

Validación de prototipo de determinador de porcentaje de alcohol en línea basado en celda desacoplada para el proceso de destilación de pisco

Validation of a prototype of an on-line percentage alcohol determiner based on an uncoupled cell for the Pisco distillation process

Luis Cárdenas Lucero

Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de San Martín de Porres, Perú
Correspondencia: lcardenasl@usmp.pe

Recibido: 12 de octubre de 2023

Aceptado: 25 de noviembre de 2023

Resumen

La validación de un instrumento de medición industrial consiste en la prueba de sus características referidas a la exactitud, precisión, linealidad, porcentaje de error y otras. El proyecto de investigación de diseño y construcción de un determinador de grado alcohólico en línea para la producción del pisco, desarrollado por la Universidad de San Martín de Porres (USMP), en cooperación con la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE) dio como resultado cuatro prototipos que pasaron por el proceso de validación de un instrumento de medición, estas pruebas se realizaron en la planta piloto CIPRI de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la USMP. El protocolo de pruebas de variación se realizó con la evaluación de la exactitud, precisión, linealidad y determinación del porcentaje de error, usando como patrón el Atago CX-380 y los métodos descritos en la Norma Técnica Peruana 211.001 2006, obteniéndose resultados aceptables.

Palabras clave: pisco, determinador, alcohol, destilación, validación, instrumentación

Para citar este artículo:

Cárdenas, L. (2023). Validación de prototipo de determinador de porcentaje de alcohol en línea basado en celda desacoplada para el proceso de destilación de pisco. *Cultura*, 37, 133-151. <https://doi.org/10.24265/cultura.2023.v37.07>

Este es un artículo Open Access bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0



Abstract

The validation of an industrial measuring instrument consists of testing its characteristics related to accuracy, precision, linearity, percentage of error, and others. The research project for the design and construction of an in-line alcohol degree determiner for the production of pisco, developed by the University of San Martín de Porres (USMP) in cooperation with the Federal University of Pernambuco (UFPE), resulted in four prototypes that went through the process of validation of a measuring instrument. These tests were carried out at the CIPRI pilot plant of the Professional School of Industrial Engineering of the Faculty of Engineering and Architecture of the USMP. The variation test protocol was carried out with the evaluation of accuracy, precision, linearity and determination of the percentage of error, using the Atago CX-380 as a pattern and the methods described in Peruvian Technical Standard 211.001 2006, obtaining acceptable results.

Keywords: pisco, determiner, alcohol, distillation, validation, instrumentation

Introducción

La producción de pisco tiene gran importancia para el Perú, no solo por su valor económico industrial, sino también por su contenido simbólico cultural como parte de la identidad del país. Incluso, a nivel nacional e internacional, el pisco es conocido como la bebida bandera del Perú, por lo que la necesidad de garantizar la calidad de la producción industrial es un aspecto fundamental para continuar con este legado histórico.

Juran (1988) se refería a la calidad como el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Estas características son descritas en la Norma Técnica Peruana 211.001 2006, donde se establecen los requisitos organolépticos y los requisitos físicos y químicos del pisco, de los cuales, la mayoría se aseguran en las etapas agropecuarias y en las buenas prácticas de producción (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI, 2006). Una de las variables importantes a

estandarizar es la de la graduación alcohólica en línea, ya que al ser la producción del pisco un proceso artesanal es difícil homogenizar lotes sin cometer errores al tener la intervención del ser humano. En esta norma también se establecen las características y procedimiento a seguir, y es ahí donde define el mínimo y el máximo del grado alcohólico volumétrico a 20/20 °C (%) en 38.0 y 48.0 respectivamente, determinando una tolerancia al valor declarado de +/- 1.0

El equipo de investigación, desarrollo e innovación de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la USMP, a finales de la década de los noventa, inicio una línea de investigación para el desarrollo tecnológico de apoyo a la producción del pisco; desarrollando varias soluciones tecnológicas, entre ellas, las relacionadas a la estandarización de la calidad referente a la graduación alcohólica a través de la automatización del proceso de separación de fracciones (cabeza, cuerpo y cola).

El antecedente más antiguo de la solución de medición del grado alcohólico en línea es el Refractómetro Atago CM-780, que daba una solución ideal a la aplicación propuesta, pero no cumplía con los requerimientos económicos por su alto costo de mercado; es así que se presenta el proyecto de desarrollo de prototipo «Determinador de grado alcohólico continuo» que utilizó un método de transducción con un filamento basado en material piezoelectrónico (Cárdenes et al., 2010). Con el que se obtiene un instrumento a menor costo, pero sin superar los parámetros del refractómetro Atago. A partir de este antecedente se realizó el proyecto: «Diseño y fabricación de un determinador de porcentaje de volumen de alcohol en línea, usando algoritmo NRW modificado para celda desacoplada, en la elaboración de pisco en las bodegas del Perú», desarrollado por la USMP de Perú y UFPE de Brasil, basado en el diseño de transductor electromagnético para la determinación del contenido de alcohol en el pisco; obteniendo como resultado la construcción de cuatro prototipos funcionales los cuales fueron evaluados en su precisión, exactitud y confiabilidad en comparación con el prototipo desarrollado en el proyecto (como se cita en Santos & Calderón, 2016). Finalmente, se obtuvo un modelo de medición electrónica en tiempo real de la producción de bebidas espirituosas destiladas (Santos, 2021).

Las características del instrumento son las siguientes:

- Precisión. Desde la perspectiva estadística, se refiere a la capacidad de un instrumento de medición para producir resultados consistentes y reproducibles cuando se realizan mediciones repetidas bajo condiciones similares (Altman, 1983).
- Exactitud. Cochran (1977) lo define como la proximidad de los valores medidos al valor verdadero o aceptado. Es una medida de cuán cerca está una medición del valor real de la cantidad que se está midiendo.
- Linealidad. Para Box (1952) es la relación proporcional entre una variable de entrada y unas variables de salida en un sistema de medición. En el contexto de las mediciones, la linealidad implica que el cambio en la variable de salida es directamente proporcional al cambio en la variable de entrada.
- Error. Según Taylor (1997) el error en una medición se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero o aceptado de una cantidad física. El error puede ser causado por diversas fuentes, como errores instrumentales, errores en la técnica de medición, errores de lectura, errores ambientales, entre otros.

Método

El diseño de la validación del instrumento denominado determinador de grado alcohólico en línea se ha realizado bajo los estándares y criterios de la Scientific Apparatus Makers Association (SAMA), National Institute of Standards and Technology (NIST) y la NTP 211.001 2006.

Hasta la última actualización, en septiembre de 2021, no contaba con información específica sobre los criterios de calibración según la SAMA; probablemente por las pautas específicas de la institución publicadas después o debido a que la información no se encuentra disponible en fuentes públicas.

Exactitud y precisión. Los instrumentos deben proporcionar lecturas precisas y exactas dentro de los límites especificados. La exactitud se refiere

a la proximidad de la medida al valor verdadero, y la precisión se refiere a la capacidad de reproducir la misma medida en condiciones similares.

Linealidad. La respuesta del instrumento debe ser lineal a lo largo de su rango de medición. Esto significa que la relación entre la entrada y la salida del instrumento debe ser proporcional.

Repetibilidad y reproducibilidad. La repetibilidad se refiere a la capacidad del instrumento para proporcionar resultados consistentes cuando se mide la misma magnitud en condiciones similares. La reproducibilidad se refiere a la capacidad del instrumento para proporcionar resultados consistentes cuando se mide la misma magnitud en diferentes condiciones o por diferentes operadores.

Sensibilidad y resolución. La sensibilidad se refiere a la capacidad del instrumento para detectar pequeños cambios en la magnitud de entrada. La resolución es la menor magnitud de cambio que el instrumento puede detectar y mostrar.

Trazabilidad. La calibración debe ser trazable a estándares nacionales o internacionales reconocidos. Esto significa que se debe poder rastrear la cadena de calibración desde el instrumento calibrado hasta los estándares de referencia.

Incertidumbre de medición. Se debe evaluar y declarar la incertidumbre asociada con las mediciones del instrumento. La incertidumbre representa la falta de conocimiento completo sobre el valor verdadero.

Los criterios específicos pueden variar según el tipo de instrumento y la magnitud que se está midiendo.

En los procedimientos participaron, en las pruebas: el Ing. Luis López Palomino como responsable del diseño de las pruebas, Ing. Manuel Ballena como encargado del instrumental de laboratorio; el Ing. Saulo Carhuamanca como responsable del registro de datos y los Ing. Luis Cárdenas e Ing. Hugo Chacón como encargados del procesamiento y emisión de resultados de las pruebas.

Objetivo del experimento

Validar el instrumento de medición de grado alcohólico evaluando su exactitud, precisión, linealidad y error.

VARIABLES

- Variable independiente: lecturas del determinador de grado alcohólico.
- Variable dependiente: lecturas de los instrumentos patrones y referencia.

Diseño experimental

1. Determinación del tamaño de muestra mínima:

$$n = \frac{N \times \sigma^2 \times Z^2}{e \times (N - 1) + \sigma^2 \times Z^2} \quad (1)$$

e	0.05
N	150
σ	0.5
Confianza	95
Área a la izquierda de $-Z$	0.025
$-Z$	-1.96
Z	1.96

Tamaño de muestra: $n = 108$

2. Preparación de las muestras:

La preparación de las muestras se realizó a partir de la destilación de aguardiente de uva de mosto fresco en alambique de 150 litros, el cual se encuentra en la planta piloto del CIPRI de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial con el fin de tener un ambiente controlado en el proceso de obtención de muestras.

3. Repeticiones y aleatorización:

Se obtuvieron cuatro grupos de muestras en cuatro corridas de destilación, de 35 botellas las cuales se recogieron en botellas de 250 ml con tapa hermética, que dan un total de 140 muestras con el fin de ser registradas en el momento de su recolección por el determinador de grado alcohólico en línea y luego ser comparados con el patrón y el medidor referencias, al final de los experimentos las muestras fueron llevadas al laboratorio de ensayo CERTILAB.

4. Mediciones y registro de datos:

Se utilizo la picnometría como medición de referencia o patrón, para lo cual se utilizó una balanza analítica modelo Practum224-1S, instrumental de vidrio y los reactivos necesarios para las mediciones, tales como la mezcla silfocrómica, agua destilada, etanol q.o. y Eter etílico q.p. Para las mediciones de apoyo (prácticas) se utilizó un refractómetro digital portátil Atago PAL-alpha.

5. Análisis de datos:

Exactitud. Calcula el error absoluto para cada medición restando el valor real de alcohol de la lectura del instrumento. Luego, calcula el error relativo dividiendo el error absoluto por el valor real y multiplicando por 100 para obtener el porcentaje de error. Evalúa la media y la desviación estándar de los errores relativos para determinar la exactitud general del instrumento.

Precisión. Calcula la desviación estándar de las repeticiones para cada nivel de concentración para evaluar la precisión del instrumento.

Linealidad. Grafica las lecturas del instrumento en función de las concentraciones reales y verifica si la relación es lineal. Si hay una desviación significativa de una línea recta, se puede ajustar mediante técnicas de regresión lineal.

Error. Compara los resultados con los límites de error especificados por las normativas o estándares de la industria para determinar si el instrumento cumple con los requisitos establecidos.

La exactitud es una medida de cuán cerca están los valores medidos de un instrumento de valor verdadero o aceptado. Puede expresarse mediante diversas fórmulas según el contexto y la naturaleza de las mediciones.

Error absoluto:

$$\text{Error absoluto} = |\text{Valor verdadero} - \text{Valor medido}| \quad (2)$$

El error absoluto es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero, tomada en términos absolutos para eliminar cualquier signo negativo.

Error relativo:

$$\text{Error relativo} = \left| \frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor verdadero}} \right| \times 100 \quad (3)$$

El error relativo expresa el error absoluto como un porcentaje del valor verdadero. Multiplicar por 100 convierte el resultado en un porcentaje.

Obtención de la linealidad:

La linealidad de un instrumento se refiere a la capacidad de proporcionar resultados que son directamente proporcionales a la magnitud de la entrada, sin importar la dirección del cambio en la entrada. Para evaluar la linealidad de un instrumento, se puede utilizar una regresión lineal y calcular el coeficiente de correlación (R^2):

- Obtención de datos: realizar mediciones del instrumento en diferentes puntos a lo largo del rango de operación.
- Registro de datos: registrar las mediciones del instrumento y las correspondientes magnitudes de entrada en un conjunto de datos.
- Análisis de regresión lineal: utilizar un software estadístico o herramientas como Excel para realizar un análisis de regresión lineal. La ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos tiene la forma: $y = mx + b$, donde y es la medida del instrumento, x es la magnitud de entrada, m es la pendiente y b es la ordenada al origen.

- Coeficiente de correlación (R^2): el coeficiente de correlación (R^2) indica cuánto se ajustan los datos a una línea recta. Un R^2 cercano a 1 indica una buena linealidad. La fórmula para el coeficiente de correlación es:

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Donde y_i son las mediciones reales, \hat{y} son las predicciones de la regresión, y \bar{y} es el valor promedio de las mediciones reales.

- Interpretación del R^2 : Un R^2 cercano a 1 indica una buena linealidad. Si el R^2 es bajo, puede haber no linealidades significativas en el instrumento.

Es importante destacar que la evaluación de la linealidad puede variar según el contexto y el tipo de instrumento. Además, en algunos casos, podría ser útil utilizar gráficos de dispersión para visualizar la relación entre las mediciones reales y las predicciones de la regresión.

Calibración por software:

La calibración por software implica ajustar o corregir las lecturas de un instrumento de medición utilizando algoritmos y software, en lugar de realizar ajustes físicos directos en el hardware del instrumento:

- Entendimiento del instrumento: comprende el funcionamiento y el comportamiento del instrumento que estás calibrando. Esto incluye entender cómo responde a diferentes condiciones y cómo se relaciona con la magnitud de entrada.
- Selección de puntos de calibración: identifica varios puntos de calibración a lo largo del rango de operación del instrumento. Estos puntos deben cubrir toda la gama de valores que esperas medir.
- Mediciones de referencia: realiza mediciones precisas y exactas de las magnitudes de entrada correspondientes a los puntos de calibración seleccionados utilizando un estándar de referencia o un instrumento de referencia calibrado.
- Registro de datos: registra las mediciones del instrumento y las mediciones de referencia asociadas para cada punto de calibración.

- Análisis de datos: utiliza un algoritmo de regresión o ajuste de curva para modelar la relación entre las mediciones del instrumento y las mediciones de referencia. La forma específica del algoritmo dependerá del tipo de instrumento y del comportamiento esperado.
- Ajuste de parámetros: ajusta los parámetros del algoritmo para minimizar las diferencias entre las mediciones del instrumento y las mediciones de referencia. Esto puede implicar ajustar la pendiente, la ordenada al origen u otros parámetros según la forma del modelo.
- Validación del modelo: verifica la validez del modelo utilizando datos que no se utilizaron en el proceso de calibración. Esto es crucial para asegurar que el modelo sea robusto y pueda generalizar a nuevas mediciones.
- Implementación del modelo calibrado: implementa el modelo calibrado en el software del instrumento. Esto implica aplicar las correcciones calculadas a las lecturas del instrumento en tiempo real.
- Verificación continua: realiza verificaciones periódicas para asegurar que el modelo calibrado sigue siendo preciso y, si es necesario, realiza ajustes adicionales.
- Documentación: documenta detalladamente el proceso de calibración, los puntos de calibración, los datos utilizados y los parámetros del modelo. Esto es esencial para mantener la trazabilidad y la documentación de la calibración.

Es fundamental destacar que la calibración por software es específica para cada tipo de instrumento y debe llevarse a cabo con un entendimiento claro de la física y el comportamiento del instrumento. Además, la calibración por software no puede corregir problemas físicos en el hardware del instrumento, por lo que se debe complementar con procedimientos de mantenimiento y ajuste si es necesario.

Tabla 1

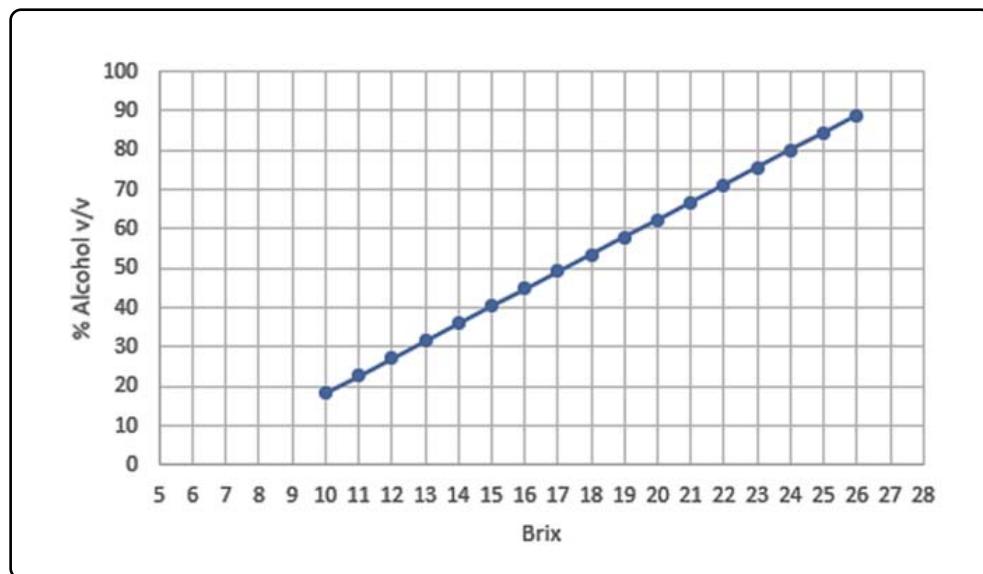
Confección de la tabla de equivalencias entre los grados Brix y el porcentaje de volumen de alcohol V/V

BRIX	V/V (Experimental)
10	18.40
11	22.80
12	27.20
13	31.60
14	36.00
15	40.40
16	44.80
17	49.20
18	53.60
19	58.00
20	62.40
21	66.80
22	71.20
23	75.60
24	80.00
25	84.40
26	88.80

Nota. Los valores de porcentaje de volumen de alcohol obtenidos se realizaron utilizando el refractómetro Atago 3840 (Pal-Alpha) y muestras graduadas de alcohol.

Figura 1

Relación lineal entre los grados Brix y el porcentaje de volumen de alcohol V/V



Nota. La curva de relación demuestra una linealidad entre el valor del porcentaje de volumen de alcohol y los grados Brix, esto permite facilitar la medición en línea para la comparativa entre el valor medido y el valor del instrumento patrón que es el refractómetro Atago CM-380

Tabla 2

Comparativa de los instrumentos de medición utilizados como patrón y el dispositivo en evaluación

# Muestra	Dispositivo	Refractómetro	Alcoholímetro	Picnómetro
1	67.80	66.36	68.15	41.26
2	67.50	65.92	66.64	41.35
3	66.04	65.04	66.64	41.43
4	65.33	64.60	65.64	41.50
5	64.70	64.16	65.64	41.52
6	64.15	64.16	64.64	41.60
7	63.50	63.72	64.14	41.65
8	63.05	63.28	63.64	41.71
9	62.40	62.84	63.13	41.78
10	61.60	61.96	62.63	41.85
11	61.40	61.96	62.13	41.89
12	60.36	61.08	61.13	41.97
13	59.24	58.44	59.63	42.08
14	58.80	59.76	59.12	42.15
15	58.10	58.88	58.62	42.21
16	57.50	58.44	58.62	42.26
17	57.00	57.56	57.62	42.31
18	56.20	57.12	56.62	42.39
19	55.40	56.68	60.63	42.45
20	54.70	56.24	55.61	42.49
21	54.22	55.36	55.11	42.54
22	53.56	54.92	54.61	42.60
23	53.03	54.04	54.11	42.67
24	52.22	53.60	53.12	42.71
25	51.55	52.72	53.11	42.77
26	51.00	52.28	52.10	42.79
27	50.05	51.40	51.60	42.88
28	49.23	50.96	50.60	42.93
29	48.39	48.76	49.60	42.97
30	48.40	49.64	49.10	43.03
31	47.00	48.32	49.10	43.05
32	46.15	47.88	48.60	43.11
33	45.50	47.44	48.09	43.15
34	45.30	47.00	48.09	43.17
35	45.01	46.56	47.59	43.17

Nota. Resultados obtenidos por el instrumento evaluado y el patrón que fue el refractómetro en línea, y las mediciones de control realizadas utilizando un alcoholímetro y el método de la picnometría indicado en la norma técnica peruana.

Resultados

La medición corresponde al lote 1 compuesto por 35 muestras correlativas.

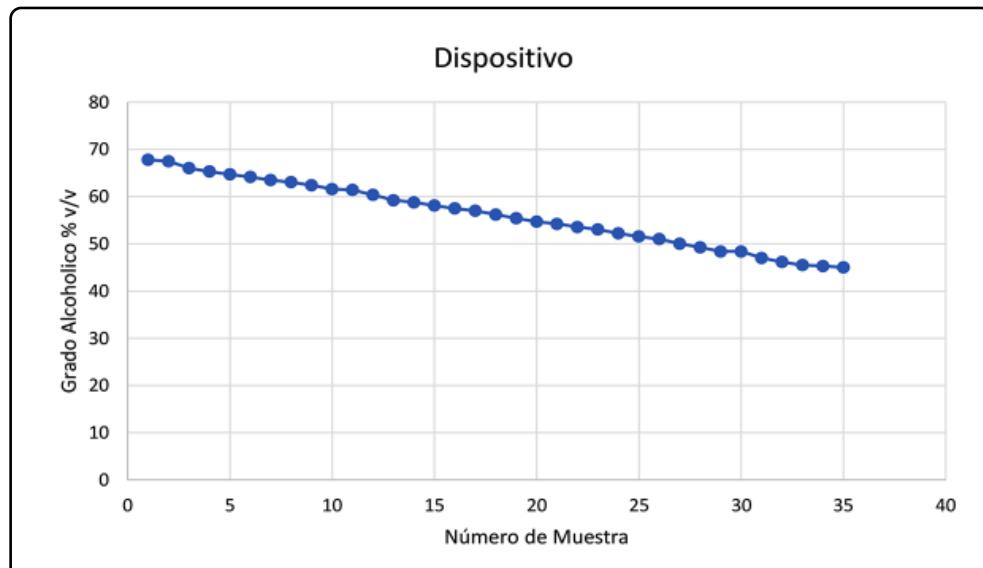
Tabla 3
Resultados finales obtenidos con el instrumento ajustado

# Muestra	Valor Verdadero	Valor Medido	Error Absoluto	Error Relativo %
1	66.36	67.80	1.44	2.17
2	65.92	67.50	1.58	2.40
3	65.04	66.04	1.00	1.54
4	64.60	65.33	0.73	1.13
5	64.16	64.70	0.54	0.84
6	64.16	64.15	0.01	0.02
7	63.72	63.50	0.22	0.35
8	63.28	63.05	0.23	0.36
9	62.84	62.40	0.44	0.70
10	61.96	61.60	0.36	0.58
11	61.96	61.40	0.56	0.90
12	61.08	60.36	0.72	1.18
13	58.44	59.24	0.80	1.37
14	59.76	58.80	0.96	1.61
15	58.88	58.10	0.78	1.32
16	58.44	57.50	0.94	1.61
17	57.56	57.00	0.56	0.97
18	57.12	56.20	0.92	1.61
19	56.68	55.40	1.28	2.26
20	56.24	54.70	1.54	2.74
21	55.36	54.22	1.14	2.06
22	54.92	53.56	1.36	2.48
23	54.04	53.03	1.01	1.87
24	53.60	52.22	1.38	2.57
25	52.72	51.55	1.17	2.22
26	52.28	51.00	1.28	2.45
27	51.40	50.05	1.35	2.63
28	50.96	49.23	1.73	3.39
29	48.76	48.39	0.37	0.76
30	49.64	48.40	1.24	2.50
31	48.32	47.00	1.32	2.73
32	47.88	46.15	1.73	3.61
33	47.44	45.50	1.94	4.09
34	47.00	45.30	1.70	3.62
35	46.56	45.01	1.55	3.33

Nota. En la tabla se muestra el valor del patrón y del instrumento en evaluación, también se muestra al cálculo del error absoluto y el error relativo referente a la exactitud, esta información sirvió para calibrar el instrumento por software y mostrar la información linealizada ya que el error absoluto está por debajo de 2 puntos.

Figura 2

Curva de resultado obtenida por el instrumento expresada en grados alcohólicos (%V/V)



Nota. La información de la curva sirvió para el calculo de mejorar la linealización de la respuesta mediante software instalado en el controlador del dispositivo.

- Rango: 35 - 74 % v/v
- Valor mínimo: 35 % v/v
- Alcance: 74 % v/v
- Error absoluto promedio: ± 1.03
- Error relativo promedio: 1.88 %
- La compensación por temperatura no se presenta en el dispositivo, ya que al determinar el volumen de alcohol por absorción electrostática, la variación de temperatura no es relevante en la medición.
- Se determinó de manera experimental que el burbujeo ocasionado por la turbulencia de la muestra y la bomba dosificadora, ocasiona que el error de la medición se incremente, por lo que se reconfiguro el flujo de bombeo y la longitud de manguera. Este aspecto se revisará en la

operación en planta. Actualmente el fenómeno del burbujeo se encuentra solucionado, pero con riesgo a presentarse aleatoriamente.

- Se realizó para mejorar la exactitud del instrumento una compensación por software del valor medio.
- Se determinó la posibilidad de presencia de dipolos originados por la presencia de moléculas de cobre en el destilado ocasionado por el efecto electrolítico entre el acero inoxidable y el cobre durante la destilación, estos dipolos ocasionan que la absorción de energía varíe e incremente el porcentaje de error en la medición, este fenómeno puede ser un tema de investigación posterior, pero se mitigara aplicando al alambique FIA un metal de interface que capte las moléculas de cobre y evite la presencia de estas moléculas en el destilado.
- El dispositivo se comportó de manera adecuada a lo planificado registrando la graduación alcohólica en línea de manera confiable.
- La lectura es lineal y tiene un error menor al 4% y una histéresis menor a 2%.

Discusión

La importancia de cumplir con las normas de calidad en el pisco es fundamental para que el destilado pueda utilizar la denominación de origen. Los resultados de estas pruebas indicaron que el dispositivo cumple con las especificaciones requeridas, incluyendo el rango de medición y el error promedio. Esto es positivo para garantizar la conformidad con las normas.

Los resultados de las pruebas también revelan desafíos técnicos, como el burbujeo y la posible presencia de dipolos de cobre. Estos desafíos podrían tener un impacto en la precisión de las mediciones y deben abordarse de manera efectiva en las siguientes fases de desarrollo del dispositivo para uso comercial.

Se destaca el uso de compensación por software para mejorar la exactitud del dispositivo. Esto muestra un enfoque proactivo para resolver problemas y mejorar la calidad de las mediciones, además que es una práctica técnica utilizada en los dispositivos de medición digital.

Los resultados demuestran que la investigación y el desarrollo tecnológico pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la calidad de productos tradicionales como el pisco. Esto puede contribuir a la preservación de la cultura y la industria.

En síntesis, los resultados presentan avances prometedores en la medición de la graduación alcohólica en línea para la producción de pisco, pero también señalan desafíos técnicos que deben abordarse. La relación entre los antecedentes y los resultados destaca la importancia de la innovación tecnológica en la industria tradicional y la necesidad de cumplir con estándares de calidad para mantener la reputación de un producto culturalmente significativo.

Conclusiones

1. La investigación confirma la relevancia del pisco para Perú, tanto en términos culturales como económicos. Como bebida emblemática, el pisco es un componente esencial de la identidad peruana y una fuente importante de ingresos económicos.
2. La implementación de normas y requisitos de calidad, como la Norma Técnica Peruana 211.001 2006, es esencial para garantizar la calidad del pisco. Estos estándares son necesarios para mantener la integridad y la reputación de esta bebida.
3. Las pruebas realizadas destacan el papel clave de la investigación y el desarrollo tecnológico en la mejora de la calidad y la eficiencia de la producción de pisco. La introducción de sensores de grado alcohólico en línea es un ejemplo de una solución tecnológica innovadora que puede contribuir a la estandarización y al control de calidad.
4. A pesar de los avances tecnológicos, la investigación identifica desafíos técnicos, como el burbujeo y la posible presencia de dipolos de cobre, que pueden afectar la precisión de las mediciones. La implementación de compensaciones por software y la búsqueda de soluciones adicionales resaltan la importancia de la mejora continua en la tecnología de medición.

5. Los resultados indican un compromiso con la calidad en la producción de pisco. El dispositivo de medición proporciona mediciones confiables y lineales, lo que es esencial para garantizar la calidad del producto final.
6. La investigación demuestra que la combinación de tradición y tecnología puede ser beneficiosa para preservar la cultura y la industria de la producción de pisco en Perú. La adopción de prácticas modernas puede ayudar a mantener y promover esta bebida emblemática.

Conflictos de intereses

El autor de la presente investigación declara que no presenta conflicto de intereses.

Responsabilidad ética

En la investigación se han citado, de manera textual y parafraseada, las ideas provenientes de otras investigaciones, reconociendo de manera rigurosa la autoría correspondiente.

Financiamiento

La investigación se realizó con recursos propios del autor.

Referencias

- Altman, D. G. (1983). Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies. *The Statistician*, 32(3), 307-317. <https://doi.org/10.2307/2987937>
- Box, G. E. P. (1952). Non-Linear and Process Optimization. *Proceedings of the British Academy*, 38(1), 49-66.
- Cárdenas, L., Barnett, E., Meza, J., Figueroa, R., Chacón, H., & Borjas, F. (2010). Desarrollo de prototipo «Determinador de Grado Alcohólico Continuo». *Cultura*, 24(1), 207-218.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*. Jhon Wiley & Sons.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOP. (2006, 11 de diciembre). *Norma Técnica Peruana 211.001 2006 / Bebidas Alcohólicas. Pisco. Requisitos*. https://www.elpiscoesdelperu.com/boletines/enero2008/NTP21100_Pisco.pdf
- Juran, J. M. (1988). *Juran on Planning for Quality*. Free Press.
- Norma Técnica Peruana 211.001 2006 / Bebidas Alcohólicas. Pisco. Requisitos / 2006-11-02 7ma Edición / r.0091-2006/INDECOP-CRT. Publicada el 2006-11-12 / I.C.S: 67.160.10

- Santos, E. (2021). Real-Time Electronic Measurement of Alcohol Content in Distilled Spirits Production. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9276485>
- Santos, E., & Calderón, C. (2016). Electromagnetic Transducer for In-Line Determination of Alcohol Content in Pisco. *IEEE Sensor Journal*, 16(19), 7116-7123. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2594955>

Luis Cárdenas Lucero

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de San Martín de Porres, Perú.

lcardenasl@usmp.pe

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1742-1850>