Presidencia de la **Mg. Elizabeth Norma Espinosa Descalzo; Dr. Edgar Orlando Nagles Vidal (Miembro)** y el **Dr. Neptali Ale Borja (Asesor)**; habiendo presentado para tal efecto la **TESIS** titulada **"Implementación de la norma NTP 712.107: determinación de benceno en aire ambiental por GC-FID y establecimiento de condiciones cromatográficas"** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por el bachiller en Química: **ALEMÁN VÁSQUEZ, MIDWAR JIMMY**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **QUÍMICO**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

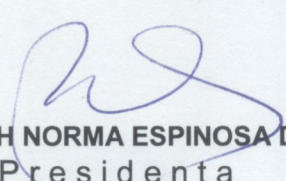
.....
OISCINOVE

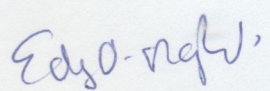
(LETRAS)

.....
19

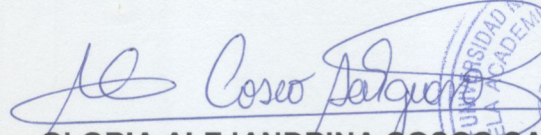
(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 10 de enero del 2026.


Mg. ELIZABETH NORMA ESPINOSA DESCALZO
Presidenta


Dr. EDGAR ORLANDO NAGLES VIDAL
Miembro


DR. NEPTALI ALE BORJA
Asesor


Dra. GLORIA ALEJANDRINA COSCO SALGUERO
Directora de la E.P. de Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Neptali Ale Borja** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N° 00002-2026-EPQ-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es **“Implementación de la norma NTP 712.107: determinación de benceno en aire ambiental por GC-FID y establecimiento de condiciones cromatográficas”**, presentado por el bachiller **Alemán Vásquez, Midwar Jimmy** para optar el título profesional de QUÍMICO.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 5% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 21 de enero de 2026.

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: NEPTALI ALE BORJA

DNI 06643157

Contenido	
RESUMEN	5
I. Introducción	6
1.1. Planteamiento del Problema	7
1.2. Objetivos	7
<i>1.2.1. General</i>	7
<i>1.2.2. Específicos</i>	8
1.3. Importancia y Alcance de la Investigación	8
1.4. Limitaciones de la Investigación	9
II. Revisión de Literatura	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Marco Teórico	12
<i>2.2.1. Benceno</i>	12
<i>2.2.2. Cromatografía de Gases</i>	12
<i>2.2.3. Cuantificación por estándar interno</i>	19
2.3. Definición de Términos	20
III. Hipótesis y Variables	21
3.1. Hipótesis	21
3.2. Variables	21
<i>3.2.1. Variable independiente</i>	21
<i>3.2.2. Variable dependiente</i>	21
3.3. Operacionalización de Variables	22
IV. Materiales y Métodos	23
4.1. Área de Estudio	23
4.2. Diseño de Investigación	23
4.3. Muestra	23
4.4. Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información	23
<i>4.4.1. Equipos, Instrumentos y Consumibles</i>	23
<i>4.4.2. Materiales de Vidrio</i>	24
<i>4.4.3. Reactivos y Estándares</i>	24
<i>4.4.4. Metodología</i>	24
4.5. Herramientas de Análisis de Datos y Estadísticos	26

4.5.1. <i>Determinación del rango lineal y dinámico lineal del método</i>	26
4.5.2. <i>Determinación del límite de detección y cuantificación</i>	27
4.5.3. <i>Determinación del coeficiente de desorción, deriva del detector, reproducibilidad de inyección y selectividad del método cromatográfico</i>	28
4.5.4. <i>Influencia del analista, determinación de la precisión, veracidad, incertidumbre del análisis de benceno mediante el método propuesto.</i>	30
V. Resultados y Discusión	31
5.1. Condiciones Cromatográficas	31
5.2. Rango Lineal y Dinámico Lineal	34
5.2.1. <i>Rango lineal</i>	34
5.2.2. <i>Rango dinámico lineal.</i>	41
5.3. Determinación del Límite de Detección y Cuantificación	42
5.4. Determinación del Coeficiente de Desorción, Deriva del Detector, Reproducibilidad de Inyección y Selectividad del Método Cromatográfico	45
5.4.1. <i>Coeficiente de desorción</i>	45
5.4.2. <i>Deriva del detector</i>	47
5.4.3. <i>Reproducibilidad de inyección</i>	48
5.4.4. <i>Selectividad del método cromatográfico</i>	49
5.5. Influencia del Analista, Determinación de la Precisión, Veracidad e Incertidumbre en el Análisis de Benceno	53
5.5.1. <i>Precisión e Influencia del Analista</i>	53
5.5.2. <i>Evaluación de la Veracidad</i>	63
5.5.3. <i>Evaluación de la incertidumbre.</i>	69
VI. Conclusiones	78
Referencias Bibliográficas	79
Anexos	83

RESUMEN

La presente tesis versa sobre la implementación de la norma NTP 712.107:2020, Determinación de benceno en aire ambiental y el establecimiento de las condiciones de un sistema de cromatografía GC-FID. Primero, se establecieron las condiciones óptimas del sistema cromatográfico: Temperatura de inyección 200°C, rampa del horno: 30°C por 2 min @30°C/min hasta 180°C por 1 min, presión del gas carrier 18psi, volumen de inyección igual a 4µL, 5% difenil - 95% dimetil – polisiloxano (DB-5ms) como fase estacionaria, dimensiones de la columna en 30 m · 0.25 mm · 0.25 µm, flujo de aire e hidrógeno en el detector igual a 450 mL y 45 mL, respectivamente y 300°C como temperatura del detector. Luego, se procedió con la definición del rango lineal y dinámico lineal del método cromatográfico optimizado: 0,11 µg/m³ – 2,00 µg/m³ y 4,00 µg/m³ – 20 µg/m³, respectivamente. Después, como lo indica la norma, se evaluaron parámetros de desempeño tales como coeficiente de desorción (D=1,032), deriva del detector (<5%), reproducibilidad de inyección (RSD<2%) y selectividad del método cromatográfico, siendo que para este último parámetro no se encontraron interferentes. Además, se establecieron los límites de detección y cuantificación del método, $LDM = 0.036 \mu g/m^3$ y $LDM = 0.108 \mu g/m^3$. Finalmente, se determinó que los resultados son preciso y veraces, en consecuencia, exactos; la incertidumbre relativa para el nivel medio de concentración es ±13% y la fuente de mayor contribución es el muestreo. El método desarrollado permite alcanzar los límites de benceno estipulados en DS N°003-2017-MINAM.

Palabras clave

Cromatografía de gases; detector de ionización de llama; benceno; optimización; NTP 712.107 2020.

I. Introducción

El desarrollo industrial, comercial y del transporte está ligado a un incremento en la cantidad de contaminantes orgánicos expelidos al medio ambiente. De hecho, al ser el parque automotor y las actividades industriales los principales emisores, una fracción considerable de este tipo de contaminantes es descargado a la atmósfera urbana (Healy et al., 2019). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (WHO), la contaminación del aire es uno de los principales riesgos ambientales para la salud. De esa manera, “en 2019, 99% de la población mundial vivía en lugares donde se sobrepasaban los niveles de calidad del aire” (WHO, 2024).

En Perú, el incremento de la actividad vehicular y productiva se traduce en una mayor concentración de contaminantes atmosféricos (Moretti et al., 2023; Dongo-Cateriano. Malca-Casavilca, 2022); y en Lima, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el parque automotor contribuye hasta con 58% sobre esta polución (2023). En consideración a lo anterior, es necesario establecer parámetros a través de los cuales monitorear la calidad del aire. En ese sentido, el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), aprobó el “DS N°003-2017-MINAM”; donde se observa que, entre los diez indicadores (y como único compuesto orgánico volátil), se encuentra el benceno cuyo límite de calidad es $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MINAM, 2017).

En ese sentido, el método de muestreo y análisis instrumental NTP 712.107:2020, propuesto por el Instituto Nacional de Calidad del Perú (INACAL), está destinado a la determinación de benceno en la matriz aire ambiental mediante cromatografía GC-FID. Esta norma, aunque provee alcances importantes relacionados con el procedimiento y desempeño del método, no especifica condiciones del sistema cromatográfico. Ante ello, es imprescindible que un laboratorio de ensayo desarrolle las condiciones instrumentales adecuadas para generar resultados exactos (precisos y veraces), con límites de detección y cuantificación por debajo del límite gubernamental, un rango lineal pertinente e incertidumbre trazable.

1.1. Planteamiento del Problema

El benceno es un hidrocarburo aromático volátil altamente carcinógeno. Este contaminante orgánico del aire procede principalmente del parque automotor y las actividades industriales. Dado el peligro que representa para la salud y el carácter ubicuo del benceno en las ciudades, es necesario establecer métodos que determinen con veracidad y precisión su concentración en aire ambiental. Uno de los métodos destinados a normalizar la cuantificación de benceno en la matriz aérea es el NTP 712.107: 2020, publicado por el INACAL. En ese sentido, si bien esta norma provee ciertos parámetros de incertidumbre y requisitos mínimos a evaluar, no describe las condiciones óptimas (split ratio, programación de temperatura, flujo del gas carrier, etc) del sistema cromatográfico por aplicar en el procedimiento analítico. De no establecerse tales parámetros cabría la posibilidad de desarrollar un método instrumental con parámetros de incertidumbre inadecuados (altos límites de cuantificación y detección, elevada dispersión y limitada veracidad); además, el tiempo empleado en la programación de un método instrumental podría resultar en pérdidas económicas para un laboratorio de ensayo ambiental.

En consideración a lo anterior, se formula el siguiente problema de investigación: ¿Cuáles serán los valores de los parámetros de desempeño del método NTP 712.107:2020, determinación de benceno en aire ambiental, tras optimizar las condiciones del sistema cromatográfico GC-FID (split ratio, temperatura del puerto de inyección y del horno, presión del gas carrier)?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- Implementar la norma NTP 712.107, determinación de benceno en aire ambiental mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de llama y optimizar las condiciones del sistema cromatográfico.

1.2.2. Específicos

1. Establecer las condiciones del sistema cromatográfico para el análisis de benceno
2. Definir el rango lineal y dinámico lineal del método.
3. Determinar el coeficiente de desorción, deriva del detector, reproducibilidad de inyección y selectividad del método cromatográfico.
4. Determinar el límite de detección y cuantificación del método.
5. Determinar la precisión, veracidad e incertidumbre del análisis de benceno para el método implementado en el presente trabajo.

1.3. Importancia y Alcance de la Investigación

El presente estudio es necesario para desarrollar un método instrumental confiable destinado a la determinación de benceno en aire ambiental. En ese sentido, es reduccionista limitar la norma técnica peruana NTP 712.107:2020 a una verificación técnica del método; esta debe ser abordada como un serio problema de investigación y aplicación instrumental. Las condiciones instrumentales empleadas han de ser óptimas para así generar resultados veraces y de baja incertidumbre, capaces de cumplir con las regulaciones ambientales destinadas a salvaguardar la salud pública. Además, la inversión de tiempo y dinero en el desarrollo de un método cromatográfico adecuado podría resultar en pérdidas económicas para un laboratorio de ensayo. Por otro lado, en la Facultad de Química e Ingeniería Química, el número de investigaciones con un tema similar al mencionado en el presente plan de tesis es limitado. De esta manera, el presente proyecto podría ser un precedente académico valioso para futuras investigaciones en cromatografía y química instrumental. En consecuencia, la presente investigación representa una contribución de carácter social, técnica, económica y académica.

1.4. Limitaciones de la Investigación

Dado que se usaron las instalaciones de una empresa privada, se obtuvo una carta de autorización para el tratamiento de la información generada en TYP SA Laboratorios, siendo limitado el acceso a los datos de monitoreo. Asimismo, los desechos de benceno generados durante el desarrollo de la parte experimental fueron almacenados como residuos peligrosos. Estos serán posteriormente eliminados mediante un tercero. De esa manera, se minimiza el impacto medioambiental de las actividades realizadas durante la ejecución de esta tesis.

II. Revisión de Literatura

2.1. Antecedentes

En el territorio nacional, con el fin de estandarizar los criterios para el monitoreo del aire, el MINAM aprobó, mediante el Decreto Supremo N°010-2019-MINAM, el *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Ambiental del Aire* que detalla métodos de referencia y equivalentes para el análisis de benceno (MINAM, 2019). De esta manera, el primer método citado por el protocolo nacional es “*EN 14662-3:2015. Ambient Air quality – Standard Method for the Measurement of Benzene Concentrations – Part 3: Automated Pumped Sampling with in Situ Gas Chromatography*”. Este se fundamenta en la adsorción de benceno en carbón activado (mediante el bombeo continuo de aire); tras lo cual, a través de desorción térmica, se libera el compuesto aromático hacia un cromatógrafo in situ (MINAM, 2019). Entre las principales ventajas del método se encuentra la obtención de resultados en tiempo real, elimina la incertidumbre relacionada al transporte de muestras, reduce los costos a largo plazo y ofrece la posibilidad de automatizar el proceso de muestreo. Asimismo, en la literatura se cita el desarrollo de una gran variedad de cromatógrafos portátiles destinados al análisis de los compuestos orgánicos volátiles (VOC's) en aire. Tal es el caso del trabajo desarrollado por Bae et al. (2012), quienes desarrollaron un micro-FID con límites de detección de hasta 0,1 ppm. No obstante, la principal desventaja de implementar el método *EN 14662-3:2015*, radica en la baja capacidad de resolución y selectividad, menor sensibilidad, alta deriva del instrumento, limitada robustez e inversión inicial elevada (Spinelle et al., 2017). En consideración a lo anterior, el protocolo nacional detalla dos métodos equivalentes: cromatografía de gases manual activa y por difusión pasiva. Este último se basa en la *NTP 900.036:2017*, que a su vez procede de la *EN 13528-1:2002*; siendo la norma europea más estricta en cuanto a los requisitos específicos del método, así como respecto al uso y mantenimiento preventivo de los muestreadores (MINAM, 2019). A pesar de ello, los muestreadores pasivos, ya

sean automáticos o manuales, solo son aplicables a períodos de muestreo semanales o mensuales; además, la incertidumbre asociada a este método depende en gran medida de los factores ambientales (Healy et al., 2019). En cuanto al método manual, el protocolo establece como métodos de referencia a EN 14662-1:2005 y EN 14662-2:2005. Donde la parte uno de la norma europea comprende los lineamientos para la recolección, durante 24 h, de benceno en un medio adsorbente; y la parte dos, versa sobre la desorción térmica o química del analito mediante agitación con disulfuro de carbono, para posteriormente ser analizado por un sistema GC-FID o GC-PID (MINAM, 2019). De esa manera, este método citado es considerablemente más robusto que los anteriores y permite obtener límites de detección considerablemente más bajos, motivo por el cual fue adoptado por algunos laboratorios de ensayo en el Perú (INACAL, 2025). No obstante, el protocolo de 2019 indica que estos métodos de referencia son válidos mientras no exista una Norma Técnica Peruana. Por ende, al publicarse la NTP 712.107:2020, cuyo procedimiento de muestreo y análisis instrumental es similar a la EN 14662-1:2005 y EN 14662-2:2005, surge la necesidad de implementar un método cromatográfico que cumpla con los nuevos parámetros de incertidumbre establecidos por la NTP 712.107:2020. Esta nueva norma permite estimar la concentración benceno en un rango de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y, entre otros aspectos, no se limita a la desorción con CS_2 , ni al uso de un detector de ionización de llama, siempre y cuando se cumplan con los parámetros de incertidumbre mínimos (INACAL, 2020).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Benceno

El benceno, C_6H_6 , es el más simple de los hidrocarburos aromáticos. Su punto de ebullición es aproximadamente $80^\circ C$ a 1 atm y a temperatura ambiente su densidad es de 874 kg/m^3 (Adamkiewicz & World Health Organization, 2010); es quizás la molécula más representativa de los compuestos orgánicos volátiles. A pesar de su estructura sencilla, son numerosos los riesgos que supone el benceno para la salud humana. Este hidrocarburo aromático ataca a los glóbulos rojos y células de la médula ósea generando leucemia (Loomis et al., 2017). Asimismo, causa complicaciones cardiovasculares (Abplanalp et al., 2017), resistencia a la insulina (Guo et al., 2021), hepáticas, problemas nerviosos, entre otras (D'Andrea & Reddy, 2018).

2.2.2. Cromatografía de Gases

La cromatografía es uno de los métodos de separación más utilizados para aislar, identificar y determinar los componentes químicos presentes en una solución o mezcla. Este método se basa en el equilibrio de distribución entre una fase móvil y otra estacionaria (Skoog et al., 2014); de tal manera que los compuestos presentes en una mezcla eluyen con la fase móvil y son separados por la diferencia entre las velocidades de migración a través de la fase estacionaria. En cromatografía gaseosa, la muestra es vaporizada y la fase móvil es, como su nombre lo indica, un gas, mientras que la fase estacionaria puede ser tanto un sólido como un líquido unido a la superficie interna de la columna (esta última de mayor aplicación en la ciencia).

A nivel molecular, las separaciones cromatográficas tienen lugar en los denominados platos teóricos. Mientras mayor sea el número de platos teóricos, mejor será la eficiencia de separación en una columna. El número de platos teóricos (N) de una columna puede relacionarse con la longitud de esta (L) y la altura de cada plato (H) mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{L}{H}$$

Asimismo, el número de platos teóricos puede definirse a partir del tiempo de retención (t_r) y el ancho (W) de un pico en un cromatograma:

$$N = 16 \left(\frac{t_r}{W} \right)^2 ; \text{ si se considera } W \text{ a la base del pico}$$

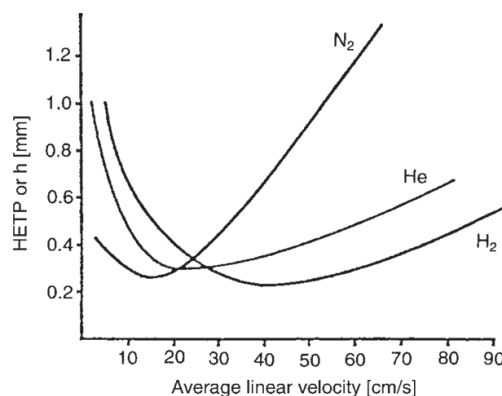
Por otro lado, un cromatógrafo de gases (GC) presenta los siguientes componentes:

a) Línea de gas transportador

El gas transportador, también denominado gas carrier, proviene de un tanque a presión y ha de ser inerte. Para la mayoría de las aplicaciones, cumplen con este requisito el helio, nitrógeno e hidrógeno. Si bien las curvas de Van Deemter indican que el hidrógeno permite obtener una menor altura de plato (y, por consiguiente, una mejor eficiencia de separación para una longitud de columna dada), los peligros asociados al uso de hidrógeno hacen del helio el gas carrier de uso más común (Hübschmann, 2009).

Figura 1.

Curvas de Van Deemter (altura de plato teórico vs velocidad de flujo para He, H y N).



Nota. Hübschmann (2009).

b) *Sistema de inyección*

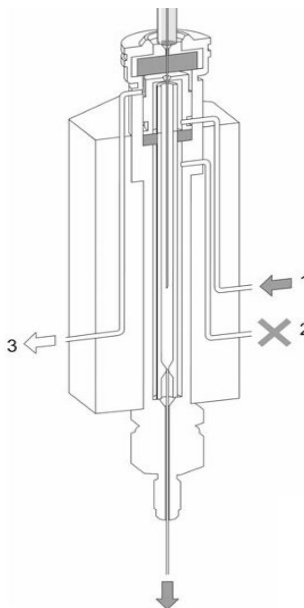
El sistema de inyección emplea un microjeringa para introducir la muestra al sistema cromatográfico. Aunque existe una gran variedad de configuraciones en el puerto de inyección, el modo split-splitless es el más empleado (Hübschmann, 2009).

En el modo split, tras la vaporización de la muestra líquida, el flujo del gas carrier en el puerto de inyección es dividido de la siguiente manera: una fracción ingresa a la columna, otra es purgada del sistema. Entonces, *split ratio* es un término que se refiere a la relación entre el flujo de entrada y el de purga. Ello se traduce en la cantidad de muestra que ingresa al sistema respecto a la cantidad de muestra que es evacuada. De esa manera, “1:10 split ratio” implica que el flujo de entrada es 1 cm/s mientras que el de purga ha de ser 10 cm/s; explicado de otra manera, por cada parte de muestra que ingresa a la columna, 10 partes son evacuadas.

Por otro lado, el modo splitless implica la transferencia total de muestra desde el puerto a la columna cromatográfica. La elección entre un modo de inyección u otro dependerá de variables tales como concentración de muestra, sensibilidad del detector o el límite de detección y cuantificación que se desee alcanzar. De cualquier manera, es importante que la cantidad de muestra introducida no sobrepase la capacidad de la columna ni de la cámara de vaporización.

Figura 2

Esquema del puerto de inyección en un sistema GC



Nota. Hübschmann (2009).

c) Columna

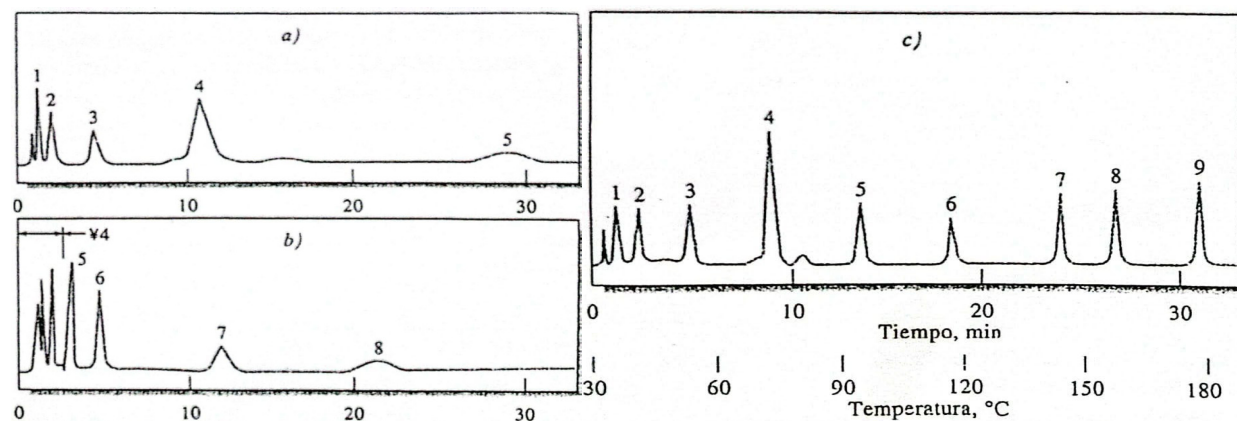
En la columna ocurre el principal fenómeno de la cromatografía: la separación de componentes. Pueden ser de dos tipos: empacadas o capilares; siendo esta última la de mayor aplicación en todos los campos de investigación y ensayo. Asimismo, las columnas capilares pueden subdividirse en SCOT (soporte recubierto) y WCOT (pared recubierta). En las columnas SCOT, la fase estacionaria líquida se encuentra absorbida por un material sólido (como tierra de diatomeas) que recubre la totalidad del diámetro interno; por su parte, las WCOT tienen la pared interna directamente recubierta por la película de fase estacionaria (Skoog et al., 2014). Si bien el primer tipo de columna capilar posee mayor capacidad de carga, posee una menor eficiencia que la WCOT.

Una columna cromatográfica tiene las siguientes características (Hübschmann, 2009; Skoog et al., 2014):

- capacidad de muestra: se define como la máxima de analito que puede ser introducido en una columna. Depende del diámetro interno, el espesor y composición de película.
- diámetro interno: generalmente, para un espesor y longitud de columna dados, un menor diámetro interno implica una mejor eficiencia de columna y resolución cromatográfica. Asimismo, las columnas pueden clasificarse de acuerdo con su diámetro interno en microbore (0,1 mm), narrowbore (0,18 mm- 0,25 mm), estándar (0,32 mm) y megabore (0,53 mm).
- espesor de película: afecta principalmente la capacidad de muestra y los tiempos de retención de los analitos. Mayores grosores de película proporcionan una mayor interacción intermolecular entre los analitos y la fase estacionaria, por consiguiente, un mayor tiempo para la separación de los componentes. De esta manera, el espesor de fase estacionaria se relaciona con la volatilidad del analito. Entonces, es posible afirmar que, para analitos volátiles, se requiere un mayor tiempo de interacción y, consecuentemente, una fase estacionaria más gruesa; para analitos semi volátiles, películas de menor espesor.
- longitud de columna: la longitud de columna es directamente proporcional al tiempo de análisis. Según Hübschmann (2009), duplicar la longitud de columna solo mejora la resolución en un factor de 1,4, mientras que el tiempo de análisis también es duplicado. Por ello, para mejorar la eficiencia de separación es recomendable emplear rampas de temperatura, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 3

Efecto de la programación de temperatura sobre la resolución de picos. a) Isotérmico a 50°C, b) Isotérmico a 150°C, c) Programada 30°C – 180°C.

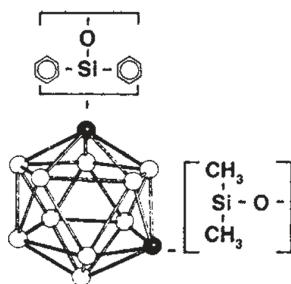


Nota. Skoog et al. (2014).

- composición de la fase estacionaria: la composición y, consecuentemente, polaridad a elegir dependerá de la naturaleza de los analitos del proyecto. La fase estacionaria 5% difenil - 95% dimetil – polisiloxano (comercialmente disponible como DB-5, HP-5, ZB-5, etc.) es la de mayor aplicación en el análisis medioambiental.

Figura 4

Representación de la fase estacionaria 5% difenil - 95% dimetil – polisiloxano



Nota. Hübschmann (2009).

Finalmente, la resolución de una columna cromatográfica se expresa de la siguiente manera:

$$Rs = \frac{2[(t_r)_B - (t_r)_A]}{W_B + W_A}$$

Donde Rs es resolución, tr son los tiempos de retención de un compuesto A y B, mientras que W es ancho de pico.

d) Detector

El detector es el componente que genera una respuesta eléctrica a partir de su interacción con el analito. Este detector, idealmente, debe proveer una respuesta estable y reproducible, lineal en un amplio rango y sensible.

En el presente trabajo de investigación, se empleó el detector FID (el cual cumple con las características mencionadas en el párrafo anterior). El principio de este detector se basa en la ionización del analito en una llama de hidrógeno. De esta manera, el compuesto orgánico, en primer lugar, se piroliza y es inmediatamente oxidado por radicales libres de oxígeno e hidroxilo. Entonces, los electrones generados en la llama son recibidos por un electrodo (colector) el cual genera una respuesta eléctrica. A continuación, se muestran las reacciones que tienen lugar en el FID.

Figura 5

Reacciones que acontecen en el FID

Pyrolysis:	$\text{CH}_3^\circ, \text{CH}_2^\circ, \text{CH}^\circ, \text{C}^\circ$
Excited radicals:	$\text{O}_2^*, \text{OH}^*$
Ionisation:	$\text{CH}_2^\circ + \text{OH}^* \rightarrow \text{CH}_3\text{O}^+ + \text{e}^-$ $\text{CH}^\circ + \text{OH}^* \rightarrow \text{CH}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$ $\text{CH}^\circ + \text{O}_2^* \rightarrow \text{CHO}_2^+ + \text{e}^-$ $\text{C}^\circ + \text{OH}^* \rightarrow \text{CHO}^+ + \text{e}^-$

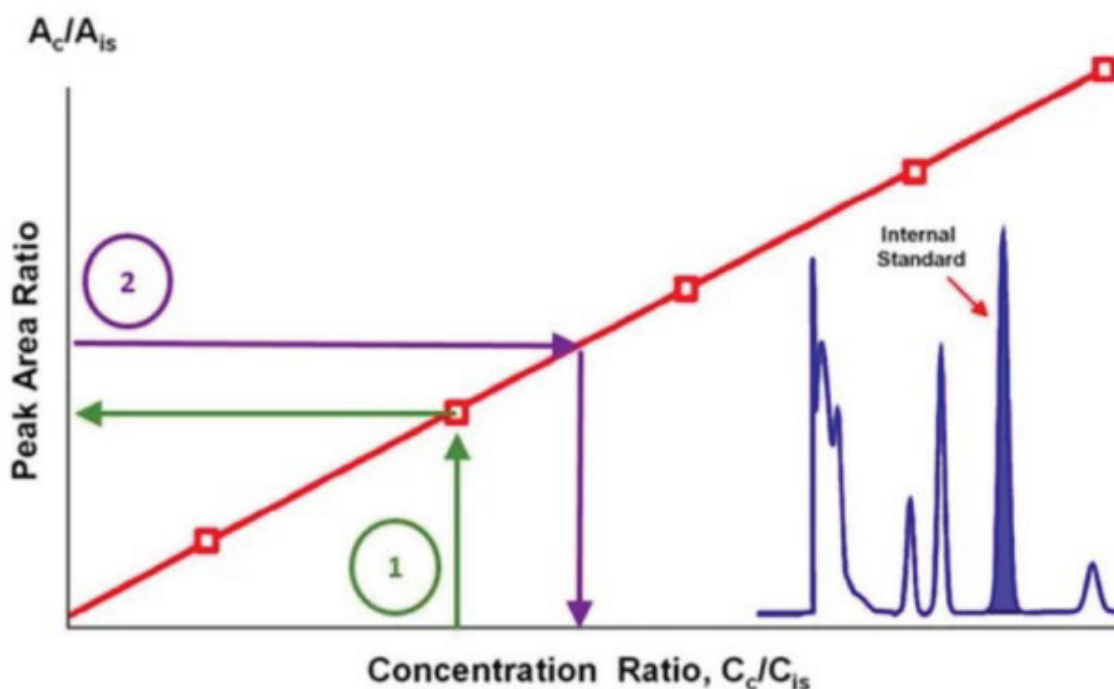
Nota. Hübschmann (2009).

2.2.3. Cuantificación por estándar interno

La cuantificación por estándar interno se efectúa para minimizar el efecto de los errores sistemáticos y aleatorios, así como para reducir el impacto de pequeñas variaciones en las condiciones del método cromatográfico principalmente volumétricos ligados a la inyección de muestra (Skoog et al., 2014). Para ello, se le agrega la misma concentración de ISTD a cada punto de calibración de la curva, así como a las muestras.

Figura 6

Representación gráfica de cuantificación por estándar interno



Nota. Recuperado de Dolan (2024).

De la figura anterior se evidencia que, al integrar el cromatograma se determinan las áreas del pico del analito y estándar interno; de esa manera, tanto la razón de áreas como de concentraciones se emplea para determinar la concentración de analito en una muestra problema.

2.3. Definición de Términos

La siguiente información ha sido adaptada de Cantwell (2025) e INMETRO (2020).

a. Selectividad:

Grado en el que un método puede ser empleado para determinar un analito específico que se encuentra en una matriz compleja, sin la interferencia de otros compuestos de propiedades o comportamientos similares.

b. Calibración:

Proceso mediante el cual, a determinadas condiciones, se establece una relación entre los valores de unos estándares de medición (cuya incertidumbre es trazable a un material de referencia certificado) y unas respuestas con sus respectivas incertidumbres; posteriormente, se emplea esta relación para obtener un resultado de medición a partir de una respuesta.

c. Material de referencia certificado:

Estándar suficientemente homogéneo y estable cuyo uso en actividades de medición es adecuado; además, cuenta con documentación validada por un organismo de acreditación donde se detallan las propiedades, incertidumbre y trazabilidad del producto.

d. Trazabilidad metrológica:

Propiedad de un resultado de medición según la cual este se relaciona a una referencia internacional mediante una cadena ininterrumpida de calibraciones (cada una aporta sobre la incertidumbre de medición).

e. Mensurando:

Valor que se desea medir.

f. Rango de trabajo:

Intervalo en el que se demostró que un método genera resultados con un nivel apropiado de precisión, veracidad y linealidad.

g. *Veracidad:*

Grado de concordancia entre el valor medio de un conjunto y un valor de referencia.

h. *Precisión:*

Grado de concordancia entre los resultados de un método bajo condiciones determinadas.

i. *Límite de detección del método:*

Menor cantidad de analito detectada y distinta de cero al 95% o 99% de confianza.

j. *Límite de cuantificación del método:*

Concentración más baja donde el analito es determinado bajo condiciones aceptables de veracidad y precisión.

k. *Incertidumbre:*

Caracteriza el grado de dispersión de los valores que pueden ser relacionados con el mensurando.

III. Hipótesis y Variables

3.1. Hipótesis

- La optimización de los parámetros cromatográficos del sistema GC-FID empleado en la determinación de benceno según el método NTP 712.107 2020 influye significativamente sobre los límites de detección, cuantificación, precisión, veracidad e incertidumbre.

3.2. Variables

3.2.1. Variable independiente

Condiciones cromatográficas del sistema GC-FID

Parámetros instrumentales que influyen sobre los parámetros de desempeño del método (split-ratio, temperaturas, presión del gas carrier).

3.2.2. Variable dependiente

Parámetros de desempeño del método implementado

Fiabilidad del método implementado, el cual es verificado con la NTP 712.107:2020.

3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES		INDICADORES
INDEPENDIENTE	Condiciones cromatográficas del sistema GC-FID	Split-ratio
		Temperatura del puerto de inyección y rampa del horno
		Flujo del gas carrier Helio
DEPENDIENTE	Parámetros de desempeño del método implementado	LDM Concentración más baja a la que se puede identificar benceno
		LCM Concentración más baja a la que se determina benceno con exactitud
		Precisión Evaluada como repetibilidad
		Veracidad Evaluada mediante recuperación de una concentración conocida
		Incertidumbre Incertidumbre expandida determinada a partir de las incertidumbres combinadas
		Selectividad Capacidad de analizar solo benceno en una matriz compleja
		Rango lineal y dinámico lineal Rango de concentraciones donde el detector FID genera una respuesta proporcional-lineal
		Coefficiente de desorción Evaluar la eficacia con la cual es benceno es desorbido

Nota. Elaboración propia.

IV. Materiales y Métodos

4.1. Área de Estudio

Los ensayos se ejecutaron en Laboratorios Técnica y Proyectos S.A. Sucursal del Perú, ubicado en Calle Delta 269, Callao, Provincia Constitucional del Callao. El período de tiempo para la ejecución de las actividades experimentales comprendió de julio a setiembre de 2025.

4.2. Diseño de Investigación

Dado que el presente trabajo busca resolver un problema práctico específico, el tipo de investigación es aplicada. De esa manera, se establecieron las condiciones cromatográficas para efectuar la determinación de benceno en aire. El benceno contenido en los cartuchos de carbón activado fue desorbido con diclorometano, de acuerdo con los lineamientos de la NTP 712.107:2020. Finalmente, se determinó el coeficiente de desorción, deriva del detector, reproducibilidad de inyección y selectividad, así como la precisión, veracidad, límites de detección y cuantificación e incertidumbre del análisis de benceno.

4.3. Muestra

Para la evaluación de los parámetros de desempeño del método, se simularon muestras reales de estándar benceno (material de referencia certificado) mediante el fortificado líquido del analito en diclorometano, seguido de la adición de carbón activado hasta alcanzar el equilibrio de partición descrito en la NTP 712.107:2020 (30 minutos). En cuanto al análisis de incertidumbre, precisión y exactitud, se solicitó lo siguiente al área de monitoreo de Laboratorios TYPESA: dos analistas de campo muestrearon, mediante atmósferas patrón, 30 cartuchos con benceno a diferentes niveles de concentración ($0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.4. Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

4.4.1. Equipos, Instrumentos y Consumibles

- Cromatógrafo de gases con detector FID. Marca Perkin Elmer, modelo Clarus 500.

- Tubo ORBO con carbón activado (100 mg front – 50 mg back).
- Agitador Orbital.
- Liner de cuarzo para inyecciones de alto volumen.
- Columna cromatográfica Agilent DB-5MS. Dimensiones 30 m · 0.25 mm · 0.25 μ m.

4.4.2. Materiales de Vidrio

- Microjeringas de 10 μ L, 50 μ L, 250 μ L y 1000 μ L.
- Fiolas de 20 y 100 mL.
- Viales autosampler de 2 mL.

4.4.3. Reactivos y Estándares

- Estándar de benceno; proveedor: RESTEK; código: 36282; lote: A0218253.
- 2-fluorotolueno; proveedor: SIGMA-ALDRICH; código: F15323; lote: STBK9646.
- Diclorometano; proveedor: THERMO FISHER; código: D154; lote: 243574.
- Helio 5.0.
- Hidrógeno grado instrumental.
- Aire sintético grado instrumental.

4.4.4. Metodología

4.4.4.1. Definición de condiciones cromatográficas.

Se prepararon 6 soluciones de benceno a partir de un material de referencia certificado, en diclorometano grado GC. Para ello, en primer lugar, se tomó 1 μ L de 2-fluorotolueno (empleado como estándar interno) y se transfirió a un vial autosampler con 1 mL de CH₂Cl₂. A partir de esta solución, se prepararán 20 mL de 2-fluorotolueno 20 μ g/mL. Tras añadir la alícuota de estándar interno, y antes de enrasar, se añadieron 1,4 mL de solución intermedia 10 μ g/mL de benceno en CH₂Cl₂ (preparada al diluir 1 μ L de stock de benceno 10 000 mg/L en 1 mL de CH₂Cl₂) para

obtener 20 mL de benceno 0,70 µg/mL. Se siguió un procedimiento similar para preparar benceno 1,45 µg/mL. Estas soluciones fueron divididas en 15 viales autosampler de 1 mL para evaluar las condiciones cromatográficas óptimas en la determinación de benceno. Se variaron condiciones tales como: split ratio, temperatura del puerto de inyección, rampa de temperatura del horno, flujo y presión de gas carrier. Por otro lado, se controlaron variables como: volumen de inyección, tipo de fase estacionaria de columna, longitud de columna, diámetro interno de columna y grosor de película, así como flujo de aire, hidrógeno y temperatura en el detector. La siguiente tabla resume las condiciones cromatográficas tentativas.

Tabla 2

Variables evaluadas en el sistema GC-FID

Método lectura	Split-ratio	Temperatura del puerto inyección	Rampa de temperatura horno	Presión del gas carrier
M1	5	150	30°C por 2,5min @10°C/min hasta 180°C	15 psi
M2	10	150	30°C por 2,5min @10°C/min hasta 180°C	15 psi
M3	10	200	30°C por 2,5min @25°C/min hasta 180°C	15 psi
M4	10	200	30°C por 2 min @25°C/min hasta 180°C	15 psi
M5	10	200	30°C por 2 min @30°C/min hasta 180°C por 1 min	18 psi

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, las siguientes condiciones fueron constantes:

- Volumen de inyección: 4 μ L.
- Fase estacionaria: 5% difenil - 95% dimetil – polisiloxano (DB-5ms).
- Dimensiones de la columna: 30 m · 0.25 mm · 0.25 μ m.
- Flujo de aire e hidrógeno en el detector: 450 mL y 45 mL, respectivamente.
- Temperatura del detector: 300°C.

4.4.4.2. Procedimiento para extraer benceno de tubos ORBO con carbón activado.

El siguiente procedimiento es una adaptación del descrito en la NTP 712.107:2020. En primer lugar, se colocaron las secciones del adsorbente frontal (front) y posterior (back) del tubo ORBO en viales separados. Luego, se añadió 1 mL de solvente de extracción (diclorometano) con patrón interno de 2-fluorotolueno 20 μ g/mL. Finalmente, se tapa el vial y se agita a 150 rpm durante un periodo de 30 minutos.

4.5. Herramientas de Análisis de Datos y Estadísticos

4.5.1. Determinación del rango lineal y dinámico lineal del método

Se construyeron, mediante método volumétrico, 3 curvas de calibración en 3 días distintos. Para ello, se prepararon estándares de calibración de benceno a 0,11 μ g/mL, 0,35 μ g/mL, 0,70 μ g/mL, 1,45 μ g/mL, 1,80 μ g/mL y 2,00 μ g/mL en diclorometano con estándar interno a 20 μ g/mL. Se inyectó en el sistema GC-FID cada uno de los estándares de calibración y se obtuvo las respuestas del equipo. De esa manera, se procedió a demostrar si el coeficiente de determinación obtenido es mayor a 0.99, lo cual indicaría una relación significativa entre la concentración y área de pico; asimismo, se ejecutó un ANOVA de regresión para evaluar el grado de linealidad en la relación concentración vs área; finalmente, se evaluó si los residuos de regresión están libres de

tendencias, esto es, verificar mediante un análisis t-student que el promedio de los residuales sea cero.

Por otro lado, para determinar el rango dinámico lineal se prepararon puntos de calibración adicionales a 4 µg/mL, 8 µg/mL, 12 µg/mL, 16 µg/mL y 20 µg/mL. Luego se procedió a calcular la concentración experimental y el porcentaje de recuperación de cada estándar según la ecuación de la curva de ajuste obtenida. El criterio de aceptación para las recuperaciones fue de 80% hasta 120%.

4.5.2. Determinación del límite de detección y cuantificación

Se determinaron los límites de detección (LDM) y cuantificación (LCM) de la siguiente manera: se prepararon, 7 fortificaciones de blanco reactivo a 0,11 µg/mL nominales. De esa manera, se extrajeron los blancos y fortificados según el procedimiento previamente descrito. Asimismo, se preparó una curva de calibración y analizó todo el batch analítico. Tras efectuar un escrutinio de datos mediante la prueba de Grubbs, se calculó la desviación estándar y el promedio de las fortificaciones al punto más bajo de la curva. Entonces, el límite de detección y cuantificación del método se calculó según:

$$LDM = t_{6; 0.01} * s = 3.14 * s$$

$$LCM = 10 * s$$

Donde $t_{6; 0.01}$ representa el valor del estadístico t-Student al 99% de confianza con 6 grados de libertad y cuyo valor es 3,14.

Por su parte, la prueba de Grubbs se realiza de la siguiente manera:

- Para un valor máximo:

$$G_{max} = \frac{x_{max} - \bar{x}}{s}$$

- Para un valor mínimo:

$$G_{min} = \frac{\bar{x} - x_{min}}{s}$$

- El valor crítico de la prueba es:

$$G_{crit} = \frac{(n-1)t_{crit}}{\sqrt{n(n-2+t_{crit}^2)}}$$

Donde n es el número de datos, t_{crit} es el valor teórico t-Student con significancia de α/n ($\alpha=0.05$) y n-2 grados de libertad. Entonces, se verifica que no hay datos atípicos según el criterio siguiente: $G < G_{crit}$.

4.5.3. Determinación del coeficiente de desorción, deriva del detector, reproducibilidad de inyección y selectividad del método cromatográfico.

La metodología empleada para esta fase es una adaptación del procedimiento descrito en la norma NTP 712.107 2020, “MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Método de medida de la concentración de benceno en aire ambiental. Parte 2: Muestreo por aspiración seguido de desorción por disolvente y cromatografía de gases”.

La determinación del coeficiente de desorción se basó en el equilibrio de fase. De esa manera, se prepararon por triplicado, soluciones estándar de calibración a las mismas concentraciones que aquellas empleadas durante la definición del rango lineal. Luego, se colocaron cargas de 100 mg de carbón activado en 18 viales autosampler de 2 mL. Acto seguido, se añadió 1 mL de cada solución de calibración a diferentes viales con material adsorbente y se llevó a un agitador orbital a 150 rpm durante 30 min. Se mantuvo la temperatura del área de extracción a 23°C. Una vez cumplido el tiempo de agitación, se determinó la concentración final de benceno mediante GC-FID y se determinó la eficiencia de desorción según:

$$D = \frac{\text{Masa recuperada}}{\text{Masa aplicada}}$$

El coeficiente de desorción será empleado en la determinación de benceno en aire ambiental, de acuerdo con la ecuación:

$$C_m = \frac{m_m - m_{bl}}{DV_m} * FD$$

Donde C_m es la concentración de benceno en aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), m_m y m_{bl} son las masas de benceno presentes en muestra y en el tubo de blanco (μg), y V_m es el volumen de muestra a tomar en m^3 . Asimismo, la norma establece que, para un lote determinado de carbón activado, la eficiencia de desorción debe ser mayor a 0,90.

Para la determinación de la deriva del detector se enviaron dos curvas de calibración en un espacio de una semana y se calculó según:

$$\text{Deriva (\%)} = \frac{|\text{Respuesta inicial} - \text{Respuesta final}|}{\text{Respuesta inicial}} * 100$$

De esa manera, se evaluó el porcentaje de deriva en la respuesta del detector para cada punto de calibración; el criterio de aceptación según la norma NTP 712.107 2020 es $<5\%$.

La reproducibilidad de inyección fue evaluada mediante la inyección de cada nivel de calibración y sus inmediatos replicados. A partir de la data obtenida, se calculó la desviación estándar relativa para cada punto de ajuste:

$$RSD = \frac{S_i}{\text{promedio}_i} * 100$$

Donde s_i y promedio_i son la desviación estándar y el promedio de los replicados para cada nivel de calibración, respectivamente; el criterio de aceptación según la norma es $\text{RSD} < 2\%$.

Finalmente, la selectividad del método fue evaluada mediante el análisis de 3 soluciones:

- Un estándar de benceno a 25 $\mu\text{g/mL}$;
- Un estándar VOCs donde todos los analitos, incluyendo benceno, se encuentran a 25 $\mu\text{g/mL}$;
- Y del mismo estándar VOCs a 25 $\mu\text{g/mL}$ con una adición de 25 $\mu\text{g/mL}$ de benceno, obteniéndose 50 $\mu\text{g/mL}$ de benceno totales.

De esa manera, se calculó la resolución del pico de benceno respecto a potenciales interferentes y se evaluó la posibilidad de co-elución de otros compuestos al mismo tiempo de retención del benceno.

4.5.4. Influencia del analista, determinación de la precisión, veracidad, incertidumbre del análisis de benceno mediante el método propuesto.

Se generaron, cada semana, durante 3 semanas, 30 cartuchos de carbón activado a través de los cuales se muestreó, a flujo constante, atmósferas patrón de benceno. Se generaron así 3 grupos de 30 cartuchos a concentraciones de 0,11 $\mu\text{g/m}^3$, 1,45 $\mu\text{g/m}^3$ y 2,00 $\mu\text{g/m}^3$. Cada grupo de cartuchos fue subdividido en 3 conjuntos para proceder a ser extraídos por analistas diferentes. De esa manera, una vez extraídos 30 cartuchos de la misma concentración nominal, se procedió con la determinación cromatográfica de benceno. Los datos obtenidos fueron empleados para la determinación de la influencia del analista, veracidad, precisión e incertidumbre del método.

Para determinar si los resultados de los 3 analistas no presentan diferencias significativas entre sí, se ejecutó un ANOVA de un solo factor. Asimismo, se efectuó un escrutinio de datos atípicos por nivel mediante la prueba de Grubbs.

Tras demostrar que los resultados de cada analista no presentan diferencia significativa entre sí, se procedió a determinar la veracidad, la cual se evaluó mediante el estadístico t-Student.

En cuanto a la determinación de precisión, se efectuó una prueba de homogeneidad de varianzas.

Para el cálculo de la incertidumbre se consideraron todas las fuentes de contribución posibles: incertidumbre asociada a la lectura del equipo (curva de calibración y lectura de blancos), muestreo, factor de desorción, precisión (repetibilidad del analista) y el sesgo.

V. Resultados y Discusión

5.1. Condiciones Cromatográficas

La tabla 3 resume la información de los cromatogramas obtenidos para cada método tentativo.

Tabla 3

Elección de las condiciones cromatográficas para implementar el método NTP 712.107:2020

Método lectura	t_r benceno (min)	Ancho de pico	#platos teóricos	t_r 2-fluorotolueno (min)	Área de benceno
M1	---	---	---	---	---
M2	3,404	0,044	95762	5,484	9512,15
M3	3,215	0,040	103362	5,208	9814,54
M4	3,124	0,039	102662	4,752	10084,56
M5	2,968	0,035	115057	4,478	10358,84

Nota. Elaboración propia.

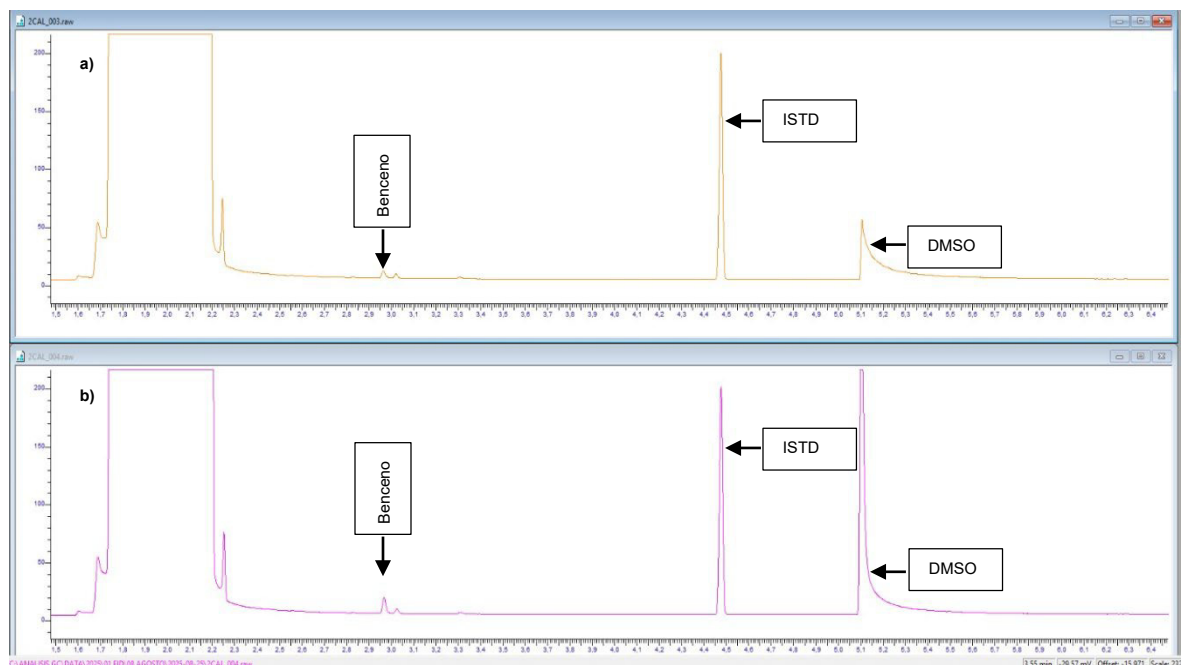
De los métodos de lectura anteriores, se eligió M5 dado los menores tiempos de análisis y mayor área de pico. Asimismo, se calculó el número de platos teóricos y se determinó que N es mayor cuando se emplean las condiciones M5 (N=167591). Por consiguiente, el método de lectura instrumental es el siguiente:

- Temperatura de inyección 200°C.
- Rampa del horno: 30°C por 2 min @30°C/min hasta 180°C por 1 min.
- Presión del gas carrier: 18psi.
- Volumen de inyección: 4µL.
- Fase estacionaria: 5% difenil - 95% dimetilpolisiloxano (DB-5ms).
- Dimensiones de la columna: 30 m · 0.25 mm · 0.25 um.
- Flujo de aire e hidrógeno en el detector: 450 mL y 45 mL, respectivamente.
- Temperatura del detector: 300°C.

A continuación, se muestra el cromatograma para benceno a 0,70 µg/mL y 1,45 µg/mL (preparado en una solución 20 mg/L de 2-fluorotolueno de diclorometano).

Figura 7

Se aprecia a) cromatograma con benceno 0,70 µg/mL y b) 1,45 µg/mL

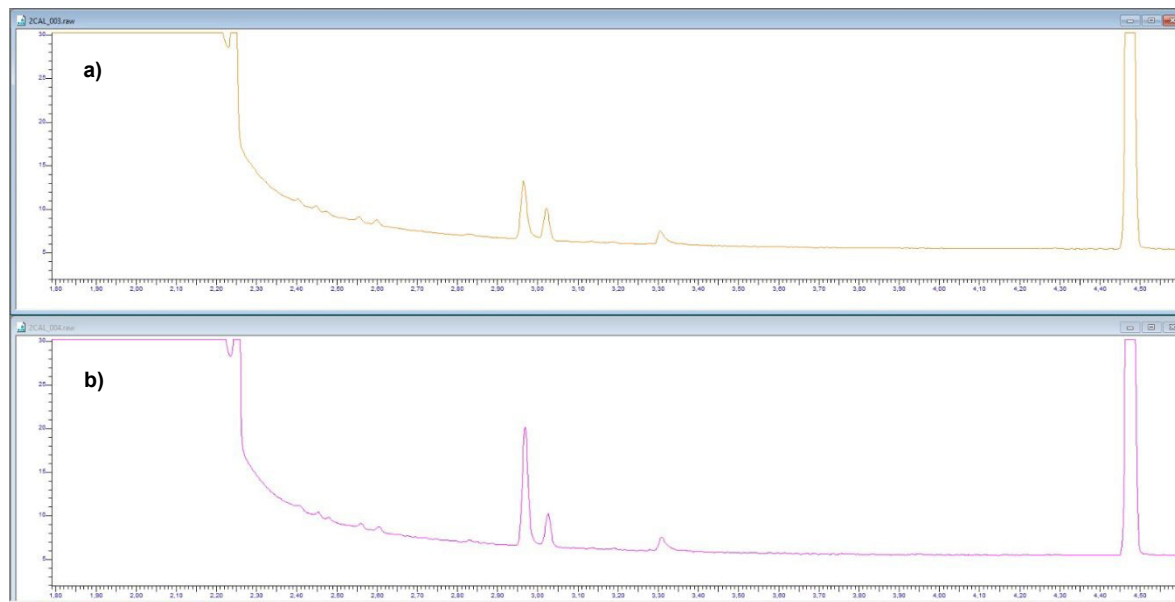


Nota. Elaboración propia.

El DMSO es el solvente en el cual se encuentra preparado el estándar comercial de benceno y dado su alto tiempo de retención (5,13 min) no representa una interferencia en el método analítico.

Figura 8

Amplificación del pico de benceno a) 0,70 µg/mL y b) 1,45 µg/mL



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se aprecia un pequeño pico con $t_r=3.02$ min que de forma similar está presente en los blancos de solvente; por ello, se considera una impureza del CH_2Cl_2 . Luego, se evalúa la resolución de columna, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Resolución de analito para la impureza del solvente

Analito A	tr A (min)	tr B (min)	Wa	Wb	Rs
Benceno	2,968	3,025	0,035	0,028	1,809

Nota. Elaboración propia.

De la tabla 4 se aprecia que $R_s > 1$ y la resolución es aceptable.

5.2. Rango Lineal y Dinámico Lineal

5.2.1. Rango lineal

En primer lugar, se muestran las 3 curvas generadas en días diferentes.

Tabla 6

Curvas de calibración elaboradas

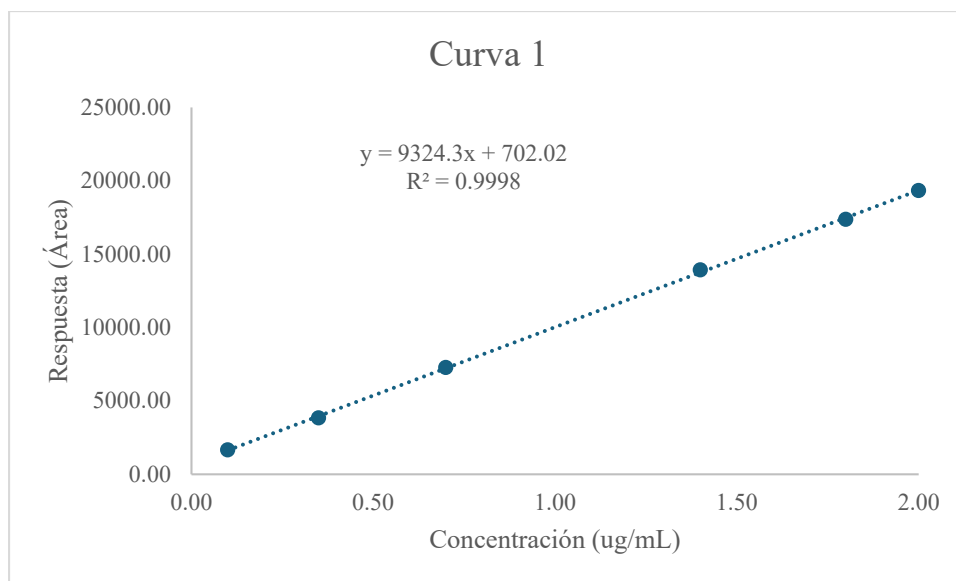
Concentración	Curva 1	Curva 2	Curva 3
($\mu\text{g/mL}$)	Respuesta	Respuesta	Respuesta
0,10	1663,54	1551,62	1511,12
0,35	3845,01	3823,93	3858,20
0,70	7277,71	7158,45	6630,72
1,40	13928,67	13841,75	13174,04
1,80	17369,52	17450,17	17268,85
2,00	19337,08	19498,25	19164,20

Nota. Elaboración propia.

En primer lugar, se procede a demostrar que la relación entre la concentración y respuesta (área) del equipo existe y es significativa. Para ello, se calcula el coeficiente de determinación para cada curva.

Figura 9

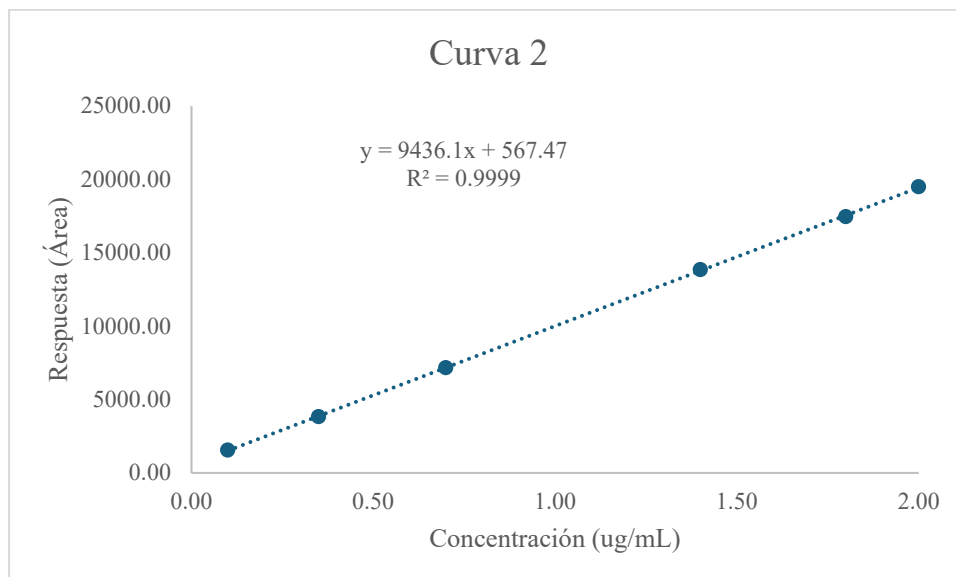
Curva N° 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 10

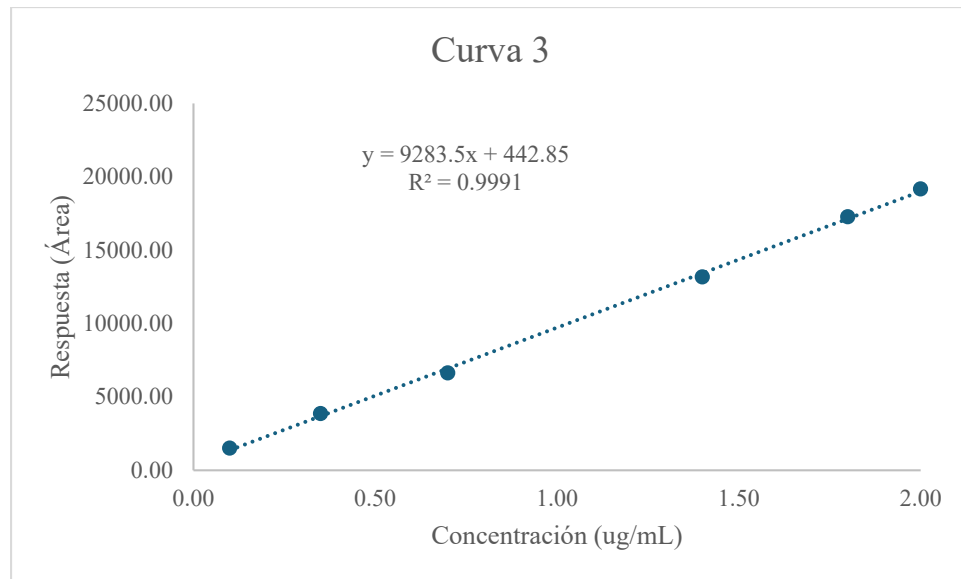
Curva N°2



Nota. Elaboración propia.

Figura 11

Curva N°3



Nota. Elaboración propia.

De las gráficas anteriores, se evidencia que para los tres casos el coeficiente de determinación es mayor a 0,99; entonces se puede afirmar que la relación entre la variable concentración y área es mayor, existe y es significativa.

A continuación, se realiza un ANOVA de regresión para verificar que la relación entre “x” e “y” sea lineal. Con aquel fin, se plantean las siguientes hipótesis nulas y alternas:

Ho: la relación entre las variables es no lineal ($p\text{-value} \geq 0.05$).

Ha: la relación entre las variables es lineal ($p\text{-value} < 0.05$).

Tabla 7*Análisis de Varianza para Curva 1.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	278683746	278683746	5663,61	0,000
Concentración (ug/mL)	1	278683746	278683746	5663,61	0,000
Error	4	196824	49206		
Total	5	278880570			

Nota. Elaborado con Minitab18.**Tabla 8***Análisis de Varianza para Curva 2.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	276102602	276102602	8504,02	0,000
Concentración (ug/mL)	1	276102602	276102602	8504,02	0,000
Error	4	129869	32467		
Total	5	276232471			

Nota. Elaborado con Minitab18.**Tabla 9***Análisis de Varianza para Curva 3.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	266956500	266956500	1665,21	0,000
Concentración (ug/mL)	1	266956500	266956500	1665,21	0,000
Error	4	641256	160314		
Total	5	267597756			

Nota. Elaborado con Minitab18.

De los ANOVA de regresión anteriores se aprecia que $p\text{-value}=0$; en consecuencia, se acepta la hipótesis alterna y la relación entre la concentración y el área es lineal.

Finalmente, se demuestra que los residuos de regresión están libres de tendencias. Para ello es necesario verificar que los promedios de los residuales, respecto a la ecuación de calibración, sean 0. Entonces, se comprobó la normalidad (Anderson Darling) de los residuales y se efectuó t-Student de una muestra al 95% de confianza.

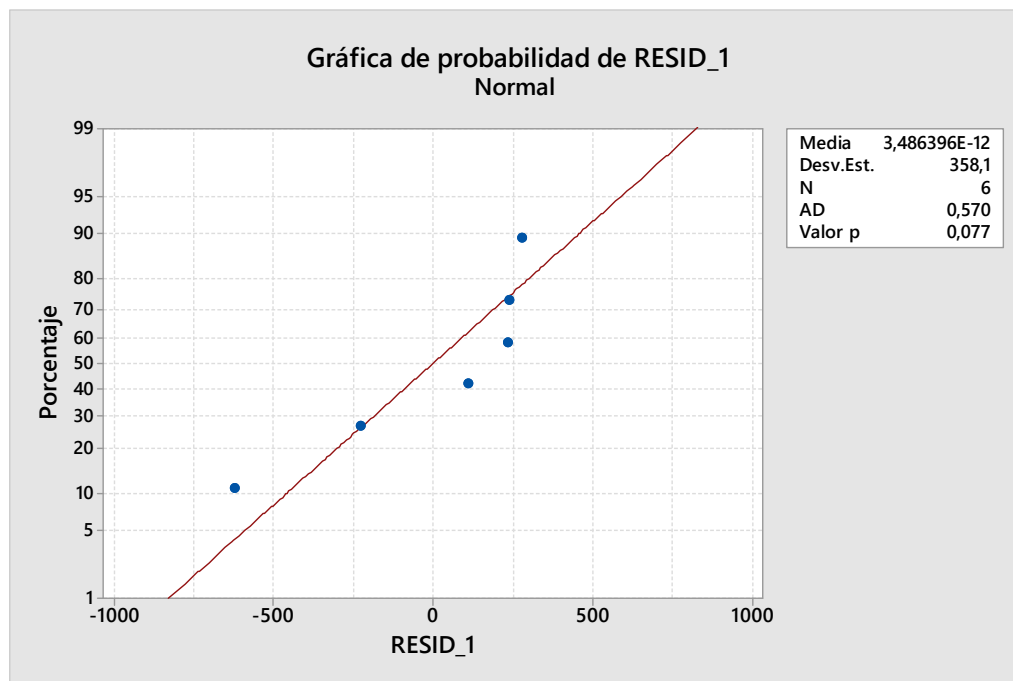
De esa manera, para el análisis de la normalidad de los residuales, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: los residuos son normales al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: los residuos siguen una distribución no paramétrica al 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$);

Figura 12

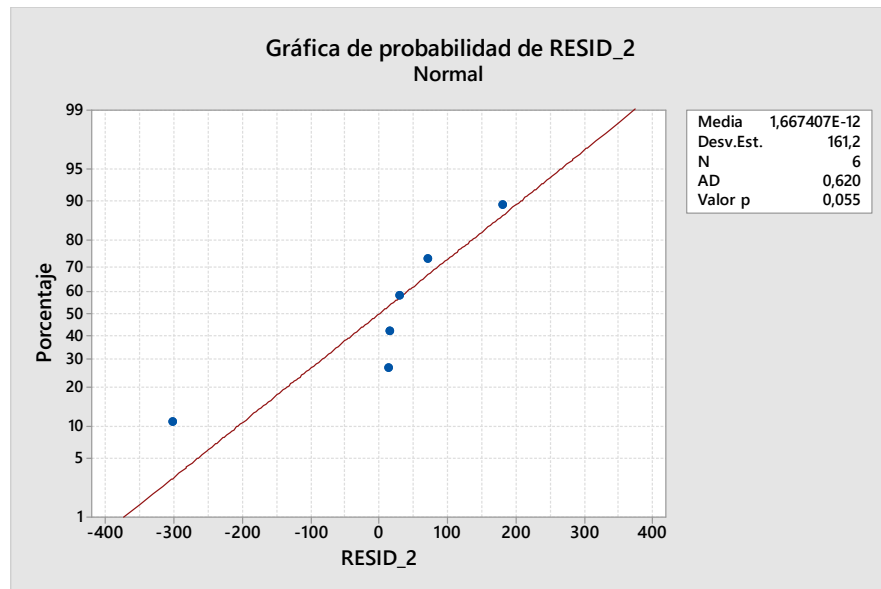
Gráfica de probabilidad de prueba de normalidad para los residuales de la curva 1.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Figura 13

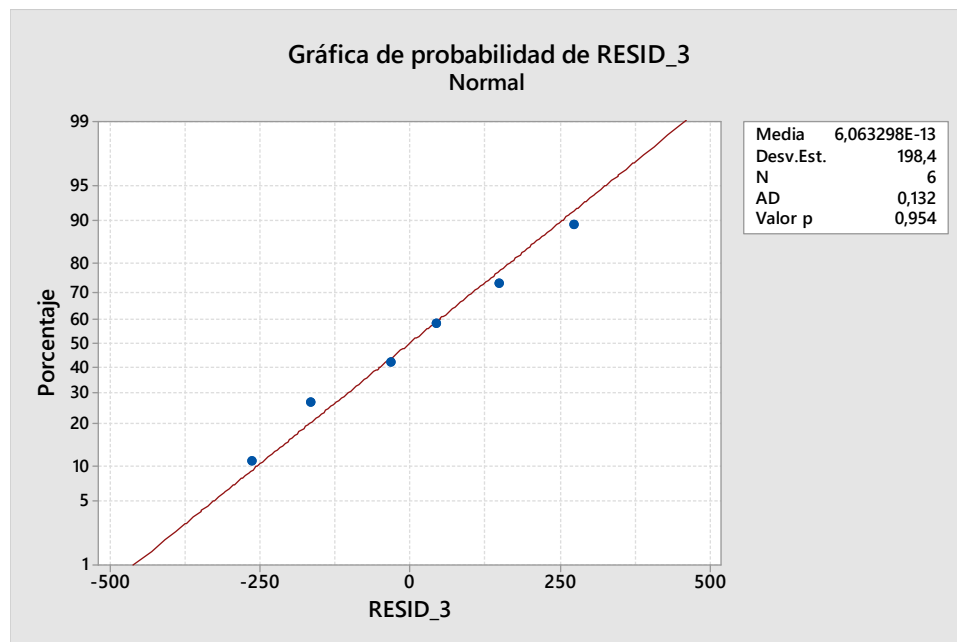
Gráfica de probabilidad de prueba de normalidad para los residuales de la curva 2.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Figura 14

Gráfica de probabilidad de prueba de normalidad para los residuales de la curva 3.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Se evidencia que, para los residuales de las tres curvas, $p\text{-value} \geq 0.05$ y se afirma que los residuales siguen una distribución normal al 95% de confianza.

Por ende, se aplica la prueba t-Student y se plantea que:

Ho: el promedio de los residuos es similar a 0 con un 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: el promedio de los residuos no es similar a 0 con un 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$);

Tabla 10

Prueba t-Student para los residuales de las tres curvas.

Muestra	Valor T	Valor p
RESID_CURVA1	0,00	1,000
RESID_CURVA2	0,00	1,000
RESID_CURVA3	0,00	1,000

Nota. Elaborado con Minitab18.

Donde $p\text{-value} \geq 0.05$ para el promedio de los residuales de las curvas y se afirma, al 95% de confianza, que los residuos no siguen tendencia alguna.

Finalmente, en cuanto a la linealidad del método, se puede concluir que existe linealidad entre la concentración y la respuesta del equipo para el método implementado, en el rango 0,11 $\mu\text{g/mL}$ hasta 2,00 $\mu\text{g/mL}$.

Asimismo, considerando que el volumen de diclorometano en vial autosampler es 1mL, y que el método NTP 712.107:2020 establece un volumen total de muestreo equivalente a 1m³, se concluye que el rango de trabajo es 0,11 $\mu\text{g/m}^3$ – 2,00 $\mu\text{g/m}^3$.

5.2.2. Rango dinámico lineal.

A partir de la curva de ajuste 3, se evaluó el porcentaje de recuperación para las concentraciones mostradas en el cuadro siguiente:

Tabla 11

Rango dinámico lineal.

Concentración (ug/mL)	Resultado (ug/mL)	Recuperación %	Criterio de Aceptación %	Criterio de Aceptación
4,00	3,845	96	80-120	CONFORME
8,00	7,806	98	80-120	CONFORME
12,00	11,604	97	80-120	CONFORME
16,00	15,435	96	80-120	CONFORME
20,00	19,548	98	80-120	CONFORME

Nota. Elaboración propia.

De la tabla anterior se demuestra que los porcentajes de recuperación, para la ecuación de ajuste 3, se encuentran dentro del criterio de aceptación (80-120%) y, por ello, el rango dinámico lineal abarca desde 4 µg/mL hasta 20 µg/mL.

5.3. Determinación del Límite de Detección y Cuantificación

La siguiente tabla muestra las concentraciones de benceno expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el nivel más bajo del rango de trabajo.

Tabla 12

Fortificaciones a 0,11 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Nº Datos	Blanco fortificado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Blanco ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	0,133	0,000
2	0,118	0,000
3	0,134	0,000
4	0,110	0,000
5	0,124	0,000
6	0,105	0,000
7	0,131	0,000
PROMEDIO	0.122	0,000
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.011	---

Nota. Elaboración propia

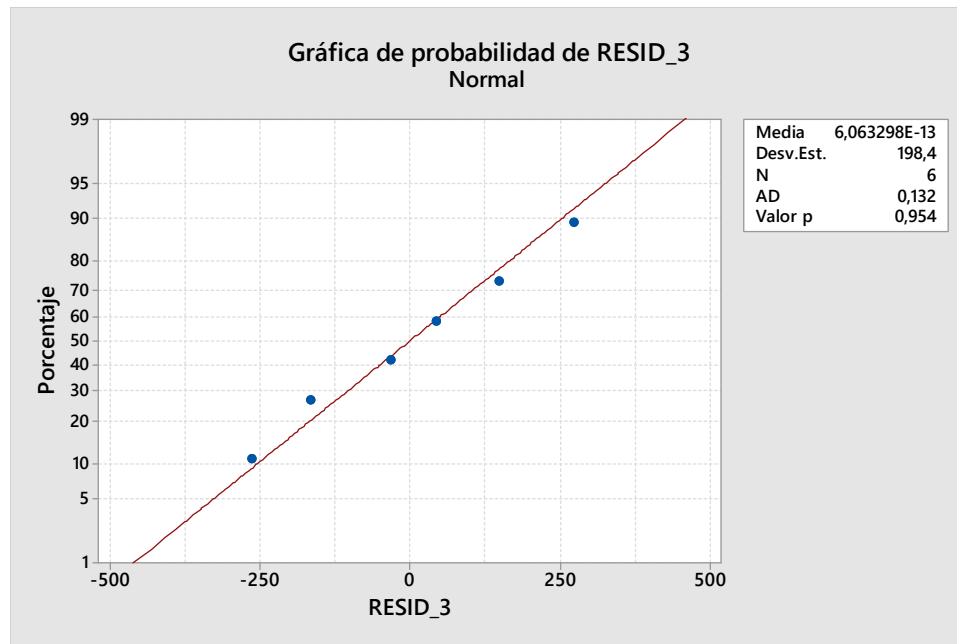
A continuación, se efectúa la prueba de Anderson Darling para evaluar la normalidad de los datos recolectados. Para ello, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: las recuperaciones de fortificado siguen una distribución normal al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: las recuperaciones de fortificado siguen una distribución no paramétrica al 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$).

Figura 15

Gráfica de probabilidad para prueba de normalidad de las fortificaciones.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Del gráfico de probabilidad anterior se verifica que $p\text{-value} \geq 0.05$ y se afirma, al 95% de confianza, que los datos siguen una distribución normal.

Habiendo demostrado la distribución paramétrica de los datos anteriores, se procede a realizar la prueba de Grubbs para detectar puntos atípicos.

- Calculando G max:

$$G_{max} = \frac{0,134 - 0,122}{0,011} = 1.024$$

- Calculando G min:

$$G_{min} = \frac{0,122 - 0,105}{0,011} = 1.501$$

- Calculando G crit:

$$\alpha/n = \frac{0,05}{7} = 0,00714$$

$$t_{(\alpha/n;n-2)} = 3.68$$

$$G_{crit} = \frac{(7 - 1)3.68}{\sqrt{7(7 - 2 + 3.68^2)}} = 1.938$$

Se aprecia que tanto G_{max} como G_{min} son menores a G_{crit} y, por consiguiente, no hay valores atípicos.

De esa manera, se obtienen los siguientes límites de detección y cuantificación:

$$LDM = 0.036 \mu g/m^3$$

$$LCM = 0.108 \mu g/m^3$$

5.4. Determinación del Coeficiente de Desorción, Deriva del Detector, Reproducibilidad de Inyección y Selectividad del Método Cromatográfico

5.4.1. Coeficiente de desorción

Se calculó el coeficiente de desorción según lo especificado anteriormente; a continuación, se muestra la tabla correspondiente:

Tabla 13

Datos para el coeficiente de desorción.

BENCENO (Wf)	BENCENO (Wb)	Conformidad C.A. Wb < Wf/10	Fd	Ca μg	D Eficiencia de desorción	Cm μg	% D
Conc. μg/mL	Conc. μg/mL						
0,0000	0,0000	Conforme	1	0,0000	---	<LD	---
0,1260	0,0000	Conforme	1	0,1100	1,145	0,126	114,545
0,3730	0,0000	Conforme	1	0,3500	1,066	0,373	106,571
0,6840	0,0000	Conforme	1	0,7000	0,977	0,684	97,714
1,4310	0,0000	Conforme	1	1,4000	1,022	1,431	102,214
1,7510	0,0000	Conforme	1	1,8000	0,973	1,751	97,278
2,0160	0,0000	Conforme	1	2,0000	1,008	2,016	100,800
0,1240	0,0000	Conforme	1	0,1100	1,127	0,124	112,727
0,3670	0,0000	Conforme	1	0,3500	1,049	0,367	104,857
0,7090	0,0000	Conforme	1	0,7000	1,013	0,709	101,286
1,3830	0,0000	Conforme	1	1,4000	0,988	1,383	98,786
1,8370	0,0000	Conforme	1	1,8000	1,021	1,837	102,056
1,9560	0,0000	Conforme	1	2,0000	0,978	1,956	97,800
0,1150	0,0000	Conforme	1	0,1100	1,045	0,115	104,545
0,3320	0,0000	Conforme	1	0,3500	0,949	0,332	94,857
0,7240	0,0000	Conforme	1	0,7000	1,034	0,724	103,429
1,3130	0,0000	Conforme	1	1,4000	0,938	1,313	93,786
1,6940	0,0000	Conforme	1	1,8000	0,941	1,694	94,111
1,9500	0,0000	Conforme	1	2,0000	0,975	1,950	97,500

Nota. Elaboración propia.

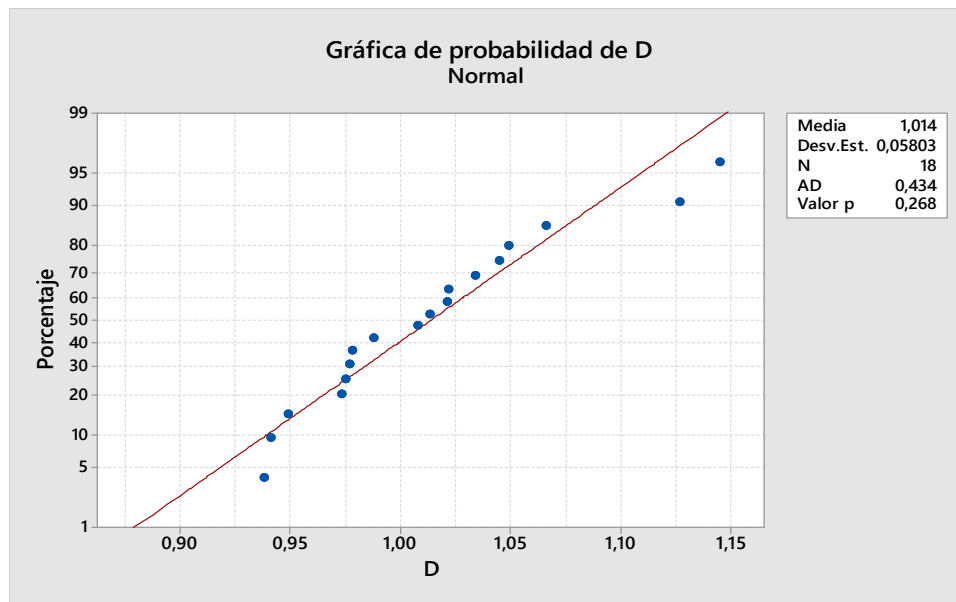
Con el objeto de cumplir con el requisito de la NTP 712.107:2020, es necesario demostrar que los coeficientes de desorción para cada nivel son significativamente mayores a 0,90. En primer lugar, se realizó la prueba de Anderson-Darling, donde:

Ho: los valores de D siguen una distribución normal al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: los valores de D siguen una distribución no normal al 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$).

Figura 16

Gráfica de probabilidad para prueba de normalidad del coeficiente de desorción.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Dado que $p\text{-value} \geq 0.05$, se acepta la hipótesis nula y los datos siguen una distribución normal.

Realizando una prueba de t de una muestra al 95% de confianza, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Dexp promedio=0.9 ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: Dexp promedio > 0,9 ($p\text{-value} < 0.05$).

Tabla 14*T de una muestra para el coeficiente de desorción*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor t	p-Value
18	1,0324	0,0580	0,0137	0,9900	8.32	0

Nota. Elaborado con Minitab18.

Por lo que se concluye que, al 95% de confianza, el coeficiente de desorción promedio es significativamente mayor a 0.9 ($D_{exp}=1.032$) y se cumple el requisito de la NTP 712.107:2020.

5.4.2. Deriva del detector

La norma de benceno incide en una demostración práctica sobre la deriva del detector (menor al 5%). A continuación, se presenta una tabla que resume los resultados obtenidos.

Tabla 15*Datos para la determinación de la deriva del detector*

Conc de estándar Calibración ($\mu\text{g/mL}$)	Fecha	Respuesta (área)	Fecha	Respuesta (área)	% Valor de deriva	Requisito
0,11	19/08/2025	1439,903	26/08/2025	1511,123	4,9	Conforme
0,35	19/08/2025	3802,854	26/08/2025	3858,197	1,5	Conforme
0,70	19/08/2025	7039,193	26/08/2025	6730,716	4,4	Conforme
1,45	19/08/2025	13754,834	26/08/2025	13174,041	4,2	Conforme
1,80	19/08/2025	17530,82	26/08/2025	17268,852	1,5	Conforme
2,00	19/08/2025	19659,424	26/08/2025	19164,205	2,5	Conforme

Nota. Elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia que la deriva de respuesta se evaluó durante un intervalo de una semana; ello debido a que la NTP 712.107:2020 recomienda efectuar curvas de calibración semanales. Se aprecia que en todos los niveles de calibración la deriva relativa porcentual es menor a 5%; por lo tanto, se cumple satisfactoriamente el parámetro de desempeño.

5.4.3. Reproducibilidad de inyección

Tabla 16

Datos para la determinación de la reproducibilidad de inyección

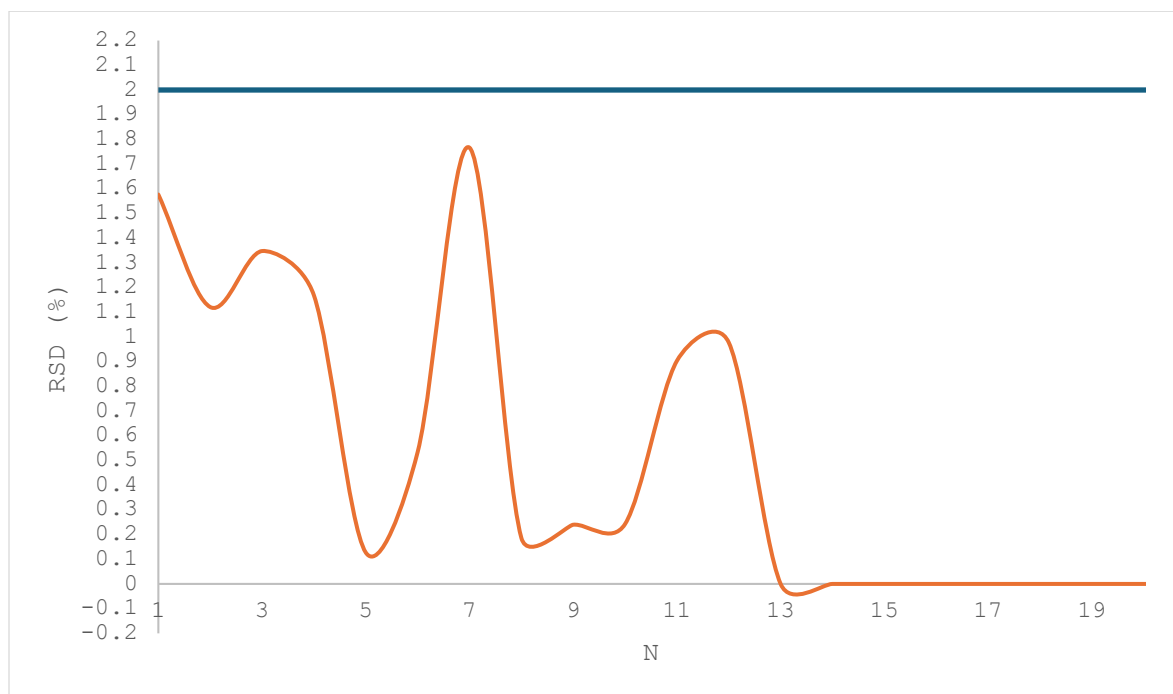
Fecha	Muestra	Nº	C_M1 (µg/mL)	Muestra	C_M2 (µg/mL)	RSD
27/08/2025	2CAL_001	1	0,102	2CAL_2_001	0,100	1,576
27/08/2025	2CAL_002	2	0,342	2CAL_2_002	0,337	1,121
27/08/2025	2CAL_003	3	0,670	2CAL_2_003	0,683	1,348
27/08/2025	2CAL_004	4	1,352	2CAL_2_004	1,374	1,168
27/08/2025	2CAL_005	5	1,735	2CAL_2_005	1,732	0,127
27/08/2025	2CAL_006	6	1,951	2CAL_2_006	1,936	0,534
28/08/2025	CAL001-1	7	0,111	CAL001-2	0,109	1,766
28/08/2025	CAL002-1	8	0,356	CAL002-2	0,357	0,186
28/08/2025	CAL003-1	9	0,646	CAL003-2	0,644	0,240
28/08/2025	CAL004-1	10	1,329	CAL004-2	1,333	0,242
28/08/2025	CAL005-1	11	1,756	CAL005-2	1,734	0,903
28/08/2025	CAL006-1	12	1,954	CAL006-2	1,927	0,977

Nota. Elaboración propia.

A partir de los valores anteriores, se presenta la figura 17.

Figura 17

Gráfico reproducibilidad de inyección en replicados



Nota. Elaboración propia.

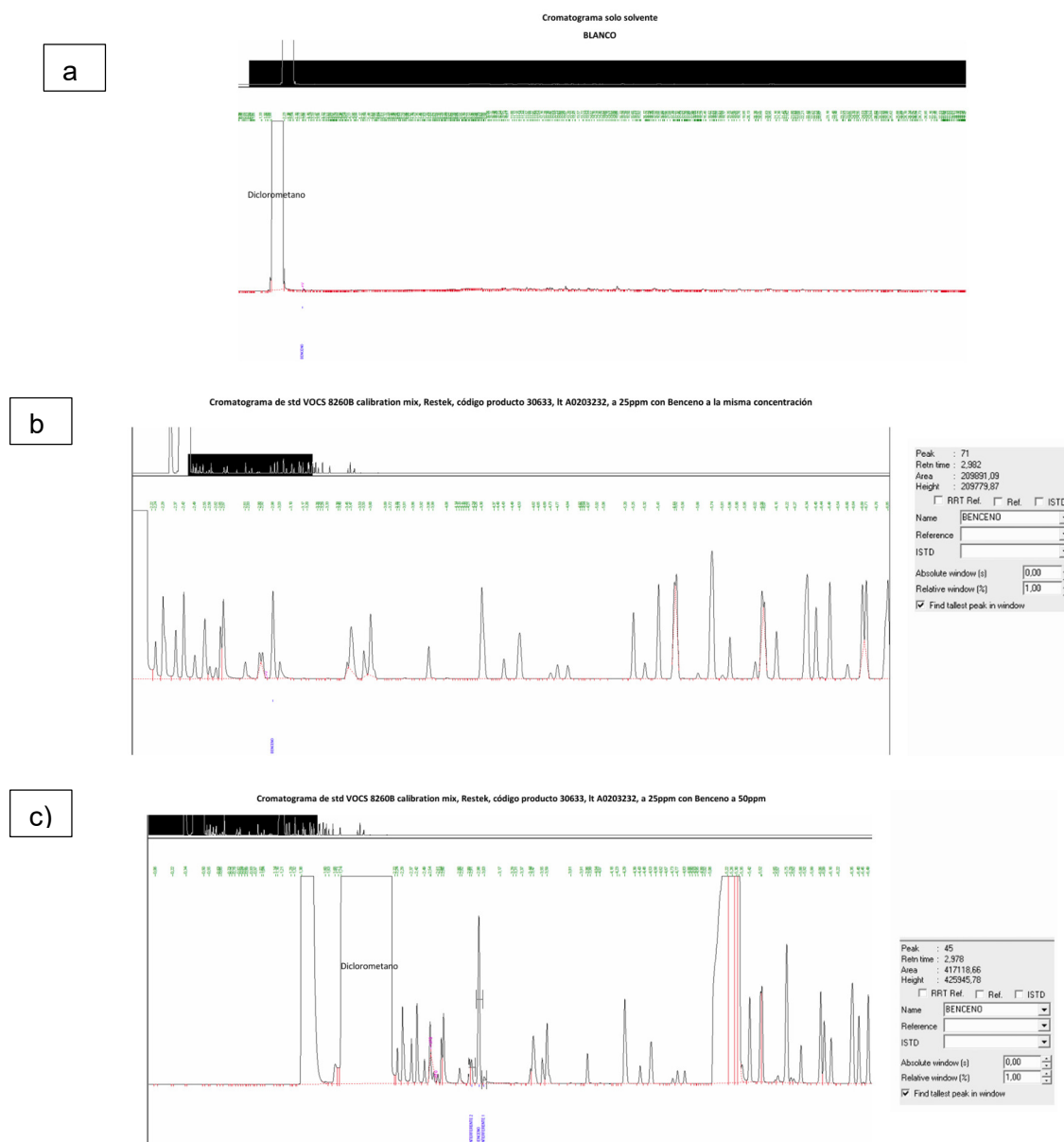
Del gráfico anterior se aprecia que el RSD en cada repetición no excede el umbral $RSD < 2\%$, en concordancia con la norma técnica implementada.

5.4.4. Selectividad del método cromatográfico

Se verificó la posible co-elución del benceno con posibles interferentes. A continuación, se muestran los cromatogramas generados.

Figura 18

Cromatogramas de a) solo diclorometano, b) std VOCs 8260B calibration mix diluido hasta 25 ppm, c) std VOCs 8260B calibration mix diluido hasta 25 ppm + adición 25 ppm Benceno



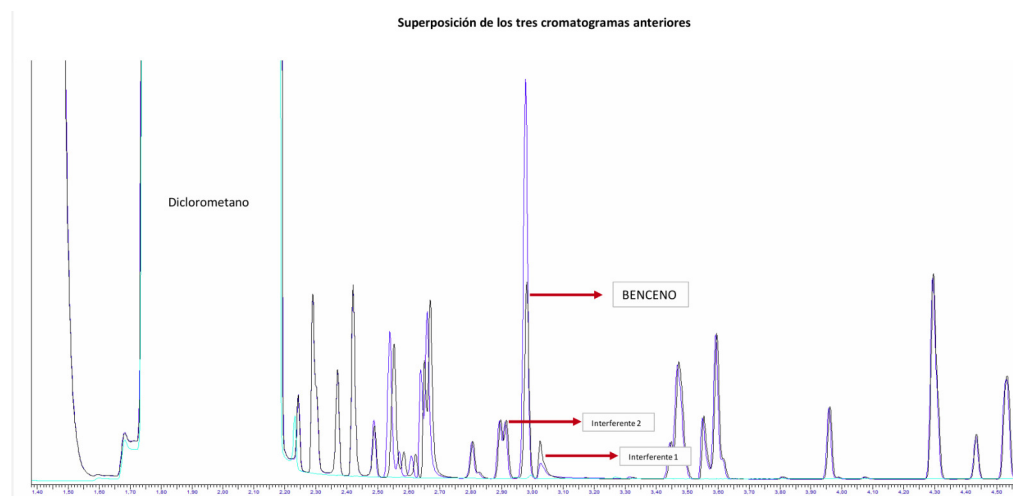
Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior, se evidencia que el pico de benceno se resuelve de ambos interferentes próximos. Asimismo, la relación de áreas entre el pico de benceno a 50 ppm (417118,66) y 25 ppm (209891,09) es 1,99 ($\approx 2,00$); es decir, existe concordancia entre la relación de

concentraciones y áreas, lo cual confirma que no hay un pico interferente que coeluya y afecte la respuesta del detector en la ventana de retención del analito. A continuación, se muestra una superposición de los anteriores cromatogramas.

Figura 19

Cromatogramas superpuestos



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se observa que el benceno se resuelve adecuadamente del frente de solvente. En cuanto a los interferentes 1 y 2, es necesario evaluar la resolución respecto al pico del analito (cuyo valor deberá ser mayor a 1 para ser considerada aceptable).

Tabla 17

Resolución de columna por analito.

ANALITO (COMPUESTO "A")	trA (min)	trB (min)	Wa	Wb	Rs
BENCENO	2,982	3,025	0,016	0,016	1,58
BENCENO	2,982	2,916	0,016	0,0172	2,33

Nota. Elaboración propia.

De esa manera, tras efectuar la corrida cromatográfica del estándar VOCs 8260B calibration mix, Restek, código producto 30633, lote A0203232. Se determinó la resolución con los picos inmediatos a Benceno. Rs en ambos casos es mayor a uno, por lo que los potenciales interferentes no influyen sobre la selectividad del método.

5.5. Influencia del Analista, Determinación de la Precisión, Veracidad e Incertidumbre en el Análisis de Benceno

5.5.1. Precisión e Influencia del Analista

Para determinar si los resultados de los analistas son significativamente diferentes uno de otro, es necesario efectuar un ANOVA.

Tabla 18

Datos para evaluar la influencia del analista.

Analista	Matriz	0,110 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1,450 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2,000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
A1	Aire	0,133	1,454	2,047
	Aire	0,118	1,383	2,081
	Aire	0,134	1,431	1,973
	Aire	0,110	1,544	1,948
	Aire	0,124	1,357	2,021
	Aire	0,113	1,407	2,018
	Aire	0,131	1,381	1,943
	Aire	0,115	1,421	2,049
	Aire	0,112	1,354	2,024
	Aire	0,102	1,430	1,968
A2	Aire	0,097	1,410	1,989
	Aire	0,109	1,466	2,001
	Aire	0,115	1,464	1,927
	Aire	0,096	1,461	2,039
	Aire	0,111	1,540	2,079
	Aire	0,125	1,471	2,018
	Aire	0,118	1,358	1,920
	Aire	0,110	1,537	2,020
	Aire	0,105	1,491	2,008
	Aire	0,123	1,476	1,982
A3	Aire	0,098	1,558	2,087
	Aire	0,115	1,351	2,021
	Aire	0,106	1,386	2,098
	Aire	0,118	1,437	2,092
	Aire	0,100	1,380	2,086
	Aire	0,113	1,411	1,991
	Aire	0,099	1,517	1,968
	Aire	0,108	1,401	1,987
	Aire	0,106	1,374	1,970

Aire	0,131	1,560	2,065
PROMEDIO DE PROMEDIOS	0,113	1,440	2.014
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.011	0.07	0.05

Nota. Elaboración propia.

En primer lugar, se realizó una prueba de normalidad para la varianza natural de los datos generados por cada analista, es decir, la diferencia de cada valor respecto al resultado promedio de cada analista por nivel. Las hipótesis planteadas son:

Ho: los residuales siguen una distribución normal al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$);

Ha: los residuales siguen una distribución no normal al 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$).

- **Nivel 1: 0,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Tabla 19

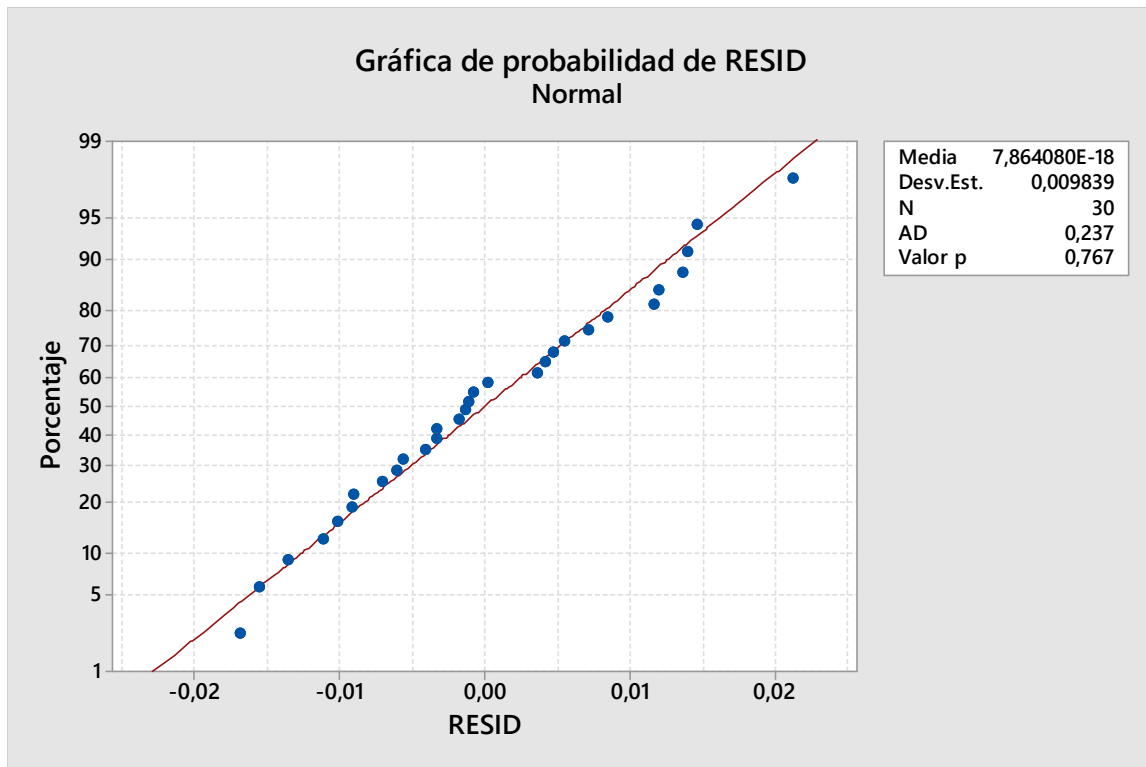
Concentración de benceno y residuales por analista, nivel 1

A	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	R	A	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	R	A	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	R
PAP	0,133	0,01359	MAV	0,109	- 0,01358	AGA	0,098	-0,01122
PAP	0,118	- 0,00118	MAV	0,115	- 0,00177	AGA	0,115	0,00551
PAP	0,134	0,01456	MAV	0,096	0,00413	AGA	0,106	-0,00334
PAP	0,110	- 0,00905	MAV	0,111	- 0,01555	AGA	0,118	0,00846
PAP	0,124	0,00472	MAV	0,125	0,00019	AGA	0,100	-0,00925
PAP	0,113	- 0,00610	MAV	0,118	0,01398	AGA	0,113	0,00354
PAP	0,131	0,01161	MAV	0,110	0,00708	AGA	0,099	-0,01024
PAP	0,115	- 0,00413	MAV	0,105	- 0,00079	AGA	0,108	-0,00137
PAP	0,112	- 0,00709	MAV	0,123	- 0,00571	AGA	0,106	-0,00334
PAP	0,102	- 0,01693	MAV	0,109	0,01201	AGA	0,131	0,02127

Nota. Elaborado con Minitab18.

Figura 20

Gráfica de probabilidad para los residuales del nivel 1



Nota. Elaborado con Minitab18.

El p-value es mayor al nivel de significancia y se acepta la hipótesis nula.

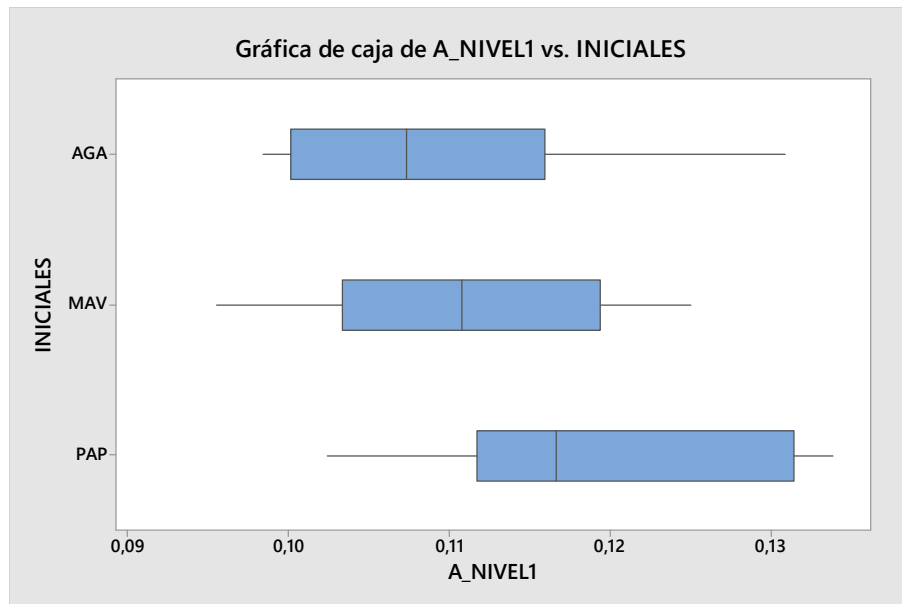
Estando demostrada la normalidad de los datos, se procede con la prueba de Barlett para demostrar homogeneidad de varianzas.

Ho: las varianzas de los analistas para el primer nivel de concentración son similares al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$).

Ho: al menos una varianza para el primer nivel de concentración es diferente al 95% de confianza ($p\text{-value} \geq 0.05$).

Figura 21

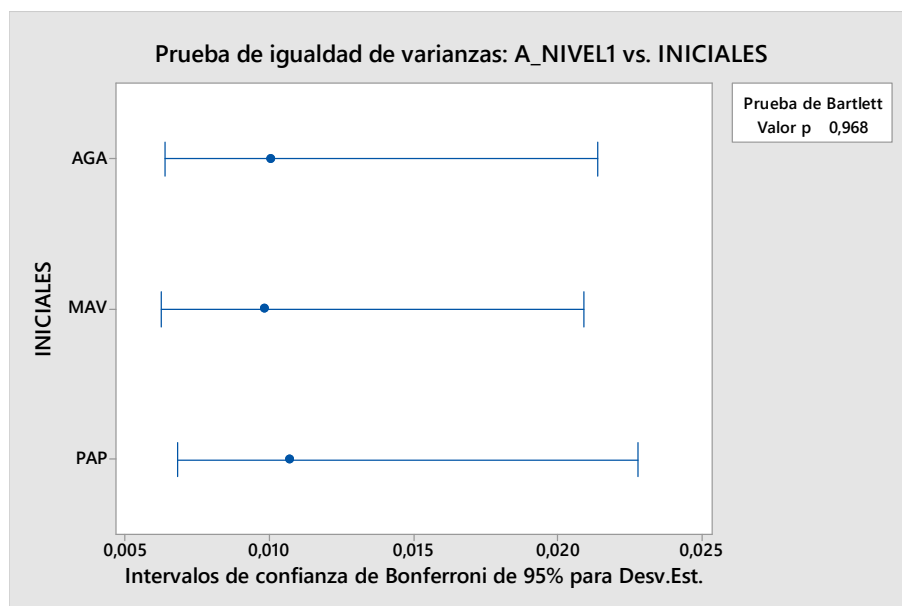
Gráfica de cajas para los resultados de los analistas en el primer nivel.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Figura 22

Prueba de igualdad de varianzas para los resultados de los analistas en el primer nivel



Nota. Elaborado con Minitab18.

Donde $p\text{-value} = 0,968$ y se acepta la hipótesis nula, es decir, las varianzas de los analistas para el primer nivel de concentración son estadísticamente similares.

Finalmente, se ejecuta el análisis ANOVA para demostrar la influencia del analista en los resultados de benceno al nivel de concentración más bajo. Las tablas mostradas a continuación fueron elaboradas con el software estadístico Minitab18.

Tabla 20

Información del factor al primer nivel de concentración

Factor	Niveles	Valores
INICIALES	3	AGA; MAV; PAP

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21

Análisis de Varianza (ANOVA), nivel 1.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
INICIALES	2	0,000545	0,000272	2,62	0,091
Error	27	0,002808	0,000104		
Total	29	0,003352			

Nota. Elaborado con Minitab18.

Tabla 22

Comparaciones en parejas de Tukey con una confianza de 95%

INICIALES	N	Media	Agrupación
PAP	10	0,11934	A
MAV	10	0,11107	A
AGA	10	0,10969	A

Nota. Elaborado con Minitab18.

De las tablas anteriores se aprecia que $p\text{-value} = 0.091$, por lo tanto, se afirma al 95% de confianza que las medias de los 3 analistas, para el primer nivel de concentración, son estadísticamente iguales. Asimismo, la tabla 22 muestra las comparaciones en parejas de Tukey, donde las medias que comparten la misma letra son significativamente iguales.

De esa manera, se concluye que para el nivel más bajo de concentración los resultados de los analistas son estadísticamente iguales, es decir, no hay influencia entre analistas.

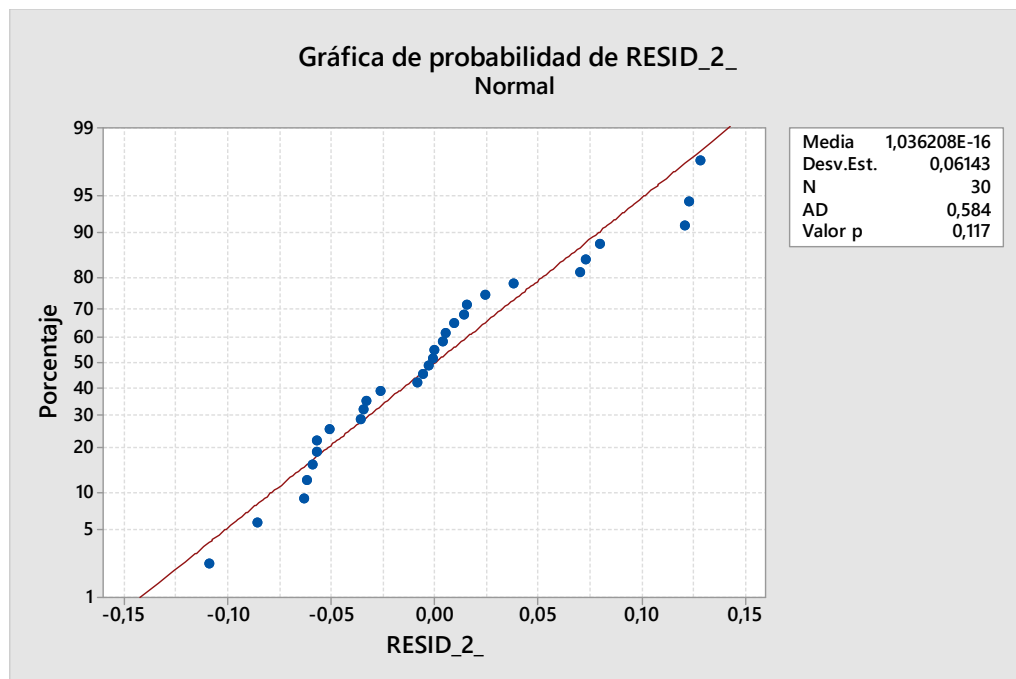
Las hipótesis formuladas para cada una de las pruebas aplican para los siguientes dos niveles a evaluar.

- **Nivel 2: $1,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

De forma similar al nivel 1, empleando el software Minitab18, se calculan los residuales y ejecuta la prueba de normalidad Anderson-Darling.

Figura 23

Gráfica de probabilidad para los residuales del nivel 2.

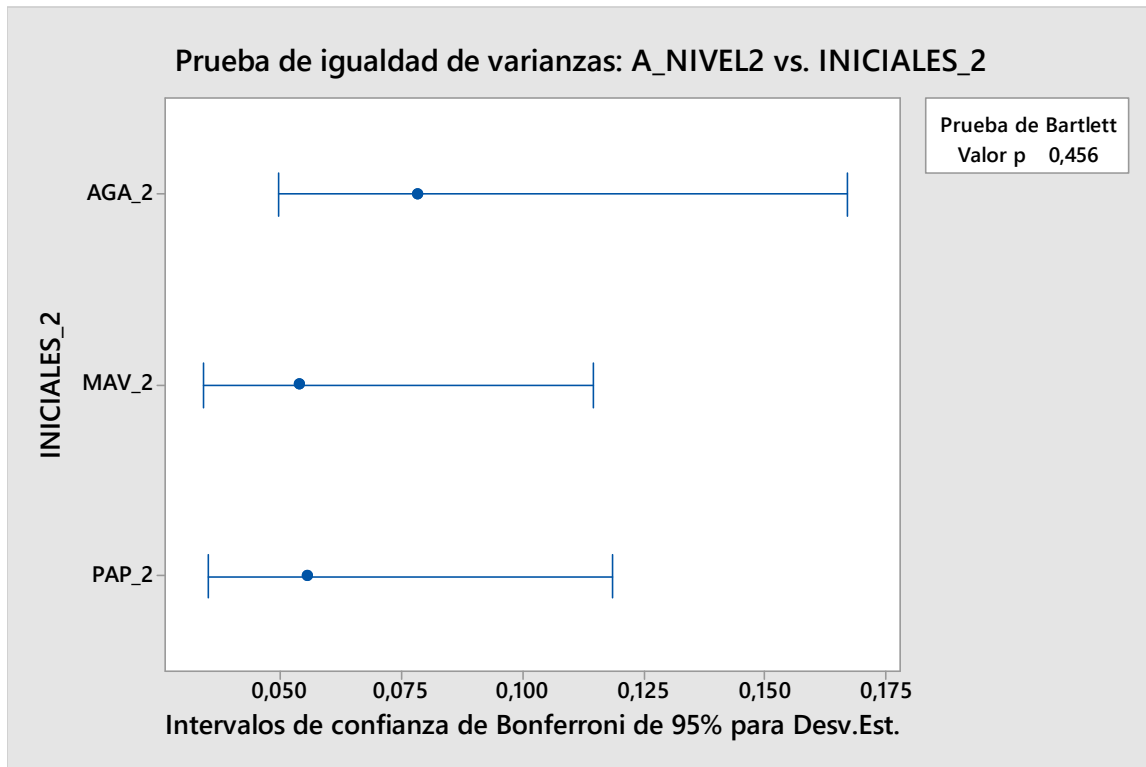


Nota. Elaborado con Minitab18.

A partir del gráfico anterior, es posible trabajar con los datos asumiendo una distribución normal ($p\text{-value}=0,117$ y se acepta la hipótesis nula al 95% de confianza). Luego, la evaluación de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Barlett es:

Figura 24

Prueba de igualdad de varianzas para los resultados de los analistas en el 2^{do} nivel



Nota. Elaborado con Minitab18.

De la figura 22, se acepta la hipótesis nula al 95% de confianza ($p\text{-value}=0,456$) y confirma que los resultados de los analistas presentan varianzas significativamente similares entre sí.

Tabla 25

Información del factor al segundo nivel de concentración

Factor	Niveles	Valores
INICIALES_2	3	AGA_2; MAV_2; PAP_2

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26*Análisis de Varianza (ANOVA), nivel 2*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
INICIALES_2	2	0,01323	0,006615	1,63	0,214
Error	27	0,10942	0,004053		
Total	29	0,12265			

Nota. Elaborado con Minitab18.**Tabla 27***Comparaciones en parejas de Tukey con una confianza de 95%*

INICIALES_2	N	Media	Agrupación
MAV_2	10	1,4674	A
PAP_2	10	1,4375	A
AGA_2	10	1,4162	A

Nota. Elaborado con Minitab18.

De las tablas anteriores se aprecia que $p\text{-value} = 0.214$, por lo tanto, se afirma al 95% de confianza que las medias de los 3 analistas, para el segundo nivel de concentración, son estadísticamente iguales. De forma similar, el método de Tukey al 95% de confianza muestra que los promedios son estadísticamente similares.

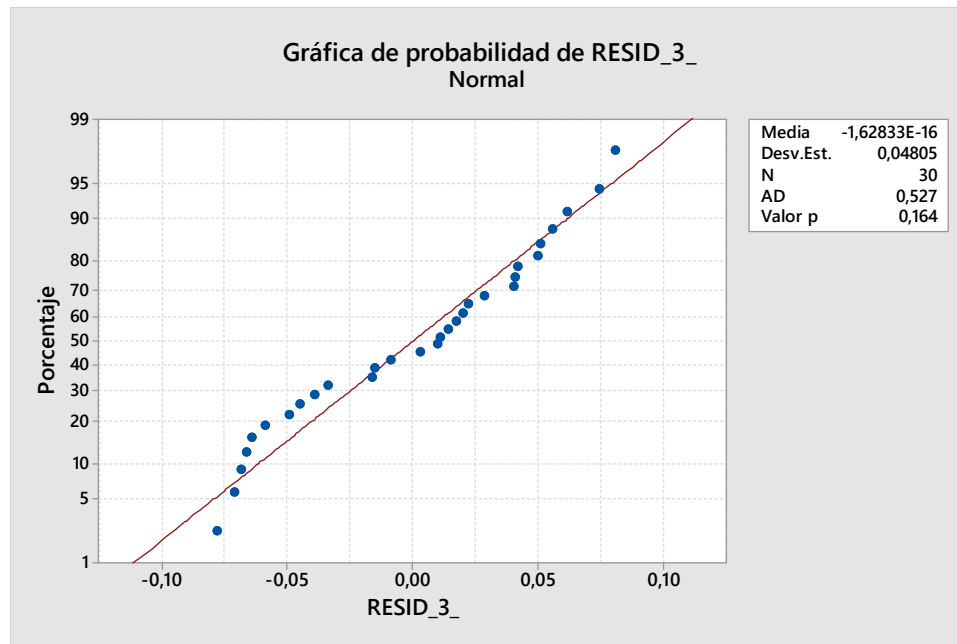
De esa manera, se concluye que para el nivel medio de concentración los resultados de los analistas son significativamente iguales, es decir, no hay influencia entre analistas.

- **Nivel 3: 2,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Determinando la normalidad para los residuos del segundo nivel se tiene que:

Figura 25

Gráfica de probabilidad para los residuales del nivel 3.

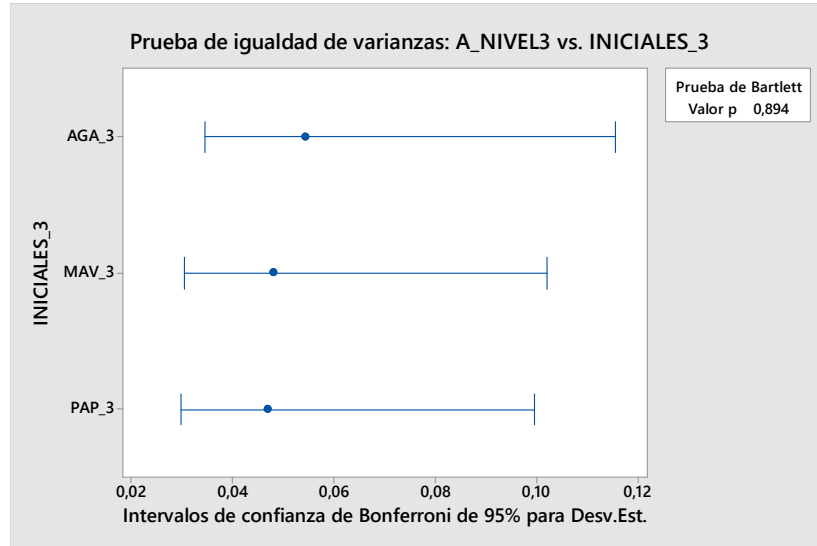


Nota. Elaborado con Minitab18.

A partir de la figura 23, es posible trabajar con los datos asumiendo una distribución normal ($p\text{-value}=0,164$ y se acepta la hipótesis nula al 95% de confianza); por lo tanto, se ejecuta la prueba de Barlett para homogeneidad de varianzas.

Figura 26

Prueba de igualdad de varianzas para los resultados de los analistas en el 3^{er} nivel.

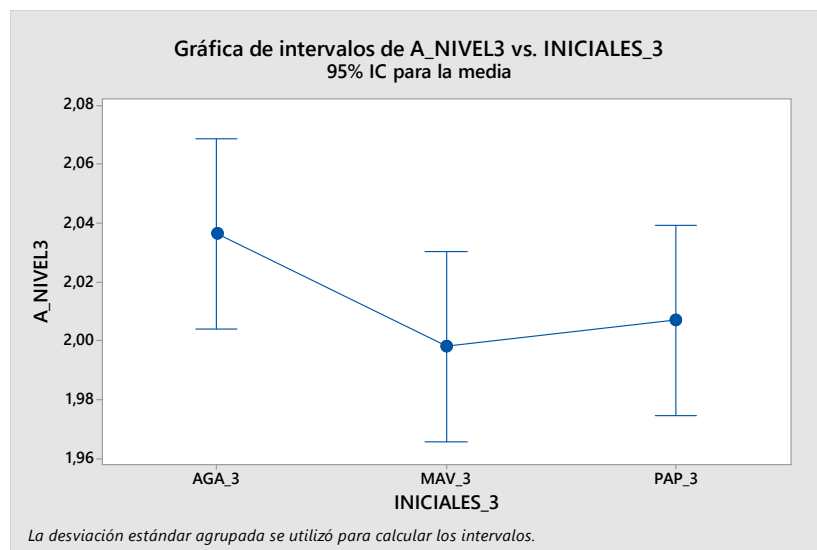


Nota. Elaborado con Minitab18.

De la figura anterior, se acepta la hipótesis nula al 95% de confianza ($p\text{-value}=0,894$) y confirma que los resultados de los analistas tienen varianzas significativamente similares entre sí.

Figura 27

Intervalos de confianza (al 95%) para los resultados de los 3 analistas en 3^{er} nivel.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Tabla 26

Análisis de Varianza (ANOVA), nivel 3.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
INICIALES_3	2	0,007990	0,003995	1,61	0,218
Error	27	0,066946	0,002479		
Total	29	0,074936			

Nota. Elaborado con Minitab18.

De la figura 25 se evidencia que los intervalos de confianza al 95% para las medias de los 3 analistas concuerdan entre sí, y en la tabla 26 el p-value es mayor a 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula y no existe diferencia significativa entre las medias de los analistas en el 3^{er} nivel de concentración.

Finalmente, se concluye que los resultados de los analistas, para todos los niveles evaluados, son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 0,05.

5.5.2. Evaluación de la Veracidad

Los datos empleados para evaluar la veracidad del método a 0,11 µg/m³, 1,45 µg/m³ y 2,00 µg/m³ son aquellos que se mostraron en la tabla 18. Dado que se ha demostrado, mediante ANOVA de un factor, que las medias de los analistas en los 3 niveles de concentración son significativamente similares, se trabaja un solo grupo con n=30 por nivel. En primer lugar, se buscan datos atípicos extremos mediante la prueba de Grubbs. A continuación, se muestra un ejemplo para el nivel 1.

- Calculando G max y G min:

$$G_{max} = \frac{0,134 - 0,113}{0,011} = 1,911 \quad ; \quad G_{min} = \frac{0,096 - 0,113}{0,011} = 1,661$$

- Calculando G crit:

$$\frac{\alpha}{n} = \frac{0,05}{30} = 0,00167 \quad ; \quad t_{(\alpha/n; n-2)} = 3,208$$

$$G_{crit} = \frac{(30 - 1)3,208}{\sqrt{30(30 - 2 + 3,208^2)}} = 2,745$$

De forma similar para el nivel 2:

$$G_{max} = \frac{1,560 - 1,440}{0,07} = 1,855 \quad ; \quad G_{min} = \frac{1,351 - 1,440}{0,07} = 1,728$$

Y para el nivel 3:

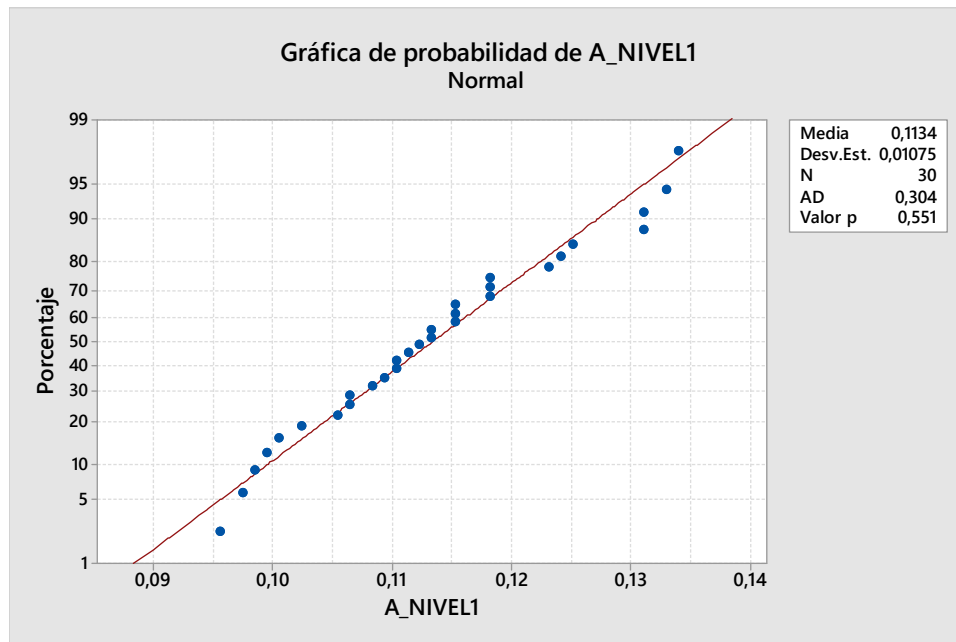
$$G_{max} = \frac{2,098 - 2,014}{0,05} = 2,05 \quad ; \quad G_{min} = \frac{1,920 - 2,014}{0,05} = 1,583$$

Por ende, se concluye que, para los 3 niveles de concentración, los valores extremos no representan datos atípicos y se prosigue con la evaluación de la normalidad.

- **Nivel 1:**

Figura 28

Gráfica de probabilidad para los resultados del nivel 1.

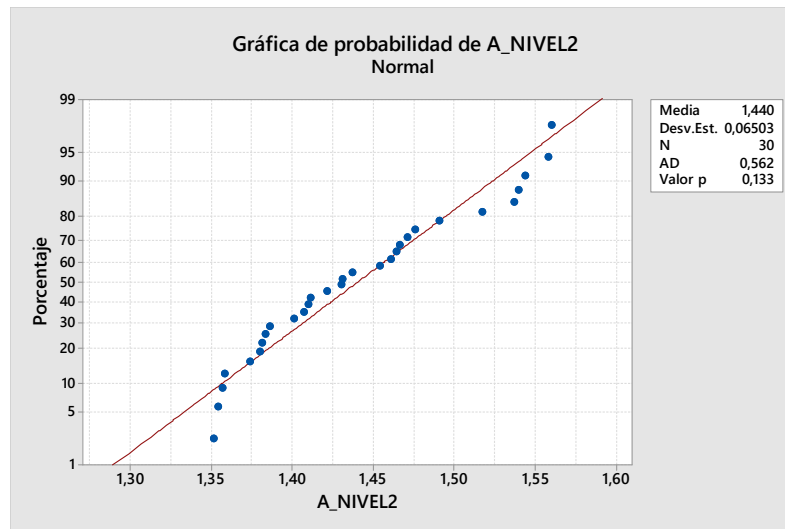


Nota. Elaborado con Minitab18.

- **Nivel 2:**

Figura 29

Gráfica de probabilidad para los resultados del nivel 2.

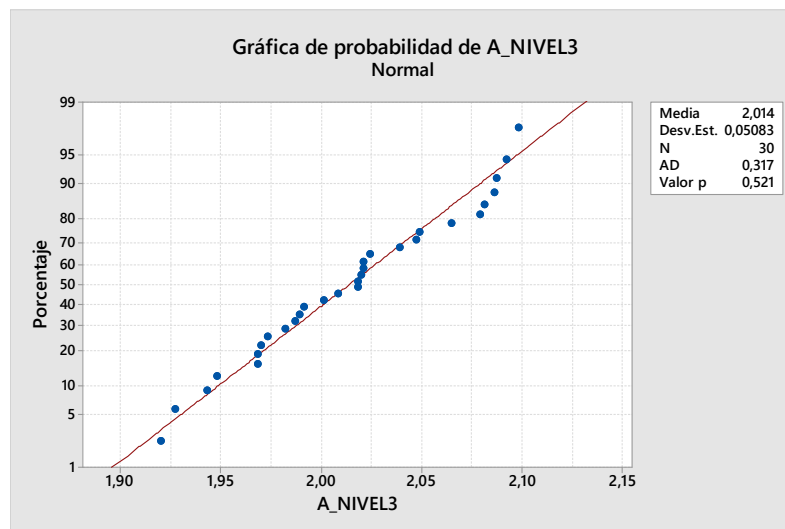


Nota. Elaborado con Minitab18.

- **Nivel 3:**

Figura 30

Gráfica de probabilidad para los resultados del nivel 3.



Nota. Elaborado con Minitab18.

De esa manera, para todos los niveles evaluados, $p\text{-value} \geq 0.05$ y las concentraciones calculadas siguen una distribución normal al 95% de confianza. Consecuentemente, es posible ejecutar una prueba t-student de una muestra con una significancia de 0,05.

- **Nivel 1: 0,110 ug/m³**

Tabla 27

Intervalos de confianza A_NIVEL1.

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
30	0,11336	0,01075	0,00196	(0,10935; 0,11738)

Nota. Elaborado con Minitab18; μ : media de A_NIVEL1.

Prueba:

Hipótesis nula $H_0: \mu = 0,11$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 0,11$

Tabla 28

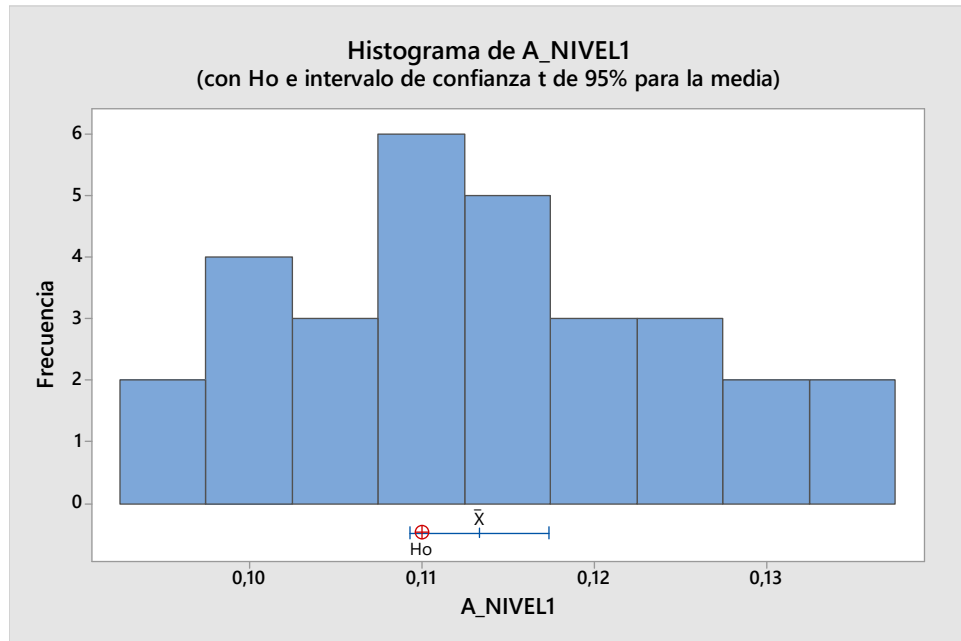
T de una muestra A_NIVEL1.

Valor T	Valor p
1,71	0,097

Nota. Elaborado con Minitab18.

Figura 31

Histograma con intervalo de confianza para los datos en el primer nivel.



Nota. Elaborado con Minitab18.

Tanto de la tabla 27 como de la figura 29 se aprecia que el intervalo de confianza para las recuperaciones al 1^{er} nivel contiene al valor hipotético 0,110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, en la tabla 28 se observa que $p\text{-value}=0,097$ y, por ende, se acepta la hipótesis nula: los resultados para el 1^{er} nivel de concentración son veraces. A continuación, el análisis de los otros 2 niveles.

- **Nivel 2: 1,450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Tabla 29

Intervalos de confianza A_NIVEL2

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
30	1,4404	0,0650	0,0119	(1,4161; 1,4647)

Nota. Elaborado con Minitab18; μ : media de A_NIVEL2

Prueba:

Hipótesis nula $H_0: \mu = 1,45$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 1,45$

Tabla 30

T de una muestra A_NIVEL2.

Valor T	Valor p
-0,81	0,424

Nota. Elaborado con Minitab18.

De las tablas anteriores, se evidencia que el intervalo de confianza para las recuperaciones contiene al valor hipotético y el p-value=0,424, por lo que se acepta la hipótesis nula y los datos al segundo nivel de concentración son veraces.

- **Nivel 3: 2,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Tabla 31

Intervalos de confianza A_NIVEL3.

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
30	2,01400	0,05083	0,00928	(1,99502; 2,03298)

Nota. Elaborado con Minitab18; μ : media de ANIVEL_3.

Prueba:

Hipótesis nula $H_0: \mu = 2$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 2$

Tabla 32

T de una muestra A_NIVEL3.

Valor T	Valor p
1,51	0,142

Nota. Elaborado con Minitab18.

De esa manera, el intervalo de confianza para las recuperaciones contiene al valor hipotético y el $p\text{-value}=0,142$, por lo que se acepta la hipótesis nula y los datos al tercer nivel de concentración son veraces.

Finalmente, se concluye que para los 3 niveles existe veracidad para las recuperaciones.

5.5.3. Evaluación de la incertidumbre.

Se trabajó la incertidumbre para el nivel medio de concentraciones atmosféricas de benceno ($1.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el valor de prueba es $1.406 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se aplicó el modelo de propagación de errores. En ese sentido, para efectuar la estimación de la incertidumbre, es necesario efectuar inventario de los estándares y materiales de vidrio empleados.

Tabla 33

Reactivos y estándares empleados como material de referencia certificado.

Nombre	Código	Marca	Fecha de Vecimiento
STANDAR BENCENO	STLGC-76-2	RESTEK	31/10/2027
2-FLUOROTOLUENO	RLG-233	SIGMA-ALDRICH	07/11/2027
DICLOROMETANO	RLG-148	THERMO FISHER	01/09/2029

Nota. Elaboración propia.

Tabla 34

Material de vidrio con certificado de calibración.

Nombre	Código	Tolerancia μl	Incertidumbre Expandida	No de Certificado de Calibración
MICROJERINGA 1mL	LEQ-553	20	1,2	E223-L2-0157A-2025 - 4
MICROJERINGA 250uL	LEQ-551	5	0,59	E223-L2-0157A-2025 - 3
MICROJERINGA 100uL	LEQ-549	2	0,26	E223-L2-0157A-2025 - 2
MICROJERINGA 10uL	LEQ-546	0,2	0,03	E223-L2-0157A-2025 - 1

Nota. Elaboración propia.

Los certificados de calibración del MRC de benceno se encuentran en el anexo A, donde se puede recuperar la incertidumbre de cada elemento presente en las tablas anteriores.

Asimismo, se define el mensurando de la siguiente manera:

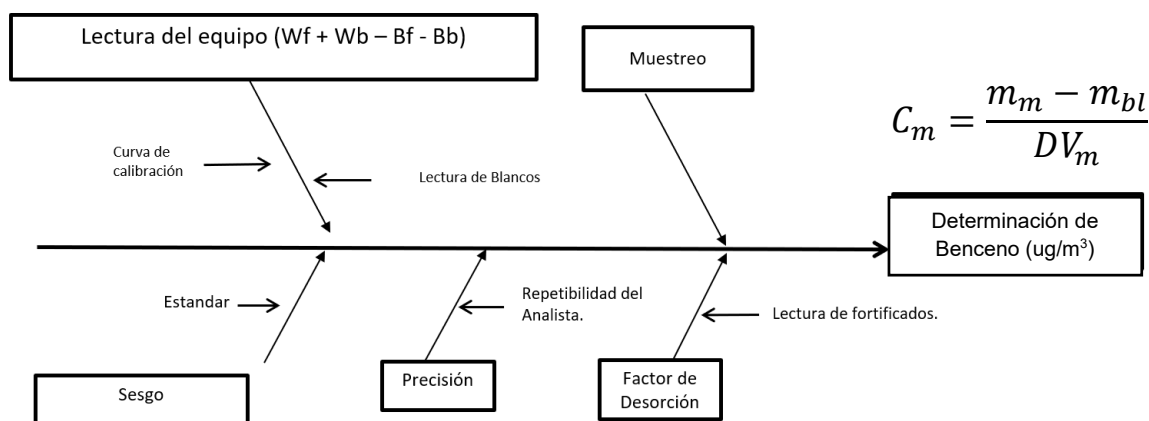
$$C_m = \frac{m_m - m_{bl}}{DV_m}$$

Donde C_m es la concentración de benceno en aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), m_m y m_{bl} son las masas de benceno presentes en muestra y en el tubo de blanco (μg), V_m es el volumen de muestra a tomar en m^3 , D es la eficiencia de desorción y FD el factor de dilución.

En consideración a lo anterior, se estimó la incertidumbre combinada y expandida al considerar todas las fuentes de incertidumbre posibles, tales como: incertidumbre asociada al modelo matemático de regresión, lectura de blancos, sesgo, precisión (repetibilidad del analista), factor de desorción y muestreo.

Figura 32

Diagrama de Ishikawa para la identificación de las fuentes de incertidumbre.



Nota. Elaboración propia.

- **Precisión:**

Del valor central para la recuperación de los analistas, se obtiene que la desviación estándar promedio es:

$$u_{\text{precisión}} = 0,065 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- **Sesgo:**

Se determina la diferencia entre el valor hipotético y el valor promedio experimental:

$$u_{\text{sesgo}} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = |1,440 - 1,450| = 0,010$$

- **Lectura del equipo:**

Se calcula la incertidumbre asociada a la regresión del modelo matemático.

$$u(Cx) = \frac{\sigma_{y/x}}{\beta_1} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m_o} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

Donde $\sigma_{y/x}$ es la desviación estándar de regresión β_1 que es la pendiente de la curva de calibración, n es el número de puntos de calibración m_o es la cantidad de replicados, x_o es el valor (concentración) de prueba y $\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2$ es la suma del cuadrado de la diferencia entre las abscisas individuales y su promedio.

De esa manera, se tiene que:

Tabla 35

Cálculo de $\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2$.

Promedio (Respuesta)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{L}$)	(Xi - Xpromedio) ²
1575,4	0,11	0,91840
3842,4	0,35	0,50174
7022,3	0,70	0,12840
13648,2	1,45	0,11674
17362,8	1,80	0,55007
19333,2	2,00	0,88674
PROMEDIO		3,10208

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36*Resumen del modelo.*

		R-cuad.	R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
68,9991	99,99%	99,99%	99,98%

Nota. Elaborado con Minitab18.**Tabla 37***Coeficientes del modelo de regresión.*

		EE del				
Término	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV	
Constante	570,8	50,1	11,39	0,000		
CONCEN	9348,0	39,2	238,62	0,000	1,00	

Nota. Elaborado con Minitab18.

De esa manera, reemplazando en la ecuación para la incertidumbre de regresión:

$$u(Cx) = \frac{68,999}{9348} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{18} + \frac{(1,451 - 1,058)^2}{3,102}}$$

$$u(Cx) = 0,0038 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- **Incertidumbre de muestreo:**

A continuación, solo se considera la incertidumbre generada por los efectos aleatorios relacionada con la etapa de monitoreo. De esa manera, de acuerdo con el procedimiento de TYP SA (2025), se muestran las fórmulas a emplear para calcular dicha incertidumbre.

$$\overline{D_1} = \frac{\sum D_1}{n}$$

$$\overline{D_2} = \frac{\sum D_2}{n}$$

$$\overline{D_{prom}} = \frac{\sum D_{prom}}{n}$$

Donde D prom es la diferencia entre los promedios de cada pareja de duplicados respecto a cada analista (también nombrada media de medición), mientras que D1 y D2 son las diferencia entre los duplicados del analista 1 y 2, respectivamente.

Mientras que el promedio de rango de análisis será $\overline{D_{análisis}}$, tal que:

$$\overline{D_{análisis}} = \frac{|\overline{D_1} - \overline{D_2}|}{2}$$

A partir de las cuales se calcula:

$$S_{análisis} = \frac{\overline{D_{análisis}}}{1.128}$$

$$S_{medición} = \frac{\overline{D_{prom}}}{1.128}$$

Para finalmente determinar la incertidumbre de muestreo que se expresa según:

$$u_{muestreo} = \sqrt{S_{medición}^2 - \left(\frac{S_{análisis}}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

En la tabla 38, se presentan los 7 duplicados de 2 analistas de monitoreo.

Tabla 38

Evaluación de la incertidumbre de muestreo.

DUP	Muestreo 1		Promedio	D1 = /X1- X2/	Muestreo 2		Promedio	D2 = /X1- X2/	Dprom = /Promedio1- Promedio2/
	Analista de campo 1				Analista de campo 2				
DUP1	1,421	1,458	1,263	0,031	1,304	1,359	1,332	0,056	0,1079
DUP2	1,304	1,359	1,332	0,056	1,434	1,443	1,439	0,009	0,1071
DUP3	1,372	1,313	1,343	0,059	1,448	1,458	1,453	0,010	0,1105
DUP4	1,314	1,329	1,322	0,015	1,347	1,354	1,350	0,007	0,0284
DUP5	1,625	1,624	1,499	0,033	1,502	1,506	1,504	0,004	0,1203
DUP6	1,425	1,438	1,333	0,055	1,365	1,367	1,366	0,003	0,0655
DUP7	1,542	1,571	1,507	0,015	1,521	1,538	1,530	0,017	0,0267
Promedio			1,435	0,0300			1,425	0,0151	0,0809

Nota. Elaboración propia.

Reemplazando en las ecuaciones anteriores:

$$\overline{D_1} = 0,0300 ; \overline{D_2} = 0,0151 ; \overline{D_{prom}} = 0,0809$$

Por lo que:

$$\overline{D_{análisis}} = 0,0225$$

$$S_{análisis} = 0,0200 ; S_{medición} = 0,0717$$

Y, finalmente:

$$u_{muestreo} = 0,0703 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- Incertidumbre asociada al volumen de aire:**

Para períodos de muestreo de 24h, se desprecia el efecto de la incertidumbre del tiempo sobre el volumen total y solo se considera la incertidumbre del flujo.

De esa manera, el certificado de calibración del flujómetro indica una incertidumbre expandida de 0.060 L/min, con un factor K=2, mientras que la resolución analógica del instrumento es 0.050 L/min y se propone una distribución rectangular. Por ello, la incertidumbre asociada al flujo de aire se presenta en la Tabla39.

Tabla 39

Contribución de la incertidumbre asociada al volumen de aire muestreado.

Inc.	Unidades	Distribución	Incert. Std. $u(x_i)$	Coef. Sens.	Contribución $u_i(y)$
---	L/min	---	0,04163	1,000	0,04163
0,050	L/min	RECTANGULAR	0,02887	---	---
0,060	L/min	Normal, K=2	0,03000	---	---

Nota. Elaboración propia.

Como la contribución del tiempo es nula, la contribución de incertidumbre sobre el volumen de muestreo es 0,04163m³.

- **Incertidumbre asociada al cálculo del coeficiente de desorción:**

Tabla 40

Efecto del coeficiente de desorción sobre la incertidumbre.

MUESTRA	Conc. Obtenida (µg/mL)	Conc. Agregada (µg/mL)	D	S (µg/mL)
BZ_1_001	0,126	0,100	1,260	0,00585
BZ_2_001	0,124	0,100	1,240	
BZ_3_001	0,115	0,100	1,150	
BZ_1_002	0,373	0,350	1,066	0,02214
BZ_2_002	0,367	0,350	1,049	
BZ_3_002	0,332	0,350	0,949	
BZ_1_003	0,684	0,700	0,977	0,02020
BZ_2_003	0,709	0,700	1,013	
BZ_3_003	0,724	0,700	1,034	
BZ_1_004	1,431	1,400	1,022	0,05934
BZ_2_004	1,383	1,400	0,988	
BZ_3_004	1,313	1,400	0,938	
BZ_1_005	1,751	1,800	0,973	0,07198
BZ_2_005	1,837	1,800	1,021	
BZ_3_005	1,694	1,800	0,941	
BZ_1_006	2,016	2,000	1,008	0,03649
BZ_2_006	1,956	2,000	0,978	
BZ_3_006	1,950	2,000	0,975	
PROMEDIO				0,03601

Nota. Elaboración propia.

- **Incertidumbre combinada:**

Tras multiplicar con sus respectivos coeficientes de sensibilidad, se tiene que:

Tabla 41

Contribución total de incertidumbres.

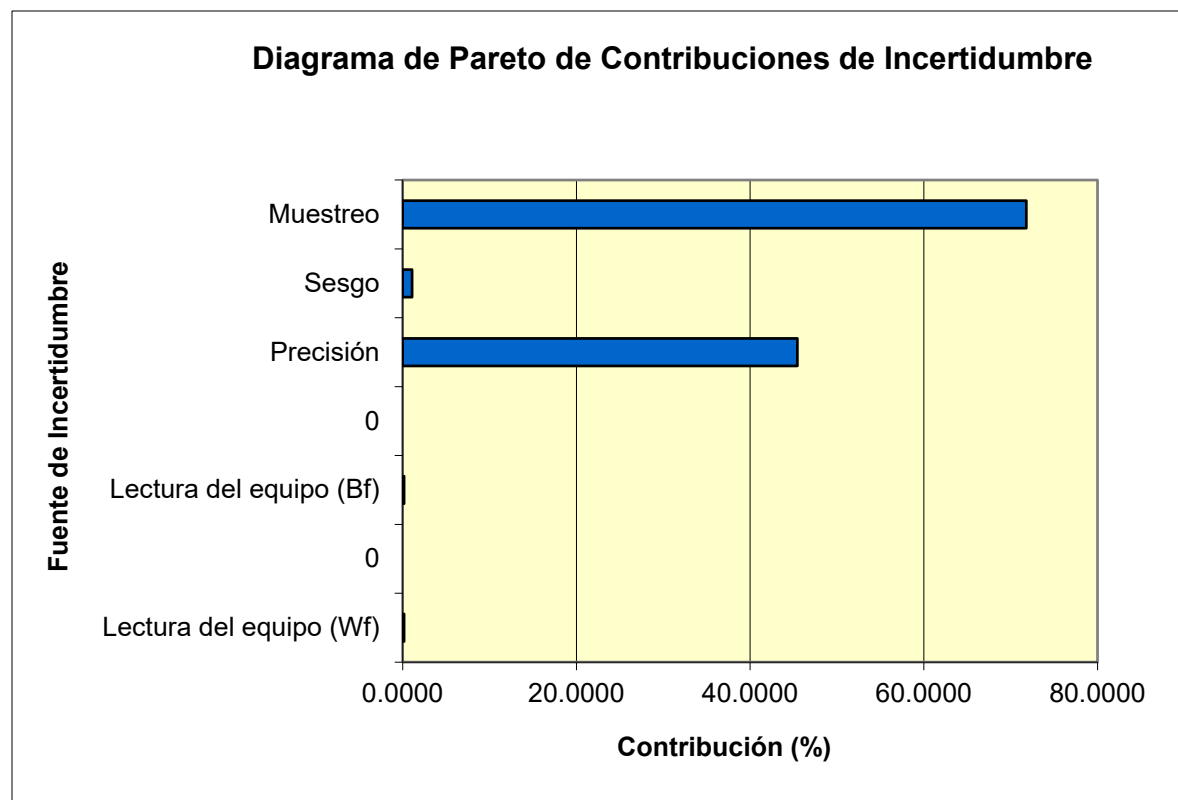
FUENTE	MAGNITU D ENTRADA	CONTRIBUCI ÓN	INCERTIDUMBR E COMBINADA	INCERTIDUM BRE EXPANDIDA (K=2)
Lectura	Lectura del equipo (m_m)	0,00386		
	Lectura del equipo (m_{bl})	0,00386		
Volumen muestrea do	V	0,04163	0.107	0.214
Desorción	Desorción	0,03601		
Precisión	Precisión	0,065		
Sesgo	Sesgo	0,01		
Muestreo	Muestreo	0,0703		

Nota. Elaboración propia.

Por ende, el mensurando ha de expresarse como $1,41 \pm 0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la incertidumbre relativa se define como $\pm 15\%$. Asimismo, se muestra un diagrama de Pareto en el que se muestra el factor que más contribuye a la incertidumbre expandida:

Figura 33

Diagrama de Pareto de contribuciones de Incertidumbre.



Nota. Elaboración propia.

Donde el muestreo es la suma del error asociado a la desviación estándar de los analistas de campo y la incertidumbre del equipo de flujo.

VI. Conclusiones

Con base a lo anteriormente desarrollado en el presente trabajo de investigación, implementación del método NTP 712.107:2020 para la determinación de benceno en matriz aire ambiental, se concluye que:

- La determinación instrumental de benceno mediante un sistema GC-FID, en cumplimiento con los requisitos de la norma técnica peruana correspondiente, se consiguió mediante los siguientes ajustes del sistema cromatográfico: Temperatura de inyección 200°C, rampa del horno: 30°C por 2 min @30°C/min hasta 180°C por 1 min, presión del gas carrier 18psi, volumen de inyección igual a 4uL, 5% difenil - 95% dimetil – polisiloxano (DB-5ms) como fase estacionaria, dimensiones de la columna en 30 m · 0.25 mm · 0.25 um, flujo de aire e hidrógeno en el detector igual a 450 mL y 45 mL, respectivamente y 300°C como temperatura del detector.
- Se obtuvieron como LDM y LCM 0,036 µg/m³ y 0,108 µg/m³. Asimismo, el rango lineal de trabajo comprende desde 0,11 µg/m³ hasta 2,00 µg/m³, mientras que el rango dinámico lineal es 4,00 µg/m³ – 20,00 µg/m³. Por ende, se satisface tanto el alcance de la NTP 712.107:2020 como el límite gubernamental de benceno 2,00 µg/m³ (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM).
- Se satisfacen los parámetros de desempeño tales como eficacia de desorción (D>0.90), reproducibilidad de inyección (RSD<2%) y deriva relativa de la respuesta del detector (<5%). Asimismo, se demostró que el método es selectivo, por lo que es capaz de determinar benceno, aun si se encuentra en una matriz compleja.
- De las fuentes de incertidumbres identificadas, se determinó que el muestreo genera la contribución más significativa.

Referencias Bibliográficas

- Abplanalp, W., DeJarnett, N., Riggs, D. W., Conklin, D. J., McCracken, J. P., Srivastava, S., Xie, Z., Rai, S., Bhatnagar, A., & O'Toole, T. E. (2017). Benzene exposure is associated with cardiovascular disease risk. *PLOS ONE*, 12(9), e0183602. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183602>
- Adamkiewicz, G. & World Health Organization (Eds.). (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Bae, B., Kim, J., Yeom, J., Chen, Q., Ray, C., & Shannon, M. (2012, julio 15). Development of a portable gas analyzer using a micro-Gas Chromatograph/Flame Ionization Detector (micro-GC/FID) for NASA's environmental missions. *42nd International Conference on Environmental Systems*. 42nd International Conference on Environmental Systems, San Diego, California. <https://doi.org/10.2514/6.2012-3435>
- D'Andrea, M. A., & Reddy, G. K. (2018). Health Risks Associated With Benzene Exposure in Children: A Systematic Review. *Global Pediatric Health*, 5. <https://doi.org/10.1177/2333794X18789275>
- Dolan J. (2024). Internal Standards: How Does It Work—Technical Article. *Separation Science*. https://learning.sepscience.com/hubfs/Technical%20Blogs/HPLC_134_v2.pdf
- Dongo-Cateriano, C., & Malca- Casavilca, N. (2022). Análisis del benceno como indicador de la calidad del aire en los establecimientos de combustibles. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(50), 273-279. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24250>
- Cantwell, H. (Ed.). (2025). Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. <https://www.eurachem.org/index.php/3-publications/guides/144-gdmv2014#citation>

- INMETRO, Dicla. (2020). ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS. Coordenação Geral de Acreditação, Dicla. <https://www.gov.br/cdtn/pt-br/centrais-de-conteudo/documentos-cgcre-abnt-nbr-iso-iec-17025/doq-cgcre-008/view>
- Guo, H., Ahn, S., & Zhang, L. (2021). Benzene-associated immunosuppression and chronic inflammation in humans: A systematic review. *Occupational and Environmental Medicine*, 78(5), 377-384. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106517>
- Healy, R. M., Wang, J. M., Karellas, N. S., Todd, A., Sofowote, U., Su, Y., & Munoz, A. (2019). Assessment of a passive sampling method and two on-line gas chromatographs for the measurement of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in ambient air at a highway site. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1123-1127. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.017>
- Hübschmann, H. (2009). *Handbook of GC-MS: Fundamentals and Applications* (2^a ed.) Wiley-VCH.
- Instituto Nacional de Calidad del Perú. (2020). *MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Método de medida de la concentración de benceno en aire ambiental. Parte 2: Muestreo por aspiración seguido de desorción por disolvente y cromatografía de gases* (1^a ed.). Dirección de Normalización, INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad del Perú. (2025). Laboratorios de Ensayo – Alcances por Empresa. INACAL. <https://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/lab-ensayo-alcances-empresa>
- Loomis, D., Guyton, K., Grosse, Y., Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim, L., Guha, N., Vilahur, N., Mattock, H., & Straif, K. (2017). Carcinogenicity of benzene. *IARC Monographs*, 18(12), 1574-1575. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X)

- Ministerio del Ambiente del Perú. (2017). *Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.* Ministerio del Ambiente.
<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>
- Ministerio del Ambiente en Perú. (2019). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Ministerio del Ambiente.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/protocolo_monitoreo_aire.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023, Agosto 17). *MTC: El 58% de la contaminación del aire en Lima y Callao es provocado por el Parque Automotor.* Gob.pe.
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/819851-mtc-el-58-de-la-contaminacion-del-aire-en-lima-y-callao-es-provocado-por-el-parque-automotor>
- Moretti-Villegas, L. F., Tafur-Anzualdo, V. I., & Valiente-Saldaña, Y. M. (2023). Contaminación del aire en la ciudad de Lima, Perú. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(2), 822-830. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2975>
- Laboratorio TYPESA Perú. (2025). Estimación de la Incertidumbre de la Medición. Laboratorio TYPESA Perú, Lima.
- Skoog, D., Holler, F., & Crouch, S. (2014). *Principios de análisis instrumental* (9ª ed.). Cengage Learning Editores.
- Spinelle, L., Gerboles, M., Kok, G., Persijn, S., & Sauerwald, T. (2017). Review of Portable and Low-Cost Sensors for the Ambient Air Monitoring of Benzene and Other Volatile Organic Compounds. *Sensors*, 17(7), 1520. <https://doi.org/10.3390/s17071520>
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/pdf/Bookshelf_NBK138705.pdf

World Health Organization. (2024, Octubre). *Ambient (outdoor) air pollution*.

[https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Anexos

- Anexo A. Certificados

Página 1 de 2



**CIENTIFICA
ANDINA**

REPORTE DE SERVICIO No. SD00156/2025 **FECHA:** 09/07/2025

DATOS DEL CLIENTE

RAZÓN SOCIAL: TECNICA Y PROYECTOS S.A.
LOCALIZACIÓN: LABORATORIO
INSTRUMENTO: CALLE DELTA 269 - CALLAO - CALLAO - CALLAO
DIRECCIÓN:

LÍNEA		EQUIPO							
CROMATOGRAFIA DE GASES		CROMATOGRAFO DE GASES							
MARCA	MODELO	No DE SERIE	CÓDIGO CLIENTE						
PERKIN ELMER	CLARUS 500	650N4082602	---						
TIPO DE SERVICIO		TERMINADO	TIPO						
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y VERIFICACION DE RENDIMIENTO		SI	SEGÚN O/C						
SUB TIPO									
COBRABLE									
RAZÓN DEL SERVICIO									
AREA DE FALLA	CAUSA	RAZÓN INCOMPLETO	USO PRIMARIO						
NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	LABORATORIO						
HORAS DE TRABAJO	No VISITA	PROX. MANTTO	NOMBRE DEL RESPONSABLE						
Inicio 09:00: Término : 17:00:	1		PEDRO ALTAMIRANO						
TELÉFONO									
992836031									
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO									
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y VERIFICACION DE RENDIMIENTO Se realizó Mantenimiento Preventivo de acuerdo a formato de mantenimiento. Los voltajes de alimentación medidos son: Vol línea-tierra = 120.4 VAC, VAC, tierra -neutro: 0.24VAC, Limpieza interna del equipo y externo del instrumento, Se encontro acumulacion de polvo en la tarjeta de distribucion. El jet y el Nozzle requiere cambio inmediato. Solo se cambio el Lainer, el oring. Se calibro los gases internos aire, hidrogeno y helio, segun procedimiento. Se instala columna de servicio para verificacion de rendimiento. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Se realiza Verificacion de Rendimiento con Test Mix del detector FID conforme. El equipo paso la prueba de sensibilidad del detector FID conforme y la reproducibilidad del autosampler El equipo queda operativo y verificado Se recomienda cambiar los gases no menor a 300psi. Se recomienda adquirir los consumibles en el cuadro siguiente									
No. DE PARTE	REPUESTOS Y CONSUMIBLES	CANT	NECESIDAD	TIPO	R	U	P	ORIGEN	S
N6100361	JET ASSY AXSL FID	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
09902143	O-RING	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N6100430	NOZZLE ASSY-ASXL FID	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
00091279	GLOW PLUG	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N9302782	RING 7/32X11/32X1/16 KALREZ	1.00	PROX. MANT.		X	X		CLIENTE	
N9306113	(HE) SPECIFIC TRIPLE CLICK-ON	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N6121011	CAP Quart split Deactwool 4x6.	1.00	PROX. MANT.		X	X		CLIENTE	
N9301178	TRAP-FLTR DRYER 1/8 FITTING	2.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N6101182	MOLDING-9000 AS VIAL LOCATOR	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N6101183	SPRING-9000 AS VIAL SENSOR	2.00	CAMBIO INMEDIATO		X				
N6101390	SYRINGE-9000 5.0UL .63NDL DYNA	1.00	CAMBIO INMEDIATO		X				

R: Recomendado, U: Utilizado, P: Prestado, S: Stock del Cliente



710 Bridgeport Avenue
Shelton, CT 06484

Certificate of Analysis
GC Detector Test Mix
Part No. N930-7036 Lot No. PE-235
Date Manufactured: 12/07/2023
Expiration Date: 12/31/2026

Manufactured for Perkin-Elmer by
NSI Solutions, Inc., an ISO 9001
registered company (UL file # A8614).
Prepared volumetrically using ASTM
Class A calibrated glassware in
pesticide grade n-hexane. Composition
and homogeneity verified by GCMS
after packaging.

n-Octane 10 mL/L +/- 0.087 mL/L
n-Nonane 100 mL/L +/- 0.71 mL/L
Thiophene 25 uL/L +/- 0.18 uL/L
n,n-Dimethylaniline 10 uL/L +/- 0.14 uL/L
Perchloroethene 0.62 uL/L +/- 0.006 uL/L



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0161-003-25

Cliente:
Customer

TECNICA Y PROYECTOS S.A
SUCURSAL DEL PERU

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Dirección:
Address

AV. 28 DE JULIO NRO. 1044- URB
SAN ANTONIO DPTO. 501-
MIRAFLORES

Teléfono:
Phone Number

959 097 968

Persona de Contacto:
Contact Person

Carlos Benito Candio

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el período de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.

Objeto:
Item

CONSERVADORA



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

Marca:
Manufacturer

FRIGIDAIRE

Modelo:
Model

FRU17G4JW22

No. de Serie:
Serial Number

WA33402106

Identificación:
Identification

LEQ-010

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Ubicación del Objeto⁽¹⁾:
Item Location

NO ESPECIFICA

Fecha de Recepción:
Date of Receipt

2025-01-29

Fecha de Calibración:
Calibration Date

2025-01-29

Próxima Fecha de Calibración:
Due Date

-

Técnico Responsable:
Responsible Technician

Fabio Herrera

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión:
Person authorizing / Date of Issue

Ing. Savino Pineda / 2025-02-05

Gerente General

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=D90623155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-02-05 11:18:39



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0161-002-25

Cliente:

Customer

TECNICA Y PROYECTOS S.A
SUCURSAL DEL PERU

Dirección:

Address

AV. 28 DE JULIO NRO. 1044- URB
SAN ANTONIO DPTO. 501-
MIRAFLORES

Teléfono:

Phone Number

959 097 968

Persona de Contacto:

Contact Person

Carlos Benito Candio

Objeto:

Item

CONSERVADORA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Historio de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

Marca:

Manufacturer

COLDEX

Modelo:

Model

FD 9501 000339

No. de Serie:

Serial Number

RSS22VW111/11

Identificación:

Identification

LEQ-155

Ubicación del Objeto⁽¹⁾:

Item Location

NO ESPECIFICA

Fecha de Recepción:

Date of Receipt

2025-01-29

Fecha de Calibración:

Calibration Date

2025-01-29

Próxima Fecha de Calibración:

Due Date

-

Técnico Responsable:

Responsible Technician

Fabio Herrera

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión:

Person authorizing / Date of Issue

Ing. Savino Pineda / 2025-02-05

Gerente General

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ

Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=090623155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-02-05 11:39:22



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 059



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-1619-001-25



Cliente:
Customer
Dirección:
Address
Teléfono:
Phone Number
Persona de Contacto:
Contact Person
Objeto:
Item

TECNICA Y PROYECTOS S.A
SUCURSAL DEL PERU
AV. 28 DE JULIO NRO. 1044- URB
SAN ANTONIO DPTO. 501-
MIRAFLORES
959 097 968
Carlos Benito Candio
TERMOHIGRÓMETRO

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el período de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Marca:
Manufacturer
Modelo:
Model
No. de Serie⁽¹⁾:
Serial Number
Identificación:
Identification
Ubicación del Objeto⁽¹⁾:
Item Location
Fecha de Recepción:
Date of Receipt
Fecha de Calibración:
Calibration Date
Próxima Fecha de Calibración:
Due Date
Técnico Responsable:
Responsible Technician

ELICROM
TH0511
NO ESPECIFICA
LEQ-621
NO ESPECIFICA
2025-08-20
2025-08-21
-
Carlos Linares

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión:
Person authorizing / Date of Issue

Ing. Savino Pineda / 2025-08-21

Gerente General

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=1103187462-030625142241, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-08-21 11:12:13

INFORME DE MANTENIMIENTO

MP – 2025 – 21

I. CLIENTE

Razón Social: TECNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERÚ
Dirección: Calle Delta N° 269 – Urb. Parque Industrial - Callao
Atención: Ing. Pedro Altamirano
Cargo: Coordinador de Cromatografía

II. DATOS TÉCNICOS DEL EQUIPO

Nombre del Equipo: CAMPANA EXTRACTORA DE GASES
Marca: BIOBASE
Modelo: FH1800 (P)
Serie: FH18Z2310066P
Código Inventario: LEQ - 544
Accesorios del equipo: 2 FILTROS DE CARBON ACTIVO INSTALADOS
Voltaje de Alimentación: 220 VAC
Consumo máximo: 700W

III. TRABAJO REALIZADO

- Verificación previa de funcionamiento del equipo
- Limpieza externa e interna de la campana extractora.
- Revisión del sistema de extracción (los 2 motores de extracción y los ductos, se encuentran en buenas condiciones, con regular acumulación de polvo y partículas, los cuales se han eliminado)
- Verificación del tablero eléctrico de control (este modelo no cuenta con tablero eléctrico).
- Revisión del estado de los fluorescentes para iluminación.
- Verificación, limpieza y/o ajustes del sistema electrónico (tarjetas electrónicas, sensor de velocidad, pantalla, teclado, cableado y conectores)
- Verificación y limpieza del sistema mecánico para la apertura y cierre de la ventana frontal (en buenas condiciones, con regular acumulación de polvo y partículas)
- Verificación del funcionamiento de las llaves para agua y gas (solo está conectado la llave para agua, la llave para gas no se está utilizando)
- Revisión de las conexiones para el suministro de Agua y el respectivo drenaje.
- Revisión del estado de los filtros (se tiene instalados 02 filtros de carbón activo, los cuales no tienen indicación de la fecha de vencimiento)
- Pruebas finales de funcionamiento.

IV. CONCLUSIONES

- El equipo se deja operativo y en mejores condiciones de las que se encontró inicialmente.
- Las pruebas finales del funcionamiento del equipo se realizaron sin ningún inconveniente.

V. RECOMENDACIONES

ITSOTEC SAC.
.....
Ing. Johannes Rivera Lopez
Dpto. Técnico
CIP: 172730





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 059



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-1079-010-25



Cliente:
Customer
Dirección:
Address
Teléfono:
Phone Number
Persona de Contacto:
Contact Person
Objeto:
Item

TECNICA Y PROYECTOS S.A
SUCURSAL DEL PERU
AV. 28 DE JULIO NRO. 1044- URB
SAN ANTONIO DPTO. 501-
MIRAFLORES
959 097 968
Carlos Benito Candio
FIOLA (MATRAZ AFORADO)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

Marca:
Manufacturer
Modelo⁽¹⁾:
Model
No. de Serie⁽¹⁾:
Serial Number
Identificación:
Identification
Ubicación del Objeto⁽¹⁾:
Item Location
Fecha de Recepción:
Date of Receipt
Fecha de Calibración:
Calibration Date
Próxima Fecha de Calibración:
Due Date
Técnico Responsable:
Responsible Technician

BLAUBRAND
NO ESPECIFICA
NO ESPECIFICA
MVF.25.24
NO ESPECIFICA
2025-06-06
2025-06-08
-
Carlos Linares

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión:
Person authorizing / Date of Issue

Ing. Savino Pineda / 2025-06-12


Gerente General

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=1103187462-030625142241, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-06-12 13:45:54

Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio	Volumen	Código N°
<i>Laboratory</i>	<i>Volume</i>	E223-L2-0157A-2025 - 1
		Code N°

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com

This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com

a. Solicitante: <i>Applicant</i>	TECNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERU
b. Dirección solicitante: <i>Applicant address</i>	Calle Delta 269, Urb. Parque Industrial Callao 01, Callao - Lima - Peru.
c. Instrumento de medida: <i>Measuring instrument</i>	Pipeta de pistón - Microjeringa
d. Marca: <i>Manufacturer / Brand</i>	Agilent
e. Modelo: <i>Model</i>	No indica
f. Número de serie: <i>Serial Number</i>	42V-045481M
g. Identificación: <i>Internal code</i>	LEQ-546 (*)
h. Lugar de calibración: <i>Calibration Place</i>	Laboratorio de Volumen de LO JUSTO S.A.C
i. Fecha de calibración: <i>Calibration Date</i>	2025-06-11
j. Supervisor de Laboratorio: <i>Laboratory Supervisor</i>	Ito Apaza, Nancy A. Supervisor de Laboratorio Laboratory Supervisor Jose Luis Rosales Saavedra CONTROL OPERACIONES Fecha: 2025/06/12 17:27
k. Signatario autorizado: <i>Authorized signatory</i>	



Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio
Laboratory

Volumen
Volume

Código N° E223-L2-0157A-2025 - 2
Code N°

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com

This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com

a. Solicitante:
Applicant

TECNICA Y PROYECTOS S.A.
SUCURSAL DEL PERU

b. Dirección solicitante:
Applicant address

Calle Delta 269, Urb. Parque
Industrial Callao 01, Callao - Lima -
Peru.

c. Instrumento de medida:
Measuring instrument

Pipeta de pistón - Microjeringa

d. Marca:
Manufacturer / Brand

Agilent

e. Modelo:
Model:

No indica

f. Número de serie:
Serial Number:

51X-111746M

g. Identificación:
Internal code

LEQ-549 (*)

h. Lugar de calibración:
Calibration Place

Laboratorio de Volumen de
LO JUSTO S.A.C

i. Fecha de calibración:
Calibration Date

2025-06-11

j. Supervisor de Laboratorio:
Laboratory Supervisor

Ito Apaza, Nancy A.
Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor

Jose Luis Rosales Saavedra
CONTROL OPERACIONES
Fecha: 2025/06/12 17:27



k. Signatario autorizado:
Authorized signatory

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio	Volumen	Código N°	E223-L2-0157A-2025 - 3
<i>Laboratory</i>	<i>Volume</i>	<i>Code N°</i>	

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com

This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com

a. Solicitante: <i>Applicant</i>	TECNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERU
b. Dirección solicitante: <i>Applicant address</i>	Calle Delta 269, Urb. Parque Industrial Callao 01, Callao - Lima - Peru.
c. Instrumento de medida: <i>Measuring instrument</i>	Pipeta de pistón - Microjeringa
d. Marca: <i>Manufacturer / Brand</i>	Agilent
e. Modelo: <i>Model:</i>	No indica
f. Número de serie: <i>Serial Number:</i>	24V-365647A
g. Identificación: <i>Internal code</i>	LEQ-551 (*)
h. Lugar de calibración: <i>Calibration Place</i>	Laboratorio de Volumen de LO JUSTO S.A.C
i. Fecha de calibración: <i>Calibration Date</i>	2025-06-11
j. Supervisor de Laboratorio: <i>Laboratory Supervisor</i>	Ito Apaza, Nancy A. Supervisor de Laboratorio <i>Laboratory Supervisor</i> Jose Luis Rosales Saavedra CONTROL OPERACIONES Fecha: 2025/06/12 17:27
k. Signatario autorizado: <i>Authorized signatory</i>	



Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio	Volumen	Código N°	E223-L2-0157A-2025 - 4
<i>Laboratory</i>	<i>Volume</i>	<i>Code N°</i>	

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com

This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com

a. Solicitante: <i>Applicant</i>	TECNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERU
b. Dirección solicitante: <i>Applicant address</i>	Calle Delta 269, Urb. Parque Industrial Callao 01, Callao - Lima - Peru.
c. Instrumento de medida: <i>Measuring instrument</i>	Pipeta de pistón - Microjeringa
d. Marca: <i>Manufacturer / Brand</i>	Agilent
e. Modelo: <i>Model:</i>	No indica
f. Número de serie: <i>Serial Number:</i>	09Y-118856M
g. Identificación: <i>Internal code</i>	LEQ-553 (*)
h. Lugar de calibración: <i>Calibration Place</i>	Laboratorio de Volumen de LO JUSTO S.A.C
i. Fecha de calibración: <i>Calibration Date</i>	2025-06-11
j. Supervisor de Laboratorio: <i>Laboratory Supervisor</i>	Ito Apaza, Nancy A. Supervisor de Laboratorio <i>Laboratory Supervisor</i> José Luis Rosales Saavedra CONTROL OPERACIONES Fecha: 2025/06/12 17:27
k. Signatario autorizado: <i>Authorized signatory</i>	



Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

Table 1 — Flow Rates for ORBO Tubes	
ORBO Tube	Flow Rate
ORBO-23:Formaldehyde, Acrolein, other Aldehydes	10-200mL/min
ORBO-24:Formaldehyde, Acrolein, other Aldehydes	100-200mL/min
ORBO-25:Acetaldehyde	10-50mL/min
ORBO-32 (small):Many Organics	10-1000mL/min
ORBO-32 (large):Many Organics	50-1000mL/min
ORBO-33:Ethylene Oxide (Refrigerate after sampling. Ship in dry ice.)	20-50mL/min
ORBO-42 (small):Pesticides	400-2000mL/min
ORBO-42 (large):Pesticides	1000mL/min
ORBO-43:PAH	2000mL/min
ORBO-44:Chlordane, Tetrachlorobenzene	10-1000mL/min
ORBO-47:(phenols/cresols)	100mL/min
ORBO-49P:Organophosphorus Pesticides	1000mL/min
ORBO-52 (small):Amines/Alcohols	10-1000mL/min
ORBO-52 (large):Amines	200-1000mL/min
ORBO-53:Inorganic Acids	200-500mL/min
ORBO-60:PCBs	50-200mL/min
ORBO-70:Acids	200-1000mL/min
ORBO-78:Ethylene oxide	20-100mL/min
ORBO-90:Methyl ethyl ketone	10-200mL/min
ORBO-91:Acetone, MEK, Vinyl & Methylene Chloride	50mL/min
ORBO-92:Vinyl Acetate	100mL/min
ORBO-100:Many Organics	10-1000mL/min
ORBO-101:2,3-Dibromopropanol	50-500mL/min
ORBO-605:XAD-2	10-1000mL/min

Trademarks
ORBO — Sigma-Aldrich Co.
Tygon — Norton Co.

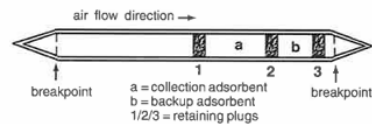
ORBO™ Tube Instruction Sheet

Consult Table 1 (back page) and the NIOSH Manual of Analytical Methods 3rd Edition, Volumes 1 and 2 (NIOSH Publication No. 84-100, US Government Printing Office) for further information on desorption, storage, and shipping of adsorbent tubes containing samples.

ORBO adsorption tubes comply with all NIOSH and OSHA specifications for tube dimensions, adsorbent quality and particle size, divider composition and pore size. These tubes are used in conjunction with a portable personal air pump or vacuum pump.

Figure A shows a typical tube divided into two adsorbent beds. Section a is twice the size of Section b and will collect the compounds of interest. Section b is a backup section to determine if breakthrough of airborne contaminants occurred on the front portion.

Figure A — ORBO Tube



Step 1

Just before sampling, uniformly break the sealed ends of the ORBO tube 2/3 of the distance from each tapered tip to the shoulder (see dotted line in Figure A), to ensure good air flow. The ORBO tube cutter (Figure B) will score and snap off the tube tips cleanly. If the ORBO tube should crack into the center of the tube, discard it. WEAR SAFETY GLASSES TO PROTECT YOUR EYES WHEN BREAKING ORBO TUBES.

DS13994N
©1997 Sigma-Aldrich Co.

SUPELCO
Bellefonte, PA

Certificate of Analysis

1 Reagent Lane
 Fair Lawn, NJ 07410
 201.796.7100 tel
 201.796.1329 fax

Thermo Fisher Scientific's Quality System has been found to conform to Quality Management System
 Standard ISO9001:2015 by SAI Global Certificate Number CERT – 0120633

This is to certify that units of the lot number below were tested and found to comply with the specifications of the grade listed. Certain data have been supplied by third parties. Thermo Fisher Scientific expressly disclaims all warranties, expressed or implied, including the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. Products are for research use or further manufacturing. Not for direct administration to humans or animals. It is the responsibility of the final formulator and end user to determine suitability based upon the intended use of the end product. Products are tested to meet the analytical requirements of the noted grade. The following information is the actual analytical results obtained.

Catalog Number	D154	Quality Test / Release Date	09/16/2024
Lot Number	243574		
Description	METHYLENE CHLORIDE GC RESOLV		
Country of Origin	United States	Suggested Retest Date	Sep/2029
Chemical Origin	Organic - synthetic		
BSE/TSE Comment	Methylene Chloride is made from hydrocarbon feedstocks and chlorine, and never comes into contact with materials of animal origin. Therefore, there is no issue with BSE/TSE with this product.		
Comment	This product contains no genetically modified materials and is free of any known allergy-stimulating food substances. Melamine is not used in the manufacture or processing of this product, nor is there a credible chemical route for its formation. While it is not analyzed for melamine, there is no reason to believe that there is any melamine in this product.		

N/A			
Result Name	Units	Specifications	Test Value
APPEARANCE		REPORT	Clear, colorless liquid
ASSAY	%	>= 99.9	>99.9
COLOR	APHA	<= 10	<5
EVAPORATION RESIDUE	ppm	<= 1	<1
FREE HALOGENS	PASS/FAIL	IN PASS TEST	PASS TEST
GC-FID IMPURITY (DECANE STD.) SINGLE PEAK	ppb	<= 1	<1
GC-FID IMPURITY (DECANE STD.) TOTAL PEAKS	ppb	<= 10	<10
GC-MS IMPURITY (NAPHTHALENE, PHENANTHRENE STD)	ppb	<= 0.25	<0.25
HEPTACHLOR EPOXIDE	ppt	<= 5	<5
IDENTIFICATION	CONFORMS TO STANDARD	IN CONFORMS TO STANDARD	CONFORMS TO REF
PRESERVATIVE - AMYLENE	ppm	Inclusive Between 15 - 200	46
TITRATABLE ACID	MEQ/G	<= 0.0003	0.0002
WATER (H2O)	%	<= 0.02	<0.01

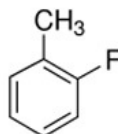


Harout Sahagian - Quality Control Manager - Fair Lawn

Certificate of Analysis

Product Name:
2-Fluorotoluene - $\geq 99\%$

Product Number: F15323
Batch Number: STBK9646
Brand: ALDRICH
CAS Number: 95-52-3
Formula: C₇H₇F
Formula Weight: 110,13 g/mol
Quality Release Date: 07 NOV 2022



Test	Specification	Result
Appearance (Color)	Colorless to Very Faint Yellow	Colorless
Appearance (Form)	Liquid	Liquid
Color Test	≤ 50 APHA	< 20 APHA
Purity (GC)	$\geq 99.0\%$	99.7 %
Infrared Spectrum	Conforms to Structure	Conforms



Dr. Christian Matheis
Manager, Quality Control
Steinheim, Germany DE



110 Benner Circle
Bellefonte, PA 16823-8812
Tel: 1-814-353-1300
Fax: 1-814-353-1309

www.restek.com

CERTIFIED REFERENCE MATERIAL

Certificate of Analysis *chromatographic plus*



FOR LABORATORY USE ONLY-READ SDS PRIOR TO USE.

This Reference Material is intended for Laboratory Use Only as a standard for the qualitative and/or quantitative determination of the analyte(s) listed.

Catalog No. : 36282 **Lot No.:** A0218253
Description : Residual Solvents Benzene Standard
Residual Solvents Benzene Standard 10mg/mL, DMSO, 1mL/ampul
Container Size : 2 mL **Pkg Amt:** > 1 mL
Expiration Date : October 31, 2027 **Storage:** 10°C or colder
Ship: Ambient

CERTIFIED VALUES

Elution Order	Compound	CAS #	Lot #	Purity	Grav. Conc. (weight/volume)	Expanded Uncertainty * (95% C.L.; K=2)
1	Benzene	71-43-2	MKCS3357	99.6%	10.1 mg/mL	+/- 0.5672

* Expanded Uncertainty displayed in same units as Grav. Conc.

Solvent: DMSO (dimethylsulfoxide)
CAS # 67-68-5
Purity 99.6%

- **Anexo B. Carta de Autorización**



TÉCNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERÚ
TYPESA

Lima-Perú, 3 de noviembre del 2025

Estimado Gerente General Jorge Carlos Leon Leon

Por medio de la presente,

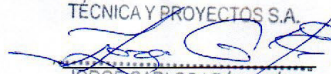
Yo, Midwar Jimmy Alemán Vásquez identificado(a) con DNI N. ° 71414101, desempeñándome como analista en el área de cromatografía solicito con todo respeto ante ustedes: Gte. Jorge Carlos Leon Leon, perteneciente a la empresa TYPESA - TÉCNICA Y PROYECTOS S.A. SUCURSAL DEL PERÚ, el permiso del uso de los datos y/o registros requeridos concernientes al desarrollo de la Implementación de Benceno en aire ambiental (NTP 712.107:2020) haciendo el uso exclusivamente con fines académicos para el desarrollo de Tesis de Grado.

La información proporcionada será utilizada únicamente para los propósitos antes mencionados y respetando las políticas internas de la empresa.

Agradeciendo su gentil atención, me despido.

Atentamente,

Midwar Jimmy Alemán Vásquez

TÉCNICA Y PROYECTOS S.A.

JORGE CARLOS LEON LEÓN
GERENTE GENERAL LABORATORIO
Firma
Jorge Carlos Leon Leon
Gerente General